

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO
SECRETARIA DE ESTADO DE PROGRAMAS ESTRATÉGICOS - SEPE
INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS-IMESC
ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DO BIOMA AMAZÔNICO (MA)

RELATÓRIO TÉCNICO DE GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E HIDROGEOLOGIA DO ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DO ESTADO DO MARANHÃO ETAPA BIOMA AMAZÔNICO

INSTITUIÇÕES:

IMESC
INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS
SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS

SEPE
SECRETARIA DE ESTADO DE
PROGRAMAS ESTRATÉGICOS

GOVERNO DO
MARANHÃO
GOVERNO DE TODOS NÓS



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO



FUNDAÇÃO DE APOIO
AO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



Embrapa



SÃO LUÍS - MA
2019



IMESC SEPE



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO



**GOVERNADOR DO ESTADO DO
MARANHÃO**

Flávio Dino de Castro e Costa

**VICE GOVERNADOR DO ESTADO DO
MARANHÃO**

Carlos Orleans Brandão Júnior

**SECRETÁRIO DE ESTADO DE
PROGRAMAS ESTRATÉGICOS**

Luis Fernando Silva

**PRESIDENTE DO INSTITUTO
MARANHENSE DE ESTUDOS
SOCIOECONÔMICOS E
CARTOGRÁFICOS E COORDENADOR
GERAL DO ZEE-MA**

Dionatan Silva Carvalho

**DIRETOR DE ESTUDOS AMBIENTAIS E
CARTOGRÁFICOS**

Josiel Ribeiro Ferreira

DIRETOR DE ESTUDOS E PESQUISAS

Hiroshi Matsumoto

PEQUISADOR SENIOR DO ZEE-MA

Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias

**COORDENADOR EXECUTIVO DO ZEE-
MA (UEMA)**

Paulo Henrique de Aragão Catunda

**COORDENADOR DE
GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E
HIDROGEOLOGIA**

Jorge Hamilton Souza dos Santos

**EQUIPE TÉCNICA DE GEOLOGIA,
GEOMORFOLOGIA E HIDROGEOLOGIA**

Ediléa Dutra Pereira

Leonardo Gonçalves de Lima

Mauricio Eduardo Salgado Rangel

Hélio Oliveira Costa

Jorge Xavier da Silva

Marcelo Eduardo Dantas

Gabriel Irvine Ferreira Alves dos Santos

Joelson Pereira da Graça

Suena dos Santos Silva

Matheus Gomes Moreno

Jhony Frota Macedo

Samuel Lopes Serra

EQUIPE DE APOIO TÉCNICO – ZEE

Anny Karolyny Oliveira Portela

Allana Pereira Costa

Florise Pereira Reis

Jéssica Suyane Sousa

NORMALIZAÇÃO

Dyana Pereira

REVISÃO

Gustavo Sampaio

Marília de Carvalho Cerveira

DIAGRAMAÇÃO/CAPA

Matheus Pinheiro Soeiro

**UNIVERSIDADES ESTADUAL DO
MARANHÃO**

Gustavo Pereira da Costa-Reitor

Walter Canales Sant'ana-Vice-Reitor

Zafira da Silva de Almeida-Pró-Reitora de
Graduação – PROG

Rita de Maria Seabra Nogueira-Pró -
Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação –
PPG

Paulo Henrique Aragão Catunda-Pró -
Reitor de Extensão e Assuntos Estudantis
– PROEXAE

José Rômulo Travassos da Silva-Pró -

Reitor de Gestão de Pessoas – PROGEP

Antônio Roberto Coelho Serra-Pró -Reitor
de Planejamento e Administração –
PROPLAD

Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos Cartográficos-IMESC

Relatório técnico de Geologia, Geomorfologia e Hidrogeologia do
Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão (ZEE) - Etapa
Bioma Amazônico. Jorge Hamilton Souza dos Santos; Paulo Henrique de
Aragão Catunda; Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias (coordenadores). São
Luís: IMESC, 2019.

ISBN 978-65-87226-02-6

142 p.

1. Geologia. 2. Geomorfologia. 3. Zoneamento Econômico 4. Maranhão
I. Título

CDU 551.1/.4 (812.1)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Foto 1	- Vista parcial das rochas intemperizadas da Suíte Intrusiva Tromai – Turiçu, MA.....	20
Foto 2	- Vista parcial do granitoide intemperizado Suíte Intrusiva Tromai, MA	20
Foto 3	- Vista parcial do granitoide fraturado da Suíte Intrusiva Rosário, MA ...	21
Foto 4	- Vista de detalhe do granitoide da Suíte Intrusiva Rosário, MA	21
Foto 5	- Vista frontal de veio quartzo milonitizado cortando os xistos do Complexo Itapeva – Garimpo Chega-Tudo, Centro do Guilherme, MA	22
Foto 6	- Vista do veio quartzo milonitizado e estirado, cortando os xistos do Complexo Itapeva – Garimpo Chega-Tudo, Centro do Guilherme, MA	22
Foto 7	- Vista parcial dos sedimentos avermelhados da Formação Sambaíba – Sítio Novo – Ma.....	25
Foto 8	- Blocos de basaltos exibindo esfoliação esferoidal- Sítio Novo – Ma....	26
Foto 9	- Vista parcial da encosta da chapada – Formação Corda – Mirador.....	27
Foto 10	- Vista parcial dos sedimentos argiloso-arenosos da Formação Codó – Margem do Rio Tocantins – Imperatriz, MA	28
Foto 11	- Sedimentos argiloso-arenosos com tons esbranquiçados da Formação Codó – Margem do Rio Tocantins – Imperatriz, MA	29
Foto 12	- Sedimentos avermelhados maciços no topo e silto-argiloso mosqueado na base do afloramento – Governador Nunes Freire, MA.....	30
Foto 13	- Siltito-arenoso avermelhado, maciço da Formação Cujupe – Buriticupu, MA.....	30
Foto 14	- Vista parcial dos acamamentos subhorizontal de siltitos, arenitos e folhelho intercalados – Falésia da Baronesa – Formação Alcântara, MA	31
Foto 15	- Vista do topo do tabuleiro dissecado intensamente laterizado – estrada Arame-Grajaú – Ma.....	33
Foto 16	- Sedimentos arenosos intensamente ravinados do Grupo Barreiras – Maracaçumé, MA	34
Foto 17	- Sedimentos areno-argiloso avermelhado com laterita do Grupo Barreiras – Via Expressa – São Luís, MA.....	35
Foto 18	- Vista parcial da planície de maré – Apicum Açú, MA	36
Foto 19	- Vista parcial da planície de maré em Alcântara, MA	37
Foto 20	- Vista parcial da planície de maré - Porto das Arraias – São Luís, MA ..	37
Foto 21	- Vista parcial das praias de Alcântara, MA.....	38
Foto 22	- Vista parcial da praia com suave declividade para o interior da Baía de São Marcos - Farol de São Marcos - São Luís, MA	38
Foto 23	- Vista parcial das dunas fixas – Praia de São Marcos – São Luís, MA ..	39
Foto 24	- Vista parcial das dunas fixas – Alcântara – Praia Mamuna – Alcântara, MA.....	40
Foto 25	- Vista parcial das dunas fixas – Ilha dos Lençóis – Cururupu, MA.....	40
Foto 26	- Vista parcial da planície de inundação flúvio-marinha – Perizes – Bacabeira, MA.....	41
Foto 27	- Vista parcial da planície de inundação com plantio de arroz - Lago Viana, MA.....	41
Foto 28	- Vista parcial da planície de inundação do Rio Pericumã – Pinheiro, MA	42
Foto 29	- Vista parcial do Depósito de Aluvião – Rio Pindaré, MA.....	43

Foto 30	- Vista parcial dos aluviões do Rio Pindaré – Bom Jesus das Selvas, MA	44
Foto 31	- Vista parcial dos aluviões do Rio Maracaçumé, MA	44
Foto 32	- Vista da exuberante vegetação de mangue existente no município de Apicum-Açu nas Reentrâncias Maranhenses	52
Foto 33	- Remanescentes topográficos isolados, aflorantes em meio aos lagos e campos inundáveis.....	59
Foto 34	- Vista de uma falésia em processo de erosão (recuo) na praia de Panaquatira, em São Jose de Ribamar, MA	60
Foto 35	- Duna fixada pela vegetação no município de Icatu, MA.....	65
Foto 36	- Relevo caracterizado por uma superfície aplainada no noroeste do Maranhão no município de Turiaçu	66
Foto 37	- Vista das colinas e cristas Metavulcânicas sedimentares no município de Centro Novo do Maranhão	67
Foto 38	- Voçoroca incidente em borda de planalto na área urbana de Buriticupu. Exemplo de erosão possivelmente orientada por fraturamento crustal	74
Foto 39	- Vista do rio Pindaré correndo no interior de uma considerável depressão do tipo <i>graben</i>	75
Foto 40	- Vista da depressão do tipo <i>graben</i> onde se encontra o rio Pindaré ao centro	75
Foto 41	- Laterização Incipiente no Alto Planalto	76
Foto 42	- Linha de seixos de pequena envergadura, indicando transporte localizado	76
Foto 43	- Detalhe do mesmo <i>graben</i> (depressão) mostrando suas paredes poucoalçadas.....	77
Foto 44	- Vista da Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins no Município de Imperatriz, MA.....	78
Foto 45	- Topo dos baixos platôs incipientemente dissecados com plantio de soja. Rodovia BR-226, entre as localidades de Grajaú e Lajeado Novo	79
Foto 46	- Planície de maré lamosa em Alcântara – MA	84
Foto 47	- Planície fluvial do rio Maracaçumé no Domínio das Reentrâncias Maranhenses	86
Foto 48	- Planície lacustre do lago de Viana na Baixada Maranhense	87
Foto 49	- Praia da Mamuna em Alcântara - MA apresentando significativa extensão e largura.....	88
Foto 50	- Vista parcial da erosão costeira na Praia da Ponta D’Areia na cidade de São Luís -MA	89
Foto 51	- Tabuleiro de topo plano no município de Alcântara – MA	94
Foto 52	- Descrição de cor das amostras sedimentares segundo Munsell (2009)	108
Foto 53	- Pipetagens das amostras sedimentares	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Mapa de amostragem do Bioma Amazônico Maranhense.....	12
Figura 2	- Mapa geológico do Bioma Amazônia Maranhense – ZEE – MA.....	14
Figura 3	- Mapa de ocorrências minerais no Bioma Amazônico – ZEE-MA.....	19
Figura 4	- Mapa de tendência das vazões dos poços tubulares do Bioma Amazônia Maranhense – ZEE – MA.....	23
Figura 5	- Domínios geomorfológicos propostos para o estado do Maranhão	48
Figura 6	- Domínios geomorfológicos propostos para o estado do Maranhão	50
Figura 7	- Composição de dados de radar SRTM das Reentrâncias Maranhenses	53
Figura 8	- Planícies de Cheniers nas Reentrâncias Maranhenses.....	54
Figura 9	- Sistemas de Barreiras Costeiras na costa do Maranhão	55
Figura 10	- Planícies de Cordões Litorâneos nas Reentrâncias Maranhenses	56
Figura 11	- Localização dos perfis traçados na Planura Periférica da Baixada Maranhense	62
Figura 12	- Perfis topográficos da Planura Periférica da Baixada Maranhense	63
Figura 13	- Localização dos perfis traçados no Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú..	68
Figura 14	- Perfis topográficos do Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú	69
Figura 15	- Mapa de hipsometria do Bioma Amazônia Maranhense	71
Figura 16	- Mapa de declividades do Bioma Amazônia Maranhense.....	73
Figura 17	- Mapa geomorfológico do Bioma Amazônico no Estado do Maranhão	81
Figura 18	- Relevo sombreado do Bioma Amazônico no Estado do Maranhão	82
Figura 19	- Presença dominante da planície de Maré/ Flúvio-marinhas no Litoral das Reentrâncias Maranhenses	85
Figura 20	- Principais formas de relevo da Planura periférica da Baixada Maranhense	92
Figura 21	- Principais formas de relevo do Bioma Amazônico no Estado do MA..	95
Figura 22	- Fluxograma dos procedimentos das análises granulométricas desenvolvidas no LEOG- Laboratório de Estudos de Oceanografia Geológica	106
Figura 23	- Quadro Comparativo de Esfericidade e Arredondamento de Partículas	111
Figura 24	- Frequências acumuladas das amostras sedimentares das praias da Marcela, Calhau e Ponta da Areia	114
Figura 25	- Curvas de frequências acumuladas das amostras sedimentares da Formação Cujupe.....	118
Figura 26	- Histograma da amostra ABR-01	118
Figura 27	- Histograma da amostra ACAR-01	119
Figura 28	- Histograma da amostra ACM-01A	119
Figura 29	- Histograma da amostra ACM-01B	119
Figura 30	- Histograma da amostra ACM-02.....	120
Figura 31	- Histograma da amostra AGNF-02.....	120
Figura 32	- Histograma da amostra AMAR-01	120
Figura 33	- Diagrama de Shepard das amostras AGNF-02, ABR-01, AMAR-01, ACM-02, ACAR-01, ACM-01a e ACM-01b.....	121
Figura 34	- Diagrama de Pejrup das amostras AGNF-02, ABR-01, AMAR-01, ACM-02, ACAR-01, ACM-01a e ACM-01b.....	121

Figura 35 -	Histograma da amostra ACM-03.....	122
Figura 36 -	Histograma da amostra ACAR-03.....	122
Figura 37 -	Diagrama de Shepard das amostras ACM-03 e ACAR-03.....	123
Figura 38 -	Histograma da amostra ACM-05.....	123
Figura 39 -	Histograma da amostra AGV-05.....	124
Figura 40 -	Histograma da amostra ACM-06.....	124
Figura 41 -	Frequências acumuladas das amostras Acar-03 e ACM-03.....	125
Figura 42 -	Diagrama de Shepard das amostras ACM-0, ACM-06 e AGV-05....	125
Figura 43 -	Histograma da amostra AGB-03.....	126
Figura 44 -	Histograma da amostra AT-01C.....	126
Figura 45 -	Histograma da amostra AT-01.....	127
Figura 46 -	Histograma da amostra AT-01B.....	127
Figura 47 -	Histograma da amostra AT-02.....	128
Figura 48 -	Histograma da amostra AT-04.....	128
Figura 49 -	Frequências Acumuladas das amostras AT-01, AT-04, AT-03,AT-01C e AT-01B.....	129
Figura 50 -	Histograma da amostra P. Dunas.....	129
Figura 51 -	Frequências Acumuladas da amostra P. Dunas em Icatu.....	130

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	- Siglas e nomes das unidades de Mapeamento Geológico.....	15
Quadro 2	- Coluna litoestratigráfica do Bioma Amazônia Maranhense – ZEE-MA.....	16
Quadro 3	- Formas de relevo identificadas e suas respectivas áreas de abrangência.....	83
Quadro 4	- Escalas de WENTWORTH (1922) e KRUMBEIN (1934) para classificação do tamanho do grão apresentando limites de classe em mm e phi.....	104
Quadro 5	- Tempo de sedimentação e profundidade para pipetagem levando em consideração à classificação do tamanho do grão em phi	110
Quadro 6	- Resultados do arredondamento dos grãos de areias das praias de São Luís	115
Quadro 7	- Resultados da textura superficial dos grãos de areias das praias de São Luís	115
Quadro 8	- Resultados da esfericidade dos grãos de areias das praias de São Luís	115
Quadro 9	- Resultados da textura das amostras sedimentares de São Luís.....	116

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	MATERIAIS E MÉTODOS	10
3	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA AMAZÔNIA LEGAL - MARANHÃO	13
3.1	Unidades Litoestratigráficas Craton São Luís - Paleoproterozóico (2.300 - 1.800Ma)	17
3.2	Cinturão Grupi – Neoproterozoico (1.000 a 542Ma)	17
3.3	Grupo Serra Grande – Siluriano – 444Ma	24
3.4	Formação Sambaíba – TRIÁSSICO – 251Ma	24
3.5	Formação Mosquito – Mesozoico (Jurássico – 200Ma)	25
3.6	Formação Corda – Mesozoico (JURASSICO 200Ma)	26
3.7	Formação Grajaú – MESOZOICO (CRETÁCEO – 145MA)	27
3.8	Formação Codó – Mesozoico (Cretáceo – Aptiano)	28
3.9	Grupo Itapecuru – Mesozoico (Cretáceo – Albiano)	29
3.10	Cobertura Laterítica Madura e Grupo Barreira – Paleógeno (65,5Ma) AO NEÓGENO (23Ma)	32
3.11	Depósitos Quaternários	35
3.12	Depósitos de Mangues/Apicum - Quaternário	35
3.13	Depósitos Litorâneos - Quaternário	37
3.14	Depósitos Eólicos Continentais - Quaternário	38
3.15	Depósitos Flúvio-Lagunares/Flúvio-Marinho-Quaternário	40
4	DEPÓSITOS ALUVIONARES, DEPÓSITOS EÓLICOS E LATERÍTICOS – QUATERNÁRIO	43
5	GEOMORFOLOGIA	45
5.1	Procedimentos do Mapeamento Geomorfológico	45
5.2	Considerações Sobre o USO de Conhecimentos Geomorfológicos em Pesquisas de Interesse para o Estado do Maranhão	46
7	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DO BIOMA AMAZÔNIA MARANHENSE ..	48
8	PRINCIPAIS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DO BIOMA AMAZÔNICO NO ESTADO DO MARANHÃO	80
9	ENTIDADES GEOMORFOLÓGICAS: forma, composição e origem	99
9.1	Formas	100



IMESC SEPE



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO



9.2	Origem	101
9.3	Processos Modificadores	102
10	ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS	103
10.1	Granulometria das amostras sedimentares.....	103
10.2	Procedimentos laboratoriais.....	106
10.3	Resultados São Luís	111
10.4	Resultados Reentrâncias	116
11	CONSIDERAÇÕES FINAIS	135
	REFERÊNCIAS	138

1 INTRODUÇÃO

O Zoneamento Econômico e Ecológico do estado do Maranhão (ZEE-MA) compreende o bioma Amazônico que ocupa, aproximadamente, 1/3 do seu território, visa o levantamento das potencialidades e fragilidades do ambiente e é um instrumento para subsidiar a formulação e a espacialização das políticas públicas.

O mapeamento geológico, geomorfológico e hidrogeológico na escala 1:250.000 foi realizado na porção ocidental do estado do Maranhão em uma área de, aproximadamente, 114.944,2km². Foi realizado para subsidiar não apenas o reconhecimento das formações geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas como também suas suscetibilidades e potencialidades, associadas à interpretação de imagens de satélites, a trabalhos preexistentes do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a trabalhos de campo.

A execução desse instrumento de planejamento foi realizada através do Convênio de Cooperação Técnica entre o Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos e a Universidade Estadual do Maranhão.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A realização desse mapeamento contou com a utilização de materiais cartográficos, imagens de satélites, técnicas de interpretação, trabalhos de campo, análise laboratorial para elaborações de cartas temáticas utilizando o método do mapeamento geológico sistemático (CPRM, 2004), o detalhamento progressivo Cerri et al. (1996) a partir do Mapeamento Geológico do Programa Geologia do Brasil na escala 1:750.000, conforme Klein e Sousa (2012) e do Mapeamento Geomorfológico do estado do Maranhão, na escala de 1:400.000, de 2011 do IBGE.

O mapeamento geológico e geomorfológico possibilitou melhor compreensão das causas e dos processos que promoveram a formação das rochas e a geração dos bens minerais, e permitiu definir, com maior precisão, sua espacialização e seu potencial. O mapeamento geológico e geomorfológico sistemático na escala 1:250.000 se desenvolveu conforme será descrito a seguir:

- **Principais fontes de pesquisa bibliográficas**

Levantamento, avaliação e integração de informações pretéritas disponíveis, a fim de compreender melhor os aspectos relevantes para o desenvolvimento do mapeamento geológico, geomorfológico e caracterização hidrogeológica dos aquíferos, em âmbito regional, na escala 1:250.000. As publicações científicas e técnicas se referem às dissertações, teses, anais de eventos científicos, periódicos nacionais e internacionais alicerçados nas proposições do Serviço Geológico do Brasil e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

- **Materiais cartográficos elaborados**

Elaboração de uma base cartográfica digital georreferenciada e análise dos documentos cartográficos disponíveis como o Mapa Geológico, Hidrogeológico, Geomorfológico e de Recursos Minerais do Maranhão, na escala 1:250.000 da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais - CPRM, arquivos formato *shapefile* do Programa Geologia do Brasil, na escala 1:750.000 conforme Klein e Sousa, (2012), associada à interpretação de imagens de satélite (imagens *RapyEye*), fotografias aéreas, dados aerogeofísicos ou outros sensores remotos aerotransportados.

- **Trabalhos de campo**

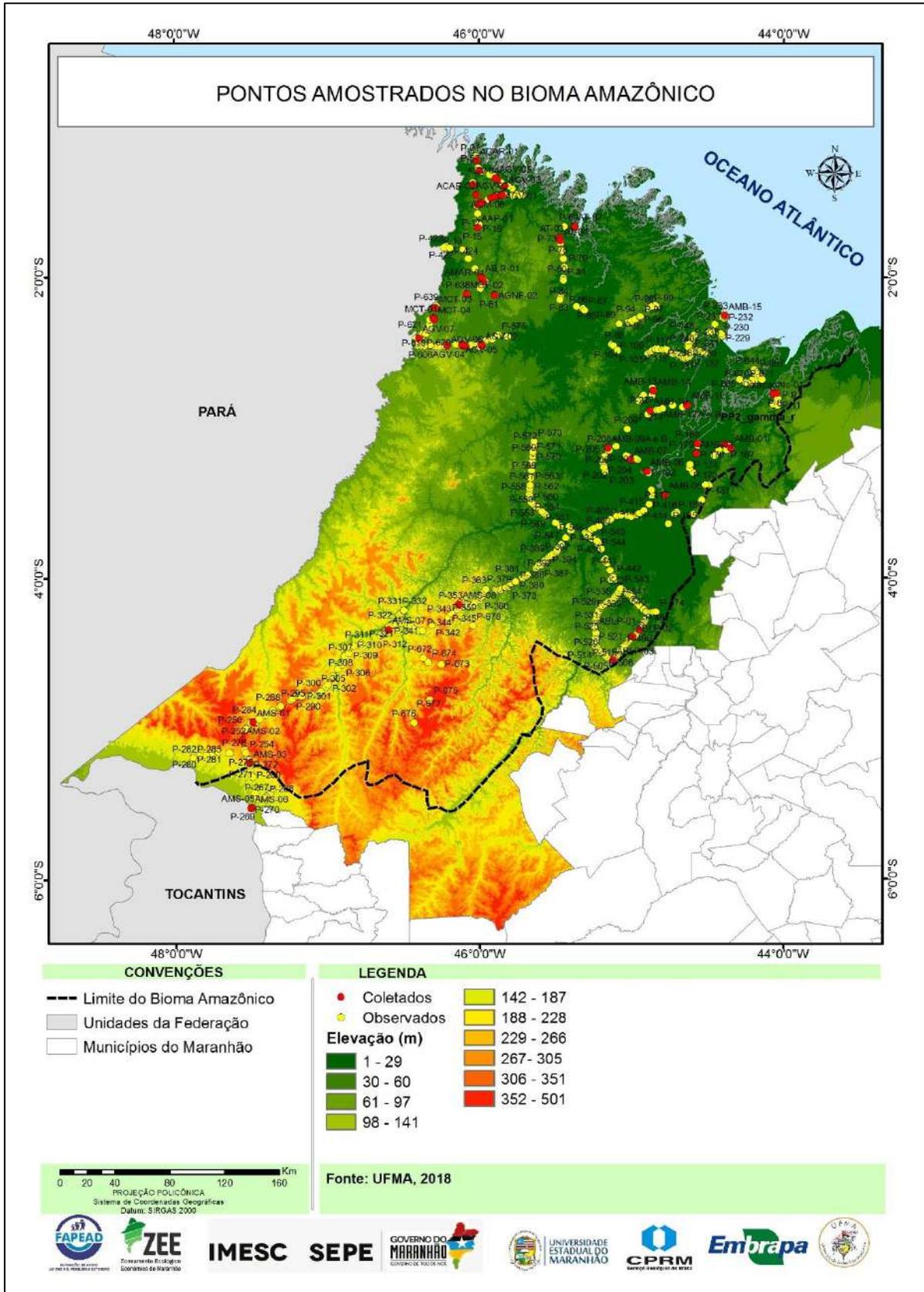
O reconhecimento de campo, estratégico para coleta de informações básicas, objetivou a caracterização das diferentes formações geológicas e recursos minerais envolvidos, conforme o método do mapeamento geológico sistemático (CPRM, 2004). As descrições litológicas e hidrogeológicas das unidades hidrogeológicas foram baseadas nos trabalhos de diversos autores e nos relatórios das Folhas Açailândia (VILLAS BOAS; ARAÚJO, 1999), Bacabal (RODRIGUES et al., (1994), Barra do Corda (LOVATO et al., 1994), Caxias (RIBEIRO et al., 1998), Imperatriz (SOUZA et al., 1990), Itapecuru-Mirim (LOVATO et al., 1995), Presidente Dutra (LEITES et al., 1994), São Luís (RODRIGUES et al., 1994) e Vitorino Freire (COLARES et al., 1990), do Programa Levantamentos Geológicos Básicos (PLGB/CPRM) e no Projeto Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo, em ambiente SIG (MONTEIRO, 2012a e b; KLEIN, SOUSA, 2012) associados aos trabalhos de campo.

O método utilizado na caracterização das formações geológicas foi a descrição táctil-visual, destacando-se aspectos locacionais, geomorfológicos, litológicos, texturais, mineralógicos e estruturais, uso e ocupação atual, perfil de alteração, processos e problemas ambientais registrados na área, tais como, a erosão, o assoreamento, os deslizamentos e outros.

A caracterização geológica/geomorfológica foi realizada na escala 1:250.000, execução de perfil e coleta de amostras, em que a área mínima mapeável foi de 2,5km. Foram realizadas observações nos afloramentos existentes em cortes de vias, voçorocas, drenagens, escavações e outros para melhor definição de seus limites e contatos geológicos.

Foram levantados 643 pontos observados, 63 pontos amostrados e 37 analisados através de análise granulométrica pelo método da pipetagem e observações na lupa, associada aos testes da presença de carbonato nas amostras do Grupo Itapecuru. Os pontos observados e coletados permitiram melhor caracterização e representatividade da geologia do Bioma Amazônico Maranhense (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de amostragem do Bioma Amazônico Maranhense

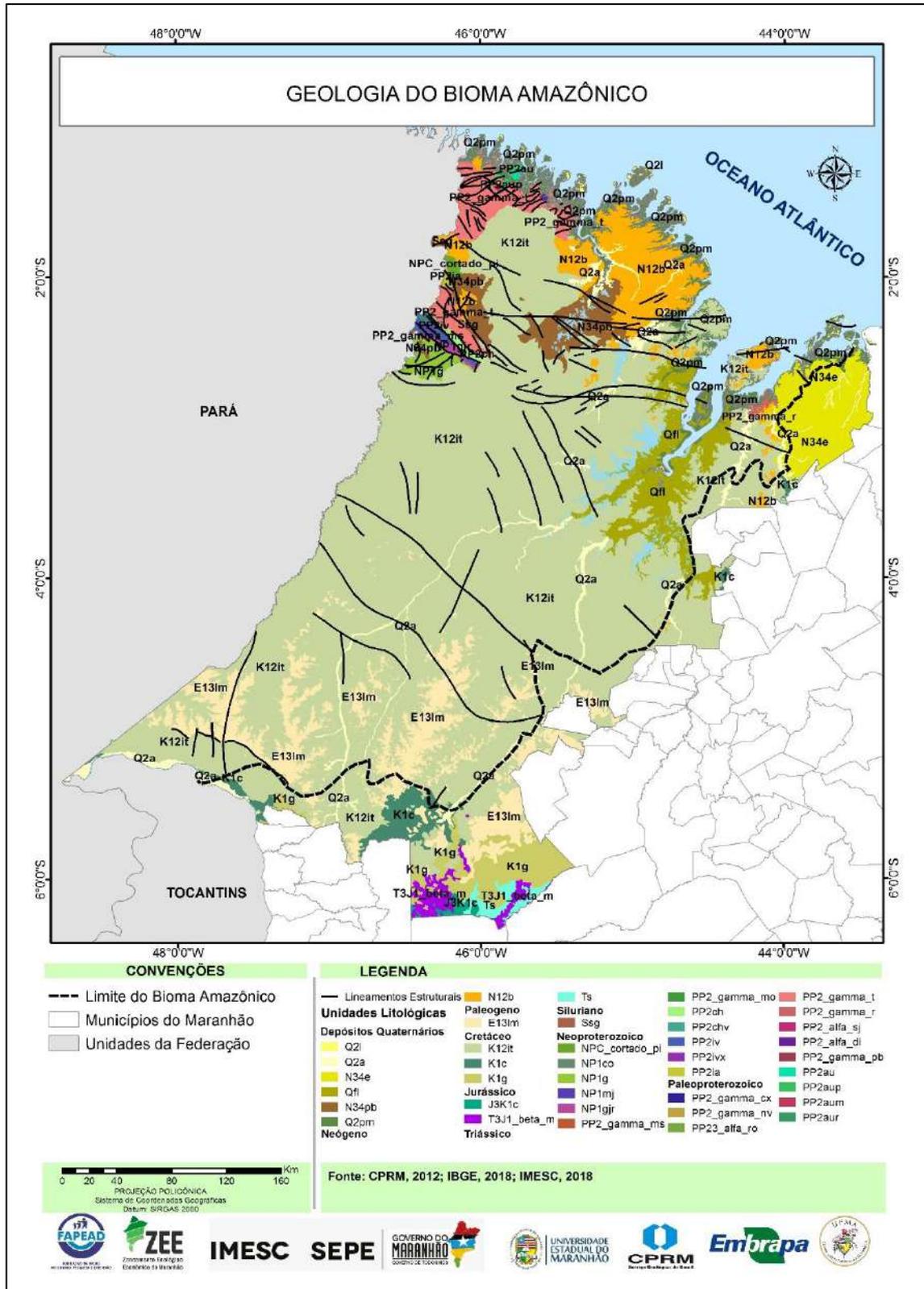


3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA AMAZÔNIA LEGAL - MARANHÃO

As formações geológicas presentes na área do Bioma Amazônico Maranhense foram as rochas metavulcanossedimentares e metassedimentares do Cráton São Luís e Cinturão Gurupi do Paleo ao Neoproterozoico (2.300Ma a 542Ma).

No Paleozoico ao Mesozoico (542 a 65Ma) ocorreu a deposição de uma sequência de arenitos, siltitos e argilas do Grupo Serra Grande, Formação Sambaíba; cortado por derrames basálticos da Formação Mosquito, e recobertos parcialmente por uma sequência de arenitos da Formação Corda, Formação Grajaú, Formação Codó, Grupo Itapecuru; e no Paleógeno a formação da Cobertura Lateríticas Maturas, no Neógeno os sedimentos do Grupo Barreiras. E finalmente todas essas sequências de sedimentos foram recobertas pelos Depósitos Quaternários. Essas litológicas resguardaram a história da deposição desses sedimentos e intrusão dos granitoides em diferentes períodos geológicos, em variadas condições ambientais e climáticas. Esses fatores criaram propriedades geológicas quanto à presença de minerais minérios e hidrogeológicas diferenciadas a cada aquífero, que refletem em sua produtividade, vulnerabilidade e sustentabilidade hídrica na área do bioma maranhense (Figura 2, Quadro 1 e Quadro 2).

Figura 2 - Mapa geológico do Bioma Amazônia Maranhense – ZEE - MA



Quadro 1 - Siglas e nomes das unidades de Mapeamento Geológico

Depósitos Quaternários		
	Q2l	Depósitos litorâneos
	Q2a	Depósitos aluvionares
	N34e	Depósitos eólicos continentais antigos
	Qfl	Depósitos flúvio-lagunares
	N34pb	Depósitos aluviais, eólicos e lateríticos
	Q2pm	Depósitos de pântanos e mangues
Neógeno		
	N12b	Barreiras, sedimentos argilosos, arenosos e conglomeráticos
Paleogeno		
	E13lm	Coberturas Lateríticas Maturas
Cretáceo		
	K12it	Itapecuru
	K1c	Codó
	K1g	Grajaú
Jurássico		
	J3K1c	Corda
	T3J1_beta_m	Mosquito
Triássico		
	Ts	Sambaíba
Siluriano		
	Ssg	Serra Grande
Neoproterozoico		
	NP1co	Piriá
	NP1g	Anfibolito Cocal
	NP1mj	Gurupi
	NP1gjr	Marajupema
	NP1gjr	Jaritequara
	PP2_gamma_ms	Granito Maria Suprema
	PP2_gamma_mo	Granito Moça
	PP2ch	Chega Tudo
	PP2chv	Formação Chega Tudo vulcânica
	PP2iv	Itapeva
	PP2ivx	Itapeva xisto
	PP2ia	Igarapé de Areia
Paleoproterozoico		
	PP2_gamma_cx	Microtonalito Garimpo Caxias
	PP2_gamma_nv	Granito Negra Velha
	PP23_alfa_ro	Vulcânica Rosilha
	PP2_gamma_t	Tromaí
	PP2_gamma_r	Rosário
	PP2_alfa_sj	Vulcânica Serra do Jacaré
	PP2_alfa_di	Rio Diamante
	PP2_gamma_pb	Granodiorito Piaba
	PP2au	Aurizona
	PP2aup	Pirocaua
	PP2aum	Matará
	PP2aur	Ramos

Quadro 2 – Coluna litoestratigráfica do Bioma Amazônia Maranhense – ZEE-MA

ÉON	ERA	PERÍODO	Ma	DOMÍNIO GEOLÓGICO		CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS		
F A N E R O Z O I C O	C E N O Z O I C O	Q U A T E R N Á R I O	H O L O C E N O	0,01	D E P Ó S I T O S Q U A T E R N Á R I O S	DEPÓSITOS DE MANGUES/APICUM	Sedimentos esverdeados escuros, argilosos e siltosos, lamosos, lodosos ricos em matéria orgânica, encharcados, sujeitos a dinâmica da maré.	
						DEPÓSITOS LITORÂNEOS	Sedimentos esbranquiçados, quartzosos, finos a muito finos, presentes no litoral maranhense ao longo das praias.	
						DEPÓSITOS EÓLICOS CONTINENTAIS	Sedimentos esbranquiçados, quartzosos, finos, bem selecionados, presentes nas dunas móveis e fixas ao longo do litoral maranhense.	
						DEPÓSITOS FLÚVIO-LAGUNARES E FLÚVIO-MARINHOS	Sedimentos cinzas escuros, argilosos, siltes a areias finas, ricos em matérias orgânicas, encontrados na região do Golfão Maranhense, nas planícies de inundações e lagos.	
						DEPÓSITOS ALUVIONARES, DEPÓSITOS EÓLICOS E LATERÍTICOS	Sedimentos esbranquiçados a avermelhados, finos a médios, quartzosos, com lateritas de tamanhos em mm, angulosas a subangulosas, presentes nos canais e barras fluviais.	
		NEOGENO			23	GRUPO BARREIRAS	Sedimentos e rochas inconsolidadas, amarelados a avermelhados, arenosos finos a argilosos, maciços por vezes mosqueados nítidos, com presença de lateritas concentradas ou dispersas.	
		PALEO G E N O			65,5	COBERTURA LATERÍTICAS MADURAS	São sedimentos concrecionários residuais ferruginosos angulosos a subangulosos, ocorrem geralmente no topo das chapadas e planaltos dissecados no sul do bioma amazônico maranhense.	
	M E S O Z O I C O	C R E T Á C E O			145	GRUPO ITAPECURU	FORMAÇÃO CUJUPE	São rochas avermelhadas a amareladas por vezes violáceas, com intercalações de arenitos, siltitos e argilitos (folhelhos), maciços e mosqueados com estratificações cruzadas.
							FORMAÇÃO ALCÂNTARA	São rochas avermelhadas a esbranquiçadas, com intercalações de arenitos, siltitos e argilitos (folhelhos) em acamamentos heterolíticos, centimétricos e sub-horizontais, estratificações cruzadas. Presentes no litoral maranhense.
							FORMAÇÃO CODÓ	São rochas amareladas, compostas por arenitos e argilas, com lentes de calcarenitos, maciças com finíssimas plaquetas de micas biotitas e inclusões escuras carbonosas.
							FORMAÇÃO GRAJAÚ	Composta por arenitos esbranquiçados, cremes, róseos, granulometria fina a média com estratificações paralelas e cruzadas.
							FORMAÇÃO CORDA	Constituída por uma sequência de arenitos de coloração cinza a avermelhada, fino a média, baixa a média consistência, com presença de conglomerados com estratificações planos-paralelas.
			JURÁSSICO			200	FORMAÇÃO MOSQUITO	Compreende os derrames basálticos de cor cinza escura, maciços, texturas afaníticas, aflorantes em blocos descontínuos intensamente intemperizados exibindo esfoliações esferoidais.
			TRIÁSSICO			251	FORMAÇÃO SAMBAÍBA	Formada por arenitos de colorações avermelhadas a esbranquiçadas, granulometria fina a média, maciça, consistência baixa a friável, com estratificações cruzadas.
			PALEOZOICO			542	FORMAÇÃO SERRA GRANDE	Composta por uma sequência de sedimentos esbranquiçados a cinzentos ou amarelados, arenitos finos, quartzosos, silticos-argilosos, folhelhos, maciços e as vezes mosqueados. Registra-se a presença de esmectita.
P R O T E R O Z O I C O	NEOPROTEROZOICO	TONIANO AO EDIACARANO		1000	CINTURÃO GURUPI	GRUPO GURUPI FORMAÇÃO PIRIÁ E ANFIBOLITO COCAL MAGMATISMOS OROGÊNICOS: GRANITO MARIA SUPREMA E MOÇA FORMAÇÃO CHEGA TUDO COMPLEXO METAMÓRFICO ITAPEVA	Conjunto de rochas sedimentares, metassedimentares do Grupo Gurupi, associadas às metavulcanossedimentares da Formação Chega Tudo e ao Complexo Metamórfico Itapeva (gnaisses, tonalíticos, granodioritos, granitos...) e Complexo Itapeva Xitos, associadas a um magmatismo orogênicos representados pelos granitos Maria Suprema e Moça. Registra-se a presença de mineralizações de ouro.	
						FORMAÇÃO IGARAPÉ DE AREIA MAGMATISMO OROGÊNICO: GRANITO VELHA NEGRA, UNIDADE VULCÂNICA ROSILHA SUÍTE INTRUSIVA TROMAÍ E ROSÁRIO, VULCÂNICA SERRA DO JACARÉ E FORMAÇÃO RIO DIAMANTE GRUPO AURIZONA	Compreende um conjunto de rochas metavulcanossedimentares (xistos, filitos, metachert, metavulcânicas e outros) e por vulcânicas. Registra-se a presença de mineralizações de ouro, principalmente ao longo dos veios de quartzos intensamente milonitizados.	
	PALEOPROTEROZOICO	RIACIANO		2300	CRÁTON SÃO LUÍS			

3.1 Unidades Litoestratigráficas Craton São Luís - Paleoproterozóico (2.300 - 1.800Ma)

O Cráton São Luís é formado por um conjunto de rochas vulcano-plutônicas constituídas por tonalitos, trondhjemitos, granodioritos (TTG), granitos, quartzo-andesitos, riolitos e dacitos da Suíte Intrusiva Tromai, e as metavulcanossedimentares do Grupo Aurizona, associadas aos granitoides e vulcânicas. A Suíte Intrusiva Tromai presente nos municípios de Carutapera, Luís Domingues, Godofredo Viana, Candido Mendes dentre outros representa o fragmento da placa tectônica (orógeno) que permaneceu no continente sul-americano após a separação entre América do Sul e a África durante a abertura do oceano Atlântico no Mesozoico (KLEIN; MOURA, 2008). O Grupo Aurizona constitui um conjunto de rochas metavulcanossedimentares de idade 2.240+/-5Ma (KLEIN; MOURA, 2001), representando as rochas mais antigas da região, intrudidas pelos granitoides da Suíte Tromai (Fotos 1 e 2) e por vulcânicas, nas quais se encontram as mineralizações de ouro (KLEIN et al., 2005; KLEIN et al., 2008; KLEIN, SOUSA, 2012). Essas rochas são portadoras de mineralizações de ouro, principalmente, ao longo dos veios quartzosos intensamente fraturados (Figura 2, Quadro 1).

A Suíte Intrusiva Rosário aflora como plútons no município de Bacabeira e Rosário, compreende um conjunto de granitoides representado por tonalitos, granodioritos intensamente cortados por veios e diques. Apresenta idade de 2139+/-22Ma (GORAYEB et al., 1999) correlacionáveis à Suíte Intrusiva Tromai. Essas rochas são utilizadas como britas e empregadas na construção civil (Fotos 3 e 4).

3.2 Cinturão Grupi – Neoproterozoico (1.000 a 542Ma)

O conjunto de rochas metassedimentares do Grupo Gurupi, metavulcanossedimentares da Formação Chega Tudo e Complexo metamórfico Itapeva, associadas a um magmatismo orogênico representado pelos granitos Maria Suprema e Moça (KLEIN, SOUSA, 2012) representa as rochas crustais mais antigas da Terra, associadas às rochas do Cráton São Luís. Essas rochas também são portadoras de mineralizações de ouro (Figuras 2 e 3, Quadro 1).

No garimpo Chega Tudo existe a presença das rochas xistosas, cortadas por veios quartzosos intensamente fraturados (milonitizados) e com direção preferencial NW/SE (Fotos 5 e 6).

As unidades pertencentes ao paleo e neoproterozoica (Cráton São Luís e Cinturão Gurupi) são, tipicamente, meios com porosidade de fissuras em rochas compactas. Seus produtos de intemperismo agem como camadas confinantes acima das rochas preservadas do embasamento, prevalecendo a natureza argilosa nesse meio confinante.

Figura 3 – Mapa de ocorrências minerais no Bioma Amazônico – ZEE-MA

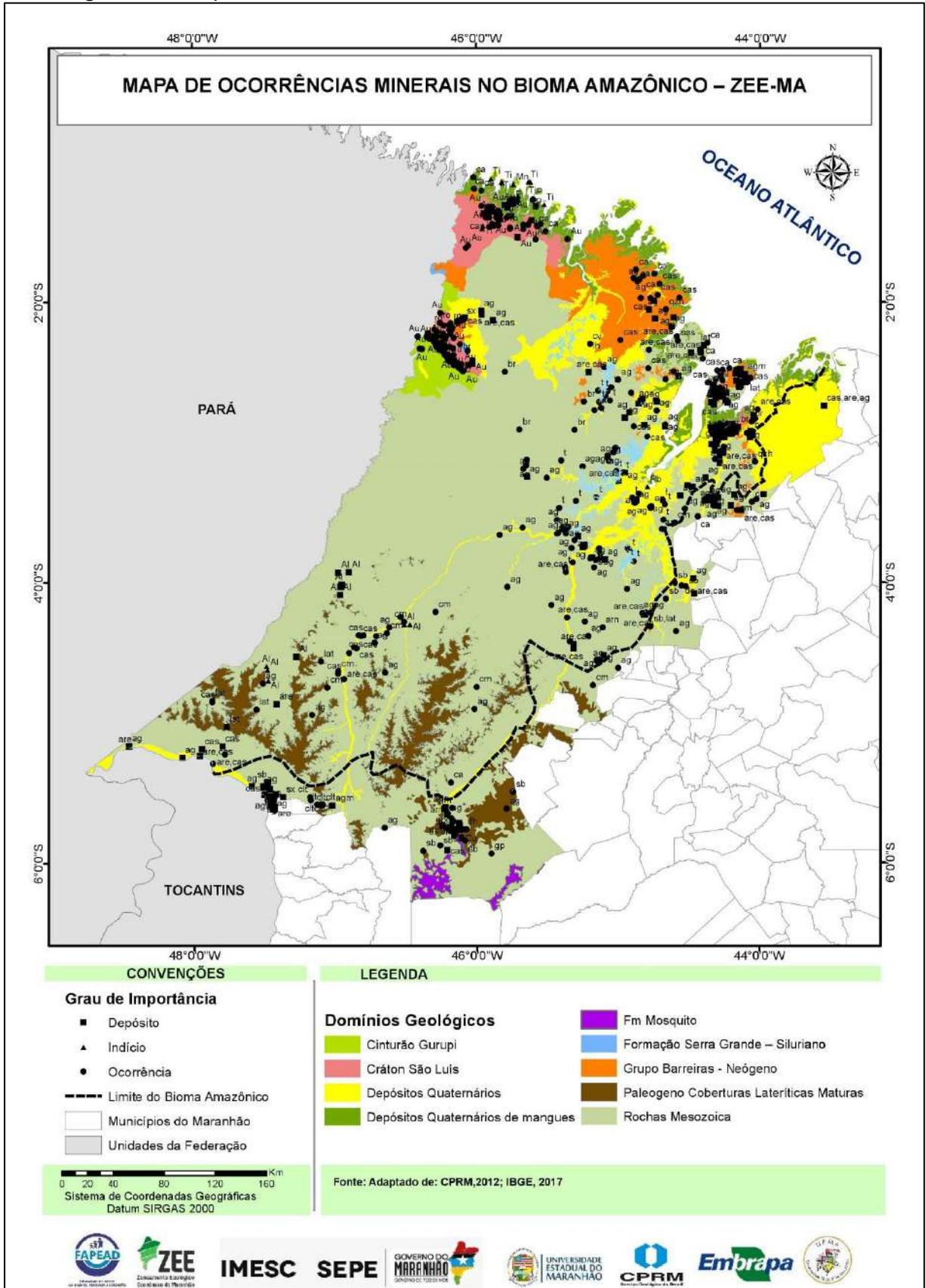


Foto 1 – Vista parcial das rochas intemperizadas da Suíte Intrusiva Tromai – Turiacu, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Foto 2 – Vista parcial do granitoide intemperizado Suíte Intrusiva Tromai, MA



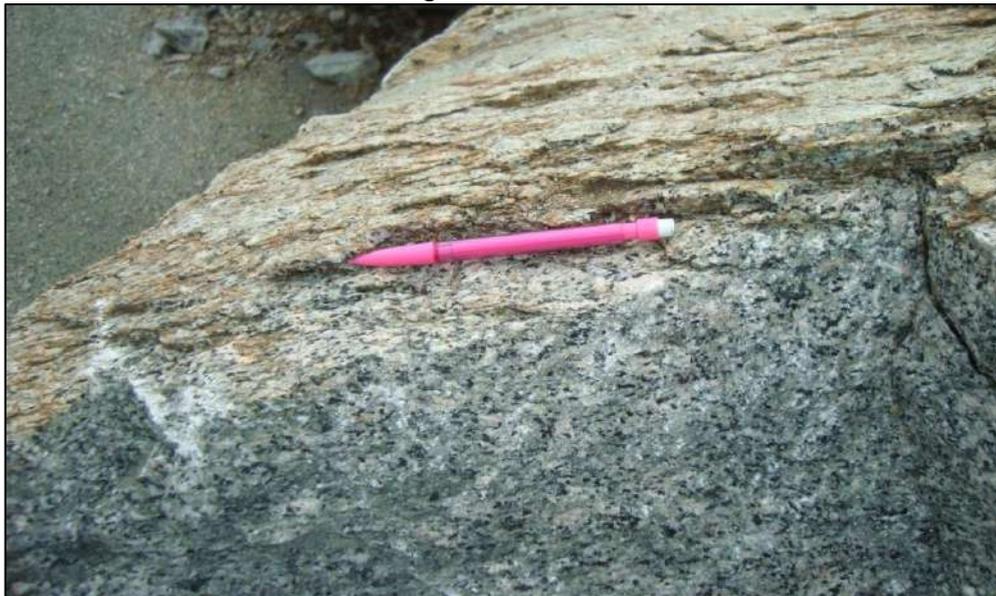
Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Foto 3 – Vista parcial do granitoide fraturado da Suíte Intrusiva Rosário, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Foto 4 – Vista de detalhe do granitoide da Suíte Intrusiva Rosário, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Foto 5 – Vista frontal de veio quartzito milonitizado cortando os xistos do Complexo Itapeva – Garimpo Chega-Tudo, Centro do Guilherme, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

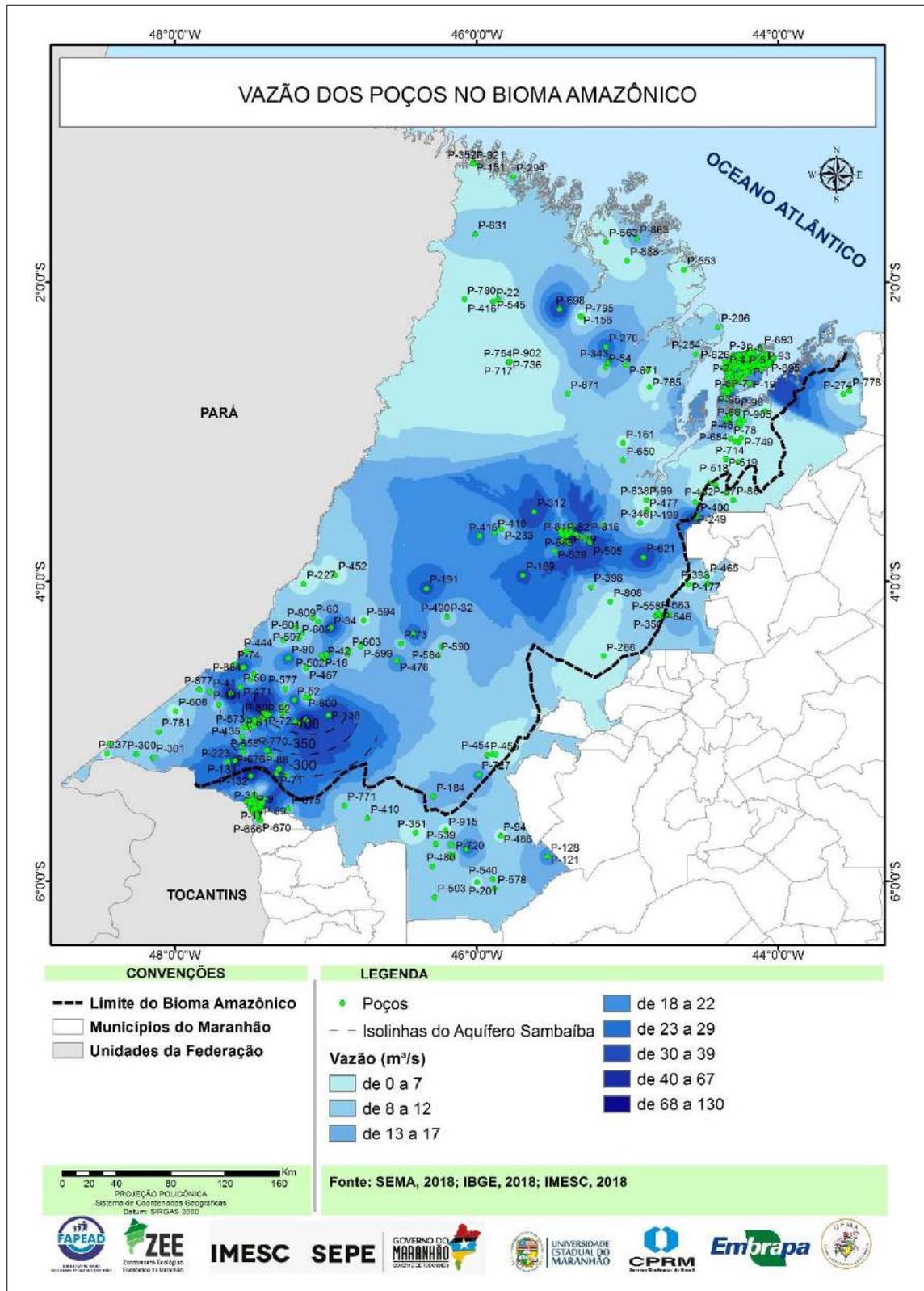
Foto 6 – Vista do veio quartzito milonitizado e estirado, cortando os xistos do Complexo Itapeva – Garimpo Chega-Tudo, Centro do Guilherme, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Conforme classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por Diniz (2012 apud MONTEIRO et al. 2013), a estimativa da produtividade aquífera Q/s ($m^3/h/m$) do aquífero fraturado no domínio da Suíte Intrusiva Tromaí apresenta pouca produtividade quando ($Q/s < 0,04m^3/h/m$), com a qualidade da água subterrânea geralmente salobra na área do Cráton São Luís (Figura 4).

Figura 4 - Mapa de tendência das vazões dos poços tubulares do Bioma Amazônia Maranhense – ZEE - MA



3.3 Grupo Serra Grande – Siluriano – 444Ma

O Grupo Serra Grande é composto pelas Formações Ipu, Tianguá e Jaicós, estudados por Carozzi et al. (1975), (CAPUTO; LIMA, 1984; GOES; FEIJÓ, 1994). Na área do bioma maranhense não foi possível individualizar essas formações. Essa sequência sedimentar, identificada por Klein e Lopes (2011), ocorre na divisa Pará/Maranhão e entre as cidades de Centro Novo do Maranhão e Centro do Guilherme em contato discordante erosivo com a Suíte Intrusiva Tromaí. Na área, esta sequência é composta por quartzito arenito fino, síltico-argiloso, folhelho, maciço e às vezes mosqueados, esbranquiçado a cinzento ou amarelado, moderadamente selecionado com grãos angulosos. Registra-se, ainda, a presença de esmectita, conforme Klein e Lopes (2011).

3.4 Formação Sambaíba – TRIÁSSICO – 251Ma

Nessa época, cerca de 251Ma a 65Ma, a Terra era povoada pelos grandes répteis, representados pelos dinossauros, crocodilos (existentes até hoje), pterossauros (voadores) e outros. O esqueleto de dinossauro do grupo saurópodes foi encontrado em Cajapió no norte do litoral Maranhense (Medeiros et al., 2015).

A Formação Sambaíba é formada por arenitos de coloração avermelhado a esbranquiçado, granulação fina a média, maciça, consistência baixa a friável, com estratificação cruzada. Esta formação é muito suscetível à erosão em forma de ravinas e voçorocas (Foto 7). Essa formação é afossilífera e com idade de deposição no Triássico com base nas intercalações de contato com os derrames basálticos da Formação Mosquito (KLEIN; SOUSA, 2012; LIMA; LEITE, 1978). Apresenta ocorrência ao longo das colinas intensamente dissecadas e encostas. Na área do bioma maranhense, ocorre na porção sul, nos municípios de Sitio Novo e Grajaú, na bacia do Parnaíba. E em subsuperfície o aquífero Sambaíba se encontra a uma profundidade de aproximadamente 300-400m próximos às cidades de Imperatriz, João Lisboa, Buritirana e Amarante do Maranhão (SOUZA, VERÍSSIMO; ARAÚJO,1990).

Destaca-se que o aquífero Sambaíba é o melhor aquífero do Maranhão. A estimativa da produtividade Q/s (m³/h/m) da água subterrânea, de acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por Diniz (2012 apud

Monteiro et al. 2013) é de produtividade alta ($2 < Q/s < 4,0 \text{ m}^3/\text{h/m}$) a muito alta ($Q/s > 4,0 \text{ m}^3/\text{h/m}$).

Foto 7– Vista parcial dos sedimentos avermelhados da Formação Sambaíba – Sítio Novo - Ma



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

3.5 Formação Mosquito – Mesozoico (Jurássico – 200Ma)

A Formação Mosquito compreende os derrames basálticos aflorante no rio homônimo, encontrados em blocos descontínuos intensamente intemperizados exibindo esfoliação esferoidal (Foto 8). Os derrames basálticos são de coloração cinza escura, verde escuro, maciços, textura afanítica com amígdalas preenchidas por carbonatos (SOUZA; VERÍSSIMO; ARAÚJO, 1990). Esta Formação não apresenta produtividade aquífera e estão presentes na região de Imperatriz, Sítio Novo, João Lisboa e Amarantes do Maranhão.

Foto 8 - Blocos de basaltos exibindo esfoliação esferoidal- Sítio Novo - Ma



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

3.6 Formação Corda – Mesozoico (JURASSICO 200Ma)

A Formação Corda é constituída de sequência de arenitos de coloração cinza a avermelhada, fino a médio, baixa a média consistência, com presença de conglomerados bem arredondados (mm a cm) com estratificação plana-paralela. Esses arenitos formam os chapadões dissecados com altitudes de 350 a 500m. Destaca-se que a intensa Laterização sustenta os topos dos chapadões (Foto 9).

Esta unidade recobre discordantemente os basaltos da Formação Mosquito e seu contato superior é discordante com a Formação Grajaú, Codó e Itapecuru, conforme Lima e Leite (1978), Klein e Sousa (2012) e trabalhos de campo. O sistema deposicional desta sequência é interpretado como desértico e contribuições lacustre interdunas e fluvial (CAPUTO, 1984; REZENDE, 2002 apud KLEIN E SOUSA, 2012).

A estimativa da produtividade aquífera de acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por Diniz (2012 apud Monteiro et al., 2013) para o aquífero Corda indicou produtividade Geralmente Baixa, porém Localmente Moderada (*Classe 4*) com vazão $10 < Q < 25 \text{ m}^3/\text{h}$.

Em geral, suas águas são carbonadas a cloretada sódica, boas para consumo humano e agricultura, conforme Souza, Veríssimo e Araújo (1990).

Foto 9 – Vista parcial da encosta da chapada – Formação Corda - Mirador



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

3.7 Formação Grajaú – MESOZOICO (CRETÁCEO – 145MA)

Esta formação é composta por arenitos esbranquiçados, creme, róseos e raramente arroxeados, granulação fina a média, com estratificação plana paralela e cruzada. Ocorrem na margem direita do rio Tocantins e sul de Imperatriz. Apresenta contato interdigitados com a Formação Codó, indicando deposição sincrônica próximas em ambientes flúvio deltaicos, conforme Lima e Leite (1978).

A estimativa da produtividade aquífera de acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por Diniz (2012 apud Monteiro et al. 2013) para o aquífero livre Grajaú indicou produtividade Geralmente Baixa, porém Localmente Moderada (Classe 4) a Geralmente Muito Baixa (Classe 5) com vazão variando de $1 < Q < 25 \text{ m}^3/\text{h}$.

3.8 Formação Codó – Mesozoico (Cretáceo – Aptiano)

As rochas da formação Codó são constituídas por arenito fino e argila, de cor amarelado a esbranquiçado, com lentes de calcarenitos, com micas biotitas em lâminas pequeníssimas e inclusões escuras carbonosas. Aflora ao longo da margem direita do Rio Tocantins (Figura 2, Fotos 10 e 11). As rochas apresentam suscetibilidade à erosão e ao deslizamento e possuem potencialidades para minerais minérios de emprego direto na construção civil como areia, argila e piçarra. Registram-se ocorrências e depósitos de calcário e gipsita nesta formação geológica (Figura 3).

A estimativa da produtividade Q/s ($m^3/h/m$) da água subterrânea, de acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por Diniz (2012 apud Monteiro et al. 2013) é muito baixa ($0,04 < Q/s < 0,4 m^3/h/m$) e localmente baixa ($0,4 < Q/s < 1,0 m^3/h/m$) com espessura média de 70m (Figura 4).

Foto 10 – Vista parcial dos sedimentos argiloso-arenosos da Formação Codó – Margem do Rio Tocantins – Imperatriz, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

Foto 11 – Sedimentos argiloso-arenosos com tons esbranquiçados da Formação Codó – Margem do Rio Tocantins – Imperatriz, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

3.9 Grupo Itapecuru – Mesozoico (Cretáceo – Albiano)

Os arenitos aflorantes entre os rios Itapecuru e Alpercatas foi descrito inicialmente por Lisboa (1914). O Grupo Itapecuru é uma das unidades com maior distribuição espacial no Maranhão e compreende as Formações Cujupe, Alcântara e Unidade Indiferenciada conforme Rossetti; Truckenbrodt (1997); Rossetti (2001).

A Formação Cujupe compreende uma sequência de intercalação de arenitos, siltitos e argilitos avermelhados a amarelados, por vezes violáceos, maciços e mosqueados com estratificações plano-paralelas e cruzadas (Fotos 12 e 13). Essas rochas foram depositadas de forma discordante sobre as rochas da Formação Codó. Na Ilha do Maranhão, essas rochas afloram na porção oeste, na área Itaqui-Bacanga e outras (PEREIRA, 2006).

Nas proximidades de Buriticupu a Imperatriz, têm-se os planaltos dissecados de siltitos e arenitos finos, avermelhados maciços com conglomerados bem arredondados, em porções ora concentradas ora difusas, e, às vezes, desenvolvendo lentes centimétricas a métricas, principalmente ao sul do Maranhão. A laterização é um processo importante nessa formação e se apresenta entre os estratos em forma de “linha de pedras” ou em forma difusa no topo e na porção média das colinas e tabuleiros dissecados (Figura 2).

Foto 12 – Sedimentos avermelhados maciços no topo e silto-argiloso mosqueado na base do afloramento – Governador Nunes Freire, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

Foto 13 – Siltito-arenoso avermelhado, maciço da Formação Cujupe – Buriticupu, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

A Formação Alcântara compreende uma seqüência de siltito, arenito e folhelho em acamamentos heterolíticos, centimétricos e sub-horizontais, aflorantes na Praia da Baronesa em Alcântara (Figura 2, Foto 14).

Foto 14 - Vista parcial dos acamamentos subhorizontal de siltitos, arenitos e folhelho intercalados – Falésia da Baronesa – Formação Alcântara, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

O ambiente reinante na época de sua deposição está representado por canal de maré, preenchimento de baía estuarina, planície de areia e delta de maré. O sistema estuarino era dominado por ondas, composto por barras de desembocaduras fluviais e prodelta conforme Rossetti (2001).

As rochas dessas formações geológicas são suscetíveis a processos erosivos como voçorocas e deslizamentos e possuem potencialidades para minerais minérios de emprego direto na construção civil como areia, argila, laterita e piçarra (Figura 3). Destaca-se que a região da baixada maranhense, São Luís e Alcântara são áreas potenciais como polo cerâmico, sendo necessário maior detalhamento e estudos na caracterização e cubagem das argilas (Figura 3).

O aquífero Itapecuru ocorre como aquífero livre ou semi-confinado, em decorrência da sua composição litológica formada por arenitos finos a muito finos, predominantemente argilosos, com intercalações de siltitos e argilitos. Pode ser classificado como de potencial hidrogeológico de fraco a médio, com vazões variando entre 5,0 a 12,0 m³/h, podendo, em alguns casos, atingir mais de 20,0m³/h (RODRIGUES et al.,1994). Trata-se de um aquífero poroso, contínuo, livre a semiconfinado, de grande extensão regional, espessura média de 130m, sendo o

aquífero mais explorado no Maranhão, em decorrência de grande área de ocorrência, tipologia livre e espessura (Figura 4).

De acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por Diniz (2012 apud MONTEIRO et al., 2013), o aquífero Itapecuru apresenta produtividade Moderada ($1,0 < Q/s < 2,0 \text{ m}^3/\text{h/m}$), variando para Baixa ($0,4 < Q/s < 1,0 \text{ m}^3/\text{h/m}$), porém, Localmente Moderada em decorrência de sua litologia areno-argilosa, principalmente na região central do estado.

Em geral, suas águas são boas para consumo humano e adequadas para agricultura, apresentando média de $230 \mu\text{S}/\text{cm}$ para condutividade elétrica (CE) e de $147 \text{ mg}/\text{L}$ para sólidos totais dissolvidos (STD), conforme (COLARES; ARAÚJO, 1990). Os projetos construtivos de poços tubulares, notadamente para o abastecimento público, adotam profundidades superiores a 150 metros como forma de compensar os grandes rebaixamentos ocorrentes na busca de vazões cada vez mais elevadas (Figura 4).

As águas subterrâneas geralmente apresentam alto teor de ferro, que representa uma contaminação natural em decorrência do Grupo Itapecuru aportar altos teores desse metal, o que exigirá a adoção de processo de tratamento anterior à distribuição das águas subterrâneas para consumo humano e animal.

3.10 Cobertura Laterítica Madura e Grupo Barreira – Paleógeno (65,5Ma) AO NEÓGENO (23Ma)

As Coberturas Lateritas Maturas são coberturas residuais e concrecionárias dos tipos aluminosa, bauxítica, caulínica, fosfática, argilosa e ferruginosa (KLEIN; SOUSA, 2012). Ocorrem nos topos das chapadas e planaltos dissecados da Serra de Tiracambu no sul do bioma maranhense e representam as áreas de recargas de aquíferos em decorrência da macroporosidade fornecida pelas lateritas de tamanhos variados (mal selecionada). São importantes áreas de recarga do aquífero Barreiras e por infiltração (drenança) vertical alimenta os aquífero Itapecuru, Corda e Sambaíba e são responsáveis pela surgência de várias nascentes que drenam para os rios maranhenses (Foto 15).

Na Amazônia, os minerais mais frequentes nas lateritas maturas são: caulinita, quartzo, goethita aluminosa, gibsita e fosfatos aluminosos. Destacam-se ocorrências

de lateritas fosfáticas estroncíferas em Trauíra e Pirocaua; lateritas titanífero, em Jacaré e lateritas manganésifera, em Aurizona (COSTA, 1991).

Foto 15 – Vista do topo do tabuleiro dissecado intensamente laterizado – estrada Arame-Grajaú – Ma



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Os sedimentos inconsolidados do Grupo Barreiras são amarelados e avermelhados, arenosos finos a argilosos, maciços e por vezes mosqueados, com presença de lateritas concentradas ou dispersas (Fotos 16 e 17). São depositadas discordantemente sobre os sedimentos do Grupo Itapecuru. Esses sedimentos têm abrangência em todo o Bioma Amazônico Maranhense, principalmente, nas áreas ao norte do estado do Maranhão.

O Grupo Barreiras caracteriza-se por uma expressiva variação faciológica com intercalações de níveis mais e menos permeáveis, em consequência, suas características hidrodinâmicas variam de ponto a ponto, dependendo do contexto hidrogeológico local, com as possibilidades hidrogeológicas desse aquífero, estando restritas às fácies arenosas, normalmente inseridas em sequências argilosas. As vazões predominantes são inferiores a $2,0\text{m}^3/\text{h}$, porém, algumas áreas podem apresentar vazões bem superiores (máximas de $10,0\text{m}^3/\text{h}$), quando os poços tubulares captam água dos estratos inferiores mais arenosos.

De acordo com a classificação de Struckmeier e Margat (1995), modificada por Diniz (2012 apud MONTEIRO et al., 2013), o aquífero Barreiras apresenta

produtividade Moderada ($1,0 < Q/s < 2,0 \text{m}^3/\text{h}/\text{m}$) a geralmente baixa ($0,4 < Q/s < 1,0 \text{m}^3/\text{h}/\text{m}$), porém Localmente Moderada. Esse aquífero apresenta uma significativa variação textural sendo caracterizado como heterogêneo e livre. Apresenta uma espessura média de 60 metros e representa um aquífero livre. Na Ilha do Maranhão, na bacia do Rio Paciência próximo à Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) e Cidade Operária, estes sedimentos alcançam até 77m de espessura (SANTOS; PEREIRA, 2019), e na bacia do Rio Anil, na área do Outeiro da Cruz, o Grupo Barreiras alcançou 76m de espessura (RIBEIRO, PEREIRA, 2019).

Esses sedimentos são muito suscetíveis à erosão em forma de ravinas e voçorocas e possuem potencialidades minerais como fonte de insumo de areia e laterita para emprego direto na construção civil.

Foto 16 - Sedimentos arenosos intensamente ravinados do Grupo Barreiras – Maracaçumé, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Foto 17- Sedimentos areno-argiloso avermelhado com laterita do Grupo Barreiras – Via Expressa – São Luís, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

3.11 Depósitos Quaternários

Os depósitos recentes do período Quaternário encontrados no Bioma Amazônico Maranhense são depósitos de mangue/apicum, litorâneos (praias/dunas), eólicos continentais, flúvio lagunares/flúvio-marinhos, aluvionares, eólicos e lateríticos.

3.12 Depósitos de Mangues/Apicum - Quaternário

Os depósitos de mangues são encontrados em toda a zona costeira maranhense, do município de Carutapera a Humberto de Campos, desenvolvem-se em ambiente estuarino, sujeito a inundações periódicas pelas mesos e macromarés, podendo atingir até 7 metros de amplitude, e por águas doces provenientes dos rios que dão origem às águas salobras (Foto 18).

Foto 18 - Vista parcial da planície de maré – Apicum Açú, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

Os depósitos de mangue apresentam coloração esverdeada escura, sedimentos argilosos e siltosos, lamosos, lodosos, ricos em matéria orgânica e se encontram permanentemente encharcados, sujeitos à dinâmica da maré. Trata-se de uma área que representa um “berçário ecológico” por abrigar uma rica variedade de espécies de fauna e flora (biodiversidade), representando alto potencial pesqueiro de peixes e mariscos, além de relevante beleza cênica (Fotos 19 e 20).

As áreas de mangues são atingidas por intenso desmatamento para o uso da madeira, aterramento e/ou assoreamento, contaminação por esgoto *in natura*, ocupações espontâneas e outras. Destaca-se que as áreas de mangues possuem a função ecológica de manter a integridade ambiental da faixa costeira, são responsáveis pela manutenção de diversas atividades econômicas e são protegidas pela Lei Federal nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012).

Os depósitos de mangue apresentam uma constituição, predominantemente, pelítica (argila e silte) e matéria orgânica, com permeabilidade fraca e, por isso, caracterizam-se como um aquífero, cujo potencial hidrogeológico é extremamente fraco.

Foto 19 - Vista parcial da planície de maré em Alcântara, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

Foto 20- Vista parcial da planície de maré - Porto das Arraias – São Luís, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019).

3.13 Depósitos Litorâneos - Quaternário

Os depósitos litorâneos são encontrados no litoral Maranhense nas praias da zona costeira maranhense como as Praias do Olho D'água a Panaquatira, na Ilha do Maranhão; Praia da Baronesa e Mamuna, em Alcântara; Praia de Carutapera, na Ilha dos Lençóis; Bate Vento (Cururupu); Praia de Quaxanduba (Icatu) e outras (Fotos 21 e 22).

Foto 21 – Vista parcial das praias de Alcântara, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

Foto 22 – Vista parcial da praia com suave declividade para o interior da Baía de São Marcos - Farol de São Marcos - São Luís, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

3.14 Depósitos Eólicos Continentais - Quaternário

São depósitos arenosos encontrados na zona costeira, formados por areias esbranquiçadas, granulometria fina a muito fina, quartzosas, bem selecionadas que ocorrem na faixa costeira. São constituídos por dunas móveis e fixas, originadas pela dinâmica dos ventos alísios de nordeste principalmente sob a influência das ondas e marés (Fotos 23, 24 e 25).

Trata-se de uma área de uso público em que se desenvolvem várias atividades turísticas, ecoturismo e pesca. As dunas são depósitos de areias formadas pela ação dos ventos, podendo ser fixas, quando protegidas pela vegetação, ou móveis, quando mudam de lugar conforme a direção e intensidade dos ventos, principalmente, os alísios de nordeste. As dunas são excelentes armazenadoras de água da chuva, tornando-se áreas de recarga de aquíferos. Esses serviços ecológicos são responsáveis pela sustentação e permanências das comunidades residentes nas ilhas dos Lençóis, Bate Vento, Jaú, Baleia e outras. Devido à excelente facilidade de infiltração de água no solo, as dunas tornam-se suscetíveis à poluição da água subterrânea quando atingida por soluções poluentes de origem diversas.

Foto 23 – Vista parcial das dunas fixas – Praia de São Marcos – São Luís, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

Foto 24 – Vista parcial das dunas fixas – Alcântara – Praia Mamuna – Alcântara, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Foto 25 – Vista parcial das dunas fixas – Ilha dos Lençóis – Cururupu, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

3.15 Depósitos Flúvio-Lagunares/Flúvio-Marinho-Quaternário

Os depósitos flúvio-lagunares são formados por sedimentos argilosos, silte e areia fina de coloração cinza escura, rica em matéria orgânica. Encontram-se nas áreas da região do Golfão Maranhense (Perizes) e da Baixada Maranhense nas planícies de inundação dos lagos de Cajari, Penalva, Viana, Monção e outros. Essas áreas recebem contribuição da água dos rios, água subterrânea e das chuvas da região e, geralmente, apresentam vegetação herbáceas e gramiformes.

Destacam-se por suas belezas cênicas e potencialidades para o desenvolvimento do turismo e ecoturismo. Estas áreas são muito férteis, com potencialidade pesqueira, criação de búfalos e realização de plantios de curta duração como arroz, algodão e melancia (Fotos 26, 27 e 28).

Foto 26 – Vista parcial da planície de inundação flúvio-marinha – Perizes – Bacabeira, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Foto 27 – Vista parcial da planície de inundação com plantio de arroz - Lago Viana, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Foto 28 – Vista parcial da planície de inundação do Rio Pericumã – Pinheiro, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

4 DEPÓSITOS ALUVIONARES, DEPÓSITOS EÓLICOS E LATERÍTICOS – QUATERNÁRIO

Os depósitos aluvionares, eólicos e lateríticos são formados por sedimentos de coloração esbranquiçadas e avermelhados, finos a médios, quartzosos, com presença de lateritas centimétricas e milimétricas, angulosa a subangulosas (Fotos 29, 30 e 31). Originam-se pelas atividades dos rios, compreendendo fácies de canal e barras de canal fluvial (VEIGA JUNIOR, 2000).

Esses depósitos são geralmente encontrados ao longo das margens dos rios maranhenses como Rios Maracaçumé, Pindaré, Mearim, Itapecuru e outros. Essas áreas são utilizadas para extração mineral, lazer, ecoturismo e pesca.

Os depósitos flúvio lagunares, quando associados aos depósitos de praias e dunas, e os depósitos aluvionares, com uma constituição litológica mais arenosa (areia e silte), apresentam uma permeabilidade regular, caracterizando um potencial hidrogeológico de fraco a médio.

Os problemas ambientais geralmente encontrados são assoreamento, erosão das margens e contaminação por efluentes domésticos e metais pesados, principalmente nas áreas de garimpos.

Foto 29 – Vista parcial do Depósito de Aluvião – Rio Pindaré, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

Foto 30 – Vista parcial dos aluviões do Rio Pindaré – Bom Jesus das Selvas, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

Foto 31 – Vista parcial dos aluviões do Rio Maracaçumé, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

5 GEOMORFOLOGIA

5.1 Procedimentos do Mapeamento Geomorfológico

A geomorfologia do Bioma Amazônico no estado do Maranhão foi caracterizada, abordando os aspectos morfológicos e morfométricos da área em análise (macro e microformas, declividade e hipsometria), bem como a descrição da morfodinâmica (processos geomorfológicos), atuantes sobre as formas de relevos identificadas (movimentos de massa existentes, acumulação flúvio-marinha), com o mapeamento das áreas de ocorrência e/ou suscetibilidade a inundações e aos processos erosivos e/ou deposicionais.

O enfoque da descrição dos aspectos geomorfológicos foi realizado com base nas feições geológicas identificadas, permitindo simplificação e objetividade na apresentação de todas as grandes unidades e subunidades geomorfológicas na área do citado bioma, as quais foram interpretadas com base nos seguintes produtos: imagens de satélites (alta e média resolução), fotografias aéreas, cartas topográficas, mapas geológicos, hidrogeomorfológicos e geomorfológicos, na melhor escala disponível.

- **Atividades de Pré-campo**

Consistiu na seleção e consulta do material bibliográfico, cartográfico e das imagens de satélites e de radar existentes da área em análise. Concomitantemente, foi realizada a interpretação das imagens orbitais (média resolução), objetivando a identificação e adaptação dos principais domínios morfoestruturais e morfoescuturais (geomorfológicos), formas ou unidades geomorfológicas através das análises qualitativas e quantitativas, bem como dos respectivos processos erosivos e/ou deposicionais identificáveis nas referidas imagens e nas observações realizadas durante os trabalhos de campo.

- **Atividade de campo**

Em campo foram obtidos pontos de controle para o georreferenciamento das principais feições, bem como das imagens utilizadas. Realizou-se também a coleta de sedimentos para realização das análises sedimentológicas (texturais) e respectivo levantamento fotográfico.

As atividades de campo foram realizadas nos dias: 27/04 a 01/05/2018, 16/05 a 21/05/2018, 16 /06 a 20/06/2018, 06/07/2018 a 10/07/2018 e 21/07 a 27/07/2018 para subsidiar os referidos mapeamentos com dados e informações, bem como dirimir as dúvidas oriundas das interpretações realizadas no laboratório de geoprocessamento.

Os principais materiais e equipamentos utilizados durante os trabalhos de campo foram: cartas planialtimétricas, mapas e imagens de satélites, altímetros, bússola e martelo de geólogo, GPS, telêmetro, ficha de campo e máquina fotográfica.

- **Atividades de Laboratório**

Em laboratório foram realizadas a seleção e aquisição das imagens de satélites (alta e média resolução) e das imagens de radar. Posteriormente, realizou-se o georreferenciamento das imagens (Sistema de Coordenadas UTM/ Datum Sirgas 2000). Em seguida foram obtidos os shapes do IBGE e da CPRM nos sites oficiais para o início da elaboração das cartas preliminares de: geomorfologia, hipsometria, declividade e da vulnerabilidade à ocorrência de processos erosivos na escala de 1:250.000.

No laboratório de Geologia Costeira foram preparadas as amostras de rochas e sedimentos para os devidos tratamentos e posterior análise, conforme apresentada no decorrer deste relatório final da pesquisa. O software utilizado foi o ArcGIS, versão 10.5 (ENT-ES-0006-17 IMESC - 0117) em conjunto com software Qgis Versão 3.0 Girona, para organização, processamento e gerenciamento dos dados e informações dos aspectos geológicos e geomorfológicos da área do Bioma Amazônia no estado do Maranhão

- **Atividade de Escritório**

No escritório foram tabulados e analisados todos os dados e informações obtidos durante as diferentes etapas de trabalho, visando a elaboração dos textos dos relatórios parciais e final do citado Zoneamento Econômico-Ecológico do Bioma em questão.

5.2 Considerações Sobre o USO de Conhecimentos Geomorfológicos em Pesquisas de Interesse para o Estado do Maranhão

As considerações sobre campos científicos como a Geomorfologia, a Geologia e o Geoprocessamento devem abranger, em princípio:

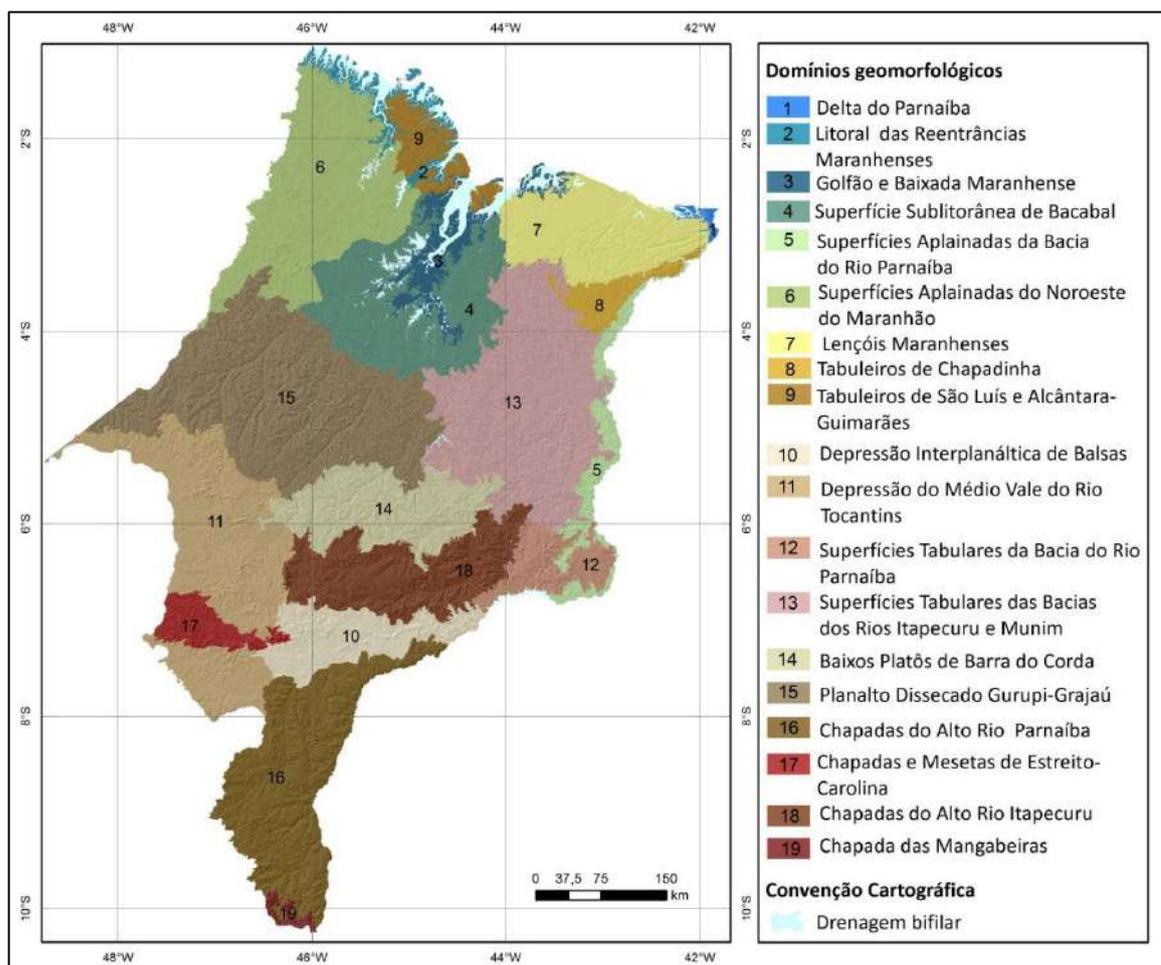
- os conceitos criados a partir de imagens e ilações identificadoras da origem e peculiaridades dos fenômenos estudados;
- os métodos, ou seja, caminhos, estratégias adotadas para ganhar conhecimento sobre a natureza e relacionamentos dos fenômenos estudados;
- as técnicas que são os procedimentos de contato e interpretação utilizados nas investigações sobre fenômenos constatados. São, por definição, geradores de documentação dos resultados obtidos.

O termo Geomorfologia presta-se a uma análise esclarecedora do alcance e validade da pesquisa geomorfológica. Uma decomposição do termo pode ser feita em três partes. Assim, Geo significa que as entidades identificadas fazem parte das irregularidades flagrantes da superfície sólida do planeta, a crosta terrestre. Morfo é um termo que caracteriza o uso da configuração da entidade, de sua forma, como elemento básico de sua identificação taxonômica. E finalmente, logia é o termo que indica criação e sistematização do conhecimento sobre a origem e a evolução das entidades pesquisadas.

7 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DO BIOMA AMAZÔNIA MARANHENSE

A identificação dos domínios e unidades geomorfológicas do Bioma Amazônia Maranhense foi baseada no trabalho de Dantas et al., (2013), o qual identificou 19 domínios geomorfológicos (Figura 5) para o estado do Maranhão, sendo que no bioma em questão destacam-se os seguintes domínios: Litoral das Reentrâncias Maranhenses, Golfão e Baixada Maranhense, Superfície Sub-Litorânea de Bacabal, Superfícies Aplainadas do Noroeste do MA, Lençóis Maranhenses, Tabuleiros de São Luís e Alcântara-Guimarães, Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins e Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú.

Figura 5 - Domínios geomorfológicos propostos para o estado do Maranhão



Fonte: Dantas et al. (2013)

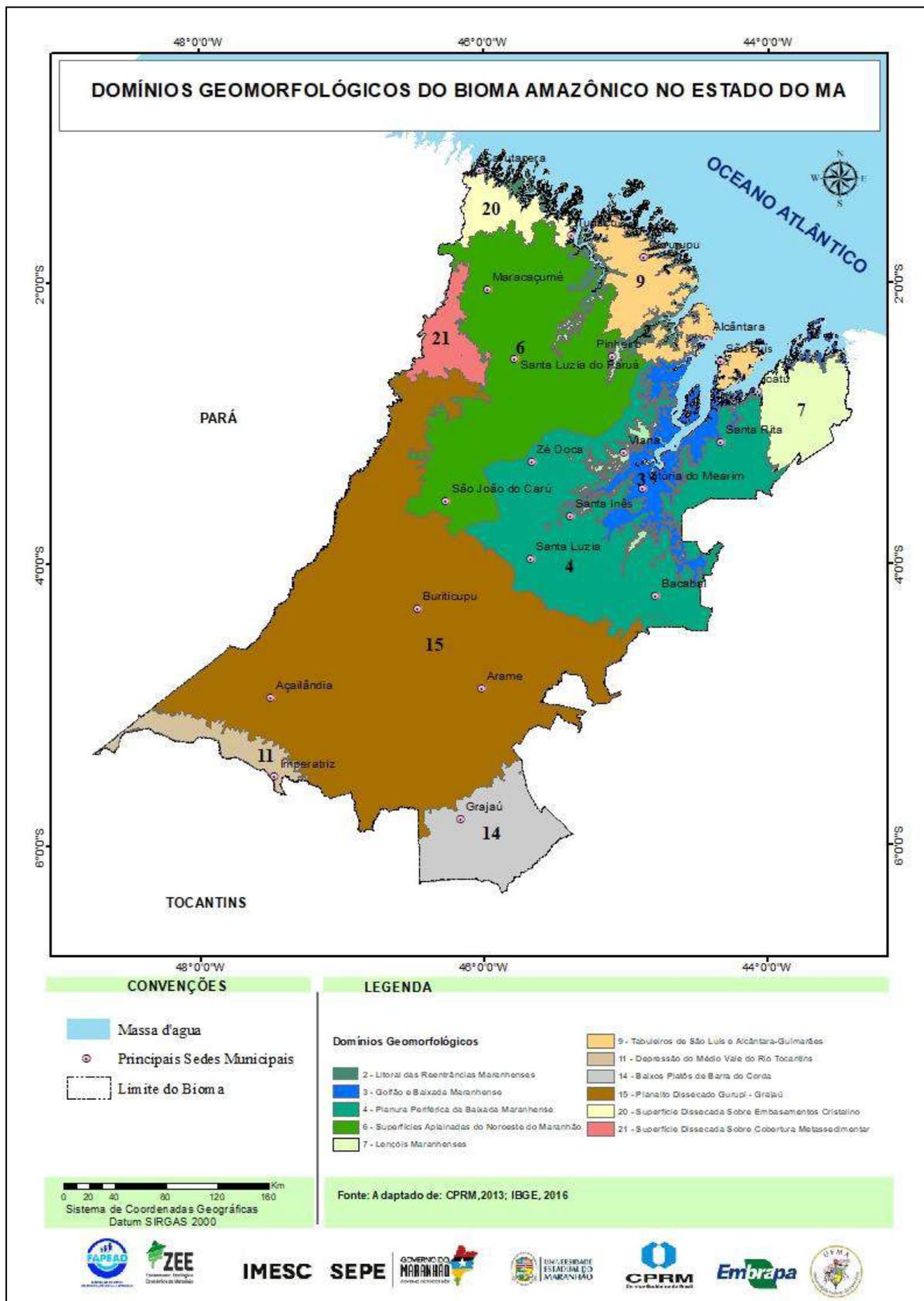
No mapeamento do relevo do Bioma da Amazônia Maranhense, foram realizados seis trabalhos de campo que totalizaram 22 dias, também foram realizadas

consultas a diversas publicações sobre os aspectos geomorfológicos do Maranhão (livros, teses, dissertações e artigos científicos), com destaque para os mapeamentos realizados pelo Projeto RADAM (1976), IBGE (2011) e CPRM (2013). Posteriormente foram utilizadas as imagens Landsat-8 (resolução espacial de 15m), World View 2 (Resolução 0,30cm) e dados de elevação do SRTM - Shuttle Radar Topographic Mission, com resolução espacial reamostrada de 30m, objetivando a identificação, a classificação e a descrição do relevo da área em análise e a respectiva elaboração das cartas temáticas anteriormente mencionadas.

A partir do trabalho de mapeamento dos domínios e unidades geomorfológicas do Estado do Maranhão executado pela CPRM (2013) sob responsabilidade do Geógrafo Marcelo Eduardo Dantas, foi possível realizar maior detalhamento quanto aos domínios e unidades geomorfológicas no que se refere ao bioma em questão. Tais alterações, quanto a referida classificação e seus respectivos limites ocorreram devido ao aumento da escala de trabalho utilizada, 1:250.000, o que possibilitou ressaltar maiores detalhes, os quais foram discutidos entre os membros desta equipe de trabalho com o coordenador técnico da equipe de geomorfologia da CPRM em reuniões de trabalho realizadas no Rio de Janeiro.

Desta forma, o território do Bioma da Amazônia Maranhense foi compartimentado em 11 domínios geomorfológicos, a saber: Litoral das Reentrâncias Maranhenses, Golfão e Baixada Maranhense; Planura Periférica da Baixada Maranhense; Superfícies Aplainadas do Noroeste do Maranhão; Lençóis Maranhenses; Tabuleiros Costeiros de São Luís e Alcântara-Guimarães; Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins; Baixos Platôs de Barra do Corda; Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú; Superfície Dissecada Sobre Embasamento Cristalino e Superfície Dissecada Sobre Cobertura Metassedimentar (Figura 6).

Figura 6 - Domínios geomorfológicos propostos para o estado do Maranhão



Fonte: Adaptado de Dantas et al. (2013)

Destes 11 domínios a Superfície Sub-Litorânea de Bacabal teve sua nomenclatura substituída por Planura Periférica da Baixada Maranhense, pois no entender da equipe tal nomenclatura tipifica de maneira mais objetiva o relevo existente neste domínio. Entende-se que essa denominação de Planura Periférica da Baixada Maranhense não desqualifica a proposta por Ab' Saber (1961) que identificou essa área como sendo a Superfície Sub-Litorânea de Bacabal, apesar da citada cidade está situada na extremidade SW da planura em questão.

Além desta substituição outros dois domínios foram criados a partir da Superfícies Aplainadas do Noroeste do Maranhão com as denominações de Superfície Dissecada Sobre Embasamento Cristalino e a Superfície Dissecada Sobre Cobertura Metassedimentar, devido a estruturação direcional NW da litologia e das formas de relevo.

Apresenta-se uma descrição sobre os domínios geomorfológicos e suas respectivas unidades (feições geomorfológicas) reconhecidas no Bioma Amazônico no estado do Maranhão, as quais possuem padrões de respostas espectrais e variações topográficas distintas, conforme dados a seguir.

- **Litoral das Reentrâncias Maranhenses**

Diferentemente das demais costas do mundo dominadas por lama (silte+argila), as Reentrâncias Maranhenses exibem, em suas rias, uma dominância que não é manifestada por grandes sistemas fluviais. Nesta costa, os sistemas fluviais foram instalados a partir do término da Transgressão Marinha Pós-Glacial (TMP), drenando e lixiviando formações geológicas predominantemente siltosas (Grupo Itapecuru) que ampliaram a disponibilidade de lama, tornando esta costa uma clássica costa dominada por lama. Aliado a isto, quase a totalidade do material em suspensão aportado pela Margem Equatorial Brasileira sofre um desvio impulsionado pela Corrente Norte Brasileira, encontrando nas rias destas reentrâncias um propício sítio de deposição. Estes fatores somados a uma pequena declividade da plataforma, um elevado índice pluviométrico e um regime dominado por macro-maré e uma tendência de queda do Nível Relativo do Mar (NRM) nos últimos 7.000 anos A.P. fazem desta localidade uma das mais expressivas costas lamosas do mundo, colonizadas por uma exuberante vegetação de mangue (Foto 32), tornando-a uma costa significativamente piscosa e com elevado potencial para o desenvolvimento de atividades pesqueiras e turísticas.

Foto 32 – Vista da exuberante vegetação de mangue existente no município de Apicum-Açu nas Reentrâncias Maranhenses

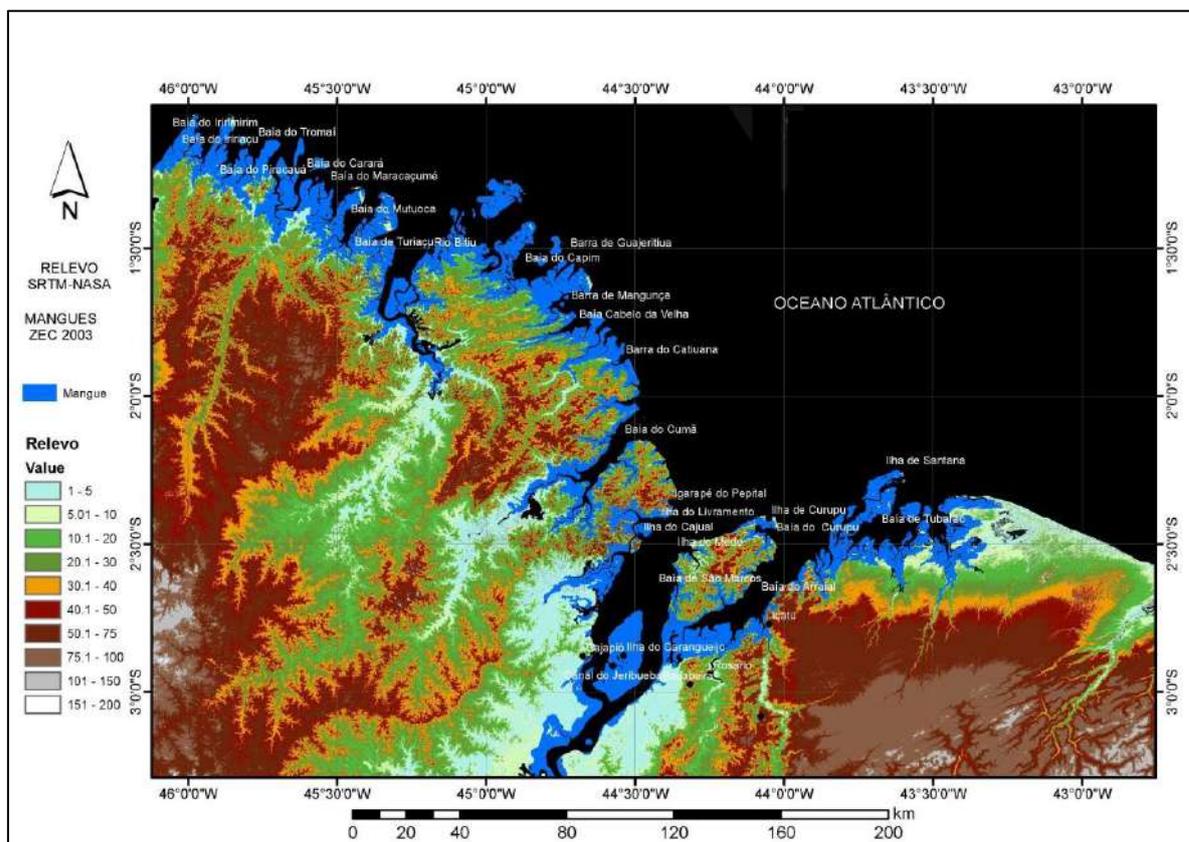


Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

As Reentrâncias Maranhenses são basicamente compostas de terras baixas (0-5m) inundáveis, com predominância de sedimentos terciários, pleistocênicos e holocênicos cuja morfologia é típica de uma costa deposicional, sendo dominada por extensas planícies de maré lamosa, com ou sem vegetação de mangue, praias arenosas, dunas costeiras móveis e fixadas, lagunas e apicuns (COUTINHO, 1996).

As Reentrâncias Maranhenses abrigam, em seu litoral recortado, a mais complexa gama de ambientes deposicionais do Litoral Brasileiro. Neste litoral é possível encontrar, em pequenas distâncias, planícies de cheniers, sistemas laguna-barreira, esporões arenosos, cordões litorâneos (*beach ridges*), planícies de maré (*tidal flats*), sistemas de canais meandrantos, sistemas eólicos de dunas frontais, transgressivas e parabólicas, deltas de maré enchente (*flood tidal deltas*), deltas de maré vazante (*ebb tidal deltas*), além de lagunas e lagoas costeiras. Neste complexo de sistemas deposicionais, a evolução costeira atua rapidamente, ocasionando retrogradação, progradação e agradação da linha de costa, da mesma forma que ocorre brusca variabilidade dos ambientes deposicionais, ou seja, em curtas escalas espaciais. Sua configuração se dá, diretamente, pelo ancoramento dos sistemas modernos nas antigas cabeceiras de drenagem de vales fluviais que foram preenchidos (vales incisos) durante a TMP (Figura 7).

Figura 7 - Composição de dados de radar SRTM das Reentrâncias Maranhenses



Fonte: El-Robrini et al. (2018)

As planícies de cheniers são representadas por feixes de cordões litorâneos arenosos que se sobrepõem e separam os terraços de maré lamacentos com vegetação de manguezal e marismas. São feições costeiras tipicamente progracionais indicando setores costeiros nos quais ocorre um balanço positivo de sedimentos, geralmente caracterizado por uma baixa energia de onda atuando sobre uma planície lamosa de baixo gradiente. Nas Reentrâncias Maranhenses, estes feixes de cordões arenosos com larguras de até 500m encontram-se separados por 500-300 metros de planícies lamosas ocupadas por densa vegetação de manguezais (Figura 7). As alturas típicas destes cordões encontram-se entre 3 a 6m. Sua formação ocorre devido à formação de uma barreira costeira pelo mecanismo de emersão de barras (*sensu* De Beaumont, 1845), em que passam a ter grande influência as feições deposicionais desenvolvidas em ambientes de macro-maré, denominadas de calhas de maré.

Figura 8 - Planícies de Cheniers nas Reentrâncias Maranhenses



Fonte: Elaboração própria (2019)

Os sistemas de barreiras costeiras encontrados nas Reentrâncias Maranhenses não se equadram na tipologia clássica de “costas dominadas por ondas”. Segundo Davis e Hayes (1984) estas costas são caracterizadas como aquelas nas quais a ação das marés gera um significativo transporte sedimentar, que predominam sob à forçante de ondas. Mesmo assim, nas extremidades das protuberâncias destas reentrâncias se desenvolvem extensas feições deposicionais arenosas, também conhecidas como Barreiras Costeiras (*coastal sandy barriers*). Essas feições representam uma parcela pequena das Reentrâncias Maranhenses podendo apresentar como sub-ambientes deposicionais as praias, dunas frontais, transgressivas e parabólicas, planícies de deflação, calhas de maré, leques de sobrelavagem e lagunas. Nas reentrâncias, especificamente, ocorrem barreiras costeiras do tipo esporões arenosos - *spits*, em virtude de seu mecanismo principal de formação, a emersão de barras arenosas. Uma vez emersas, estas barras arenosas migram no sentido do continente projetando suas extremidades com maior velocidade que seu centro o que aprisiona a retrobarreira, possibilitando o desenvolvimento de marismas e manguezais (Figura 9).

Figura 9 - Sistemas de Barreiras Costeiras na costa do Maranhão



Fonte: Elaboração própria (2019)

Os cordões litorâneos (*beach ridges*) consistem em uma sequência de praias paralelas e sobrepostas, nas quais se configura uma morfologia típica de cristas, alternando com a de canal. Estes ambientes deposicionais originam-se da progradação do sistema praia/antepraia/duna, nas Reentrâncias Maranhenses, e ocorrem com algumas centenas de metros de largura, mas geralmente contínuas. Esses cordões são formados pela deposição de areia junto aos arcos das dunas frontais onde, à medida que o sistema prograda, novas dunas são formadas, ancorando-se aos sistemas de calhas de maré, que constituem o cavado ou calha destes cordões litorâneos. Neste cavado deprimido, a água acumula-se, às vezes, formando lagoas rasas. Geralmente os sistemas de cordões litorâneos das Reentrâncias Maranhenses apresentam-se preservados a muitos quilômetros da linha de costa atual, indicando que sua origem e evolução encontram-se vinculadas aos estágios de nível do mar mais altos da TMP e, portanto, da máxima excursão continente adentro da linha de costa. Desta forma, exibem as antigas configurações e posições que este litoral apresentava no momento de instalação destes sistemas, quando ancorados diretamente nos Grupos Itapecuru e Barreiras (Figura 10).

Figura 10 - Planícies de Cordões Litorâneos nas Reentrâncias Maranhenses



Fonte: Elaboração própria (2019)

As dunas frontais figuram como elementos chave na configuração deste litoral, à medida que representam os primeiros obstáculos à sobrelevação do nível ocasionada pelas marés equinociais e pelos sistemas de tempestades oriundos do Hemisfério Norte. São formadas pela ampla pista de vento (*fetch*) desenvolvida na face praial nestes ambientes de macro-maré. O cordão frontal deste tipo de duna apresenta-se extremamente contínuo com a quase ausência de corredores erosivos (*blow-outs*), o que configura a vegetação como extremamente bem adaptada às condições impostas a este litoral. Dunas parabólicas ocorrem pontualmente em locais nos quais ocorram mudanças abruptas da linha de costa, próximas, geralmente, a pequenos centros urbanos ou onde o suprimento sedimentar é extremamente positivo, próximo, geralmente, a uma foz de um canal de maré ou junto a deltas de maré vazante que se soldam à linha de costa.

Os terraços de maré são os terrenos que exibem alternâncias regulares de exposição e inundação de marés. Estes ambientes não representam uma zona de amortecimento que acomoda o aumento do nível do mar e as marés equinociais. Isto porque se encontram situados na região de retrobarreira dos sistemas deposicionais

costeiros e onde as condições hidrodinâmicas são geralmente baixas, prevalecendo a deposição de silte ou argilas. Nas Reentrâncias Maranhenses, os terraços de maré são, em sua maioria, recobertos por vegetação de mangue, com exceção de áreas pontuais, localizadas na foz de canais de maré em que prevalece o balanço positivo de sedimentos, por influência de deltas de maré, enchente e vazante.

- **Golfão e Baixada Maranhense**

A geologia do Golfão Maranhense insere-se na Bacia Costeira de São Luís, parte integrante da margem costeira do Brasil, situada ao norte do estado do Maranhão. De acordo com Santos et al. (2004), o referido golfo limita-se ao norte pela Plataforma Ilha Santana, ao sul pelos Altos Estruturais (Arco Ferrer Urbano Santos), a leste pelo *Horst* de Rosário e a oeste pelo Arco de Tocantins.

A evolução geomorfológica do Golfão Maranhense, de acordo com Ab'Sáber (1960), inicia-se com o soerguimento da faixa litorânea no Plioceno e implica em superimposição da rede de drenagem e erosão do Grupo Barreiras, seguindo por um novo soerguimento com retomada de erosão e aprofundamento dos vales a um nível inferior. Já o Pleistoceno segue pela maior regressão marinha, originando uma nova configuração das Baías de São Marcos e São José, o insulamento da Ilha do Maranhão, e deixa como testemunho no continente, a planície Flúvio-marinha de Perizes. No final da Época Pleistocênica, ocorreu um novo soerguimento de menor intensidade e uma moderada transgressão marinha que foi responsável pela redefinição da morfologia do Golfão Maranhense. A fase máxima de erosão teria sido processada sob as condições climáticas mais secas que as atuais, quando da formação de cangas ferruginosas.

O Golfão Maranhense, localizado entre o litoral ocidental e o oriental na zona costeira do Estado do Maranhão comunica-se com o oceano Atlântico através da abertura compreendida entre as baías de Cumã e a de Tubarões.

Dentre as principais feições geomorfológicas existentes na área de abrangência do Golfão Maranhense, tem-se: baías, canais e planícies de maré lamosa, com ou sem manguezais, praias dissipativas de areia fina, dunas e paleodunas, falésias, afloramentos com concreções lateríticas, plataforma de abrasão e terraço de abrasão de superfície irregular, tabuleiros, planície arenosa, dunas (fixas e moveis), lagoas, lagunas e campos. Destaca-se ainda, que a ilha do Maranhão situa-se na parte central do referido golfo.

De maneira geral, ainda de acordo com Santos et al., (2004), as marés, ondas, correntes (de marés e litorâneas) associadas aos ventos constituem os principais agentes responsáveis pela morfodinâmica costeira na área em questão.

A Baixada Maranhense é uma unidade ecossistêmica de 1.775.035ha, situada na planície costeira da área em análise, na qual são encontradas as praias, os estuários e os baixos cursos dos rios. Esta configuração é resultante da última Transgressão Marinha Pós-Glacial (TMP) que no decorrer do Holoceno invadiu as baías do Cumã, São José, São Marcos e Tubarão, inundando também os cursos inferiores do Rio Pericumã, Turiaçu e Mearim. Este evento transgressivo está relacionado a uma rápida ascensão do Nível Relativo do Mar (NRM) que alcançou os arenitos cretácicos do Grupo Itapecuru e sedimentos Neógenos do Grupo Barreiras, criando reentrâncias, no que hoje reconhecemos como falésias e colinas com topos aplainados (tabulares). Remanescentes, isolados desta fase erosiva, restaram apenas morrotes cônicos, aflorantes em meio aos lagos e regiões de baixadas como em Anajatuba, Santa Rita, São Bento, Alcântara e São Vicente Ferrer (Foto 33).

Foto 33 – Remanescentes topográficos isolados, aflorantes em meio aos lagos e campos inundáveis



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

A fisionomia da Baixada Maranhense, de acordo com Feitosa (2006), é marcada pela grande dimensão fisiográfica e econômica das bacias lacustres e por extensos pântanos abundantes na área denominada “Pantanal Maranhense”, merecendo destaque os lagos Açu, Cajari, Bacuri, Formoso e Viana. Segundo o referido autor, os lagos transbordam durante o período chuvoso interligando-se por um sistema de canais divagantes, que servem como vias de comunicação entre as cidades e os povoados, substituindo parcialmente as estradas. Durante o período seco, o cenário hídrico transforma-se em grandes extensões de campos ressequidos. Quando dos trabalhos de campo realizados na Baixada Maranhense, constatou-se como atividades econômicas desenvolvidas pela população local: a pesca, a agropecuária, com destaque para a bubalinocultura.

- **Tabuleiros de São Luís e Alcântara – Guimarães**

Regionalmente conhecidos como baixos planaltos sedimentares são caracterizados por apresentar topografia mais ou menos plana e baixa altitude. De acordo com Dantas et al. (2013), os tabuleiros costeiros ocorrem em duas áreas principais: tabuleiros de Chapadinha, ao sul dos vastos campos de dunas fixas dos Lençóis Maranhenses; e tabuleiros de São Luís e Alcântara - Guimarães, entre o

Golfão Maranhense e o noroeste do Estado.

Na Baía de São Marcos, os tabuleiros são compostos por uma sequência areno-argilosa do Grupo Barreira e, em algumas áreas, podem aflorar também arenitos do Grupo Itapecuru.

Esta feição geomorfológica relacionada ao grupo Barreiras ou Itapecuru apresentando escarpas íngremes em contato com a linha de praia dão origem às exuberantes falésias na zona costeira maranhense, a exemplo das existentes no referido domínio geomorfológico (Foto 34). Em várias áreas destas falésias, tem-se a intensificação dos processos erosivos devido aos agentes oceanográficos (ondas e marés) associados aos processos subaéreos representados pelos agentes climáticos. Desta forma, faz-se necessário manter o distanciamento estabelecido pela legislação (Código Florestal) que é de 100m da borda dos tabuleiros ou chapadas, evitando a destruição ou perda das edificações ou demais obras de engenharia construídas em locais proibidos.

Foto 34 – Vista de uma falésia em processo de erosão (reco) na praia de Panaquatira, em São Jose de Ribamar, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

- **Planura Periférica da Baixada Maranhense**

A Planura Periférica da Baixada Maranhense (Figura 10), denominada anteriormente por outros autores como Superfície Sub-Litorânea de Bacabal, segundo Barbosa e Novaes Pinto (1973), é constituída por um relevo monótono, caracterizado por vastas superfícies de aplainamento de topografia plana a levemente ondulada, com presença de colinas baixas e suaves, modeladas em vales amplos com pequena a moderada densidade de drenagem do tipo dendrítico.

De acordo com Dantas et al. (2013), esse domínio circunda a Baixada Maranhense e representa uma verdadeira região mesopotâmica, entrecruzada pelos rios Pindaré, Grajaú, Mearim e Itapecuru, todos convergindo para o Golfão Maranhense. Tal domínio apresenta terrenos planos, adjacentes a baixadas alagadas, com a presença de inúmeros lagos temporários e permanentes muito utilizados nas atividades agropecuárias pela população local.

O relevo deste domínio geomorfológico pode ser bem visualizado a partir dos perfis topográficos traçados nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 - Localização dos perfis traçados na Planura Periférica da Baixada Maranhense

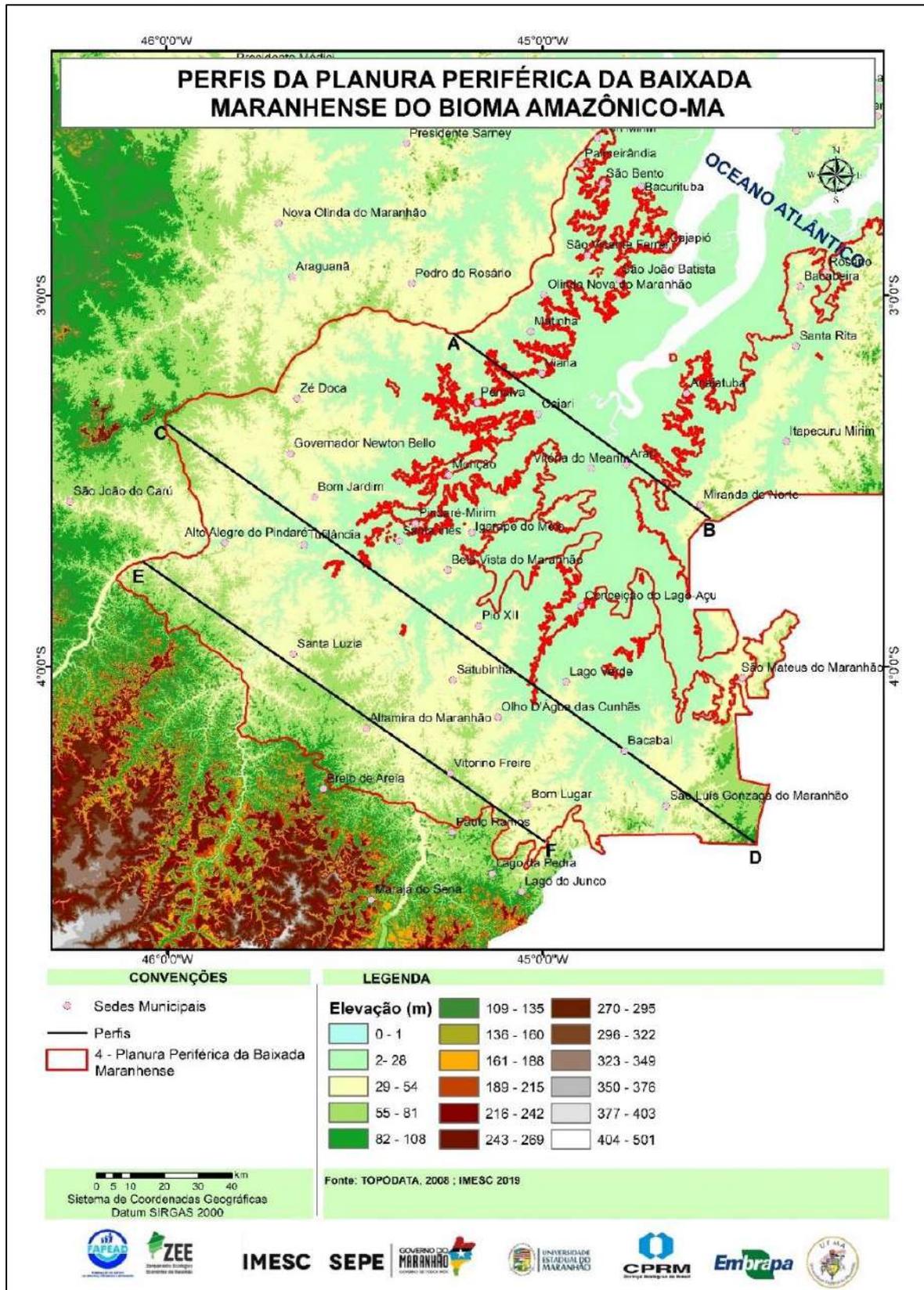
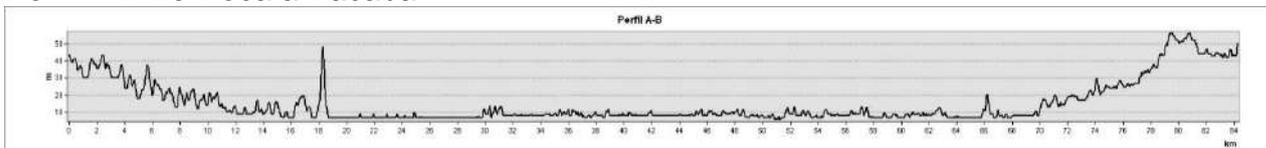
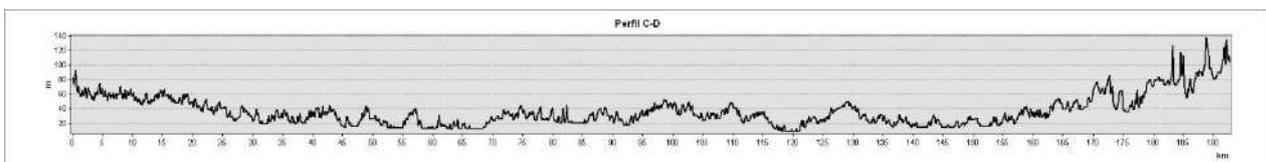


Figura 12 - Perfis topográficos da Planura Periférica da Baixada Maranhense

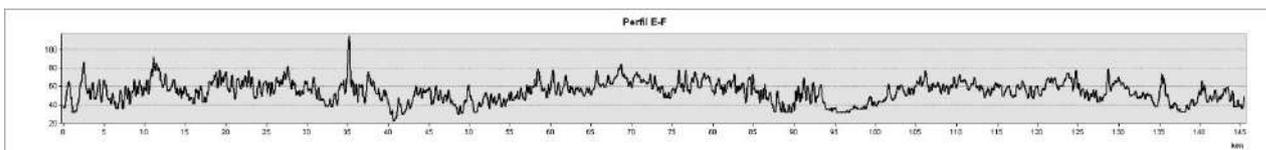
Perfil A-B Zé Doca a Bacabal



Perfil C-D Viana a Miranda do Norte



Perfil E-F Alto Alegre do Pindaré a Lago do Junco



Fonte: Elaboração Própria (2019)

A partir da observação dos perfis acima traçados transversalmente ao domínio da Planura Periférica da Baixada Maranhense constata-se a presença de um relevo plano, mais baixo que os terrenos adjacentes nas duas extremidades, com altitudes variando entre 10 e 40 metros no perfil A-B entre os municípios de Zé Doca e Bacabal o qual vai se elevando na direção NE/SW entre Viana e Miranda do Norte com altitudes entre 20 e 50m. As maiores elevações deste domínio encontram-se entre 40 e 70m, entre os municípios de Alto Alegre do Pindaré e Lago do Junco, mais precisamente no setor Sul, nas proximidades do contato do referido domínio com o Planalto Gurupi/Grajaú. Neste último perfil observa-se, assim como no perfil A-B, remanescentes topográficos isolados, aflorantes em forma de colinas e morrotes cônicos.

- **Lençóis Maranhenses**

Geologicamente, os Lençóis Maranhenses situam-se na Bacia Cretácea de Barreirinhas, a qual genericamente localiza-se na porção nordeste do Estado entre a Baía de Tubarão, a oeste; e o Delta do Parnaíba, a leste.

Quanto aos limites, a bacia sedimentar é limitada ao norte, pelo Alto Atlântico; ao sul, por uma série de falhamentos normais e pelo Arco Estrutural Ferrer-Urbano Santos; ao leste, pela fossa do Piauí e a plataforma de Parnaíba; e ao oeste, pelo graben de Ilha Nova (VEIGA JÚNIOR, 2000).

A planície costeira na qual se insere os Lençóis Maranhenses, de acordo com Santos (2008), caracteriza-se por apresentar um relevo suave a moderadamente ondulado, em que são comuns extensos campos de dunas móveis de diversas configurações, com altura de até 30m. As referidas dunas, quando recobertas por vegetação, são classificadas como dunas fixas. Nessa área destacam-se as seguintes entidades morfológicas: praias, lençóis de areia, pontais, cordões e terraços arenosos, planícies de deflação, inundação e maré, tabuleiro dissecado, rastros de dunas e montes residuais, além das dunas barcanas, parabólicas, oblíquas e das cadeias de barcanas, parabólicas e transversais.

Na área do referido Bioma podem ser encontradas dunas móveis e fixas (Foto 35) nas proximidades do litoral, bem como, outras mais interiorizadas como as dunas fixas observadas nos municípios de Icatu, Axixá e Morros, com idades superiores a 5.900 AP, segundo Santos (2008).

Foto 35 – Duna fixada pela vegetação no município de Icatu, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

- **Superfícies Aplainadas do Noroeste do Maranhão**

O referido domínio geomorfológico ocupa extensa área rebaixada entre o Golfão Maranhense e a divisa do estado do Pará, sendo sustentado tanto pelo embasamento ígneo-metamórfico do Cráton São Luís, quanto por coberturas sedimentares de idade cretácica da Formação Itapecuru (DANTAS et al., 2013).

Esse domínio é delimitado, a norte, pelas planícies flúvio-marinhas das Reentrâncias Maranhenses; a leste, pelo Golfão e Baixada Maranhense; e a sul, pelo *front* entalhado do Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú. O citado domínio estende-se a oeste, adentrando pelo território do Pará. É composto de extensa superfície arrasada por meio de processos de erosão generalizados do relevo, mantendo uma superfície de erosão conservada ou levemente reafeiçoada durante o Quaternário, com caimento muito suave de sul para norte, apresentando densidade de drenagem baixa a moderada. Esse conjunto de superfícies aplainadas (Foto 36) registra, portanto, cotas baixas que variam entre 20 e 130m, com elevações residuais que não ultrapassam os 250m de altitude (DANTAS et al., 2013). Nas áreas mais planas há criação de gado.

Foto 36 - Relevo caracterizado por uma superfície aplainada no noroeste do Maranhão no município de Turiaçu



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

Nesse domínio geomorfológico há a ocorrência de colinas e cristas Metavulcânicas sedimentares (Foto 37) cuja litologia é formada pelo conjunto de rochas metassedimentares do Grupo Gurupi, metavulcanossedimentares da Formação Chega Tudo e Complexo metamórfico Itapeva, associadas a um magmatismo orogênico representado pelos granitos Maria Suprema e Moça. No município de Centro Novo do Maranhão, a atividade de extração de ouro é bastante disseminada.

Foto 37 – Vista das colinas e cristas Metavulcânicas sedimentares no município de Centro Novo do Maranhão



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

- **Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú**

O Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú, segundo proposta do IBGE (2011), ocupa o setor centro-ocidental do estado do Maranhão e caracteriza-se por um conjunto de superfícies tabulares elevadas por epirogênese e bruscamente delimitadas em rebordos erosivos, por onde se encaixam vales incisos e aprofundados que apresentam desnivelamentos locais, por vezes, superiores a 100m (DANTAS et al., 2013). Os citados planaltos estão alçados de forma irregular em cotas altimétricas diferenciadas, sendo crescentes de norte a sul, variando entre, aproximadamente, 100 e 400m.

De acordo com o IBGE (1997), esse planalto caracteriza-se por apresentar topos planos, cuja vulnerabilidade é muito baixa e vertentes dissecadas, em coberturas detríticas, com níveis lateríticos de idade pleistocênica, em que a vulnerabilidade dominante é alta. Os topos planos em altitudes de 100 a 300m acham-se limitados por escarpas e correspondem a restos de chapadas que foram isoladas pela dissecação e mantidos pelos níveis lateríticos.

Objetivando melhor visualização do Planalto Gurupi – Grajaú, foram traçados 04 (quatro) perfis transversais e 02 (dois) longitudinais (Figuras 13 e 14).

Figura 13 – Localização dos perfis traçados no Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú

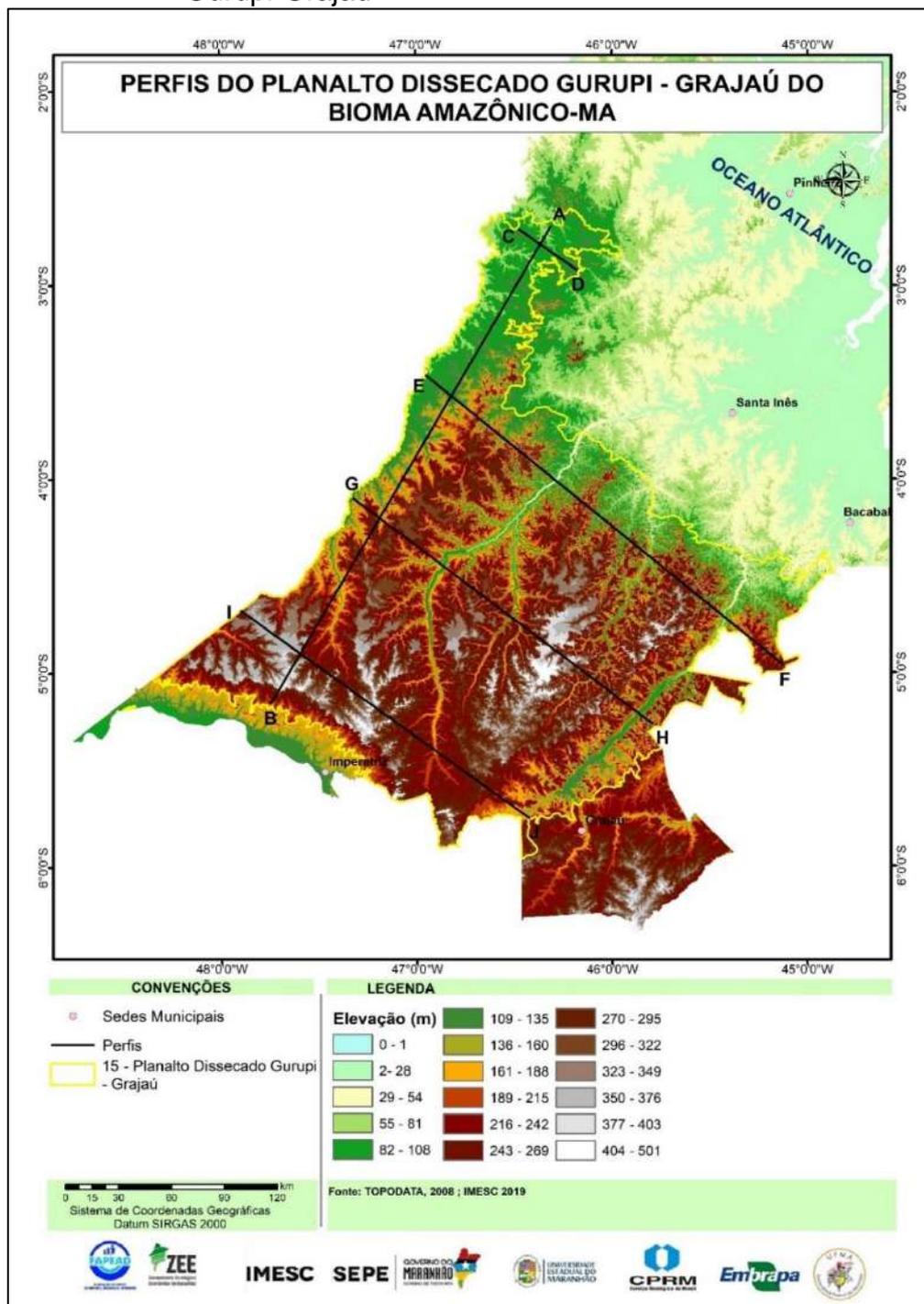
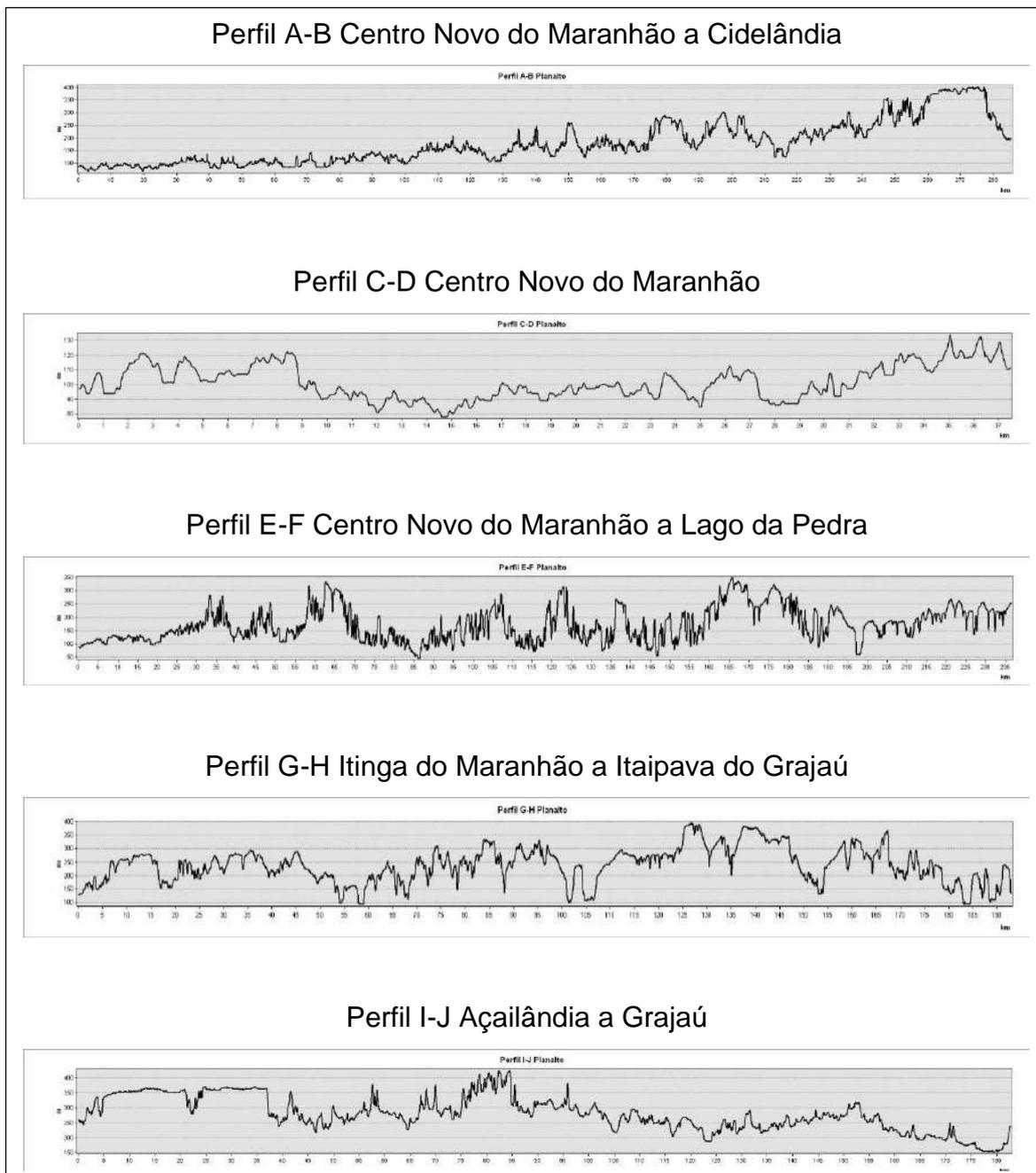


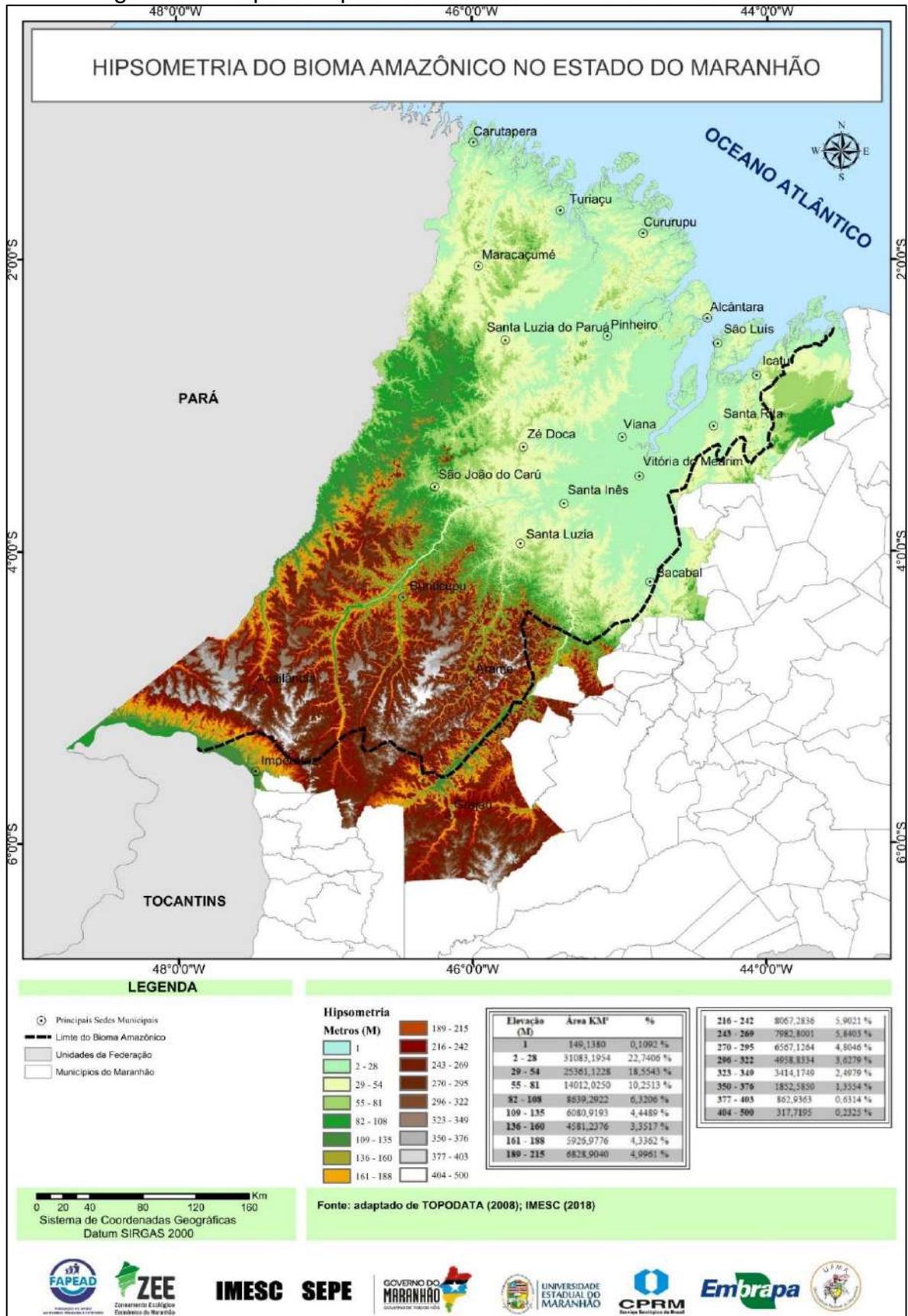
Figura 14 - Perfis topográficos do Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú



O perfil A-B que se estende do noroeste do Bioma Amazônico com início no município de Centro Novo do Maranhão, até o setor sul, no município de Cidelândia, numa extensão de 280km apresenta altitudes variando entre 100 e 400m, denotando maior dissecação do relevo a partir de 130km até o final do perfil onde constata-se uma superfície mais elevada e plana passível de utilização para atividades de grande porte a exemplo das monoculturas, criação de gado e cultivo de eucalipto.

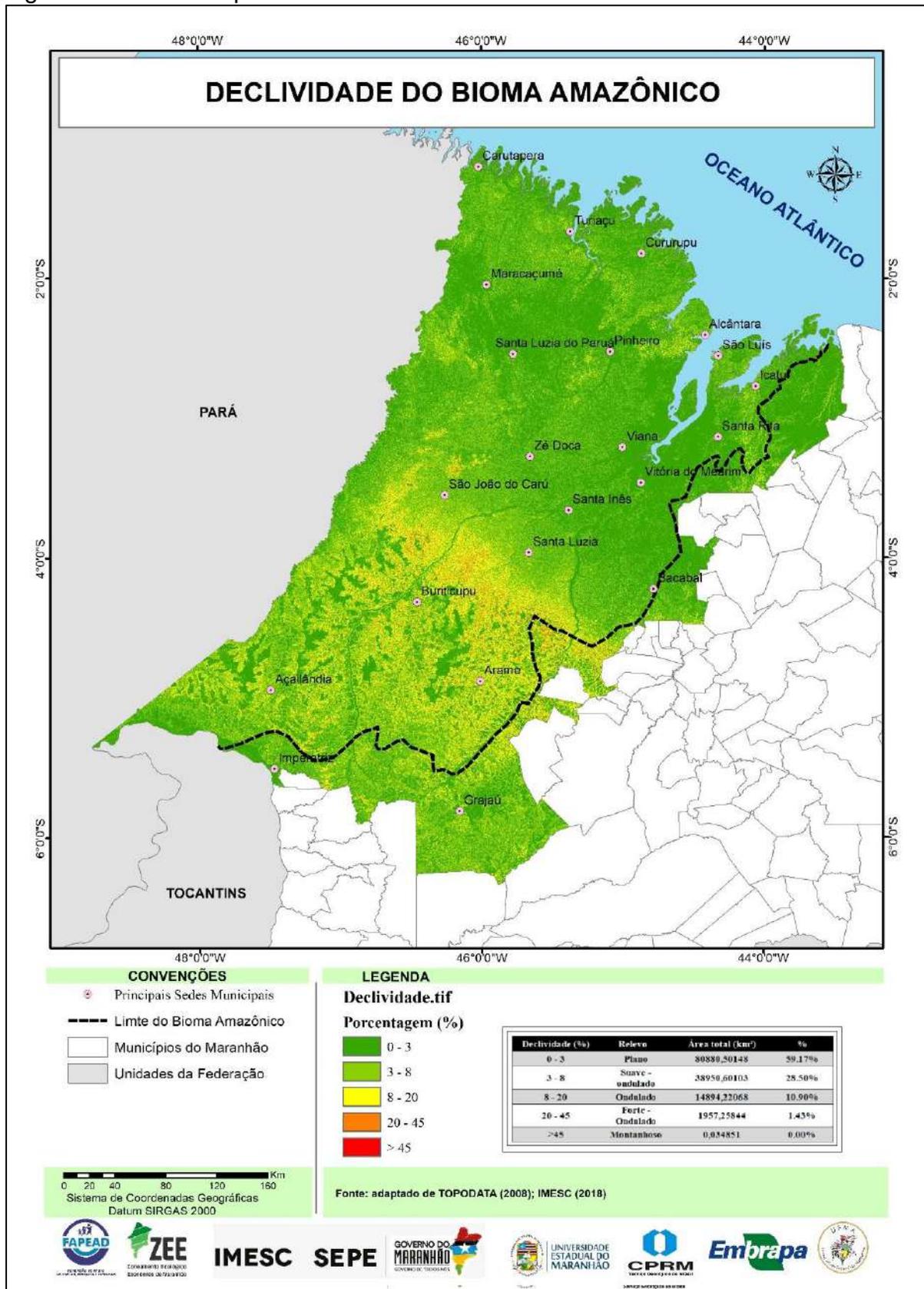
O perfil CD abrange área do município de Centro Novo do Maranhão na direção NO/SE na extremidade do planalto Gurupi/Grajaú no qual se encontram as menores altitudes (82 a 135m), em que se destaca uma área aproximadamente plana intercalada por colinas esparsas onde às vezes se observa desníveis de aproximadamente 50m. Em observação ao mapa de hipsometria do Bioma Amazônico, constata-se que as menores altitudes encontram-se na planície costeira ao norte, enquanto as maiores elevações encontram-se no setor Sul do Bioma (Figura 15).

Figura 15 - Mapa de hipsimetria do Bioma Amazônia Maranhense



O planalto dissecado se destaca topograficamente dos relevos planos da Baixada Maranhense, da Planura Periférica da Baixada Maranhense e da Superfície Aplainada do Noroeste do Maranhão, situados a norte e nordeste, por um *front* movimentado de colinas dissecadas e morros (DANTAS et al., 2013). Quanto à declividade (Figura 16), há nesta unidade os maiores desnivelamentos que indicam a suscetibilidade aos processos erosivos e aos diferentes movimentos de massa.

Figura 16 – Mapa de declividades do Bioma Amazônia Maranhense



Merecem menção as orientações de encostas nas clássicas direções NE/SW e NW/SE, compondo poderosas bordas de chapadões e depressões limitados por encostas verticais e sub-retilíneas nas quais se instalam drenagens nitidamente incapazes de tê-las gerado. As direções em que estas encostas se verificam, descontados desgastes erosivos de menor porte, são tipicamente NE/SW, NW/SE e N/S, típicas do assoalho crustal brasileiro, e, em alguns casos, orientadoras do direcionamento de grandes trechos da drenagem do vasto planalto em estudo.

O quadro de controle tectônico acima esboçado é definidor da presença constatável de um enorme planalto, em processo de erosão fluvial e alterações paulatinas dos sedimentos depositados, gerando a presença de blocos alçados e deprimidos que representam descontinuidades, nas extensas planuras constituintes de superfícies planálticas dominantes na paisagem.

Inúmeros pontos ao longo das rodovias foram inspecionados, na ida e na volta, com algumas pequenas incursões laterais em locais como Buriticupu, em que ocorre gigantesca voçoroca (Foto 38), e no vale do rio Pindaré Mirim, localmente encaixado em uma estrutura de depressão do tipo “*graben*”, alongada entre áreas planálticas (Fotos 39 e 40).

Foto 38 - Voçoroca incidente em borda de planalto na área urbana de Buriticupu. Exemplo de erosão possivelmente orientada por fraturamento crustal



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

Foto 39 – Vista do rio Pindaré correndo no interior de uma considerável depressão do tipo *graben*



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

Foto 40 – Vista da depressão do tipo graben onde se encontra o rio Pindaré ao centro



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

Ao longo do extenso deslocamento efetuado a partir de São Luís foi possível observar resultados da exposição dos sedimentos do Grupo Itapecuru, tais como as alterações induzidas pelo intemperismo (horizontes laterizados e depósitos caulíníticos) e pela exposição a agentes geomórficos subaéreos, sob a forma de linhas de seixos e pequenos depósitos arenosos com incipientes estratos cruzados (Foto 41 e 42).

Foto 41 - Laterização Incipiente no Alto Planalto



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

Foto 42 - Linha de seixos de pequena envergadura, indicando transporte localizado



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

O planalto centro ocidental ora sendo sucintamente apresentado, tem grande extensão, como pode ser aquilatado da inspeção dos mapeamentos apresentados. Seus limites sul e leste são condicionados, possivelmente, pelo poderoso condicionante estrutural, de dimensões subcontinentais, denominado Arco Xambioá-Teresina. A coincidência das configurações da borda sul e leste do planalto com a curvatura do Arco de Xambioá parece não ser fortuita. Elementos estruturais de menor

porte, ainda que gigantescos na escala humana, tais como, “*grabens*” e “*horts*” aparecem na paisagem do sul do planalto (Fotos 43).

Foto 43 - Detalhe do mesmo *graben* (depressão) mostrando suas paredes pouco alçadas



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

- **Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins**

Esse domínio é representado por vasta superfície de aplainamento pontilhada por relevos residuais sob forma de mesetas e morros-testemunhos, apresentando caimento geral de leste para oeste em direção à calha do rio Tocantins. Estende-se por uma comprida faixa de direção norte-sul, que abrange o sudoeste do estado do Maranhão, abrangendo a Depressão de Imperatriz, o Patamar de Porto Franco e a Superfície de Carolina, individualizados por mapeamentos realizados pelo IBGE (2011). Seu relevo é constituído por extensas superfícies de aplainamento, por vezes, ligeiramente retocadas por uma rede de drenagem de baixa densidade, de forma esparsa, com baixos platôs ligeiramente ressaltados topograficamente. Nesse domínio, existem colinas com grau variável de dissecação, ocorrendo, também, esparsas “serras” alinhadas e pequenas cristas, que se destacam em cotas mais elevadas na paisagem regional (CPRM, 2013). Observa-se, ainda, a planície aluvial do rio Tocantins, que ocorre de forma descontínua ao longo de seu fundo de vale. Finalmente destaca-se que esse conjunto de formas de relevo resulta do arrasamento generalizado do substrato geológico de uma sequência vulcano sedimentar (permocretácica) da Bacia Sedimentar do Parnaíba.

No interior do planalto, essas depressões, mesmo sendo menos notáveis, existem e condicionam, também, em boa medida, tanto a drenagem quanto a ocupação humana. Depressões e altos estruturais também fazem parte do domínio “Depressão do Médio Vale do Tocantins” (Foto 44), que se justapõe ao “Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú”, segundo a abrangente classificação dos “Domínios Geomorfológicos” do Maranhão proposta pela CPRM, em 2013.

Foto 44 – Vista da Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins no Município de Imperatriz, MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

- **Baixos Platôs de Barra do Corda**

Os Baixos Platôs de Barra do Corda (denominação adaptada da proposta realizada pelo IBGE, 2011) diz respeito a um conjunto de extensas superfícies planálticas pouco dissecadas e posicionadas, invariavelmente, em cotas baixas, entre 150 e 250 m (DANTAS et al., 2013). Esse domínio caracteriza-se por formas dissecadas por uma rede de drenagem dendrítica a sub-dendrítica, de baixa a moderada densidade, responsáveis pela presença de topos tabulares e encostas relativamente abruptas. Ainda de acordo com (DANTAS et al., 2013) em restritas áreas que apresentam uma alta densidade de drenagem, os baixos platôs estão francamente dissecados em relevo de colinas tabulares. Destaca-se que sobre as superfícies planas dos baixos platôs, nos últimos anos, tem sido observado áreas de

recente expansão da fronteira agrícola, onde a vegetação típica do cerrado vem sendo substituída por extensas plantações de soja (Foto 45) e milho.

Foto 45 - Topo dos baixos platôs incipientemente dissecados com plantio de soja. Rodovia BR-226, entre as localidades de Grajaú e Lajeado Novo



Fonte: Dantas et al., (2013)

8 PRINCIPAIS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DO BIOMA AMAZÔNICO NO ESTADO DO MARANHÃO

Para melhor compreensão da geomorfologia do território do Bioma Amazônico Maranhense será apresentado a seguir as unidades geomorfológicas (Figura 17) identificadas dos 11 domínios geomorfológicos mapeados neste estudo, tomando por base o relevo sombreado (Figura 18) do respectivo bioma e o mapeamento das feições morfológicas realizadas pela CPRM (2013).

Figura 17 - Mapa geomorfológico do Bioma Amazônico no Estado do Maranhão

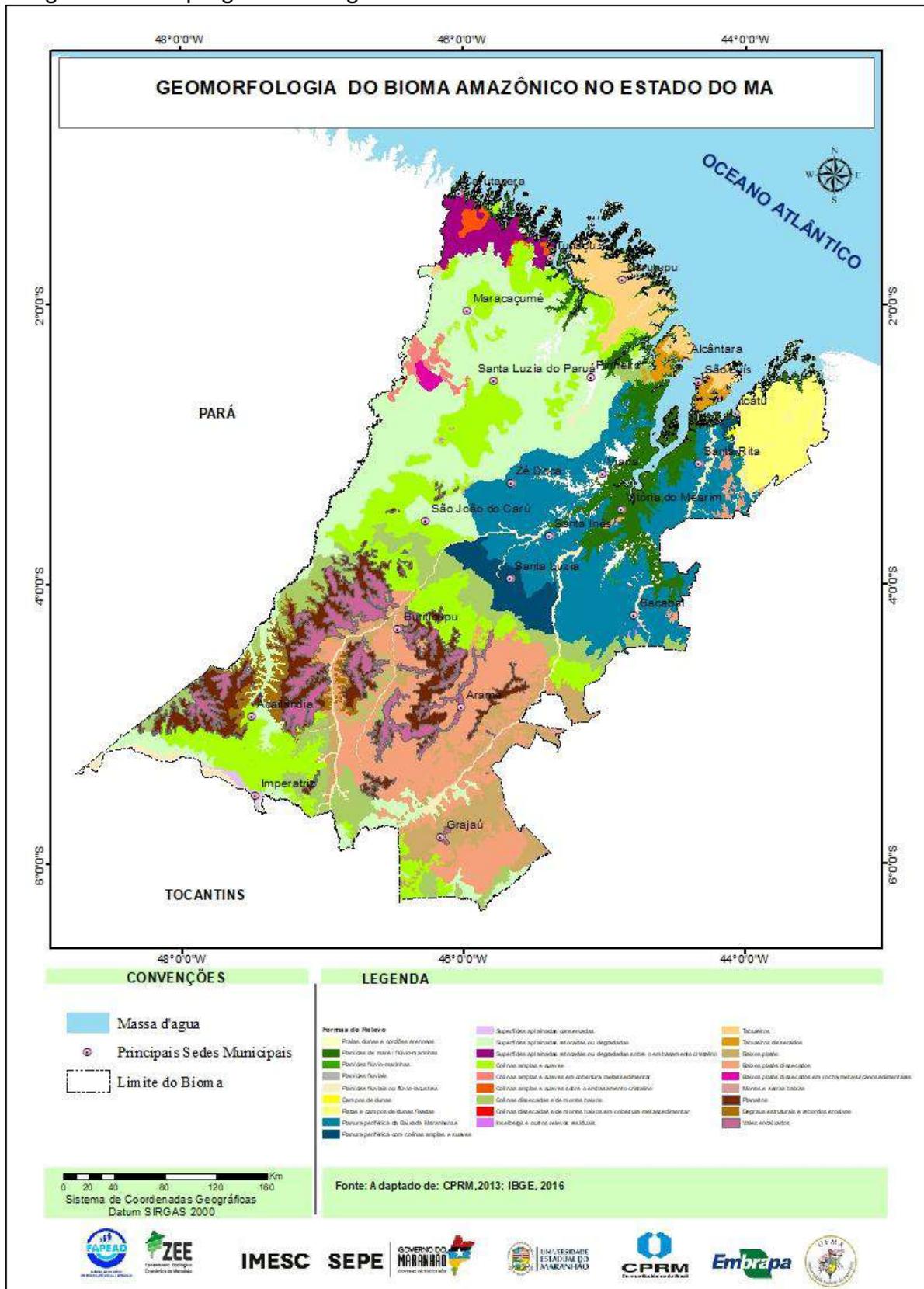
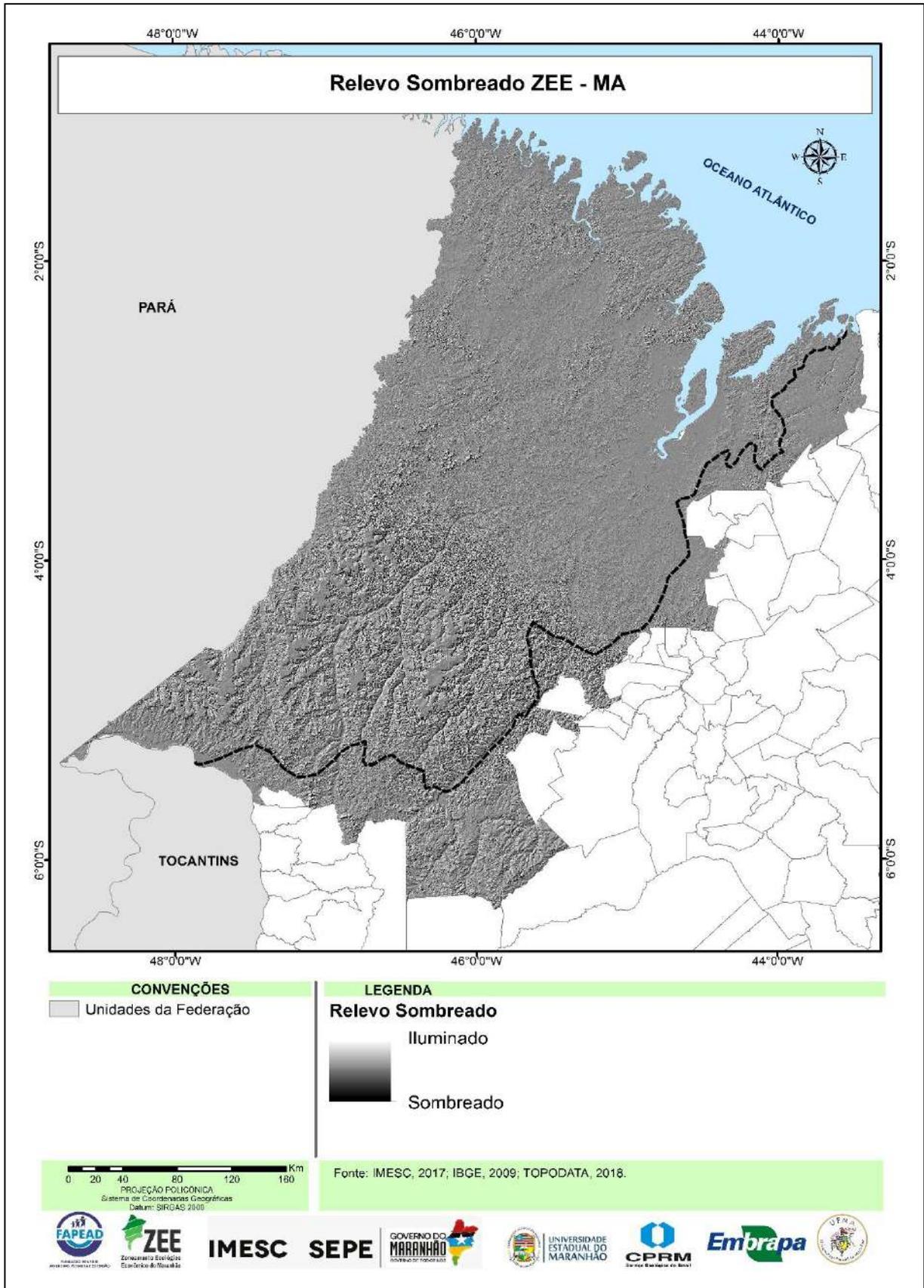


Figura 18 – Relevo sombreado do Bioma Amazônico no Estado do Maranhão



De acordo com a planimetria realizada a partir da Figura 16 foi possível identificar e calcular a extensão territorial das principais unidades/formas de relevo do Bioma Amazônico no Estado do Maranhão as quais encontram-se discriminadas no Quadro 3 abaixo.

Quadro 3 – Formas de relevo identificadas e suas respectivas áreas de abrangência

FORMAS DE RELEVO	Km²	%
Planície de maré/flúvio-marinha	9.981,27	7,41
Praias, dunas e cordões arenosos	211,35	0,16
Colinas amplas e suaves	17.472,40	12,97
Superfícies aplainadas retocadas ou degradadas	26.140,01	19,41
Tabuleiros	3.829,60	2,84
Tabuleiros dissecados	809,01	0,60
Colinas dissecadas e de morros baixos	8.714,34	6,47
Campos de dunas	84,60	0,06
Planícies fluviais ou flúvio-lacustre	2.902,35	2,16
Baixos platôs dissecados	15.191,74	11,28
Inselbergs e outros relevos residuais	35,21	0,03
Planura periférica com colinas amplas e suaves	2.675,11	1,99
Planícies flúvio-marinhas	91,53	0,07
Planura periférica da Baixada Maranhense	17.461,92	12,97
Morros e serras baixas	17,66	0,01
Planaltos	7.353,04	5,46
Pistas e campos de dunas fixadas	4.369,17	3,24
Superfícies aplainadas conservadas	225,75	0,17
Baixos platôs	6.239,04	4,63
Vales encaixados	5.570,55	4,14
Degraus estruturais e rebordos erosivos	1.703,21	1,26
Colinas amplas e suaves sobre o embasamento cristalino	465,57	0,35
Colinas amplas e suaves em cobertura metassedimentar	741,57	0,55
Planícies fluviais	7,35	0,01
Baixos platôs dissecados em rocha metavulcanossedimentares	279,88	0,21
Colinas dissecadas e de morros baixos em cobertura metassedimentar	11,21	0,01
Superfícies aplainadas retocadas ou degradadas sobre o embasamento cristalino	2.082,35	1,55

A seguir são apresentadas as respectivas características das unidades geomorfológicas, baseada na biblioteca de padrões de relevo proposta por Dantas (2016), objetivando melhor entendimento sobre as principais formas de relevo mapeadas no Bioma Amazônico no Estado do Maranhão.

Planície de maré/flúvio-marinha

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual.

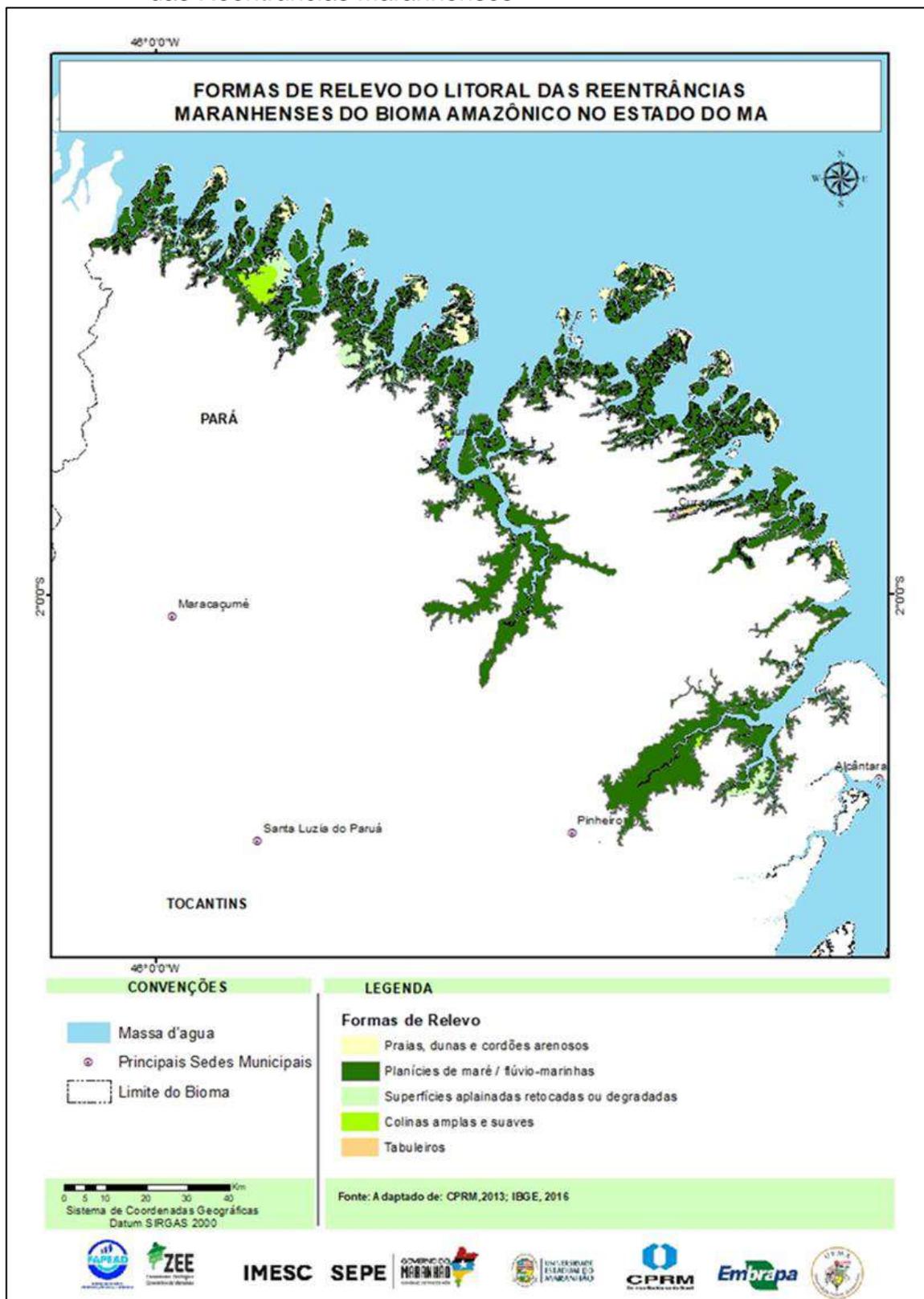
São constituídas por terrenos lamosos de coloração esverdeada escura (10G 8/2 a 5BG 5/2), saturados em água, ricos em matéria orgânica, localizados nas margens e no fundo de baías, enseadas, estuários ou deltas dominados por maré. Denotam superfícies planas, de interface com os sistemas deposicionais continentais e marinhos, constituídas por sedimentos argilosos e siltosos, lodosos, com até 5% de matéria orgânica e encontram-se permanentemente encharcadas (Foto 46), apresentando padrão de canais bastante meandranes e divagantes, sob influência dos fluxos e refluxos das meso ou macro-marés semidiurnas características do litoral maranhense. Elas podem apresentar-se destituída de vegetação ou apresentar uma exuberante floresta de mangue, constituindo assim o ecossistema manguezal, considerado Área de Preservação Permanente - APP. Esta feição geomorfológica apresenta baixa declividade e amplitude altimétrica (0 a 3m), sendo bem visualizada no Domínio Geomorfológico da Reentrâncias maranhenses (Figura 19).

Foto 46 – Planície de maré lamosa em Alcântara – MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

Figura 19 – Presença dominante da planície de Maré/ Flúvio-marinhas no Litoral das Reentrâncias Maranhenses



Planícies fluviais ou flúvio-lacustre

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual.

Superfícies planas, de interface com os sistemas deposicionais fluviais (Foto 47) e lacustres (Foto 48), constituídas por depósitos argiloarenosos a argilosos. Terrenos mal drenados, prolongadamente inundáveis. Os abaciamentos (suaves depressões em solos arenoargilosos) em áreas planas ou em baixos interflúvios, denominados áreas de acumulação inundáveis, frequentes na Amazônia, estão inseridos nessa unidade. Baixa capacidade de suporte dos terrenos. Amplitude de relevo: 0-3m. Inclinação das vertentes planas. Estas feições morfológicas são bem visualizadas nos domínios geomorfológicos do Litoral das Reentrâncias Maranhenses, Lençóis Maranhenses, Golfão e Baixada Maranhense.

Foto 47 – Planície fluvial do rio Maracaçumé no Domínio das Reentrâncias Maranhenses



Fonte: Elaboração Própria (2019)

Foto 48 – Planície lacustre do lago de Viana na Baixada Maranhense



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

Praias, dunas e cordões arenosos

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual.

Praias oceânicas são consideradas um dos ambientes mais dinâmicos existentes, isso ocorre em função do ativo e elevado retrabalhamento de seus sedimentos (BROWN; MCLACHLAN, 1990; BIRD, 2008). Segundo WRIGHT et al. (1982), a morfologia do litoral está associada às características dos sedimentos e às condições imediatas e está relacionada à geologia e à topografia antecedentes a Última Transgressão Marinha Pós-Glacial (TMP) desses sistemas. Outros elementos resultantes da interação entre o regime energético (ação de ondas e marés), tectônica local e suprimento sedimentar também corroboram essa ideia (DAVIS; HAYES 1984; WRIGHT; SHORT, 1984).

As praias e as planícies arenosas são superfícies sub-horizontais, constituídas de depósitos arenosos, apresentando micro relevo suavemente ondulado, geradas por processos de sedimentação marinha (DANTAS, et al., 2013). As praias são áreas periodicamente cobertas e descobertas pelas águas marinhas e/ou oceânicas, compostas por material cascalhoso arenoso (Foto 49) ou lamoso. As praias são definidas pela Lei nº 7.661 de 16 de maio de 1968, no seu Art. 10º, como bem público

de uso comum do povo, sendo sempre assegurado acesso livre e franco a elas e ao mar em qualquer direção e sentido, ressalvados os trechos considerados de interesse de segurança nacional ou incluídos em áreas protegidas por legislação específica” (CEARÁ, 2005). As praias são superfícies sub-horizontais, constituídas de depósitos arenosos, apresentando micro-relevo ondulado, geradas por processos de sedimentação marinha. Estes ambientes são bastante dinâmicos, conforme mencionado anteriormente, logo a ocupação urbana ao longo da orla marítima deve sempre respeitar aos limites estabelecidos pelo Plano Diretor, no que se refere ao distanciamento das edificações em relação a linha de costa, visando evitar perdas econômicas (Foto 50) e de vidas humanas, uma vez que a tendência para as próximas décadas é de elevação do nível do mar.

Foto 49 – Praia da Mamuna em Alcântara - MA apresentando significativa extensão e largura



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

Foto 50 – Vista parcial da erosão costeira na Praia da Ponta D’Areia na cidade de São Luís -MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

Bagnold (1941) define duna como uma acumulação de areia móvel cuja existência independe tanto da forma do terreno como de obstáculos fixos.

Na resolução do CONAMA nº 303/2002, as dunas são definidas como unidade geomorfológica de constituição predominantemente arenosa, com aparência de cômoro ou colina, produzida pela ação dos ventos, situada no litoral ou no interior do continente, podendo estar recoberta, ou não, por vegetação. Quando recobertas por vegetação são classificadas como dunas fixas.

Embora existam várias definições sobre as dunas costeiras, estas, de acordo com Santos (1996), caracterizam ambientes construcionais, resultantes, principalmente, da conjugação dos agentes oceanográficos e climáticos, os quais podem ocorrer na franja costeira destituída ou não de vegetação.

De acordo com Santos (2008) dentre as principais formas encontradas nos diferentes sistemas eólicos, ao nível global, tem-se as dunas embrionárias, barcanas, parabólicas, barcanóides ou cadeias de parabólicas, obliquas, longitudinais (Linear), transversais, reversas, estrelas, do tipo “Nebkha”, dentre outras.

De acordo com Neto et al. (2004), os cordões litorâneos são barreiras arenosas com feições alongadas paralelas à linha de costa, totalmente isolados do continente (ilhas de barreiras) ou soldados a ele por uma das extremidades (pontais arenosos), ou as duas, formando as barreiras ou cordões arenosos.

Estas feições são bem drenadas, mas não inundáveis e elaboradas sobre a planície costeira sob a forma de praias, dunas e cordões arenosos. Estas apresentam amplitude de relevo variando de 0 a 5m, 0 a 30m e de 0 a 5m, respectivamente.

No Bioma Amazônico do Estado do Maranhão estas feições morfológicas são bem visualizadas nos domínios geomorfológicos do Litoral das Reentrâncias Maranhenses, Lençóis Maranhenses, Golfão e Baixada Maranhense.

Campos de dunas

Relevo de agradação. Zona de acumulação atual

Superfícies de relevo ondulado, constituídas de depósitos arenoquartzosos bem selecionados, depositados por ação eólica longitudinalmente à linha de costa.

Os depósitos eólicos brasileiros são classificados como campos de dunas livres e/ou dunas vegetadas. Os campos de dunas costeiras (livres ou móveis), também, são conhecidos como transgressivos (SANTOS, 2008). Esta unidade geomorfológica é bem visualizada nos domínios geomorfológicos dos Lençóis Maranhenses, Litoral das Reentrâncias Maranhenses, Golfão e Baixada Maranhense.

Pistas e campos de dunas fixadas

Relevo de agradação. Zona de acumulação pretérita

As dunas que fazem parte do relevo atual, mas que se encontram estabilizadas devido à alteração de algum parâmetro climático, segundo Barreto (1996) são denominadas fixadas, fixas, fósseis, reliquiares ou inativas. Os campos de dunas inativas interiores são considerados como heranças de climas pretéritos mais secos

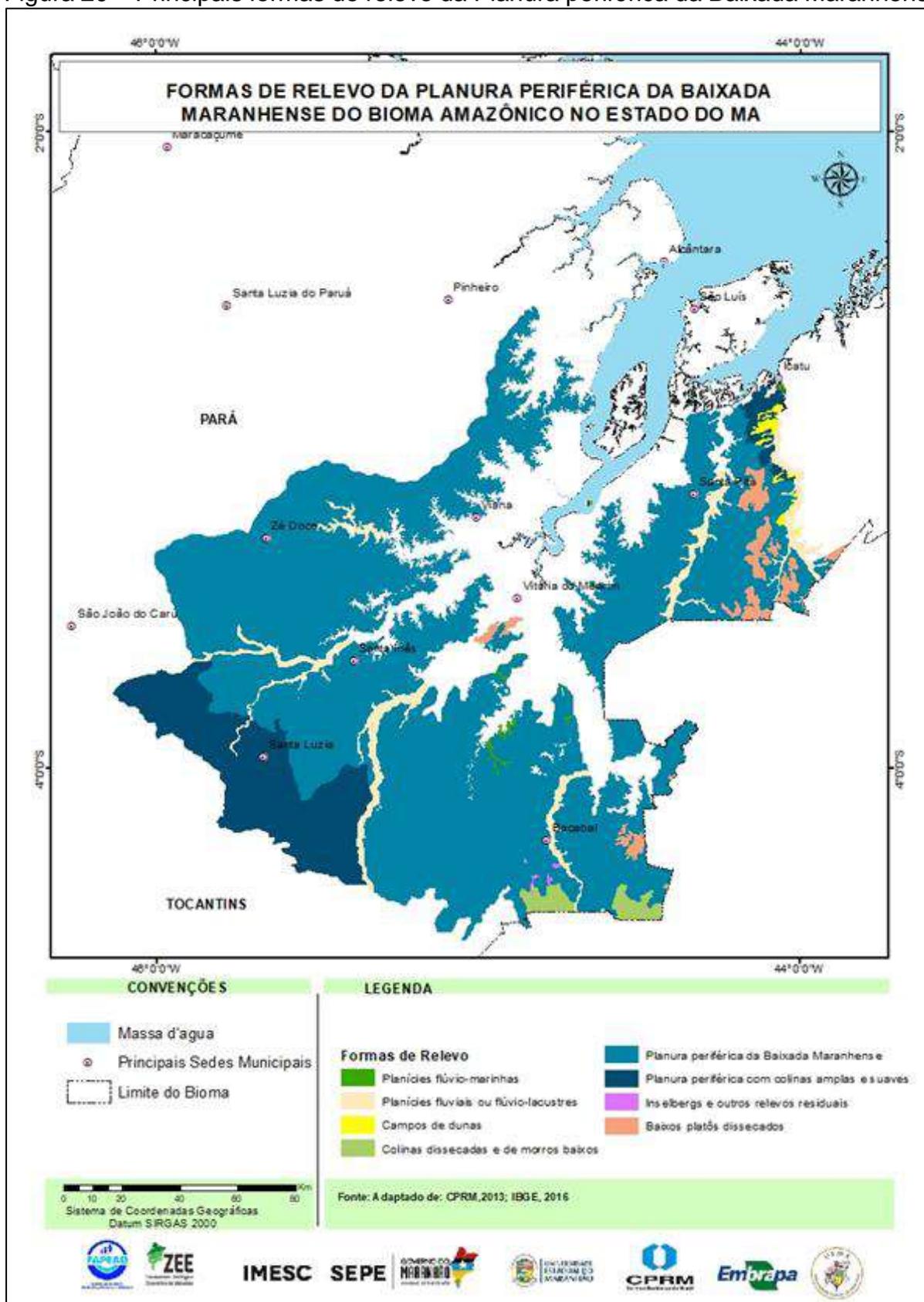
que o atual (THOMAS; SHAW, 1991). Na área dos Lençóis Maranhenses estas dunas encontram-se fixadas pela vegetação. Associada as referidas dunas, em alguns locais, percebe-se nitidamente nas imagens de satélites e fotografias aéreas, as pistas de passagem pretérita das atuais dunas fixadas.

Planura periférica da Baixada Maranhense

Relevo de aplainamento

Esta unidade é constituída por um relevo monótono, caracterizado por vastas superfícies planas a levemente onduladas, com presença de colinas baixas e suaves, modeladas em vales amplos com pequena a moderada densidade de drenagem do tipo dendrítico. No período chuvoso, o leito maior dos rios é ocupado pelas águas do extravasamento dos cursos d'água e dos lagos existentes, nas áreas ao entono dos lagos e ao longo dos rios. Em alguns pontos específicos observados no mapa de relevo sombreado e nas de altimetria percebe-se a existência de alguns relevos residuais que se destacam na paisagem devido a sua altitude. De uma maneira genérica a altitude desta unidade geomorfológica encontra-se entre 20 a 40m com inclinação das vertentes de 0°- 5°.

Figura 20 – Principais formas de relevo da Planura periférica da Baixada Maranhense



Planura periférica com colinas amplas e suaves

Relevo de aplainamento

Superfícies planas a levemente onduladas, promovidas pelo arrasamento geral dos terrenos. Nessa unidade, mais precisamente na extremidade sul, há presença de colinas mais elevadas e alguns relevos residuais nas proximidades do início da transição dessa unidade geomorfológica com o Planalto Dissecado Gurupi – Grajaú. Amplitude de relevo: 20 a 40m. Inclinação das vertentes: 0°- 5 °.

Colinas amplas e suaves

Relevo de degradação em qualquer litologia

Relevo constituído de colinas moderadamente dissecadas, com vertentes convexas ou convexo-côncavas e topos amplos, de morfologia alongada ou arredondada, com vertentes de gradiente suave e baixas amplitudes de relevo, inferiores a 50m. Atuação dominante de processos de pedogênese (formação de solos profundos e bem drenados, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão). Sistema de drenagem principal com deposição de planícies aluviais relativamente amplas. Ocorrências esporádicas, restritas a processos de erosão laminar. Amplitude de relevo: 20 a 40 m. Inclinação das vertentes: 3°-10°.

Superfícies aplainadas retocadas ou degradadas

Relevo de aplainamento

Superfícies suavemente onduladas (0a 3%), promovidas pelo arrasamento geral dos relevo (terrenos) e posterior retomada erosiva proporcionada pela incisão suave de uma rede de drenagem dendrítica incipiente. Essa unidade também pode ser observada nas depressões interplanálticas da área de estudo. Amplitude de relevo: 10 a 30 m.

Tabuleiros

Relevo de degradação em rochas sedimentares

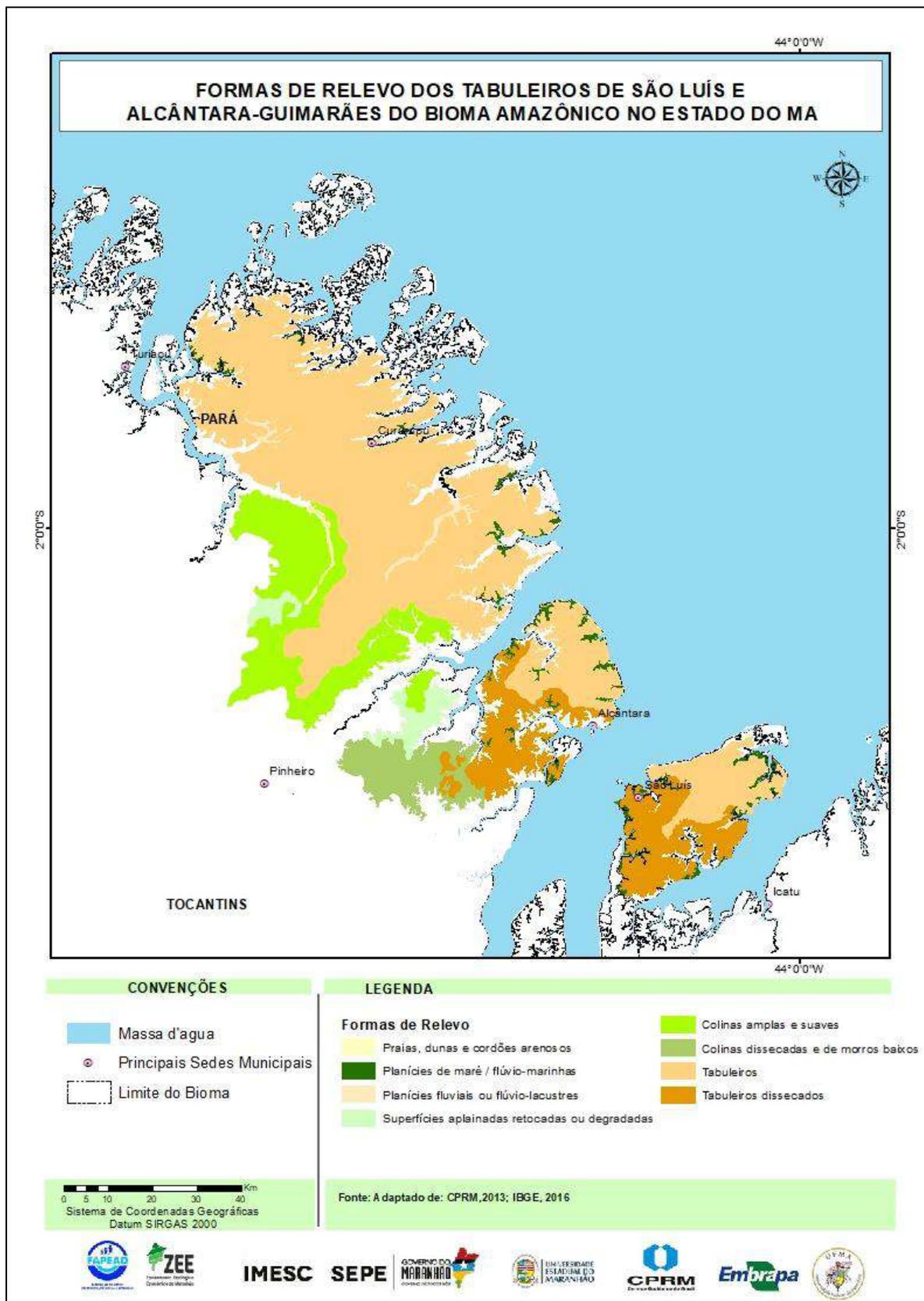
Regionalmente, os tabuleiros são conhecidos como baixos planaltos sedimentares, caracterizados por apresentar topografia mais ou menos plana e baixa altitude. Esses tabuleiros apresentam-se também como formas de relevo com pouca dissecação, com extensas superfícies de baixa declividade, com topos planos (Foto 51), alongados e vertentes convexas e/ou retilíneas nos vales encaixados em forma de “U”, resultantes de dissecação fluvial recente. Predomínio de processos de pedogênese com formação de solos pouco espesso e bem drenados, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão. Presença nas encostas de maior declividade com presença da formação de crosta de processos erosivos ocasionados pela água do escoamento superficial. Na Baía de São Marcos, os tabuleiros são compostos por uma sequência areno-argilosa do Grupo Barreiras e, em algumas áreas, podem aflorar arenitos do Grupo Itapecuru (Formação Cujupe). Amplitude de relevo: 20 a 50 m. Esta feição pode ser bem visualizada nos seguintes domínios geomorfológicos: Tabuleiros de São Luís-Alcântara-Guimarães, Baixos Platôs de Barra do Corda e Planalto Dissecado Gurupi – Grajaú.

Foto 51 - Tabuleiro de topo plano no município de Alcântara - MA



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

Figura 21 – Principais formas de relevo do Bioma Amazônico no Estado do MA



Tabuleiros dissecados

Relevo de degradação predominantemente em rochas sedimentares

Formas de relevo tabulares, dissecadas por uma rede de canais com moderada densidade de drenagem e erosão ocasionada pela água do escoamento superficial no período chuvoso sob forma de ravinas, apresentando relevo movimentado de colinas com topos tabulares ou alongados e vertentes retilíneas e declivosas nos vales encaixados, resultantes da dissecação fluvial recente. Amplitude de relevo: 20 a 50 m. Essa unidade de relevo pode ser bem visualizada nos seguintes domínios geomorfológicos: Tabuleiros de São Luís-Alcântara-Guimarães (Figura 19), Baixos Platôs de Barra do Corda e Planalto Dissecado Gurupi – Grajaú.

Colinas dissecadas e de morros baixos

Relevo de degradação em litologia sedimentar

Relevo moderadamente ondulado com colinas e morros dissecados com vertentes íngremes de gradiente moderado convexo-côncavas e topos arredondados, apresentando moderada densidade de drenagem com padrão dendrítico. Esta feição é bem visualizada nos seguintes domínios geomorfológicos: Baixos Platôs de Barra do Corda e Planalto Dissecado Gurupi – Grajaú. Amplitude de relevo: 20 a 100 m.

Baixos platôs

Relevo de degradação em rochas sedimentares

Superfícies ligeiramente mais elevadas que os terrenos adjacentes, francamente dissecadas em forma de colinas tabulares. Sistema de drenagem constituído por uma rede de canais com moderada densidade de drenagem, que gera um relevo dissecado em vertentes retilíneas e com declives acentuados nos vales encaixados, resultantes da dissecação fluvial pretérita e recente. Amplitude de relevo: 20 a 50 m. Inclinação das vertentes: topo plano a suavemente ondulado: 2^o-5^o. Esta feição é bem visualizada nos seguintes domínios geomorfológicos: Baixos Platôs de Barra do Corda e Planalto Dissecado Gurupi – Grajaú.

Inselbergs e outros relevos residuais

Relevo de aplainamento.

Relevos residuais isolados, destacados na paisagem aplainada e na planura periférica da Baixada Maranhense, remanescentes do arrasamento geral do relevo (terrenos). Inselberg é um termo derivado do alemão que significa, literalmente, colina da ilha (island. Hill), usado para descrever relevos isolados ou agrupados que se destacam em grandes superfícies planas (BÉTARD; PEULVAST, CLAUDINO SALES apud MAIA et al., 2018). Ainda de acordo com Maia (2018) vários tipos de relevos isolados ao longo de vastas superfícies de aplainamento do Nordeste brasileiro podem ser identificados, tais como pequenas colinas ou outeiros recobertos por solos e vegetação. Desta maneira, a designação realizada por Ab' Saber em seu trabalho escrito em 1960 já fazia menção a essa unidade de relevo na Planura Periférica da Baixada Maranhense. Contudo, vale destacar que esse tipo de relevo na literatura nacional e internacional está mais relacionado às formas graníticas expostas com declives acentuados, podendo apresentar altitudes e dimensões variadas. No bioma amazônico maranhense, estas formas apresentam altitudes de até 50m.

Morros e serras baixas

Relevo de degradação.

Relevo constituído de colinas dissecadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados, e poucos morros e serras baixas com vertentes de gradiente suave a moderado, apresentando moderada densidade de drenagem de padrão dendrítico.

Planaltos

Relevo de degradação predominantemente em rochas sedimentares.

Relevo de degradação predominantemente em rochas sedimentares ou vulcano-sedimentares. Superfícies mais elevadas que os terrenos adjacentes, francamente dissecadas por canais incisivos e aprofundados, gerando superfícies planálticas fragmentadas e morros de topos planos.

Amplitude de relevo: 100 a 40m. Inclinação das vertentes: 10^o- 45^o

Vales encaixados

Relevo de degradação em qualquer litologia

Relevo acidentado, com predomínio de vertentes com gradientes elevados especialmente na área dos baixos platôs, tabuleiros e planaltos no setor sul do bioma amazônico. Sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento e densidade de drenagem moderada a alta com padrão dendrítico, treliça e retangular, apresentando moderado a forte controle estrutural.

9 ENTIDADES GEOMORFOLÓGICAS: forma, composição e origem

É palmar que a caracterização de entidades geomorfológicas de uma área pode seguir diversos padrões de apresentação. Nesta caracterização sucinta pode ser salientada a consideração de três aspectos informativos para cada entidade geomorfológica: forma, composição e origem/processos modificadores, os quais são apresentados a seguir.

A forma da entidade geomorfológica em análise, muitas vezes, é uma característica gerada por analogia com alguma entidade conhecida (tabuleiro, pão de açúcar são exemplos) ou por ter caráter diretamente descritivo (chapada, serra, inselberg, morro testemunho, entre outros). A adoção de termos do vernáculo deve ser acompanhada de incrementos especificadores na descrição geradora inicial, com o intuito de evitar acepções contraditórias ou excessivamente ampliadoras do significado do termo.

A composição do terreno, cuja caracterização é, muitas vezes exigente, seja por sua extensão (Superfície Sul Americana de Lester King) ou por sua constituição geológica eventualmente complexa (Maciços Cristalinos do Rio de Janeiro). Este último caso é um exemplo de imbricação de características litológicas com outros aspectos geomorfológicos (natureza de vertentes abruptas, associadas a falhas, tipo a da face sul do Morro do Corcovado, no Rio de Janeiro, exfoliações gigantes e subconcêntricas na vertente do Pão de Açúcar voltada para a Praia Vermelha). Estas imbricações geomorfo-litológicas são, muitas vezes, associáveis lateralmente a elevações menores com topos recobertos por regolito, indicando possíveis alterações de constituição gnáissica associadas aos movimentos crustais geradores de desníveis, constituindo-se, assim, um complexo conjunto lito-morfológico.

A origem e os processos modificadores constituem elementos exigentes quanto a investigações de campo e de laboratório. A origem primeira da forma da entidade geomorfológica, de acordo com suas posição e extensão territorial, pode estar ligada a movimentos crustais de grande porte, geradores de depressões e blocos alçados. Porém, a presença de falhas e o adensamento de fraturas crustais podem estar associados a compartimentos de blocos alçados que apresentem indicações das acomodações posteriores ao seu alçamento principal.

Em ambos os casos, modificações posteriores poderão ter relevância, sendo geradas por processos pertencentes às dinâmicas subaéreas e subaquáticas. É o caso das rampas de colúvio, cuja denominação identifica diretamente forma e composição, mas não sua origem, associada à sua posição ao sopé de vertentes. Sua forma, como rampa propiciadora de escoamentos de clásticos imaturos (colúvios), indica a ocorrência de enxurradas poderosas, capazes de redistribuir sedimentos oriundos das encostas à sua montante. Acresce que essas rampas de colúvio se apresentam hoje sob vegetação inibidora da ação transportadora de fluxos hídricos subaéreos. São, muitas vezes, locais de exercício de atividades agrícolas duradouras. Trata-se, nesse caso, de rampas de colúvio, de uma feição ambiental herdada de condições de cobertura vegetal não impeditiva da ação transportadora do escoamento superficial, que depositou os colúvios, por sua vez, clásticos imaturos gerados pela retro evolução das encostas vizinhas. Processos posteriores à origem e deposição inicial dos clásticos por movimentos coletivos do solo, tais como desmoronamentos e deslizamentos, criaram aportes dos clásticos que foram redistribuídos adiante, gerando as rampas de colúvio, hoje locais recobertos por gramíneas e vegetação arbóreo-arbustiva de maior permanência. Portanto, a rampa de colúvio tem uma origem remota, no recuo de encostas e uma associação genética com o escoamento superficial em condições menos úmidas que as atuais, durante o Quaternário.

Dessa maneira, a pesquisa geomorfológica, em particular, permite a criação de classificações de suas entidades taxonômicas que tendem a ser genéticas, na medida em que considera, na criação dessas entidades, três elementos de caracterização de grande poder informativo e para cada entidade geomorfológica de interesse científico ou econômico-social é possível utilizar ou criar termos contidos em uma tríade, como são as características determináveis de forma, origem e processos modificadores que serão apresentadas a seguir, em relação ao bioma em análise.

9.1 Formas

As principais formas identificadas nas duas principais unidades geomorfológicas do Bioma Amazônico no Estado do Maranhão são as seguintes:

Planície Costeira – Formas Presentes:

- Praias, promontórios, dunas, campos de dunas, restingas, falésias, planície arenosa, planície de maré, planície fluvial, planície flúvio-marinha, lagoas, lagunas pântanos, tabuleiros, tabuleiros dissecados, estuários, canais de maré, falsas rias, campos alagadiços, tesos e baías.

Planalto (50 a 400m) – Formas presentes:

- Hosts e grabens, depressões estruturais, vales e planícies fluviais, lagoas, lagos, pântanos, encostas suaves, moderadas e abruptas, colinas, morrotes, mesetas, morros, chapadas sedimentares, serras, inselberg e outros relevos residuais.

9.2 Origem

Explicação Preliminar do Controle Tectônico da Bacia:

Geração de blocos e direções dominantes ou importantes. Presença da direção N-S. Orientação do desgaste erosivo. Geração de blocos (paralelepípedos) gerados em concordância com direções NE-SW e NW-SE. Direção N-S também presente principalmente em algumas direções de trechos de rios a exemplo do Pindaré, Buriticupu e Grajaú.

Origem Geral do Relevo:

a) Na Planície Costeira

Interação de processos marinhos (marés, ondas e correntes), eólicos (dunas), fluviais, lacustres e lagunares.

Movimentações neotectônicas têm sido registradas na planície costeira e têm sido julgadas, por alguns pesquisadores, como responsáveis por alterações significativas na forma e localização de processos e feições ambientais da citada planície costeira.

b) Nos planaltos

A erosão das rochas sedimentares comandada por movimentos estruturais geradores iniciais da compartimentação do relevo.

9.3 Processos Modificadores

a) Na Planície Costeira

- Mudanças de canal;
- Assoreamentos/sedimentação;
- Erosões localizadas;
- Salinizações;
- Efeitos de pororocas;
- Colonizações vegetais;
- Inesperadas deposições e remoções: cheias e inundações.

b) No Planalto

- Movimentos de massa.
- Erosões e deposições.
- Sedimentação nas depressões.
- Ravinas e voçorocas.
- Mudanças fluviais (capturas, abandono de calhas fluviais, cheias e inundações).
- Abatimentos localizados do terreno.
- Escorregamentos nas encostas induzidos por remoção da vegetação e/ou tremores de terra.
- Intenso intemperismo com alterações físico-químicas nas rochas.
- Entalhamento e entulhamento (colmatação) dos vales fluviais encaixados.
- Solapamento das margens fluviais com presença de bancadas de conglomerados poligomíticos/brechas.

10 ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS

10.1 Granulometria das amostras sedimentares

As diferentes configurações de grãos disponíveis na natureza apresentam elevada e complexa variabilidade dimensional (SUGUIO, 1973). Isto pode promover, em ambiente natural, a presença de material sedimentar com vários tamanhos de partículas (BIRD, 2008). Compreender a relação entre a presença e as dimensões dessas partículas em determinado ambiente pode trazer informações como sua origem (área fonte – suprimento sedimentar) e transporte (agente que transportou aquele sedimento até lá – ação eólica, hidrodinâmica, tectonismo, etc.) fomentando as características sedimentares de uma região (TEIXEIRA et al., 2000). Uma das maneiras eficazes de compreender tais proposições é através de análises granulométricas.

Segundo Suguio (1973), granulometria é o nome dado ao conjunto de métodos que classifica, padroniza e estima os tamanhos de grãos, possibilitando comparações a partir de suas propriedades físicas. Sua caracterização em depósitos sedimentares é essencial para uma correta correlação de fácies, bem como a escolha dos métodos de caracterização (FOLK, 1968).

Através de base uniforme, as escalas de distribuição de tamanhos em classes foram desenvolvidas com a intenção de atribuir nomenclaturas e terminologias, para que resultados das análises granulométricas sejam padronizados (GUY, 1969). Ao longo das últimas décadas, foram elaboradas escalas de dois tipos, uma que atribui classificações verbais de acordo com valores numéricos, denominadas de escalas de classes, e outra que somente relaciona os tamanhos dos grãos de acordo com as malhas das peneiras utilizadas. Dias (2004) fala sobre a primeira escala proposta por Johan Udden no ano de 1898, que se refere ao tamanho dos grãos, em que trata de uma escala geométrica que utiliza potências de 2 mm.

Em 1922 Wentworth modificou algumas partes na referida escala atribuindo um intervalo geométrico fixo, baseado numa escala logarítmica de base 2, além de considerar as propriedades físicas dos grãos envolvidas em seu transporte para determinar os limites de suas classes (SUGUIO, 1973).

Diversos pesquisadores tentaram desenvolver modelos de escalas que exemplificassem a granulometria de uma maneira geral. As primeiras seguiam

modelos matemáticos. Dentre estas, destaca-se a de ATTEBERG (SEED et al., 1967). No entanto, tais modelos não foram aceitos, pois agregavam em uma mesma categoria, partículas que na verdade possuíam diferentes comportamentos de deposição e transporte. Em 1922, WENTWORTH elaborou uma tabela levando em consideração o tipo de transporte da partícula. Além disso, cada intervalo de classe compreendia um certo valor em milímetros. Baseado nisto, KUMBREIN (1934) desenvolveu uma escala logarítmica relacionando os valores em milímetros com uma unidade adimensional denominada “phi” (Φ). O cálculo desta escala é representado pela expressão:

$$\phi = -\log_2 d(\text{mm})$$

Em que é o tamanho de “d” é expresso em mm

Atualmente, a principal escala granulométrica adotada traz informações conjuntas de WENTWORTH (1922) e KUMBREIN (1934) como pode ser observado abaixo (Quadro 4).

Quadro 4 - Escalas de Wentworth (1922) e Krumbein (1934) para classificação do tamanho do grão apresentando limites de classe em mm e phi

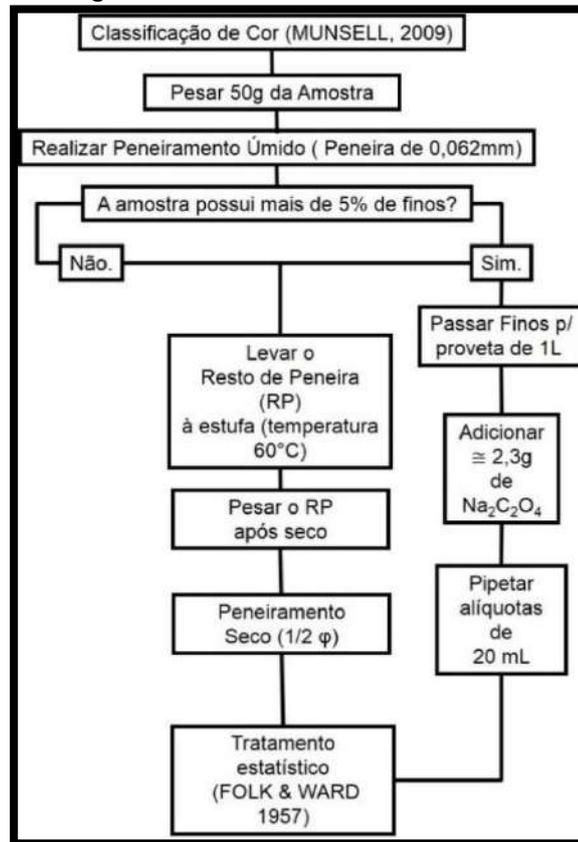
Escala Wentworth (mm)	Escala Φ $\Phi = -\log_2 d$	Tipo de Sedimento
256.00	-8.00	> Matacão
64.00	-6.00	> Bloco
32.00	-5.00	> Seixo
26.90	-4.75	
22.62	-4.50	
19.02	-4.25	
16.00	-4.00	
13.45	-3.75	
11.31	-3.50	
9.51	-3.25	
8.00	-3.00	
6.27	-2.75	
5.65	-2.50	
4.75	-2.25	
4.00	-2.00	
3.36	-1.75	
2.82	-1.50	
2.37	-1.25	

2.00	-1.00	> Grânulo
1.69	-0.75	
1.41	-0.50	
1.19	-0.25	
1.00	0.00	> Areia Muito Grossa
0.84	0.25	
0.71	0.50	
0.59	0.75	
0.50	1.00	> Areia Grossa
0.420	1.25	
0.351	1.50	
0.297	1.75	
0.250	2.00	> Areia Média
0.210	2.25	
0.177	2.50	
0.149	2.75	
0.125	3.00	> Areia Fina
0.105	3.25	
0.088	3.50	
0.074	3.75	
0.062	4.00	> Areia Muito Fina
0.0313	5.00	> Silte Grosso
0.0156	6.00	> Silte Médio
0.0078	7.00	> Silte Fino
0.0039	8.00	> Silte Muito Fino
0.00195	9.00	> Argila Grossa
0.00098	10.00	> Argila Média
0.00049	11.00	> Argila Fina
	12.00	> Argila Muito Fina

De acordo com Suguio (1973), a maior parte dos sedimentos é heterogênea em relação à sua constituição granulométrica, e já que existem diversas técnicas que se aplicam a diferentes faixas granulométricas deve-se optar por uma técnica adequada que classifique as diferentes granulometrias de maneira coerente (LIMA et al., 2001). Comumente, a escolha do método para análises sedimentológicas é separada entre sedimentos grossos (peneiragem), que possuem diâmetros superiores a 0,062 mm, e sedimentos finos (pipetagem), com diâmetros inferiores a 0,062 mm.

10.2 Procedimentos laboratoriais

Figura 22 - Fluxograma dos procedimentos das análises granulométricas desenvolvidas no LEOG- Laboratório de Estudos de Oceanografia Geológica



Fonte: Elaboração própria (2019)

O cálculo dos parâmetros estatísticos (média, desvio padrão, selecionamento, assimetria), segundo Folk e Ward (1957), foi efetuado através do programa de código livre Sysgran 3.0 (CAMARGO, 2006).

A média divide a amostra em duas partes iguais em relação ao seu peso (SUGUIO, 1973). Muehe (1994) afirma que a média gráfica proposta por Folk e Ward (1957) torna-se um parâmetro adequado para análises sedimentares, pois demonstra maior sensibilidade às variações da configuração da curva justamente por considerar as extremidades da curva. Sendo assim, torna-se frequentemente utilizada para a classificação geral dos sedimentos.

O desvio padrão leva em consideração a dispersão em relação à média, associando-se ao selecionamento da amostra, ou seja, relacionando-a com flutuações

do nível energético do agente deposicional, e sua capacidade de classificar os materiais mobilizados (FOLK; WARD, 1957). Depósitos que contêm pequenas variações de tamanho de partículas são referidos como bem selecionados. Entretanto, se não houver uma disponibilidade da área fonte em fornecer diferentes tamanhos de grão ao agente de deposição, as diferenças energéticas do meio não serão retratadas no material acumulado, o que mostra que a distribuição de tamanho dos materiais da área fonte influencia, de certo modo, o grau de seleção dos sedimentos depositados em um dado ambiente.

A assimetria de uma distribuição granulométrica leva em consideração a posição da mediana em relação à média aritmética (FOLK; WARD, 1957) e, portanto, é adimensional. Ela é dita positiva para o enriquecimento do ambiente em sedimentos finos e, negativa para o enriquecimento da distribuição em partículas mais grossas. Em contraste, uma assimetria negativa significa um deslocamento da curva para esquerda da média e um enriquecimento de partículas mais grossas. A utilização mais defendida da assimetria como parâmetro estatístico sensível aos processos sedimentares é sua característica de apresentar predominância de valores negativos nos sedimentos da face de praia (DUANE, 1964). Ainda segundo (DUANE, 1964), valores negativos de assimetria são indicativos de áreas em processo de erosão, enquanto valores positivos indicam deposição.

Todo o material foi descrito quanto à cor (Foto 52), segundo os parâmetros descritos em Munsell (2009). A partir das amostras brutas coletadas, iniciou-se o quarteamento para enquadramento estatístico de alíquotas de 100g para as análises granulométricas. Os sedimentos foram lavados para extração de sais e secados na estufa à temperatura de 60°C. Posteriormente, foram novamente quarteadas para alíquotas de 50g para peneiramento em um conjunto de peneiras granulométricas (SUGUIO, 2003). O peneiramento consistiu da sobreposição colunar, de modo decrescente, de peneiras metálicas, de malha calibrada, conforme a escala de WENTWORTH (1922), para serem agitadas. A escolha da série das peneiras varia de acordo com o objetivo de estudo. Em geral, a seleção é realizada a cada $\frac{1}{2} \Phi$, isto é, utilizando peneiras de 2 mm, 1.41 mm, 1 mm, 0,71 mm, etc., ou $\frac{1}{4} \Phi$ para análises mais detalhadas. A coluna de peneiração pode ser agitada por diversos aparelhos ou mesmo pode ser realizada manualmente. O tempo de peneiramento varia conforme a amostra a ser utilizada. Normalmente, cada agitação tem duração de 5-15 minutos.

Após o peneiramento, o material retido em cada peneira é pesado para obtenção dos resultados. É importante ter noção do peso inicial para que se possa estimar a % de material perdida durante este processo. Este método é utilizado para materiais de granulometrias maiores, sobretudo grânulos e areias.

Foto 52 - descrição de cor das amostras sedimentares segundo Munsell (2009)



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

Por sua vez, a pipetagem (Foto 53) foi utilizada para determinar a granulometria de finos - siltes e argilas (partículas menores que 0,062mm e maiores que 0,0002mm). Este método baseia-se na Lei de Stokes (1851) que utiliza a velocidade de decantação das partículas para referência do tamanho do grão. Stokes postula que após um tempo conhecido, as partículas tendem a decantar de maneira constante, pois a resistência do fluido (água) iguala-se à força da gravidade ($9,8m/s^2$). A seguinte fórmula descreve o procedimento matemático formulado por Stokes:

$$V = (d - d_f) \cdot g \cdot D / 18u$$

Em que:

D = diâmetro do grão

d = densidade do grão

d_f = densidade do fluido

g = gravidade

u = viscosidade do fluido.

Foto 53 - Pipetagens das amostras sedimentares



Fonte: Registro da própria pesquisa (2018)

A granulometria dos sedimentos finos mede mudanças na concentração de partículas em suspensão na coluna d'água através de amostragens com pipeta, em intervalos de tempo e profundidades respectivas à sedimentação do material. O princípio deste método é baseado na agitação do sedimento em uma proveta de 1000ml por aproximadamente 1 minuto. Em seguida, tomam-se alíquotas de 20ml em tempos e alturas na coluna d'água pré-estabelecidos. Após a secagem do material coletado, o resíduo é pesado e este resultado é multiplicado por um fator de proporcionalidade baseado no volume da proveta, e volume total pipetado. Os tempos adotados para pipetagem podem ser observados na seguinte tabela (Quadro 5).

Quadro 5 - Tempo de sedimentação e profundidade para pipetagem levando em consideração à classificação do tamanho do grão em phi

Φ phi	Classificação	Tempo de Sedimentação	Profundidade pipetada
4-5	Silte Grosso	I – 1min 56s	10cm
5-6	Silte Médio	II – 7min 44s	10cm
6-7	Silte Fino	III – 31min	10cm
7-8	Silte Muito Fino	IV – 2h30min	10cm
8-9	Argila Grossa	V – 8h10min	10cm
9-10	Argila Média	VI -16h	5cm
10-11	Argila Fina	VII – 65h	5cm

Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Análises Morfoscópicas

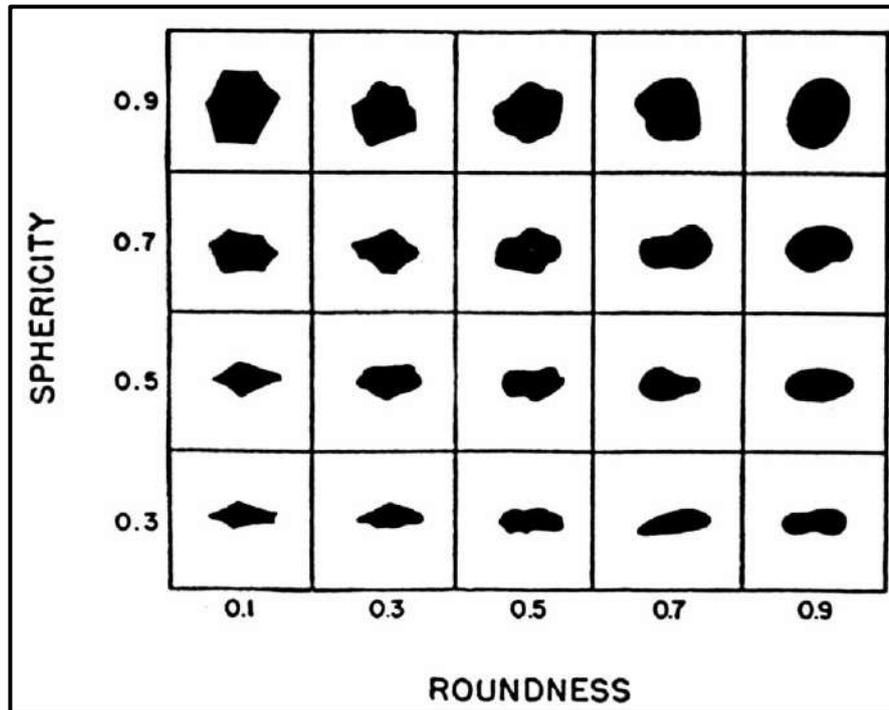
A morfoscopia é o estudo das superfícies dos grãos levando em consideração sua esfericidade, arredondamento e textura superficial. A análise destes parâmetros fornece diversas informações sobre as partículas, como por exemplo, o tipo de agente responsável por transportar o sedimento e qual foi tipo de transporte realizado. Além disso, fornece informações acerca de mecanismos presentes no ambiente. Dentre eles, destacam-se a degradação química e a atividade biológica no grão.

A esfericidade é grau que uma partícula se aproxima de forma esférica considerando seus eixos ortogonais (WENTWORTH, 1919). O arredondamento, por outro lado, relaciona-se com a angulosidade e arestas da partícula clástica (POWERS, 1953). A textura superficial leva em consideração uma observação visual das partículas, determinando o quão polido ou rugoso é o grão (BIGARELLA, 1955).

Para realização da morfoscopia, utilizou-se da moda granulométrica da amostra. Em seguida, uma pequena porção de grãos foi posicionada em um vidro de relógio. Com uma lupa binocular, realizou-se a contagem de 100 grãos classificando-os quanto sua esfericidade, arredondamento e textura superficial.

Para a análise da esfericidade adotou-se a tabela comparativa de Rittenhouse (1943) onde: 0,3 Pobre; 0,5 Média; 0,7 Boa e 0,9 Muito Boa. O segundo parâmetro na análise morfoscópica é o arredondamento. Para a esfericidade foi adotada a tabela comparativa desenvolvida por Krumbein (1941) onde: 0,1 subangular; 0,3 angular; 0,5 subarredondado; 0,7 arredondado e 0,9 bem arredondado (Figura 23). De modo geral, quanto maior o arredondamento e a esfericidade maior a distância e vigor do agente transportador.

Figura 23 - Quadro Comparativo de Esfericidade e Arredondamento de Partículas



Fonte: RITTENHOUSE (1943); KRUMBEIN (1941)

Por fim, foi observada a textura superficial segundo a classificação proposta por Bigarella (1955), na qual foram classificados os sedimentos pelo seu aspecto em: sacaróides, mamelonados e lisos. A maior ação do agente transportador tende a gerar grãos mais lisos. Estas três classificações devem ainda ser subdivididas em polidas ou foscas.

10.3 Resultados São Luís

As amostras sedimentares na Praia da Marcela (PM), Ponta do Farol (PF) e Ponta D'Areia (PA) e duas desembocaduras fluviais o Rio Pimenta (RP) e Rio Calhau (RC) apresentaram a média em areia fina (2,6Ø-2,9Ø) com variações entre bem, moderadamente e pobremente selecionadas. As amostras da geologia antecedente foram representadas pelas falésias da formação Barreiras que se destacam por apresentar areia média e sedimentos finos (silte+argila) em sua composição. As amostras dos estirâncios de PA e PF apresentaram médias granulométricas em areia muito fina e areia fina. O único ponto a apresentar um incremento de areia grossa oriundo do Grupo Barreiras foi o pós-praia da PF principalmente pela proximidade da falésia. Os resultados das análises morfoscópicas (Quadro 6 a 9) em PM evidenciou

os menores valores de grãos angulares e sub-angulares (1-9%).

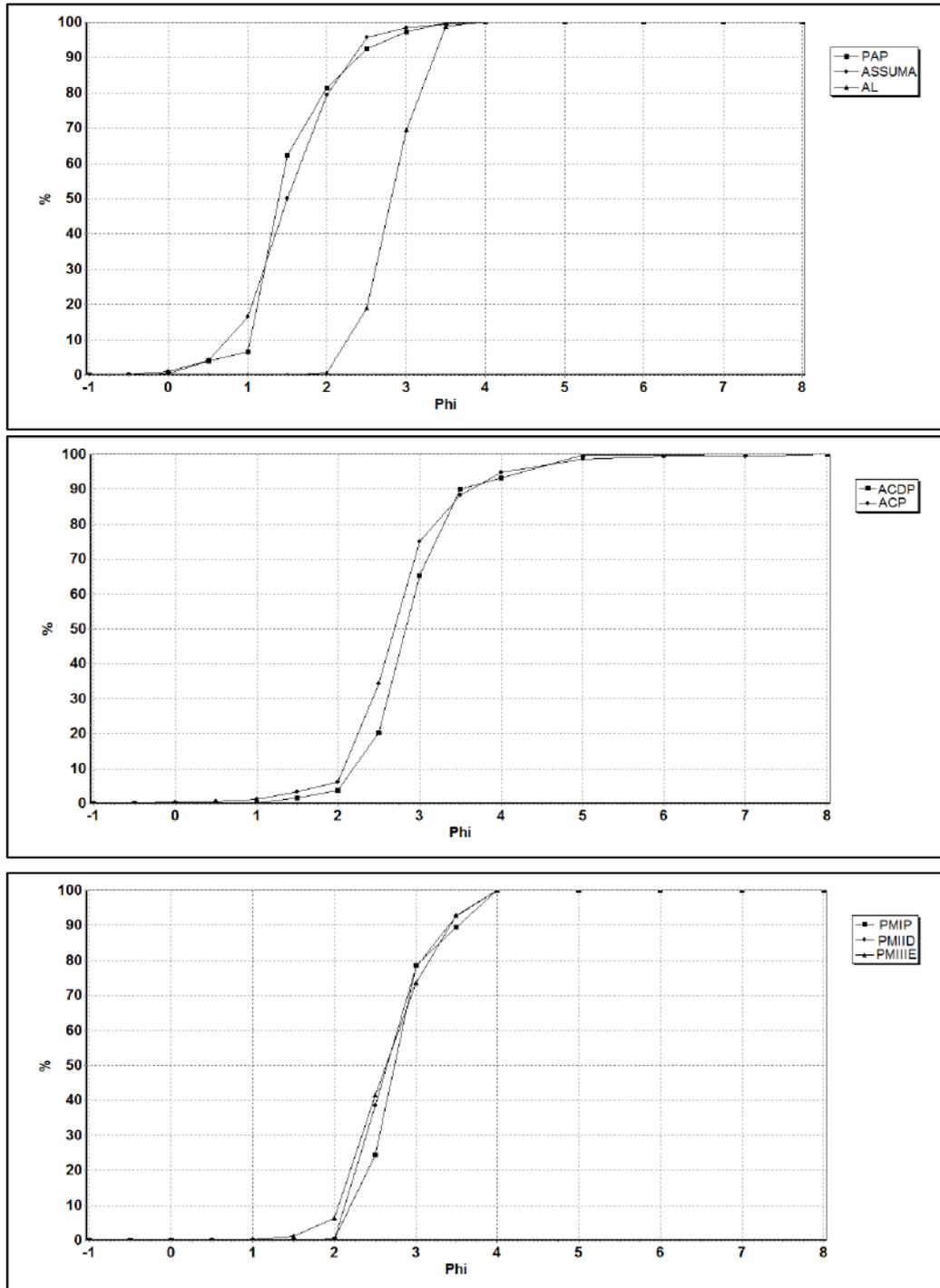
Na PA, o arredondamento tende a apresentar uma distribuição normal com predominância de grãos sub-arredondados (26-30%). Tanto as amostras da PA como B apresentaram a predominância (38-31%) de grãos classificados com esfericidade boa. A maior influência do suprimento sedimentar da Formação Barreiras para as praias adjacentes ocorre vinculada ao incremento de grãos com esfericidade pobre em PF e PA. Uma vez que a melhor esfericidade (22-50%) está relacionada às amostras da PF. Todas as amostras apresentaram grãos capeados por óxido de ferro. Nas amostras de PM, este capeamento variou entre 10-15%, em PF 26-20%, PA entre 15-25% e em B cerca de 30%. Claramente a PM apresenta os menores valores, indicando que o transporte unidirecional da deriva litorânea atua como principal agente mobilizador de sedimentos na face praias. No ponto PM a textura superficial mamelonada representa os maiores valores (66%), enquanto os grãos lisos os menores (30%).

As demais amostras têm melhor distribuição entre mamelonados (40-53%) e lisos (40-49%). Ao longo dos pontos analisados, a textura superficial de grãos polidos sofre redução em suas frequências ao cruzar a face praias onde a Formação Barreiras encontra-se exposta. De forma contrária, a textura superficial fosca tem seus valores aumentados ao cruzar pela posição ocupada pela falésia em erosão. Os grãos sacaróides permanecem sempre com menores frequências (5-15%) que grãos mamelonados (40-66%) e lisos (40-49%), seja nas amostras do pós-praias como no estirâncio. A análise morfoscópica do Rio Pimenta (RP) evidenciou os menores valores de grãos angulares e sub-angulares (9-10%), contrastando com os demais pontos onde a distribuição foi sempre mais homogênea. O arredondamento em RP tende a apresentar uma distribuição normal com predominância de grãos arredondados (26-29%). A esfericidade ficou entre boa e regular (40-37%). Nas amostras do Rio Calhau (RC), observa-se predominância de grãos sub-angulares e arredondados (30-31%). A esfericidade seguiu o mesmo padrão de RP com valores entre 33-40%. A melhor esfericidade (40%) foi encontrada relacionada às amostras de RP. Nas amostras de RP, o capeamento por óxido de ferro variou entre 5-10% e em RC 25-55%.

Em RC, a textura superficial mamelonada representa os maiores valores (52-54%), a textura lisa possui valores regulares (40-45%). As demais amostras têm

melhor distribuição entre mamelonados (37-46%) e lisos (47-50%). Nos pontos analisados a textura superficial de grãos polidos sofre oscilação em suas frequências de ocorrência, ora aumentando ou diminuindo, possivelmente pela proximidade ou distanciamento de faces praias. De forma contrária, a textura superficial fosca tem seus valores constantes ao longo de todos os pontos. Os elementos sacaroides permanecem sempre com as menores frequências (3-6%) em todos os pontos amostrados. Estes resultados indicam a dispersão sedimentar oriunda das desembocaduras de RP e RC. Estes resultados indicam que os sedimentos fluviais são carregados pela resultante da deriva litorânea desde suas desembocaduras, onde iniciam um processo de dispersão e mistura com sedimentos eólicos e praias presentes na linha de costa atual. Outro fator que pode indicar a relação deste transporte é a diminuição de grãos lisos e polidos, e o aumento de grãos mamelonados e foscos, o que indica maior incremento de processos eólicos na dispersão sedimentar.

Figura 24 - Frequências acumuladas das amostras sedimentares das praias da Marcela, Calhau e Ponta da Areia



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Quadro 6 – Resultados do arredondamento dos grãos de areias das praias de São Luís

ARREDONDAMENTO	0,9	0,7	0,5	0,3	0,1
PAP	23	26	21	21	9
ASSUMA	20	29	21	20	10
AL	18	26	23	22	11
ACP	9	22	27	30	12
ACDP	26	31	18	10	15
PMIID	10	20	22	31	17
PMIP	25	30	40	4	1
PMIIIE	16	23	21	31	9

Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Quadro 7 – Resultados da textura superficial dos grãos de areias das praias de São Luís

TEXTURA SUPERFICIAL	Liso	Mamelonado	Sacaroide
PAP	40	54	6
ASSUMA	45	52	3
AL	47	37	6
ACP	50	46	4
ACDP	47	47	6
PMIID	39	55	6
PMIP	29	66	5
PMIIIE	47	40	13

Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Quadro 8 – Resultados da esfericidade dos grãos de areias das praias de São Luís

ESFERICIDADE	0,9	0,7	0,5	0,3
PAP	21	40	21	18
ASSUMA	23	20	37	20
AL	24	28	26	22
ACP	21	33	22	24
ACDP	17	20	40	23
PMIID	38	30	28	4
PMIP	50	27	19	4
PMIIIE	22	29	32	17

Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Quadro 9 - Resultados da textura das amostras sedimentares de São Luís

TEXTURA SUPERFICIAL	Polido	Fosco
PAP	40	54
ASSUMA	54	53
AL	38	56
ACP	45	51
ACDP	38	56
PMIID	48	46
PMIP	52	43
PMIIIE	49	38

Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

10.4 Resultados Reentrâncias

Na etapa de campo, setor Reentrâncias Maranhenses, foram visitados 181 pontos entre afloramentos em estradas, praias, mangues e planícies aluviais. Destes pontos, 20 foram processados quanto a granulometria de suas fácies sedimentares, conforme resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação verbal das amostras processadas para o setor Reentrâncias Maranhenses

Amostra	Média	Classificação	Mediana	Seleção	Classificação
AGV-05	3,318	Areia muito fina	3,098	2,148	Muito pobremente selecionado
AT-04	1,641	Areia média	0,4356	3,112	Muito pobremente selecionado
AGNF-02	4,328	Silte grosso	3,471	3,327	Muito pobremente selecionado
AGB-03	3,227	Areia muito fina	-0,2033	4,396	Extremamente mal selecionado
ABR_01	4,492	Silte grosso	5,521	3,718	Muito pobremente selecionado
AGB-04	2,993	Areia fina	2,568	1,973	Pobremente selecionado
AMAR-01	3,732	Areia muito fina	3,116	2,863	Muito pobremente selecionado
AT-02	4,182	Silte grosso	3,367	4,293	Extremamente mal selecionado
ACAR-03	4,524	Silte grosso	5,316	2,594	Muito pobremente selecionado
AT-01	3,569	Areia muito fina	2,29	4,085	Extremamente mal selecionado
ACM-02	3,756	Areia muito fina	4,544	3,018	Muito pobremente selecionado
ACM-06	4,602	Silte grosso	4,753	4,325	Extremamente mal selecionado
ACAR-01	3,218	Areia muito fina	2,769	2,712	Muito pobremente selecionado
P. DUNAS M	2,394	Areia fina	2,331	0,7837	Moderadamente selecionado

ACM-01 A	3,149	Areia muito fina	3,089	2,124	Muito pobremente selecionado
ACM-01 B	5,098	Silte médio	6,406	3,781	Muito pobremente selecionado
ACM-05	2,74	Areia fina	1,469	3,896	Muito pobremente selecionado
ACM-03	4,489	Silte grosso	6,137	3,168	Muito pobremente selecionado
AT-01 B	2,963	Areia fina	1,997	3,209	Muito pobremente selecionado
AT-01 C	3,429	Areia muito fina	2,485	2,696	Muito pobremente selecionado

Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

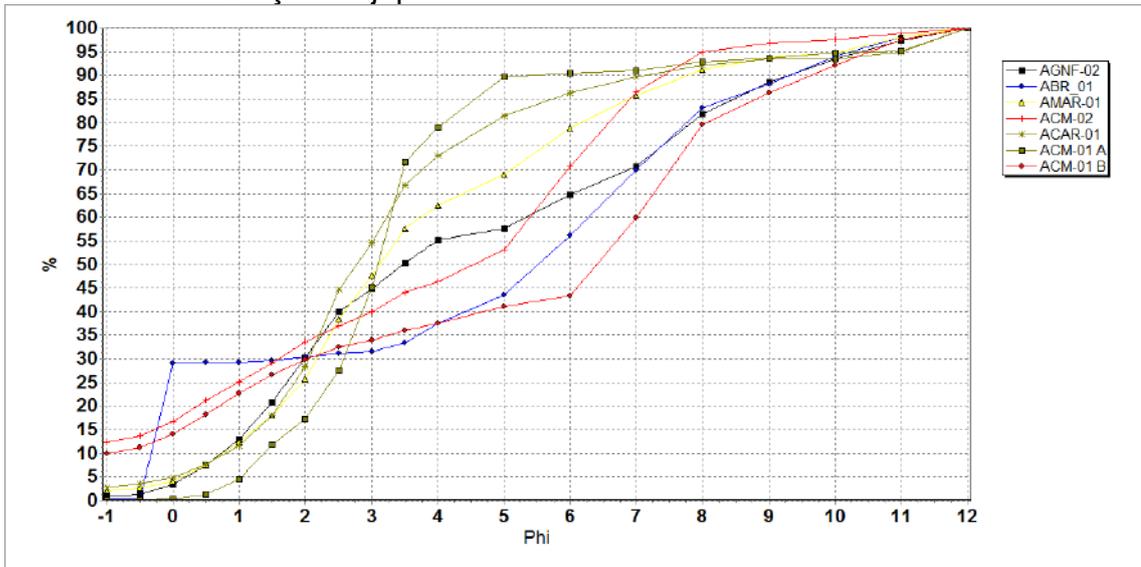
Tabela 2 - Classificação textural em porcentagem de Cascalho, Areia, Silte e Argila das amostras processadas para o ser Reentrâncias Maranhenses

	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
AGV-05	1,708	65,94	30,14	2,217
AT-04	15,59	62,93	12,3	9,183
AGNF-02	0,86	54,33	26,68	18,13
AGB-03	48,86	7,293	17,59	26,26
ABR_01	0,32	37,12	45,59	16,96
AGB-04	0,19	75,29	19,5	5,025
AMAR-01	2,02	60,43	28,65	8,892
AT-02	31,87	20,58	24,32	23,23
ACAR-03	0,03	45,1	49,69	5,173
AT-01	40,25	17,59	15,18	26,97
ACM-02	12,3	34,07	48,56	5,064
ACM-06	12,73	24,99	43,55	18,73
ACAR-01	2,90	70,14	19,12	7,827
P. DUNAS M	0,04	95,23	3,878	0,848
ACM-01 A	0,11	78,84	13,96	7,084
ACM-01 B	9,88	27,67	41,93	20,51
ACM-05	14,74	57,08	13,09	15,1
ACM-03	12,63	19,91	63,82	3,645
AT-01 B	5,381	57,23	29,43	7,957
AT-01 C	2,85	58,23	32,6	6,318

Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

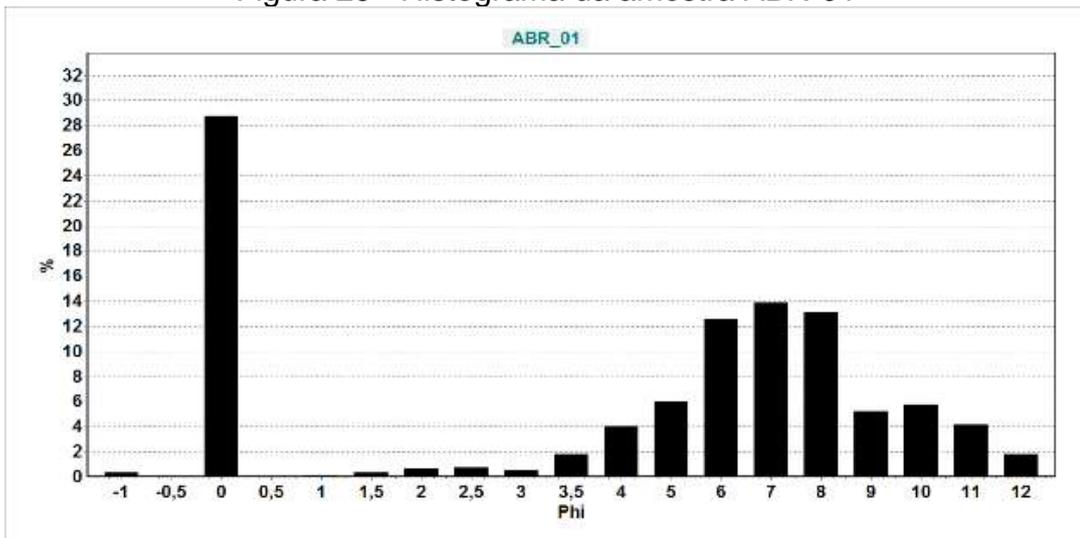
As amostras AGNF-02, ABR-01, AMAR-01, ACM-02, ACAR-01, ACM-01a e ACM-01b são todas referentes à Formação Cujupe e suas fácies sedimentares correlatas. A Figura 1 representa a curva de frequências acumuladas dessas amostras. Seu comportamento difere quanto à representatividade de amostras cascalhosas. Estes cascalhos estão associados a um sistema de preenchimento de vale inciso.

Figura 25 - Curvas de frequências acumuladas das amostras sedimentares da Formação Cujupe



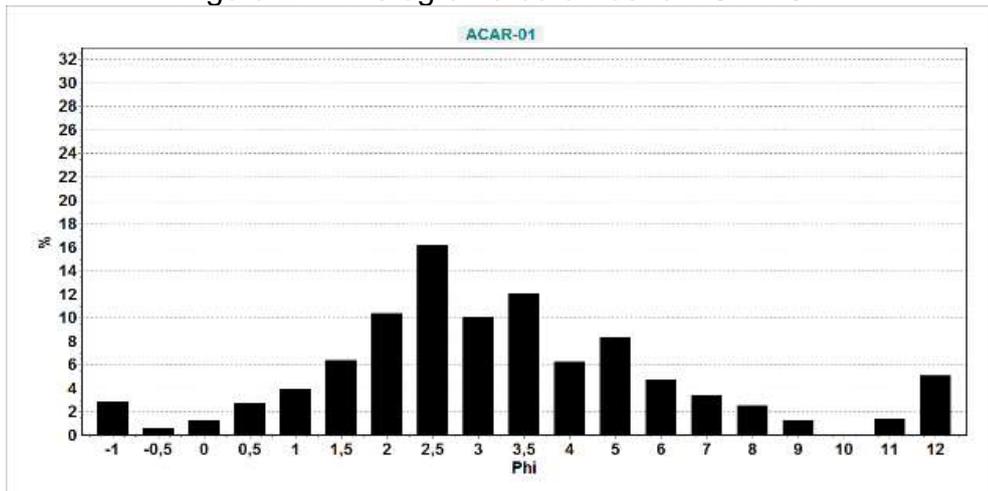
Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Figura 26 - Histograma da amostra ABR-01



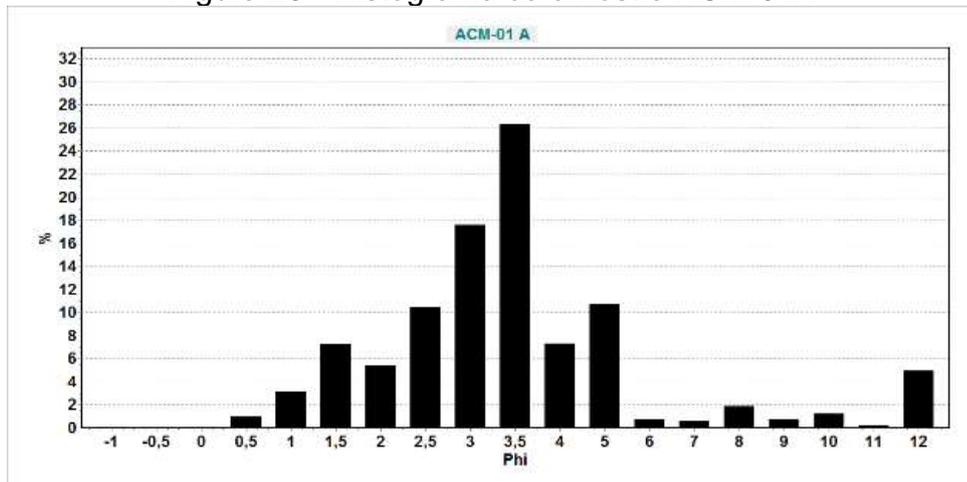
Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Figura 27 - Histograma da amostra ACAR-01



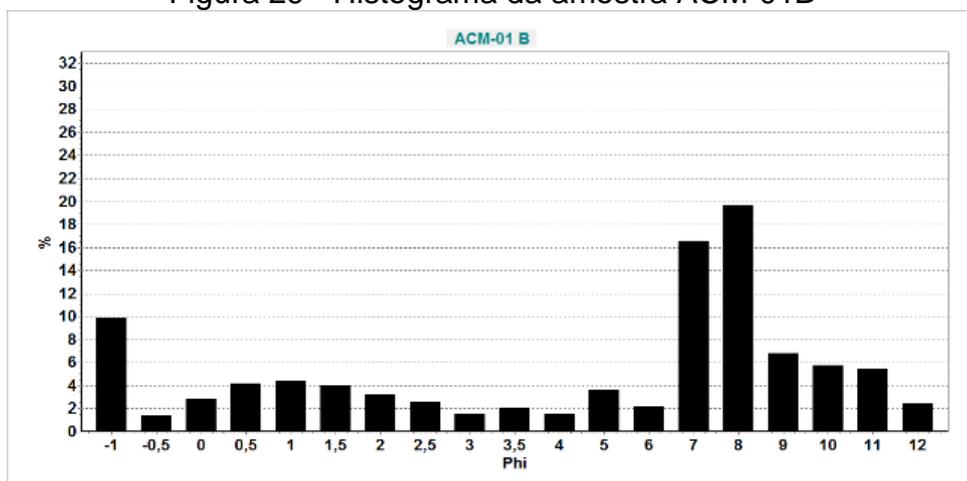
Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Figura 28 - Histograma da amostra ACM-01A



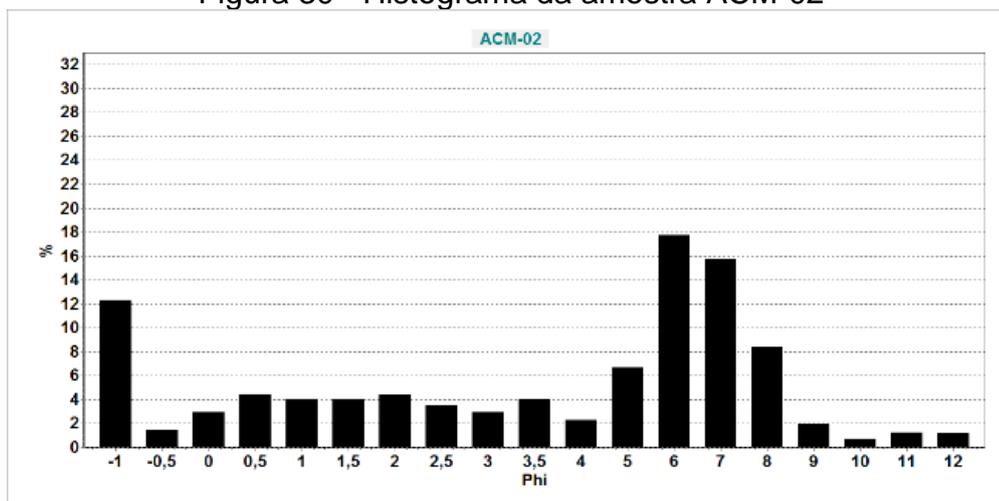
Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Figura 29 - Histograma da amostra ACM-01B



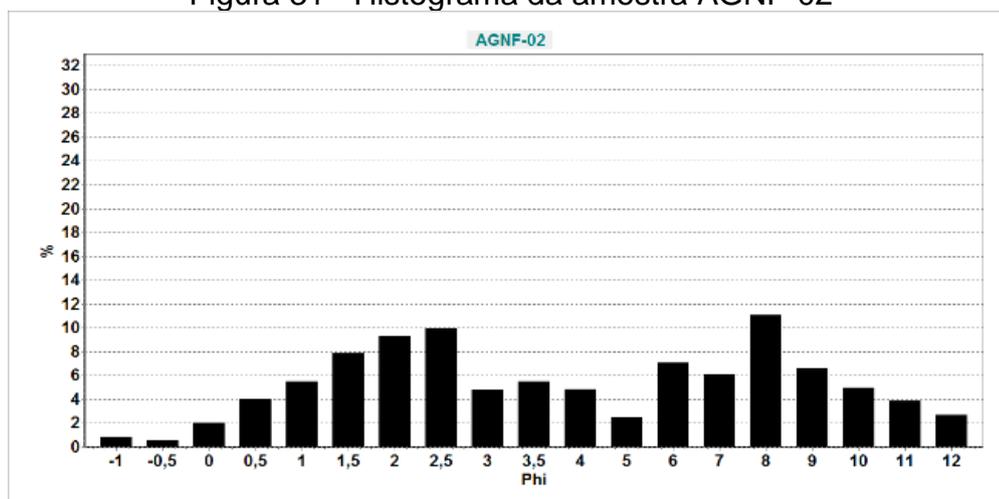
Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Figura 30 - Histograma da amostra ACM-02



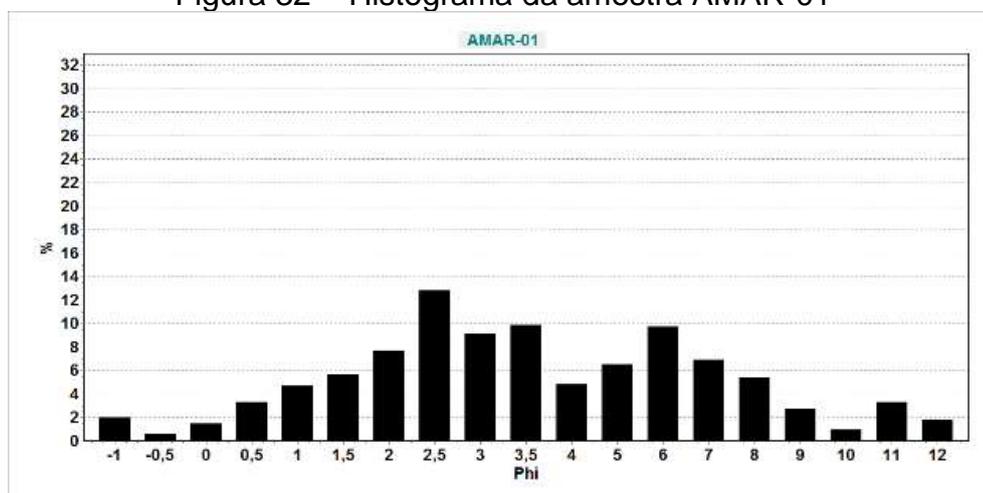
Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Figura 31 - Histograma da amostra AGNF-02



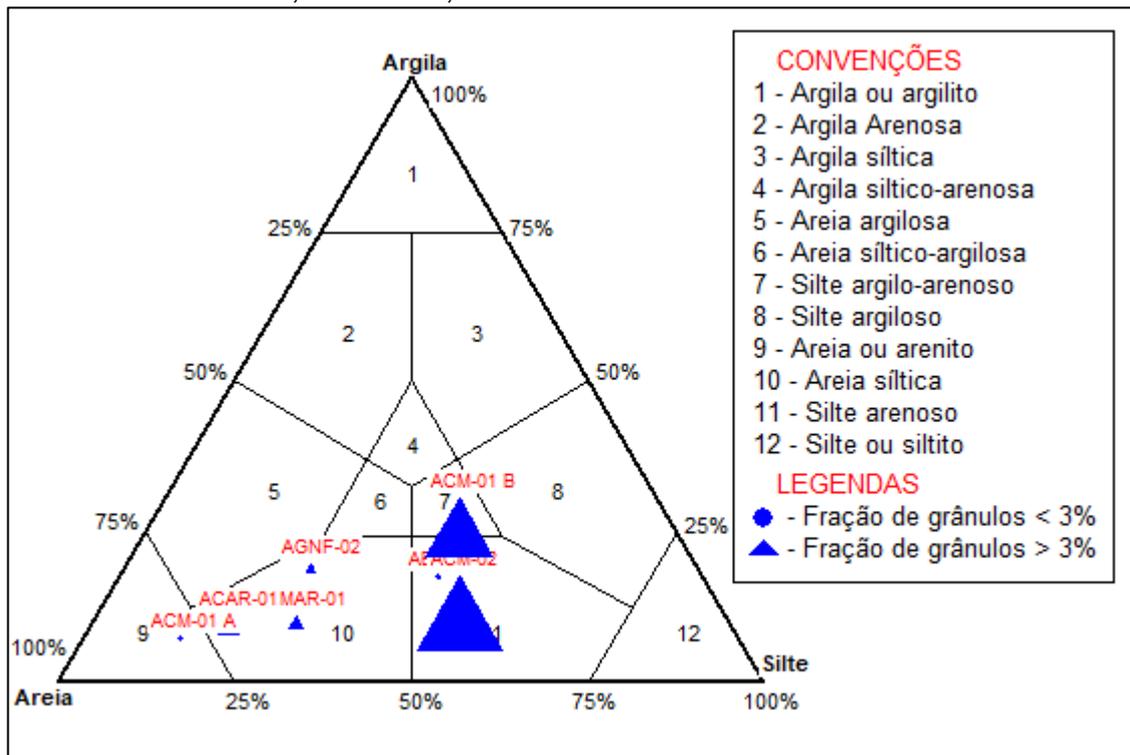
Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Figura 32 - Histograma da amostra AMAR-01



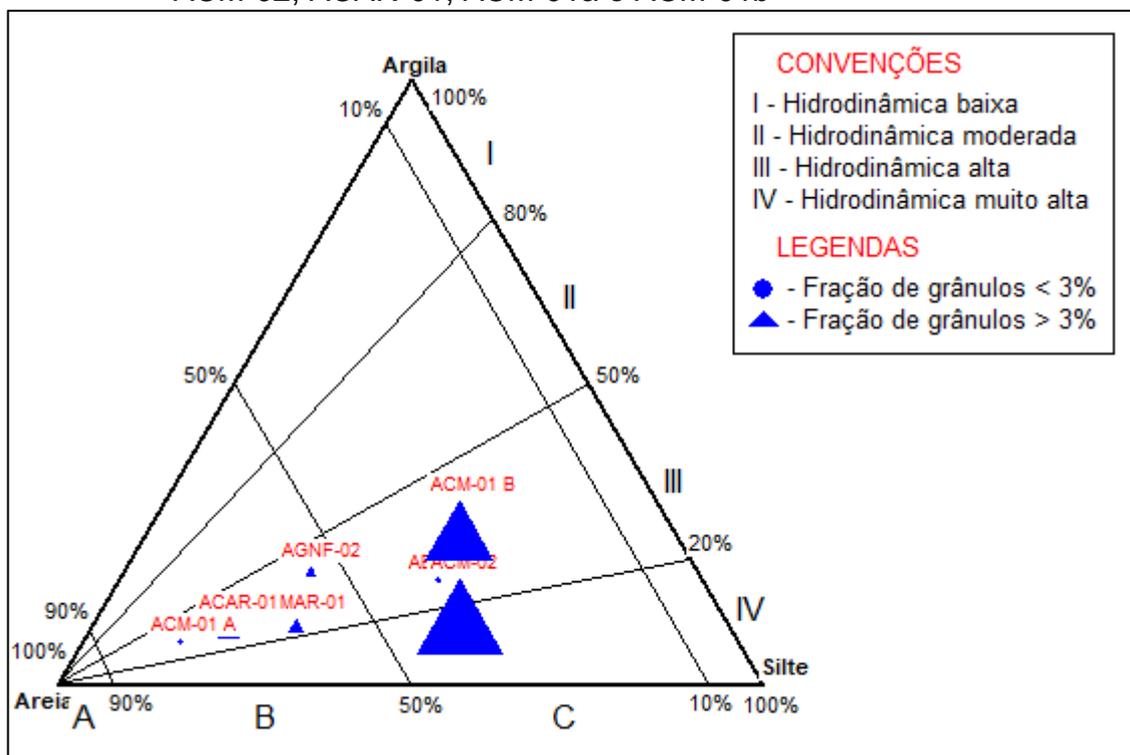
Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Figura 33 - Diagrama de Shepard das amostras AGNF-02, ABR-01, AMAR-01, ACM-02, ACAR-01, ACM-01a e ACM-01b



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

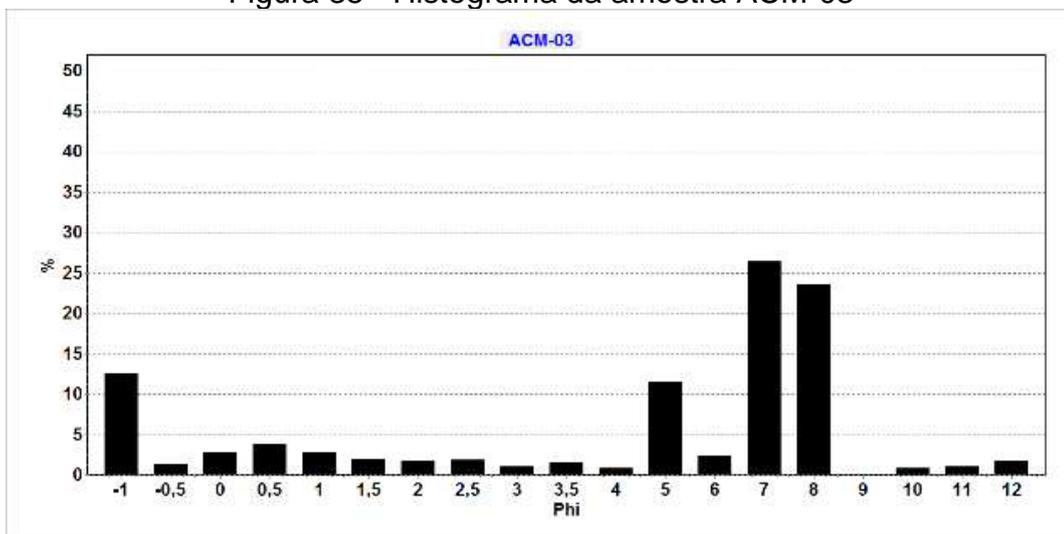
Figura 34 - Diagrama de Pejrup das amostras AGNF-02, ABR-01, AMAR-01, ACM-02, ACAR-01, ACM-01a e ACM-01b



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

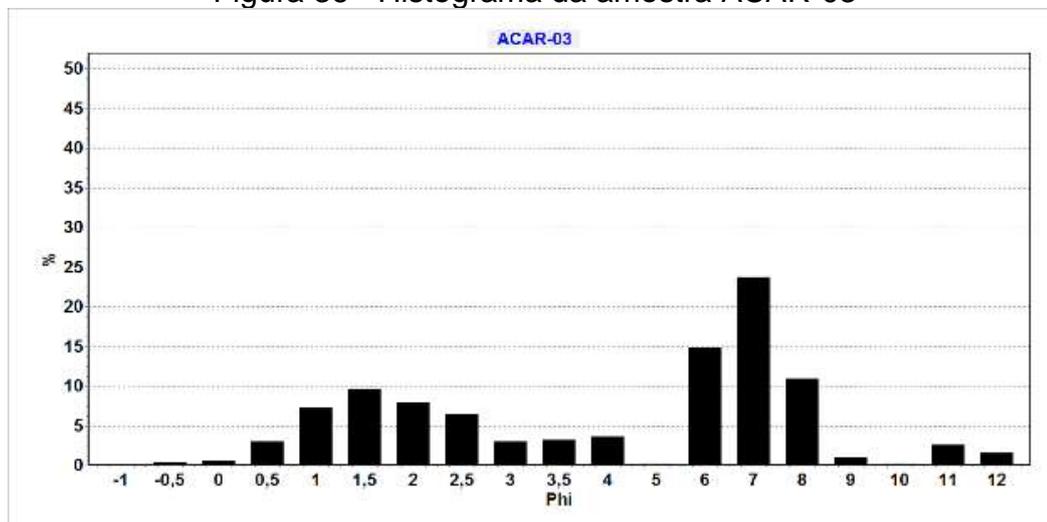
As amostras ACM-03 e ACAR-03 referem-se a topos de colinas provavelmente da Formação Cujupe retrabalhados e intemperizados, onde ocorre pontualmente a concentração de rochas lateríticas.

Figura 35 - Histograma da amostra ACM-03



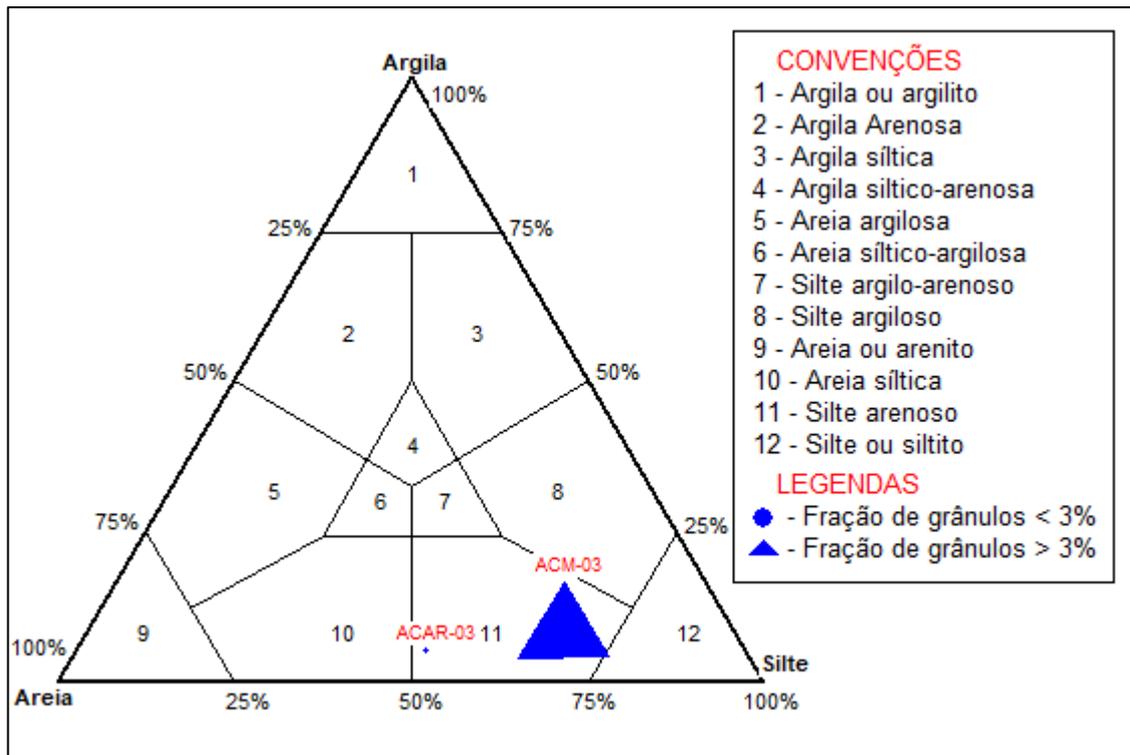
Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Figura 36 - Histograma da amostra ACAR-03



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

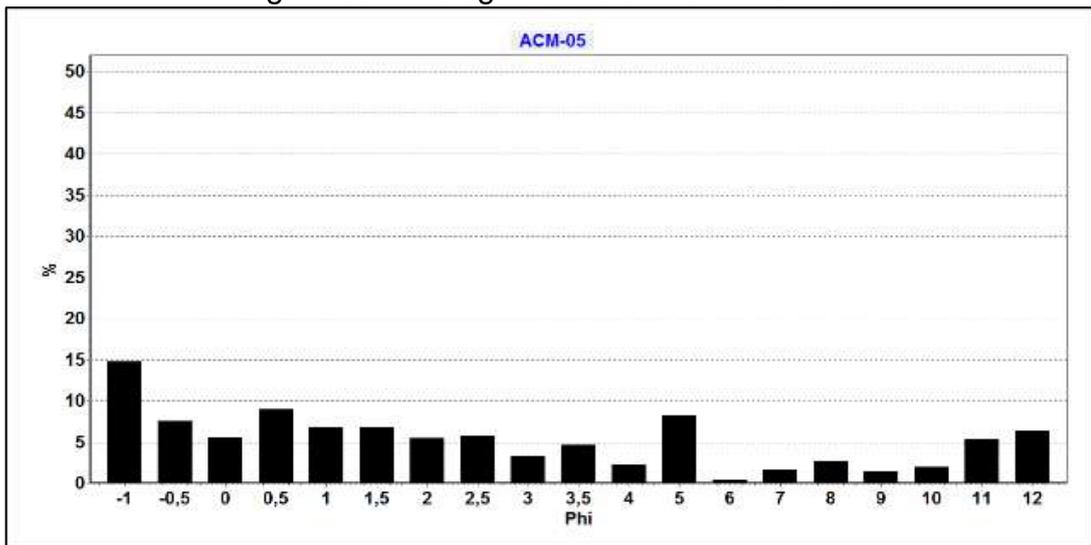
Figura 37 - Diagrama de Shepard das amostras ACM-03 e ACAR-03



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

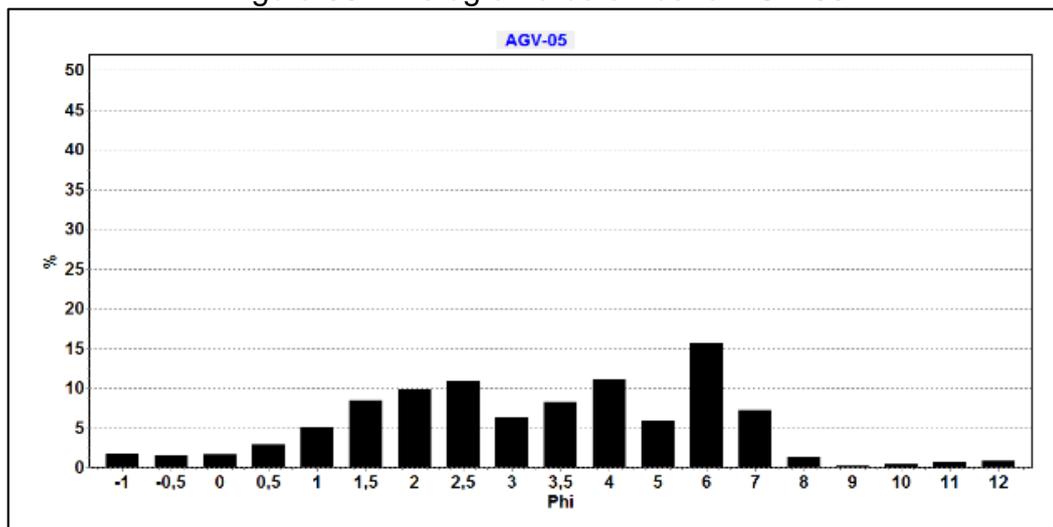
As amostras ACM-05, ACM-06 e AGV-05 referem-se a um granito intemperizado, provavelmente associado aos granitoides Negra Velha. Estas amostras também encontram-se no alto de uma colina.

Figura 38 - Histograma da amostra ACM-05



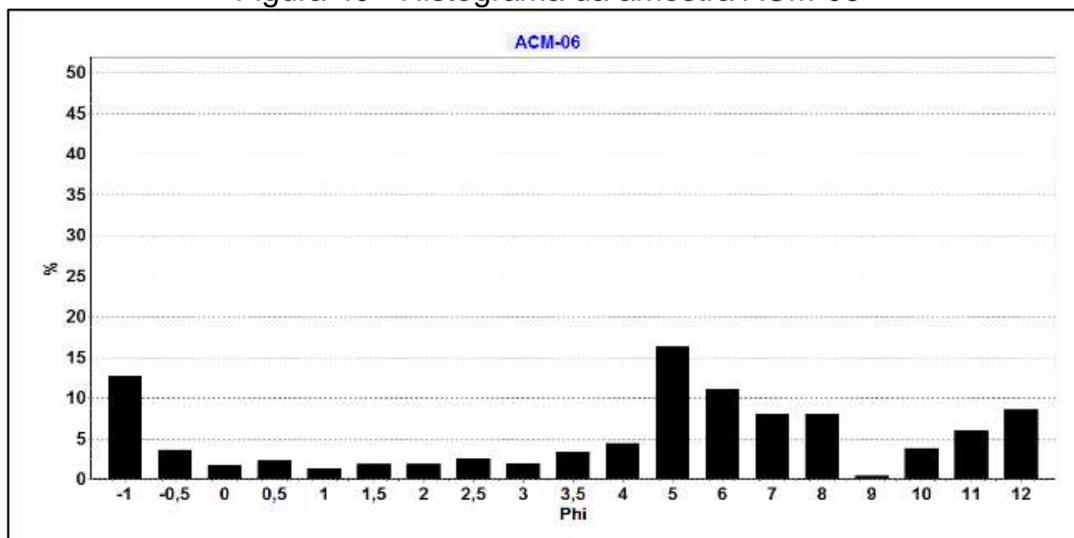
Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Figura 39 - Histograma da amostra AGV-05



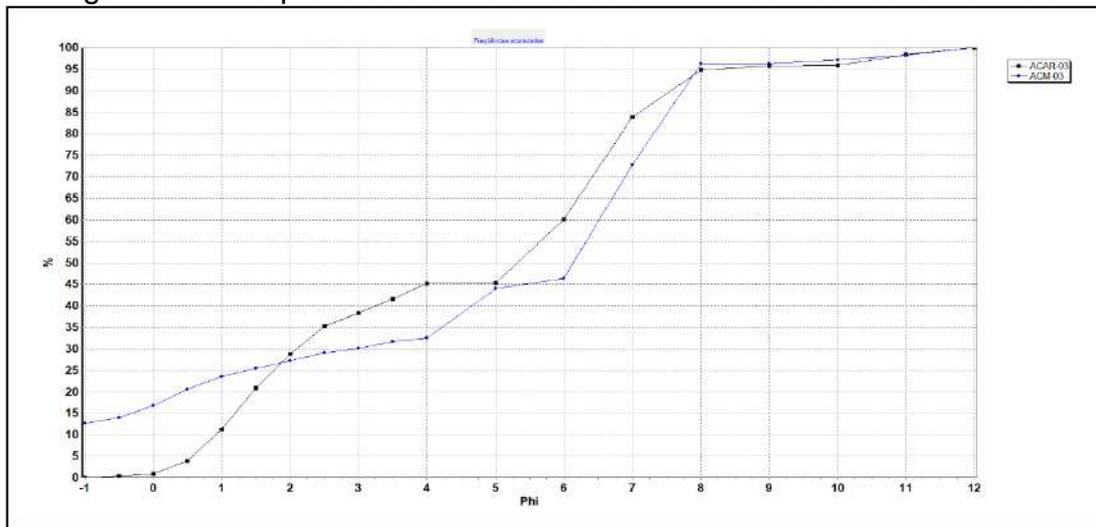
Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Figura 40 - Histograma da amostra ACM-06



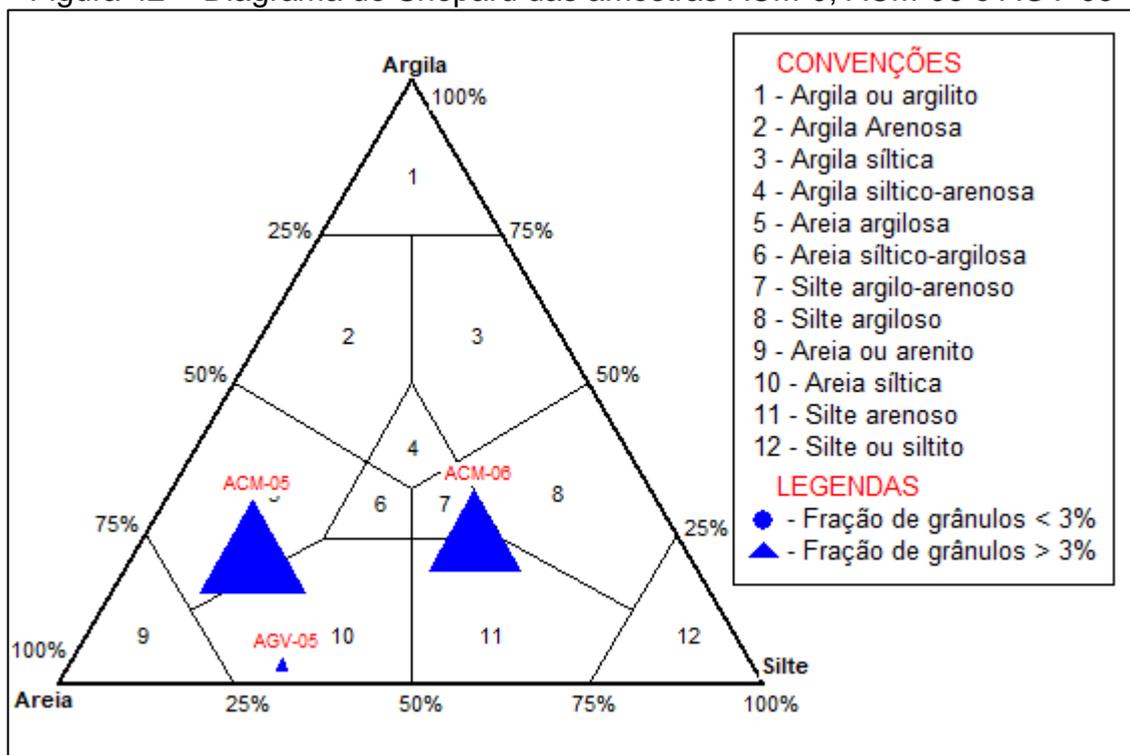
Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Figura 41 - Frequências acumuladas das amostras Acar-03 e ACM-03



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

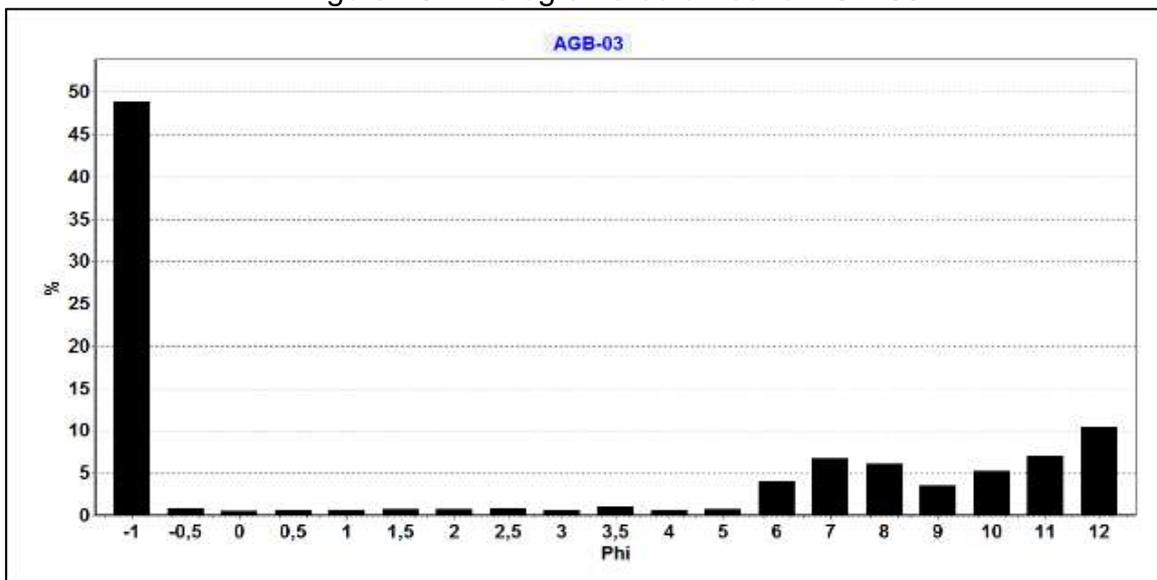
Figura 42 - Diagrama de Shepard das amostras ACM-0, ACM-06 e AGV-05



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

A amostra AGB-03 é essencialmente associada aos granitos Negra Velha.

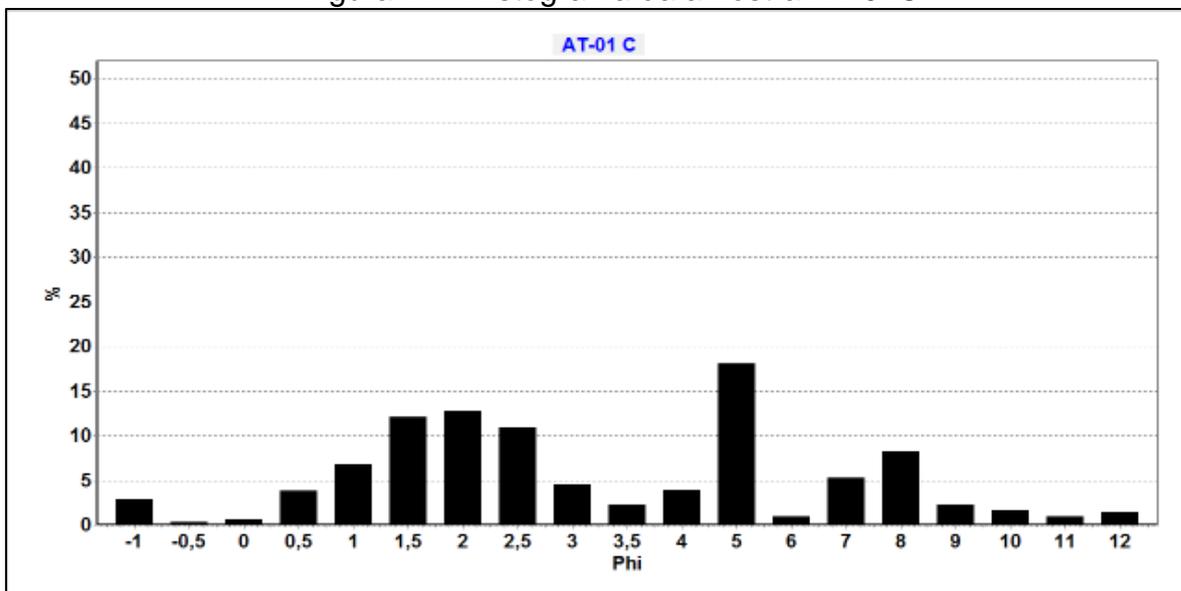
Figura 43 - Histograma da amostra AGB-03



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

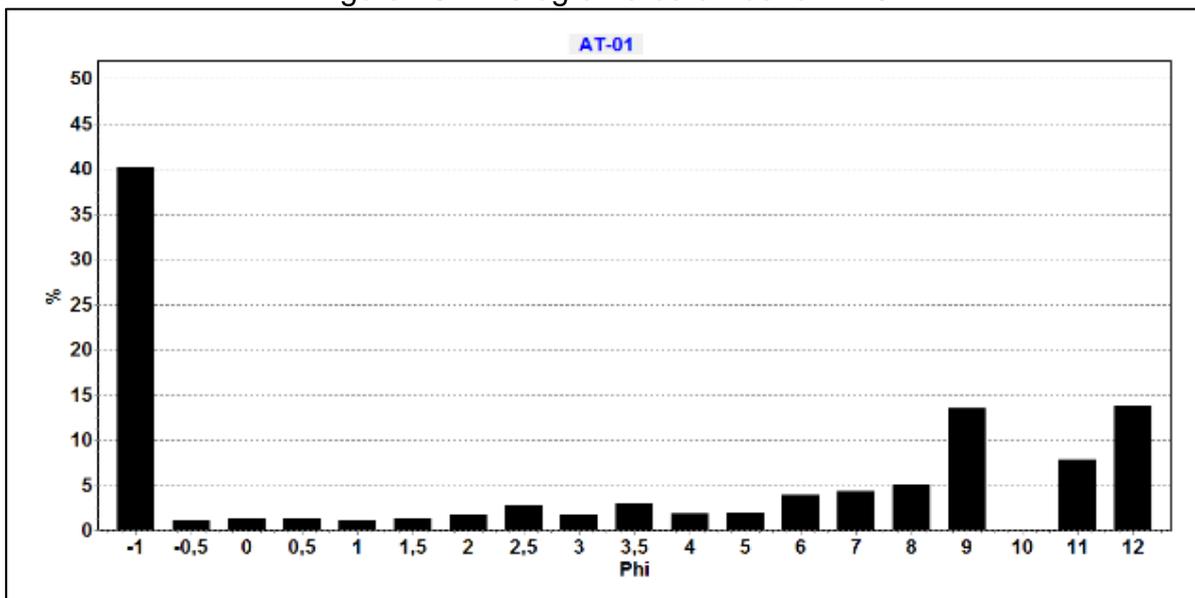
As amostras AT-01C, AT-01 e AT-01B pertencem aos granitos intemperizados Tromai.

Figura 44 - Histograma da amostra AT-01C



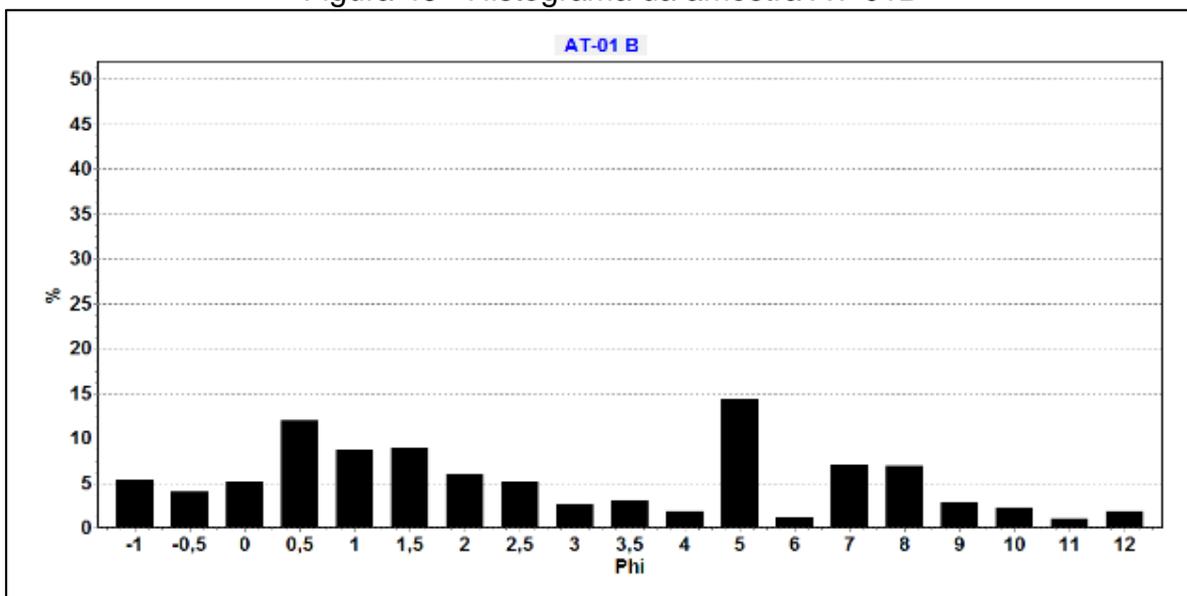
Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Figura 45 - Histograma da amostra AT-01



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

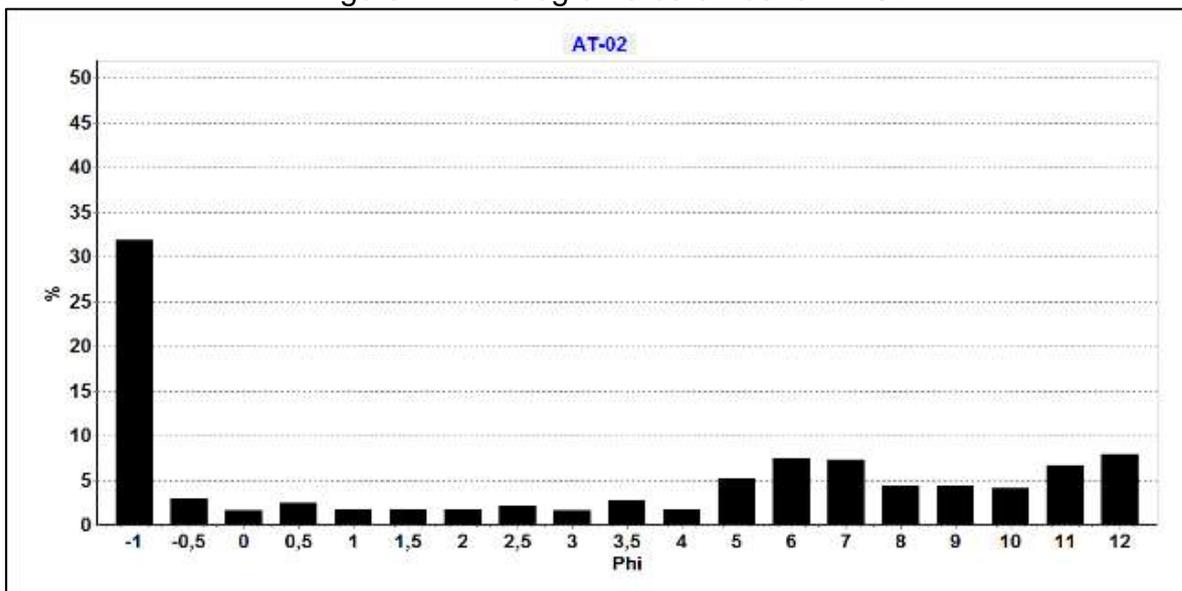
Figura 46 - Histograma da amostra AT-01B



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

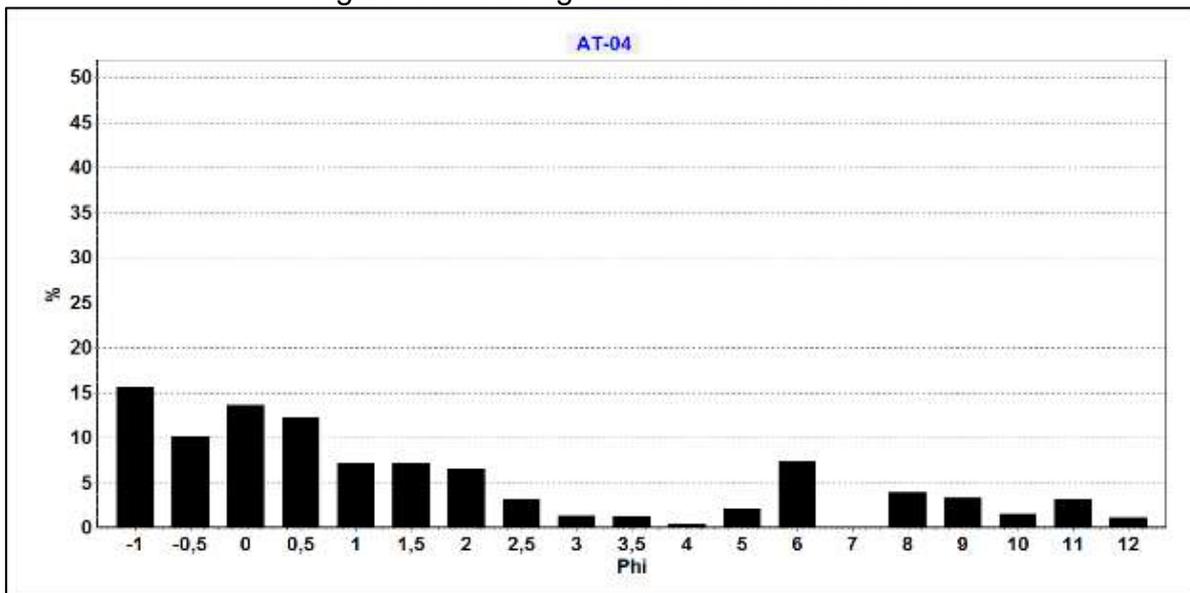
A amostra AT-02 pertence ao retrabalhamento do Granito Tromaí.

Figura 47 - Histograma da amostra AT-02



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

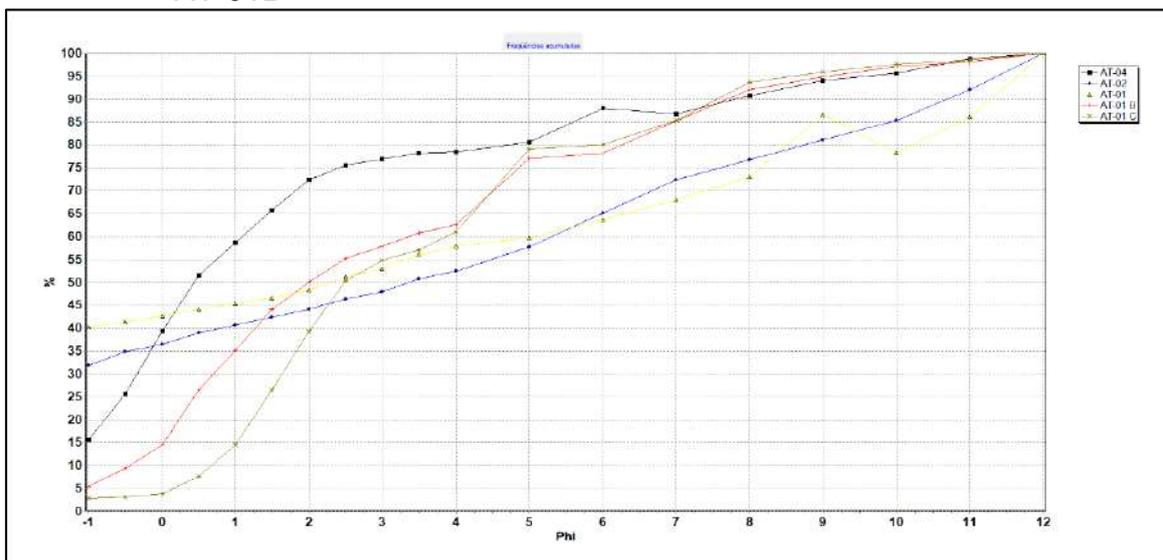
Figura 48 - Histograma da amostra AT-04



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

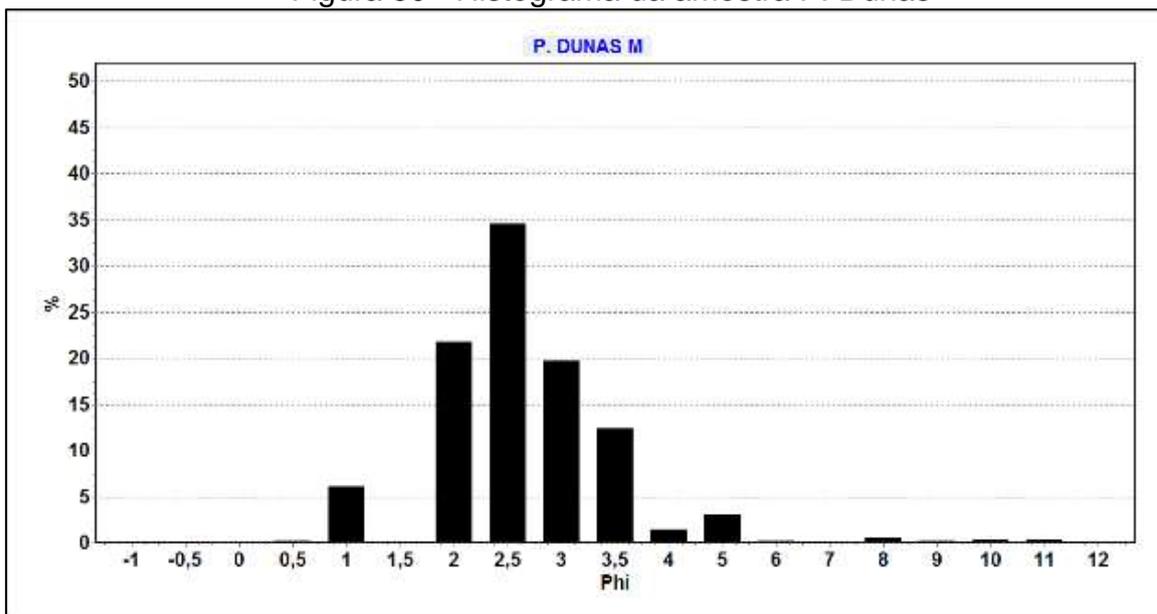
A amostra P.Dunas pertence a paleodunas na área dos Lençóis Maranhenses na localidade de Icatu.

Figura 49 - Frequências Acumuladas das amostras AT-01, AT-04, AT-03, AT-01C e AT-01B



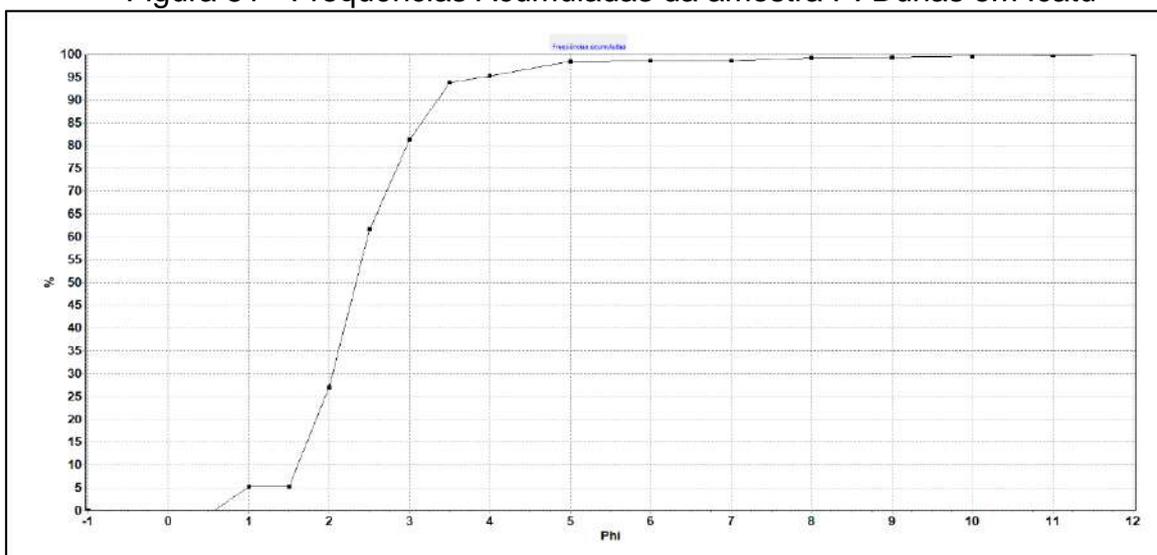
Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Figura 50 - Histograma da amostra P. Dunas



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Figura 51 - Frequências Acumuladas da amostra P. Dunas em Icatu



Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Nos demais domínios geomorfológicos, quando foram encontradas feições morfológicas com características litológicas diferentes das demais já amostradas, procedeu-se à coleta de amostras para a realização das análises granulométricas (Tabelas 3,4 e 5). Todavia, procurou-se agrupar os resultados das referidas análises nas duas principais formas de relevo, ou seja, planície e planalto, objetivando melhor compreensão dos resultados obtidos conforme apresentado a seguir:

Tabela 3 - Análises granulométricas por Domínio Geomorfológico

Ponto	Coordenadas UTM		Geologia	Domínio Geomorfológico
12	392271	977551	Formação Cujupe	Sup. Aplainadas do Nordeste do MA
22	386885,	986467	Formação Cujupe	Sup. Aplainadas do Nordeste do MA
24	386735,	983913	Formação Cujupe	Sup. Aplainadas do Nordeste do MA
27	388139,	983221	Formação Cujupe	Sup. Aplainadas do Nordeste do MA
27	388139,	983221	Formação Cujupe	Sup. Aplainadas do Nordeste do MA
28	390741	983382	Formação Cujupe	Sup. Aplainadas do Nordeste do MA
30	397477,	983704	Formação Cujupe	Sup. Aplainadas do Nordeste do MA
33	404312,	983896	Formação Cujupe	Sup. Aplainadas do Nordeste do MA
34	404677,	983890	Formação Cujupe	Sup. Aplainadas do Nordeste do MA
50	400899,	985136	Formação Cujupe	Sup. Aplainadas do Nordeste do MA

58	390417, 1	977849 2	Formação Cujupe	Sup. Aplainadas do Nordeste do MA
60	400374, 1	976556 7	Formação Cujupe	Sup. Aplainadas do Nordeste do MA
71	447959, 5	980557 7	Grupo Barreiras	Sup. Aplainadas do Nordeste do MA
66	458489, 1	981611 6	Grupo Barreiras	Litoral das Reentrâncias Maranhenses
63	458603, 6	981548 5	Granito Negra Velha*	Litoral das Reentrâncias Maranhenses
5	605576, 6	969322 9	Dep. Quaternário	Lençóis Maranhenses
63	458603, 6	981548 5	Granito Negra Velha*	Litoral das Reentrâncias Maranhenses
63	458603, 6	981548 5	Granito Negra Velha*	Litoral das Reentrâncias Maranhenses
162	572562, 9	965330 4	Formação Cujupe	Planura Periférica da Baixada MA
179	548200, 2	965655 0	Formação Açui	Golfão e Baixada Maranhense
192	511371, 1	963600 2	Dep. Quaternário	Golfão e Baixada Maranhense
195	499337, 5	964444 9	Dep. Quaternário	Planura Periférica da Baixada MA
211	513763, 2	968063 0	Dep. Quaternário	Planura Periférica da Baixada MA
218	540529	968444 0	Formação Açui	Golfão e Baixada Maranhense
225	515656	969549 0	Formação Açui	Planura Periférica da Baixada MA
232	568030	975036 0	Dep. Quaternário	Tabuleiros de São Luís e Alcântara
269	223066	938907 6	Formação Codó	Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú
252	216250, 5	943874 0	Formação Cujupe	Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú
270	216250, 5	943874 0	Formação Cujupe	Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú
256	221423, 3	942162 5	Formação Cujupe	Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú
242	224074, 6	945188 3	Formação Cujupe	Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú
ACBV				
1				
ABLP				
2				

Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Tabela 4 - Classificação verbal das amostras processadas por Domínio Geomorfológico

Ponto	Média	Classificação	Mediana	Seleção	Classificação
12	3,73	Areia muito fina	3,11	2,86	Muito pobremente selecionado
22	3,21	Areia muito fina	2,76	2,71	Muito pobremente selecionado
24	4,52	Silte grosso	5,31	2,59	Muito pobremente selecionado
27	5,09	Silte médio	6,40	3,78	Muito pobremente selecionado
27	3,14	Areia muito fina	3,08	2,12	Muito pobremente selecionado

28	3,75	Areia muito fina	4,54	3,01	Muito pobremente selecionado
30	4,48	Silte grosso	6,13	3,16	Muito pobremente selecionado
33	2,74	Areia fina	1,46	3,89	Muito pobremente selecionado
34	4,60	Silte grosso	4,75	4,32	Extremamente mal selecionado
50	3,31	Areia muito fina	3,09	2,14	Muito pobremente selecionado
58	4,49	Silte grosso	5,52	3,71	Muito pobremente selecionado
60	4,32	Silte grosso	3,47	3,32	Muito pobremente selecionado
71	1,64	Areia média	0,43	3,11	Muito pobremente selecionado
66	4,18	Silte grosso	3,36	4,29	Extremamente mal selecionado
63	3,56	Areia muito fina	2,29	4,08	Extremamente mal selecionado
5	2,39	Areia fina	2,33	0,78	Moderadamente selecionado
63	2,96	Areia fina	1,99	3,20	Muito pobremente selecionado
63	3,42	Areia muito fina	2,48	2,69	Muito pobremente selecionado
162	4,27	Silte grosso	3,90	1,39	Pobremente selecionado
179	6,52	Silte fino	5,42	2,40	Muito pobremente selecionado
192	5,07	Silte médio	5,07	0,76	Moderadamente selecionado
195	3,16	Areia muito fina	3,06	1,28	Pobremente selecionado
211	4,72	Silte grosso	4,58	0,89	Moderadamente selecionado
218	4,35	Silte grosso	4,06	1,32	Pobremente selecionado
225	5,46	Silte médio	4,78	1,47	Pobremente selecionado
232	0,93	Areia grossa	0,66	1,32	Pobremente selecionado
269	7,69	Silte muito fino	7,62	3,01	Muito pobremente selecionado
252	2,87	Areia fina	2,93	1,40	Pobremente selecionado
270	0,40	Areia grossa	0,27	1,38	Pobremente selecionado
256	4,73	Silte grosso	3,42	2,39	Muito pobremente selecionado
242	2,18	Areia fina	1,47	3,19	Muito pobremente selecionado
ACBV-1	3,17	Areia muito fina	2,98	2,14	Muito pobremente selecionado
ABLP-2	4,90	Silte Grosso	3,89	2,24	Muito pobremente selecionado

Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

Tabela 5 - Classificação textural em porcentagem de Cascalho, Areia, Silte e Argila das amostras processadas por Domínio Geomorfológico

Ponto	Assimetria	Curtose	% Classificação			
			Cascalho	Areia	Silte	Argila
12	0,368	1,112	2,02	60,43	28,65	8,892
22	0,411	1,881	2,90	70,14	19,12	7,82
24	-0,328	0,642	0,03	45,1	49,69	5,17
27	-0,358	0,698	9,88	27,67	41,93	20,51
27	0,324	2,944	0,11	78,84	13,96	7,084
28	-0,256	0,654	12,30	34,07	48,56	5,06
30	-0,608	0,598	12,63	19,91	63,82	3,64
33	0,565	1,022	14,74	57,08	13,09	15,1
34	0,041	0,906	12,73	24,99	43,55	18,73
50	0,119	0,816	1,70	65,94	30,14	2,217
58	-0,240	0,585	0,32	37,12	45,59	16,96

60	0,359	0,739	0,86	54,33	26,68	18,13
71	0,704	1,376	15,59	62,93	12,3	9,18
66	0,314	0,563	31,87	20,58	24,32	23,23
63	0,503	0,549	40,25	17,59	15,18	26,97
5	0,107	1,355	0,04	95,23	3,878	0,84
63	0,421	0,925	5,38	57,23	29,43	7,95
63	0,472	1,036	2,85	58,23	32,6	6,31
162	0,504	0,901	0	52,43	43,33	4,24
179	0,634	1,512	0	0,52	77,78	21,69
192	0,125	0,983	0	0,38	95,7	3,91
195	0,049	0,738	0,27	66,20	33,12	0,40
211	0,283	1,373	0	16,92	82,48	0,59
218	0,389	1,364	0,21	48,13	48,07	3,59
225	0,517	0,672	0	5,47	92,32	2,20
232	0,401	1,523	4,42	87,97	7,61	0
269	0,010	0,595	0	13,14	40,44	46,42
252	0,219	2,228	0	88,19	6,947	4,86
270	0,482	1,056	21,16	70,32	4,26	4,26
256	0,778	1,116	0,02	69,79	15,36	14,83
242	0,472	1,444	14,57	67,03	7,906	10,5
ACBV-1	0,388	1,644	0,03	68,78	23,96	7,22
ABLP-2	0,744	2,656	0	58,78	26,99	14,23

Fonte: Registro da própria pesquisa (2019)

a) Planícies

As amostras sedimentares da Planície representam o compendio dos domínios geomorfológicos: Litoral das Reentrâncias Maranhenses, Golfão e Baixada Maranhense, Planura Periférica da Baixada Maranhense, Superfície Aplainada do Noroeste do Maranhão, Lençóis Maranhenses e Tabuleiros de São Luís-Alcântara-Guimarães.

As amostras sedimentares provenientes da Planície resultantes da formação Cujupe tiveram sua média granulométrica variando de 5,09 a 2,74 phi, estando classificados entre site médio a areia fina, com parâmetro de seleção entre 2,12 e 4,32 comportando amostras de extremamente mal selecionado a muito pobremente selecionado. Os teores de cascalho ficaram entre 0,03 e 14,74%; os teores de areia entre 70,14 e 19,91%; os teores de silte entre 13,09 e 63,82%; e os teores de argila entre 2,2 e 20,5%.

As amostras sedimentares provenientes da Planície resultantes da formação Barreiras tiveram sua média granulométrica entre 1,64 a 4,18 phi, estando

classificados como areia média a silte grosso, com parâmetro de seleção de 3,11 a 4,29 comportando uma amostra muito pobremente a extremamente mal selecionado. Os teores de cascalho ficaram entre 15,5 e 31,8%; os teores de areia em 20,5 a 62,9%; os teores de silte entre 12,3 e 24,3% e os teores de argila entre 9,18 e 23,3%.

As amostras sedimentares provenientes da Planície resultantes de depósitos Quaternários tiveram sua média granulométrica entre 0,93 a 5,07 phi, estando classificados como silte médio a areia fina, com parâmetro de seleção de 0,76 a 1,32 comportando amostras moderadamente a muito pobremente selecionadas. Os teores de cascalho ficaram entre 0 e 4,4 %; os teores de areia em 0,3 a 95%; os teores de silte entre 3,8 e 95% e os teores de argila entre 0 e 3,9%.

As amostras sedimentares provenientes da Planície resultantes da Formação Açuí tiveram sua média granulométrica entre 4,3 a 6,5 phi, estando classificados como silte fino a silte grosso, com parâmetro de seleção de 1,32 a 2,4 comportando amostras pobremente a muito pobremente selecionados. Os teores de cascalho ficaram entre 0 e 0,21 %; os teores de areia em 0,5 a 48,1%; os teores de silte entre 48 e 92,3% e os teores de argila entre 2,2 e 21,6%.

b) Planaltos

As amostras sedimentares provenientes do Planalto representam o compendio dos domínios geomorfológicos: Depressão do Médio Vale do Rio Tocantins, Baixos Platôs de Barra do Corda e Planalto Dissecado Gurupi – Grajaú.

As amostras sedimentares provenientes do Planalto resultantes da Formação Cujupe tiveram sua média granulométrica variando de 0,4 a 4,7 phi, estando classificados entre silte grosso a areia grossa, com parâmetro de seleção entre 1,3 e 3,1 comportando amostras de pobremente a muito pobremente selecionado. Os teores de cascalho ficaram entre 0 e 21,1%; os teores de areia entre 67 e 88,1%; os teores de silte entre 4,2 e 15,3%; e os teores de argila entre 4,2 e 14,8%.

As amostras sedimentares provenientes do Planalto resultantes da Formação Codó tiveram sua média granulométrica em 7,6 phi, estando classificado como silte muito fino, com parâmetro de seleção 3,1 comportando uma amostra muito pobremente selecionada. Os teores de cascalho de 0%; os teores de areia de 13,1%; os teores de silte de 40,4%; e os teores de argila de 46,2%.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área do Bioma Amazônico Maranhense apresenta rochas e sedimentos que retratam o passado geológico da Terra desde Paleoproterozóico ao Cenozoico. Estas rochas e sedimentos apresentam potencialidades para exploração nas áreas de minerais minérios de emprego direto na construção civil, considerando a abrangência das rochas e sedimentos do Grupo Itapecuru, Grupo Barreiras e Suíte Intrusiva Rosário, associados aos Depósitos Quaternários e às explorações de gemas (ouro e outros) nas rochas do Cráton São Luís e Cinturão Gurupi. Destaque para o jazimento de ouro primário ligado a forte controle estrutural presente no limite Pará /Maranhão que torna esta área promissora para novas descobertas a partir de melhor investigação científica em cartografia de detalhe, associada a levantamentos geofísicos, geoquímicos e geocronológicos. Nas explorações presentes nas áreas é necessária maior fiscalização nos garimpos devido à manipulação de mercúrio (Hg).

Nas áreas onde predomina o Grupo Itapecuru e Barreiras é relevante detalhar as ocorrências das formações geológicas Alcântara e Cujupe, assim como as do Grupo Barreiras. Estas áreas carecem de estudos e delimitação, principalmente em cartografia de detalhe, quanto à natureza e ocorrências de argilominerais e outros minerais de importância econômica, com reais possibilidades de apoio à criação de um “polo cerâmico” na porção norte do bioma.

Os dados do banco SIGMINE/ANM indicaram a presença de 689 registros minerários até 02.08.2018 para as substâncias minerais como ouro, granito, água mineral, alumínio, minério de ferro, fosfato, calcário, ilmenita, bauxita; materiais de emprego imediato na construção civil (argila, areia, cascalho, saibro e laterita). Observa-se que apenas as explorações de granito, ouro, água mineral e areia detêm títulos de concessão de lavras no total de 27.

Destaca-se que as concessões de lavra na área da Amazônia Legal estão relacionadas às substâncias minerais de ouro em Godofredo Viana, granito nas cidades de Rosário e Bacabeira; areia em São Luís e Paço do Lumiar e água mineral nas cidades de São José de Ribamar, São Luís e Paço do Lumiar. Estes números de concessão de lavra são pouco expressivos, sendo importante que a Agência Nacional de Mineração (ANM) intensifique a fiscalização na área do bioma maranhense.

Nos municípios de Buriticupu, Bom Jesus das Selvas, Amarante do Maranhão, Arame e Itaipava do Grajaú, os poços tubulares apresentaram as maiores profundidades, que variaram de 100-200m ou superiores, níveis estáticos de 65m a 180m e níveis dinâmicos variando de 121m a 236m, sendo explorados os aquíferos Itapecuru e Aquífero Corda com produtividades moderadas a baixas classes 3 e 4.

As maiores vazões dos poços tubulares variaram de 23 a 130 m³/seg. Encontram-se na borda sudoeste nos municípios Açailândia, João Lisboa, Amarante do Maranhão e Senador La Roque, possivelmente influenciada pelo aquífero Sambaíba com produtividade alta a muito alta, classes 1 e 2, sendo o melhor aquífero produtor de água do Maranhão, aflorante no sul do bioma maranhense. O aquífero Itapecuru localizado na porção centro leste do bioma, nos municípios Alto Alegre do Pindaré, Santa Inês e Santa Luzia - onde predomina.

A disponibilidade de água depende das chuvas na região, sendo um bem estratégico para sadia qualidade de vida. Os reservatórios naturais (aquíferos) e as nascentes dos rios precisam da preservação das áreas de recarga de aquíferos representada principalmente pelos sedimentos do Grupo Barreiras e Coberturas Lateríticas Maduras.

A porção norte do bioma, a área costeira, precisa ser monitorada quanto à entrada da cunha salina, pois registram-se graves problemas com presença de água salobra nas Ilhas dos Lençóis, Bate Vento, nos municípios da baixada maranhense e outros.

Ressalta-se a necessidade do fortalecimento das parcerias com o Serviço Geológico do Brasil para elaboração de uma cartografia na escala de 1:100.000 do bioma amazônico e a intensificação na fiscalização das áreas minerárias pela Agência Nacional de Mineração – ANM.

Espera-se que o presente texto transmita uma imagem razoável da presença e importância das unidades geomorfológicas: Planície Costeira e Planalto, embora discutindo a origem e causas de configurações de feições geomorfológicas julgadas de maior importância. Ambas são unidades territoriais de grande porte, devendo ser considerado que a baixa altitude da Planície Costeira, com influência das marés e a presença de alagadiços têm sua importância para a ocupação humana, assim relativizada por vários pontos de vista. Esse não é o caso com relação ao Planalto, cujas grandes disponibilidades de áreas passíveis de utilização inclinam o domínio

geomorfológico para atividades de grande porte. Dessas, são exemplos os usos agropecuários, tanto as monoculturas como a criação de gado e cultivo de eucalipto (este uso associado a terrenos de certa declividade), que se beneficiam das extensões territoriais disponíveis, naturalmente limitados pelas disponibilidades de solos adequados e de água, particularmente. A parte sul desse planalto tem se beneficiado com o incremento da produção de soja, sendo exemplos o desenvolvimento de cidades como Imperatriz e Açailândia, assim como outros núcleos urbanos, cujo desenvolvimento está ligado ao uso das áreas mais favoráveis, que são grandes extensões planas para o típico tratamento mecanizado da cultura da soja. Contudo, devem ser observadas todas as técnicas de manejo e proteção do solo e dos recursos hídricos, para que seja conciliado o desenvolvimento das referidas atividades econômicas com a proteção ambiental.

No que se refere aos processos erosivos existentes nas chapadas ou mesas, elas estão sendo destruídas por ravinamento de suas bordas sobre ação do escoamento superficial associado à estação chuvosa. O topo plano de cada mesa (Relevo residual) está em processo de destruição das suas bordas pelo citado processo erosivo. A energia para promover o escoamento superficial é oriunda de um levantamento tectônico regional como um todo que fez com que as altitudes atinjam na área cerca de 450m. Isto pode ser constatado pela ausência de significativa drenagem permanente, pois o fluxo d'água responsável pela intensa erosão atua nas bordas das chapadas e mesas num processo de ravinamento, cuja atuação erosiva é presenciada no período chuvoso. Fica gerado, assim, um entalhamento denso das bordas das chapadas e demais relevos residuais responsáveis pela sua destruição, com o conseqüente espalhamento dos sedimentos removidos para as depressões existentes entre as colinas que tornam -se entulhadas pelos referidos sedimentos. Entre a planície e o planalto ocorrem áreas afetadas por fraturamentos, gerando um relevo fragmentado com a ocorrência de feições residuais, geralmente associado às variações litológicas locais, como inselbergs e monadnocks, ou seja, relevos residuais.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A.N. **Contribuição à geomorfologia do estado do Maranhão**. Notícia Geomorfológica, Campinas, v. 3, n. 5, p. 35-45, 1960.
- AB'SABER, A.N. **Brasil: paisagens de exceção: o litoral e o Pantanal Mato-Grossense** patrimônios básicos. Cotia, SP: Ateliê Editorial. 2006. 182p.
- BARBOSA, G.V.; BOAVENTURA, R.S.; NOVAES PINTO, M. Geomorfologia. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto RADAM**. Folha SB.23 Teresina e parte da folha SB.24 Jaguaribe; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1973. v. 2. p. 1-39 (Levantamento de Recursos Naturais, 2).
- BARBOSA, G.V.; NOVAES PINTO, M. Geomorfologia. In: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SA.23 São Luís e parte da folha SA.24 Fortaleza; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1973. p. 1-26. (Levantamento de Recursos Naturais, 3).
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 25 mai. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em: 07 jun. 2017.
- BIRD, E. 2008. Coastal Geomorphology: **An Introduction**, 2 edition, Wiley, Chichester.
- BRIERLEY, G.J., 1996. **Channel morphology and element assemblages: a constructivist approach to facies modeling**. In: Carling, P.A., Dawson, M.R. (Eds.), *Advances in Fluvial Dynamics and Stratigraphy*. Wiley, New York, pp. 263–298.
- BRIERLEY, G.J.; FERGUSON, R.J.; WOOLFE, K.J. **What is a fluvial levee?** *Sedimentary Geology*, 1997. p. 114, 1–9.
- BEZERRA FHR, BARRETO AMFAND SUGUIO K. 2003. **Holocene sea-level history on the Rio Grande do Norte state coast, Brazil**. *Mar Geol* 196: 73-89.
- CAMARGO, M.G. 2006. Sysgran: um sistema de código aberto para análises granulométricas de sedimentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n.2, p. 371-378.
- CEARÁ. **Mapeamento das Unidades Geoambientais da Zona Costeira do Estado do Ceará**. Fortaleza: SEMACE/LABOMAR, 2005. 226 p.
- CERRI, L. E. S.; AKIOSSI, A.; AUGUSTO FILHO, O.; ZAINÉ, J. E. **Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método do detalhamento progressivo**. In: *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, 8, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro:

ABGE, 1996, p. 537-548.

COLARES, J. Q. S.; ARAÚJO, C. C. Santa Inês, **Folha SA.23-Y-D**: Estado do Maranhão. Escala 1:250.000 Brasília, DF: CPRM, 1990. 67 p. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB; Projeto Especial Mapas

COLARES, J.Q.S.; ARAUJO, C.C.; PARENTE FILHO, J. **Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais, Solos e Vegetação para a área do Programa Grande Carajás**. Subprojeto Recursos Minerais. Vitorino Freire Folha SB.23-V-B, Estado do Maranhão. Carta de zoneamento hidrogeológico e de pontos de água-Escala 1:250.000. Brasília: DNPM/CPRM, 1990,70pg.

COSTA, M. L. Aspectos Geológicos dos Lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**. 21(2): 146-160. 1991.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Programa Levantamentos Geológicos Sistemáticos. **Relatório Anual - 2004**, 20 p.

DANTAS, M. E. Biblioteca de Padrões de Relevô. In: **Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação**. CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2016.

DANTAS, M.E.; SHINZATO; E.; BANDEIRA, I.C.N.; VARGAS, L.; RENK, J.F.C. Compartimentação geomorfológica do Estado do Maranhão, cap. 3. In: BANDEIRA, I.C.N. (ed.) **Geodiversidade do Estado do Maranhão**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Teresina, 2013. p. 31-62.

DE BEAUMONT LE .1845. **Lecons de Geologie Practique**. Septieme lecon. Bertrand, Paris, pp 221–252.

DIAS, J.A. A **Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos**. Ed. preliminar. Algarve, 2004.

DUANE, D. B. Significance of skewness in recent sediments. **Journal of Sedimentary petrology**, v.34, n.4, p. 864-874, 1964.

FEITOSA, A.C. **Relevo do Estado do Maranhão**: uma nova proposta de classificação topomorfológica. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia. 4 Goiânia, **Anais...** Goiânia: UGB, 2006. P. 1-11. CD-ROM.

FOLK, R.L.; WARD, W.C. 1957. Brazos River Bar: Study and significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, 27(1):03-26.

FOLK, R. L., 1968. **Petrology of sedimentary rocks**. Austin, Texas.

KRUMBEIN, W.C., Size frequency distributions of sediments, **J. Sed. Petrology**, 4, 65-77. 1934.

GILBERT G.K. 1885. **The topographic features of lake shores**. US Geological Survey, 5th Annual Report, pp 69–123.

GORAYEB, P. S. S.; GAUDETTE, H., MOURA, C. A.V.; ABREU, F. A. M. Geologia e Geocronologia da Suíte Rosário, Nordeste do Brasil e sua Contextualização Geotectônica. **Revista Brasileira de Geociências** 29 (4):571-578, dezembro de 1999.

GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil S. A., 1998. p.273-349.

IBGE. **Zoneamento Geoambiental do Estado do Maranhão**: diretrizes gerais para a ordenação territorial. Divisão de Geociências da Bahia: Salvador, 1997. 44p.

IBGE. **Geomorfologia**: mapa geomorfológico do estado do Maranhão. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Escala 1:400.000.

IBGE. **Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil escala 1:250.000 Documentação Técnica Geral**. Diretoria de Geociências Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais: Rio de Janeiro, 2018.

KLEIN, E. L. et al. **Geologia e recursos minerais da Folha Cândido Mendes, SA.23-V-D-II**: Estado do Maranhão: escala 1:100 000. Programa Geologia do Brasil - PGB; Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Belém: CPRM, 2008. 146 p.

KLEIN, E. L.; MOURA, C. A. V. Síntese geológica e geocronológica do Cráton São Luís e Cinturão Gurupi: implicações para a litoestratigrafia e modelos geotectônicos. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7, **Resumos Expandidos**. Belém, 2001. Belém, SBG. (CD-ROM).

KLEIN, E. L.; MOURA, C. A. V.; PINHEIRO, B. L. S. Paleoproterozoic crustal evolution of the São Luís Craton, Brazil: evidence from zircon geochronology and Sm-Nd isotopes. **Gondwana Research**, v. 8, n. 2, p. 177-186, 2005.

KLEIN, E. L.; MOURA, C. A. V. São Luís craton and Gurupi belt (Brazil): possible links with the West-African craton and surrounding Pan-African belts. In: PANKHURST, R. J. et al (Eds.) **West Gondwana**: pre-Cenozoic correlations across the South Atlantic region. London: Geological Society, 2008. p. 137-151. (Special Publications, 294).

KLEIN, E.L.; SOUSA, C.S.; VASQUEZ, M.L.; LOPES, E.C.S.; TEIXEIRA, S.G.; OLIVEIRA, J.K.M.; MOURA, E.M.; LEÃO M.H.B. 2012. Mapa Geológico e Recursos Minerais do Estado do Maranhão. In: Klein, E.L.; Sousa, C.S. (organizadores) **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão**: Sistema de Informações Geográficas – SIG, Escala 1:750.000. Belém: CPRM, 2012.

LEITES, S.R.(ORG.) **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. Presidente Dutra. Folha SB-23-X-C. Estado do Maranhão. Escala 1: 250.000. Brasília: CPRM, 1994.

LOVATO, O. G. (Org.). Barra do Corda. Folha SB.23-V-D. Estado do Maranhão. Escala 1:250.000. Brasília, DF: CPRM, 1994. Programa Levantamento Geológicos Básicos do Brasil – PLGB.

LOVATO, O. G.; CAYE, B. R.; ARAÚJO, C. C. Itapecuru- Mirim. Folha SA.23-Z-C: Estado do Maranhão. Escala 1:250.000. Brasília, DF: CPRM, 1995. Programa Levantamento Geológicos Básicos do Brasil – PLGB.

MAIA, R.P; BASTOS, F.H; NASCIMENTO, M.A.L. **Paisagens graníticas do Nordeste Brasileiro**. Fortaleza: Edições UFC, 2018. 102 p.

MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, F. A. C, FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J.G. A. MEDEIROS, M.A; ARCANJO, S.H.; CARVALHO, I.S.; PEREIRA, A.A., LINDOSO, R.M.; MENDES, I.D.; SOUSA, E.P; COSTA FILHO, J.F.; SIQUEIRA, W.S. Nova **Ocorrência de Diplodocoidea** na Bacia de São Luís (Cretáceo, Cenomaniano), norte do Maranhão. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 14, **Livro de Resumos**, Marabá, SBG. CD room. 2015.

MONTEIRO, A. B. et al. **Mapa Hidrogeológico do Brasil, escala 1:5.000.000**. Projeto Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo, CPRM/MME SIG, 2014.

MONTEIRO, A.B.; CORREIA FILHO, F. L.; DINIZ, J.A.O.; SOUZA, R. R. **Recursos hídricos subterrâneos**. In: BANDEIRA, I. C. N. (Org.) **Geodiversidade do Estado do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2013.

MONTEIRO, A.B.; CORREIA FILHO, F.G.; DINIZ, J.A.O.; SOUZA, R.R. In: BANDEIRA, I. C. N. (Org.) **Geodiversidade do Estado do Maranhão**. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Teresina: CPRM, 2013. 294p.

MUNSELL COLOR COMPANY I. Geological Rock-color charts. Baltimore, Maryland, 2009.

PEREIRA, E. D. **Vulnerabilidade natural à contaminação do solo e do Aquífero do Reservatório Batata**. Doutorado – Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Unesp; Rio Claro, 174p. 2006.

PEREIRA, E. D.; ARCANJO, S. H. S.; CASTRO, H.F.R. As Lateritas nos tabuleiros dissecados da Ilha do Maranhão: ocorrências e exploração. In: Aline Maria Meiguins de Lima; Paulo Sergio de Sousa Gorayeb. (Org.). **Contribuições à Geologia da Amazônia**. 1ed., Belém: SBG Núcleo Norte, 2017, v. 10, p. 33-40.

PEREIRA, E.D.; SANTOS, J.H.S. **Avaliação da vulnerabilidade à intrusão marinha do aquífero costeiro da bacia hidrográfica do rio paciência utilizando o método galdit**, Relatório Final de Pesquisa. Convênio FAPEMA/UFMA, 2017.

RIBEIRO, J. A. P.. Caxias. Folha SB.23-X-B. Escala 1:250. 000.. **Estados do Pará e Maranhão**. Brasília: CPRM, 2001.

RIBEIRO, D.Q.; PEREIRA, E.D. **Levantamento das Características Hidrogeológicas do Aquífero Barreiras e Itapecuru na Bacia do Rio Anil-Ma**. Relatório Final de Pesquisa- PIBIC, convênio Fapema/UFMA (no prelo).

RODRIGUES, T. L. N. *et al.* (Org.). **São Luís Folha SA.23- Z-A, Cururupu Folha SA.23-X-C: Estado do Maranhão**: escala 1:250.000. Brasília, DF: CPRM, 1994a. 185 p. Programa Levantamentos Geológicos Básicos – PLGB.

RODRIGUES. Bacabal. **Folha SA.23-X-A**: Estado do Maranhão. Escala 1:250.000. Brasília, DF: CPRM, 1994b. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB.

ROY P.S.; COWELL P.J.; FERLAND M.A.; THOM B.G. 1994. Wave Dominated Coasts. In: **CARTER R.W.G. e WOODROFFE CD** (Ed.), Coastal Evolution, Late Quaternary Shoreline Morphodynamics, Cambridge: Cambridge University Press, p. 121-186.

ROSSETTI, D. F. **Arquitetura Depositional da Bacia de São Luís-Grajaú**. In: ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. (Coords). O Cretáceo na Bacia de São-Luís Grajaú. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001. p.

ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W. 1997. **Revisão estratigráfica para os depósitos do Albiano Terciário Inferior (?)** na Bacia de São Luís (MA), Norte do Brasil. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, v. 9, p. 29-41.

ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A. M. **Estudo paleoambiental e estratigráfico dos Sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região Bragantina, nordeste do Pará**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi: Série Ciências da Terra, v. 1, p. 25-74, 1989.

SANTOS, J. H. S. dos. **Lençóis Maranhenses atuais e pretéritos**: um tratamento espacial. Rio de Janeiro: Doutorado. UFRJ/PPGG, 2008. 248 p.

SEED, H.B., WOODWARD, R. J., Lundgren, R. 1967. Fundamental Aspects of the Atterberg Limits. **Journal of Soil Mechanics and Foundations**. v. 92. SM4. 63-64p.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1973. 317p.

SOUZA, A. S. (Org.) **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB**. Imperatriz – Folha SB.23-V-C, Estados do Maranhão e do Tocantins. Escala 1:250.000, Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT, 2002.

SOUZA. A.S.; VERISSIMO, L.S.; ARAUJO, C.C. (Org.). **Imperatriz. Folha SB.23-V-C. Estado do Maranhão e Tocantins**. Escala 1:500.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB Brasília, DF: CPRM, 1990.

STOKES, G. G. **On the Effect of the Internal Friction of Fluids on the Motion of Pendulums**. Cambridge Philos. Trans. 9, 8-106, 1851. Reprinted in Mathematical and Physical Papers, 2nd ed., Vol. 3. New York: Johnson Reprint Corp., p. 1, 1966.

VEIGA JÚNIOR, J. P. **São Luís NE/SE, Folhas SA- 23-X e SA-23-Z**: Estados do Maranhão e Piauí: escala 1:500.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos – PLGB. Brasília, DF: CPRM, 2000.

VILLAS BÔAS, J. M.; ARAÚJO, C.C. **Açailândia. Folha SB.23-V-A, escala 1:250.000**. Estados do Pará e Maranhão: Brasília: CPRM, 1999.

TOMAZELLI, L.J., VILLWOCK, J.A., 1991. **Geologia do Sistema Lagunar Holocênico do Litoral Norte do Rio Grande do Sul**. Pesquisas 18, 13–24.