

4.1.4.4. Perfis Estratigráficos

O estudo da estratigrafia de uma área procura reconstruir a história, a evolução litológica, descrevendo a sua disposição no espaço e no tempo. Nesta seção serão apresentados os eventos geológicos que ocorreram no Estado do Ceará. Trabalhos de vanguarda com credibilidade que descrevem a evolução de um território com rochas preservadas desde o Arqueano.

4.1.4.4.1. Eventos Geotectônicos, Morfoestruturais e Paleoclimáticos

O Brasil apresenta, em seu território, um dos mais completos registros da evolução geológica do planeta Terra, com expressivos testemunhos geológicos das primeiras rochas preservadas, do Arqueano Inferior, datando de mais de 3.0 bilhões de anos e de forma quase ininterrupta, até os dias atuais (SILVA, 2008).

A evolução geológica do Nordeste brasileiro, principalmente do Ceará, começou com a abertura e o surgimento do Oceano Atlântico, que teve início após a separação do supercontinente *Pangea*, durante a fase de fragmentação, do também, supercontinente Gondwana, ocorrida ao final do Triássico e início do Jurássico. O território sul americano localizava-se no setor sudoeste do *Pangea*, conectando-se diretamente com a África e Antártica. O último elo da ligação física entre América do Sul e África se rompeu no início do Cretáceo e estava relacionada às rochas antigas da Província Borborema (ARTHAUD *et al.*, 2008).

No Brasil, o conjunto da margem continental é do tipo passiva com a passagem da litosfera continental à litosfera oceânica se fazendo no seio da placa sul americana, entidade tectônica cuja individualização remonta ao Cretáceo (ALMEIDA, 1977; ALMEIDA *et al.*, 2000). A estrutura geológica e os registros estruturais da plataforma sul americana apresentam as marcas de quatro episódios de aglutinação e dispersão continentais que tiveram lugar entre o Pré-cambriano e o Paleozoico (ALMEIDA *et al.*, 2000). A primeira aglutinação foi marcada por processo de colisão de várias massas continentais individuais cujo resultado foi a formação do supercontinente Atlântida. O segundo teve como resultado a formação do supercontinente Rodínia.

Claudino-Sales & Peuvalst (2007) descreveram o terceiro episódio de aglutinação continental, que ocorreu no Neoproterozóico, entre 880 e 550 Ma, e deu origem ao supercontinente Panotia, formado pela Laurásia e Gondwana. Na América do Sul, esse processo de colagem recebeu o nome de Orogênese Brasileira. A Orogênese Brasileira representa o mais importante de todos os eventos tectônicos na evolução geológica do Brasil (SCHOBENHAUS *et al.*, 1984). Ao curso dessa orogênese, esses crátons se afrontam em uma colisão oblíqua do tipo himalaiana (CABY *et al.*, 1995), produzindo nos limites da colagem um largo sistema de deformação e de dobramentos conhecidos pelo nome de Província Borborema (ALMEIDA, 1977; ALMEIDA *et al.*, 2000).

No Estado do Ceará, os últimos atos da Orogênese Brasileira tiveram lugar em torno de 532 milhões de anos (VAUCHEZ *et al.*, 1995). No seio da Província Borborema, os processos de extensão associados a esses últimos estágios e à fissão do supercontinente Panotia foram responsáveis pela formação de bacias intracratônicas e pela ocorrência de uma atividade vulcânica e plutônica intensa, em razão do que se formaram rochas extrusivas e corpos graníticos diversos (CLAUDINO-SALES & PEUVALST, 2007). O processo de estabilização da província se inseriu no cenário do início do Paleozóico.

A quarta e última aglutinação continental ocorreu no final do Paleozóico, com a orogênese que deu origem ao supercontinente Pangea (WINDLEY, 1995). Essa colagem não teve expressão no território do Ceará e no Nordeste brasileiro (DNPM, 1993), em razão do fato de que o Gondwana não se fragmentou ao curso da dispersão pós brasileira.

A Província Borborema, após a orogênese Brasileira, supostamente foi submetida a um período de calma tectônica (ALMEIDA, 1977), o qual durou até o Mesozóico, quando iniciaram os processos responsáveis pela dispersão do Pangea, assim como pela formação do Oceano Atlântico, pela individualização da América do Sul como um continente a parte, pela formação da margem continental do Ceará e do Nordeste brasileiro em geral (CLAUDINO-SALES & PEUVALST, 2007).

A margem norte do Nordeste brasileiro representa um caso ambíguo. A

plataforma continental é estreita (35 km de largura a leste e 80 km a oeste) e pouco profunda (80m no topo do talude continental), e a zona costeira é delimitada no interior por alinhamentos descontínuos de maciços montanhosos (Claudino-Sales & Peuvalst, 2007). No Ceará, ocorrem vertentes montanhosas a distâncias de 10 a 65 km da linha de costa (extremidade norte do Maciço de Baturité e vertentes do Maciço de Irauçuba próximo de Fortaleza, na fachada marítima central; extremidade norte da Serra da Ibiapaba e Maciço da Meruoca, a oeste). Esses alinhamentos parecem similares a elementos de um “grande escarpamento”, em função de suas altitudes elevadas (até 1000m).

A partir do Triássico superior (230 Ma), um novo ciclo oceânico começou a fragilizar o Pangea (WINDLEY, 1995; BRITO NEVES, 1999). No final do Terciário, o ajustamento isostático à separação do continente africano e americano, produziu o soerguimento das bordas do Atlântico Sul, havendo um basculamento das placas em direção ao interior dos continentes, expondo à erosão uma faixa de 100 km a 300 km de largura ao longo dos litorais de ambos os continentes, que serviu de fonte de sedimentos para as bacias interiores e costeiras (BRASIL, 1983; CESERO, 1997; COSTA JÚNIOR, 2008).

A separação da África e a migração do continente sul americano estão, também, relacionadas com a evolução da cordilheira dos Andes. A intensificação do soerguimento dos Andes provocou substanciais mudanças ambientais e climáticas no bordo oeste da placa sul americana (FAUTH & LAVINA, 2010). Segundo os referidos autores, a fragmentação dos supercontinentes produziu estiramentos crustais, rebaixando a crosta continental e provocou elevação progressiva do nível do mar. A invasão, pelo mar, de grandes extensões continentais permitiu o estabelecimento de condições úmidas e desenvolvimento de florestas. A metade norte da América do Sul continuou sob clima quente e seco até o final do Mesozóico. Esta ampla epirogênese terciária ao longo da costa, associada à alta energia do Atlântico, foi responsável pela sedimentação predominantemente terrígena na plataforma continental.

Para Zanella (2010), a porção tropical/subtropical situada a leste dos Andes, compreende extensas paisagens cujos limites são determinados principalmente por diferenças pluviométricas, regiões mais pluviosas sem período bem definido de deficiência hídrica e as que apresentam estação seca bem definida. A primeira inclui

a Floresta Amazônica e a Floresta Atlântica, a outra forma uma ampla faixa que se estende do Nordeste brasileiro ao Noroeste da Argentina. Segundo Ross (1995) citado por Nascimento (2007), os processos erosivos de fase epirogenética do Cretáceo ao Cenozóico promoveram desgastes em ambientes climáticos quentes e úmidos, alternados com clima árido e semiárido.

Sugio *et al.* (2005), relatam que no final do Terciário o soergimento do Planalto Central Brasileiro deve ter determinado a grande denudação do Nordeste do Brasil em condições secas, o que acarretou o surgimento da Formação sedimentar Barreiras, que ocorre em todo o seu litoral. Durante o Quaternário, as formas litorâneas foram submetidas a eventos relacionados com mudanças climáticas e flutuações do nível do mar (transgressões e regressões marinhas). São relatados vários períodos glaciais no Quaternário, quando sucedem diminuições generalizadas nas temperaturas, nos níveis pluviométricos e, em consequência, alterações nas paisagens, com a expansão das vegetações sazonalmente secas.

Segundo Arai (2006), análises estratigráficas integradas permitiram relacionar a origem da Formação Barreiras com a elevação eustática global que teve seu máximo no intervalo do Burdigaliano ao Serravaliano (12 – 20 Ma), no Mioceno médio; no entanto, a maioria dos pesquisadores refere-se a esta Formação como de idade Pliocênica a Pleistocênica.

O sistema deposicional destes sedimentos é admitido como predominantemente continental (havendo também influência marinha de natureza paleontológica e sedimentológica), onde os mesmos foram depositados sob condições de um clima semiárido sujeito a chuvas esporádicas e violentas, formando amplas faixas de leques aluviais coalescentes em sopés de encostas mais ou menos íngremes.

A deposição final da Formação Barreiras foi interrompida quando o clima passou a adquirir características mais úmidas. Este final, segundo Maia (1993), concluiu com o episódio transgressivo de idade pleistocênica denominada por Bittencourt (1979), de transgressão mais antiga e que erodiu a porção mais externa da Formação Barreiras. Após transgressão máxima, e no decorrer da regressão, o clima voltou a adquirir características semiáridas (VILAS BOAS, 1979). Essa retomada

de condições climáticas reativou a drenagem propiciando a formação de novos depósitos continentais (MAIA, 1993).

Castro (1979) enfatiza que os ciclos de mudanças climáticas de glaciações com fases mais frias e secas, com domínio das massas polares, à ação de anticiclones subtropicais, desencadeiam processo de erosão mecânica, identificado nos colúvios e sites nos interflúvios dos canais de pequeno porte. Ao longo da faixa litorânea, observa-se que as formações dunares obedecem aos ciclos de maior e menor aridez.

Segundo Maley (1997) entre 3.700 e 3.000 AP o clima era mais quente e que entre 2.800 e 2.000 AP ocorreu um esfriamento. Ao longo dos últimos anos foram definidas importantes evidências das mudanças climáticas durante o último máximo glacial na América do Sul e principalmente na zona tropical (MEIRELES *et al.*, 2005).

No Ceará, observam-se áreas depressivas circundantes posicionadas para o litoral. Estas depressões foram preenchidas por sedimentos correlatos e são identificadas quando ocorrem afloramentos. São resultantes de reativação tectônica que elevou esses pacotes de sedimentos e formou as falésias litorâneas.

Estas são compostas por sedimentos: coluvionais argilosos, formados em período climático mais seco; aluvionais lixiviados arenosos, depositados em período de clima mais chuvoso. Em trechos do litoral leste, próximo à fronteira com o Rio Grande do Norte, essas falésias emergem com pacotes de calcário, superposto por sedimentos da Formação Barreiras e dunares. As dunas adentram no continente sob a ação dos ventos, transportando sedimentos ao longo do tabuleiro costeiro.

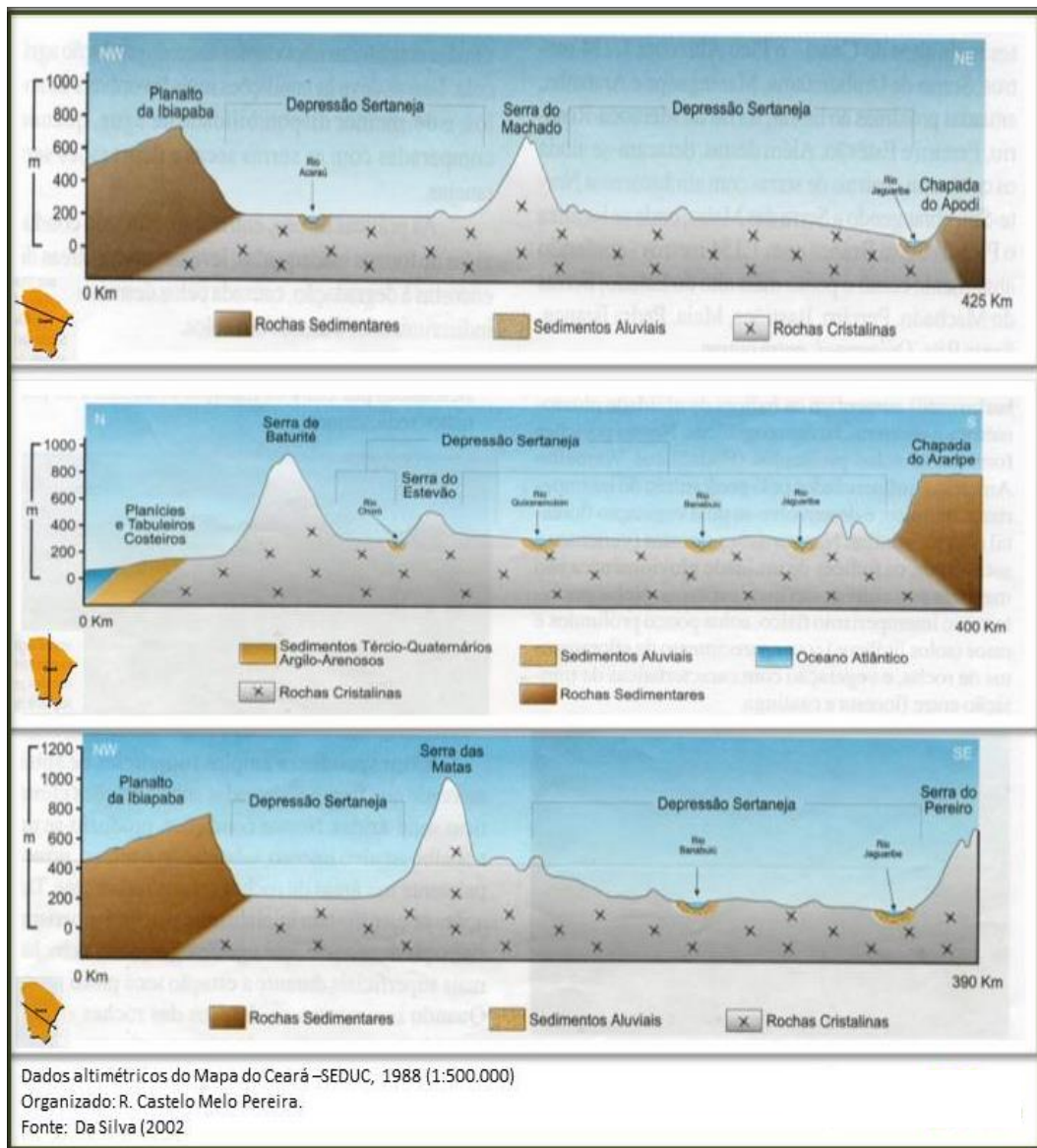
As idades das superfícies geológicas e geomorfológicas, referidas anteriormente, indicam as épocas em que os processos marinhos e fluviais estiveram ativos, e os seus términos correspondem aos momentos de início dos fenômenos de emersão desses terraços (SUGUIO, 2010).

O modelamento do relevo atual e os solos do Ceará guardam relações com os processos geodinâmicos, relacionados aos eventos geológicos descritos acima, cujos processos tectônicos individualizaram a Província Borborema, dentro do território cearense. A atuação combinada desses processos possibilitou o realce de lineamentos estruturais pré-existent e o aparecimento de outros novos, os quais são os controladores, em grande parte do encaixe do padrão de drenagem regional. A

História Geológica do Ceará aqui descrita representa apenas um grão de areia em um mar de conhecimento geológico do Brasil (CAVALCANTI & CAVALCANTE; In: BRANDÃO, 2014).

A Figura (4.1.4.4.1.1) apresenta a geologia do Estado do Ceará na forma de perfil topográfico e cronoestratigráfico.

Figura 4.1.4.4.1.1 - Perfis esquemáticos contendo as principais unidades geológicas do Ceará.



Fonte: Da Silva, 2002.

A geologia da porção submersa do Ceará, a área da Plataforma Continental é descrita em dois compartimentos geológicos: as Bacias do Ceará e Potiguar. A área de interesse está inserida na Bacia Ceará, que é composta por sedimentos Paleozoicos e Mesozoicos, seu limite oeste é o Alto de Tutóia, no Maranhão, seguindo para o sul até o Alto de Fortaleza, no Ceará (Aguiar, 2014). Em razão das características tectônicas distintas a porção submersa da Bacia do Ceará foi compartimentada em quatro sub-bacias, subdivididas de Oeste para Leste: Piauí-Camocim, Acaraú, Icaraí e Mundaú, as quais apresentam histórias deposicionais e deformacionais ligeiramente distintas.

A área do Projeto Parque Eólico Offshore Caucaia será implantado na área da Sub-bacia Mundaú, qual tem sua gênese relacionada à abertura do Atlântico Equatorial durante o Cretáceo Inferior. Embora a margem equatorial seja uma margem transformante divergente, caracterizada por rifteamento oblíquo e cisalhamento crustal, a sub-Bacia de Mundaú mostra uma evolução tectônica menos complexa quando comparada com as demais sub-Bacias. A evolução tectono-sedimentar da sub-Bacia de Mundaú compreende três principais megasseuências sinrifte, transicional e pós-rifte (BELTRAMI *et al.*, 1994).

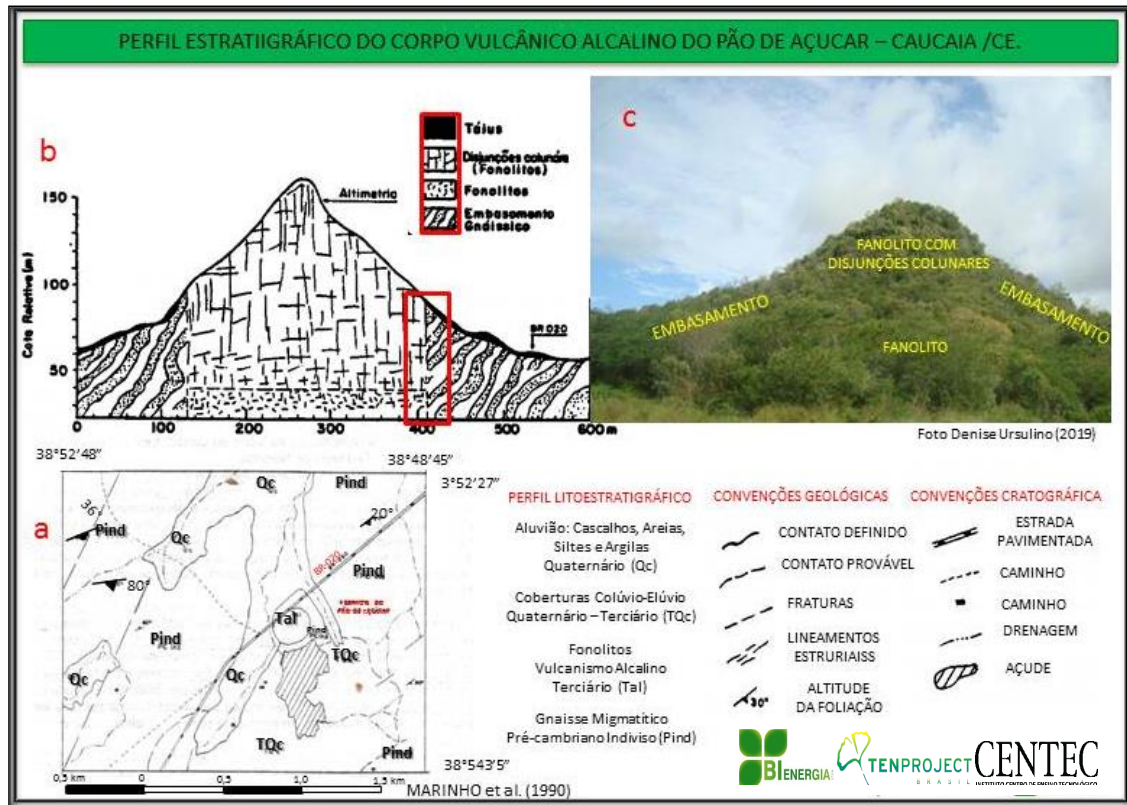
4.1.4.4.2. Perfis Estratigráficos e de Solos da Área de Estudo

O método usual de coletar dados das rochas e sedimentos é construir um perfil colunar a partir dos dados de campo. A elaboração deste perfil litoestratigráfico foi embasada com trabalhos anteriores, como o de Marinho *et. al.* (1990), Pereira *et. al.* (1991) e Mota (2005), todos os trabalhos têm por finalidade a caracterização dos recursos minerais, na busca da viabilização econômica dos mesmos.

A estratigrafia da área está representada por rochas de idades atribuídas ao Pré-cambriano – Paleoproterozoico, bem orientadas para NE, capeadas por sedimentos Tercio-Quaternário da Formação Barreiras, ainda no Terciário, rochas alcalinas. Completando a coluna estratigráfica da área, encontram-se os depósitos Cenozoicos representados por coberturas colúvio-elúvio, flúvio marinha, aluviões, dunas (móveis e fixas), paleodunas, praia. Foi elaborado um traçado que nos permitiu

um recobrimento em linha, recortando as principais unidades geológicas. Trata-se de um perfil esquemático e simplificado (Figura 4.1.4.4.2.1).

Figura 4.1.4.4.2.1 - Perfil topográfico, geológico e estratigráfico para o Pão de Açúcar.



Fonte: Adaptado de Marinho et. al., 1990.

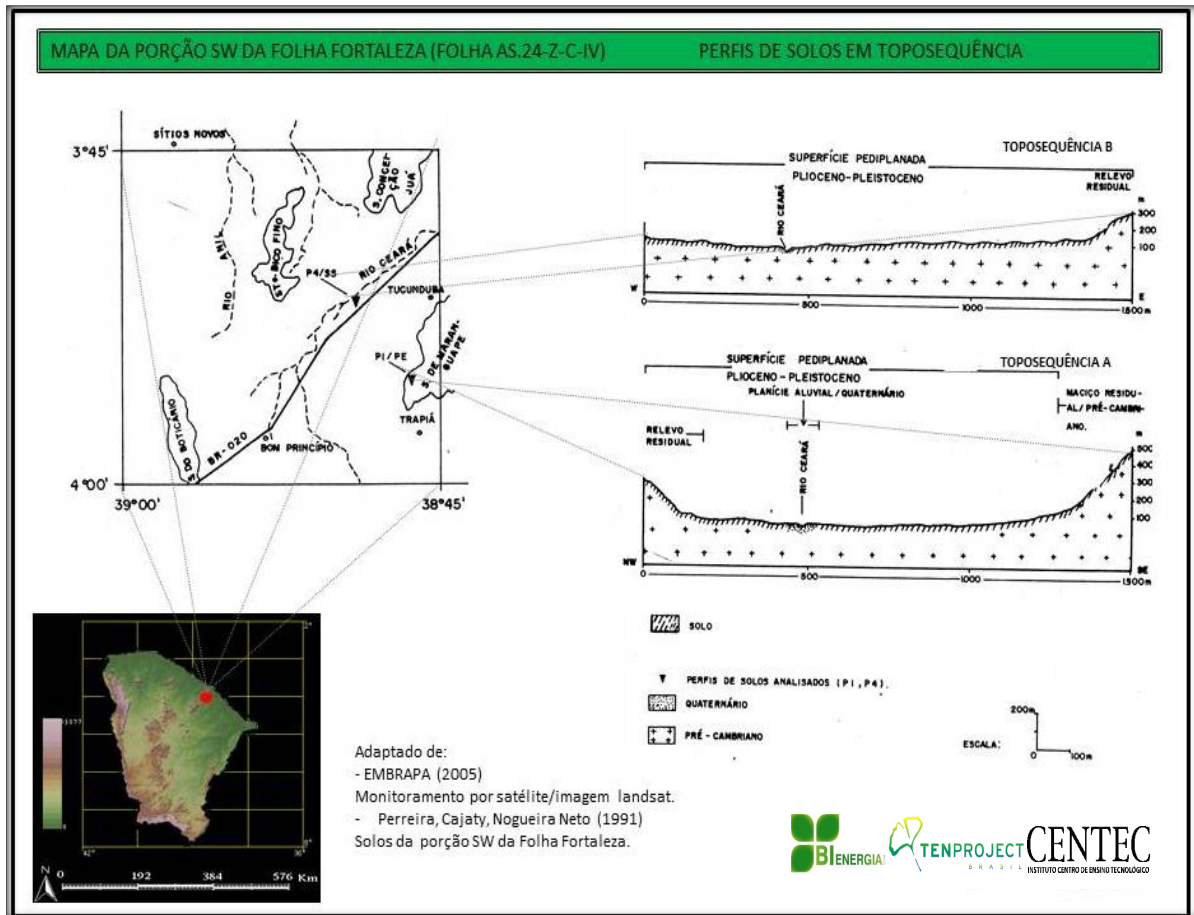
No sentido da base ao topo, iniciou-se o perfil litoestratigráfico na porção sudoeste (SW) da Folha Fortaleza (SA.24-Z-C-IV). O P3 (Figura 08) situa-se no Km 35 da BR-020, área do corpo alcalino facilmente identificado na área pela elevação em morrote, que sobressai topograficamente 115 metros (IPECE, 2019), acima da parte plana do embasamento cristalino (Figura 4.1.4.4.2.1a). Pode-se observar que a rocha é de textura maciça e a presença de fenocristais prismáticos. O Serrote Pão de Açúcar tem 280 m por 300m de superfície horizontal, extensão vertical quilométrica e mergulha 80° para o lado norte (Figura 4.1.4.4.2.1b) (MARINHO *et. al.* (1990).

A Figura 4.1.4.4.2.1b, mostra a que o corpo vulcânico aflora por uma morfologia típica das intrusões magmáticas tipo *neck* (chaminés vulcânicas). Baseado nos trabalhos mencionados constata-se que na área está presente sistema de fraturas predominantemente NE, que acompanha os *trends* preferenciais da Província Borborema, ocasionando intensa desagregação do corpo vulcânico na forma de blocos de tamanhos métricos a centimétricos. O manto de intemperismo que tem origem na decomposição dessas rochas e dos gnaisses migmatítico, formam as coberturas colúvio-elúvio constituído por areias quartzosas (Figura 4.1.4.4.2.1b), a última ocorrência de depósito sedimentar são os aluviões, restritos aos pequenos riachos da área (afluentes do Rio Ceará, Juá e Anil), correspondendo a cascalhos e depósitos areno-argilosos (Figura 4.1.4.4.2.1a). A imagem 'c" da Figura 4.1.4.4.2.1 foi capturada no dia 03/07, desde a década 90 até os dias de hoje esse morro vêm sendo preservado/conservado, desta forma os processos geológicos atuam naturalmente.

A próxima exposição, ainda na porção SW da área, no P2 visitado, coincide com os pontos das toposequências descritas no trabalho de Pereira *et.al.* (1991). Aproximadamente 20 km depois da rocha intrusiva o complexo gnáissico migmatítico-granítico se distribui em faixas de direções N-S e NE-SW, ocupando extensas áreas dentro do território de Caucaia.

O relevo na Toposequência A é marcado pela superfície de erosão do Rio Ceará, circundada pelos relevos residuais elevados representados na área, pelo Serrote Bico Fino e a Serra de Maranguape, relevo plano a montanhoso, condição que propicia a formação de solos profundos. A topografia na área da Toposequência B se distribui nos setores de cotas mais baixas do relevo local, na planície fluvial do Rio Ceará, podemos afirmar que o relevo é plano a suavemente ondulado, condição de formação de solos rasos (PEREIRA, *et.al.*, 1991) (Figura 4.1.4.4.2.2).

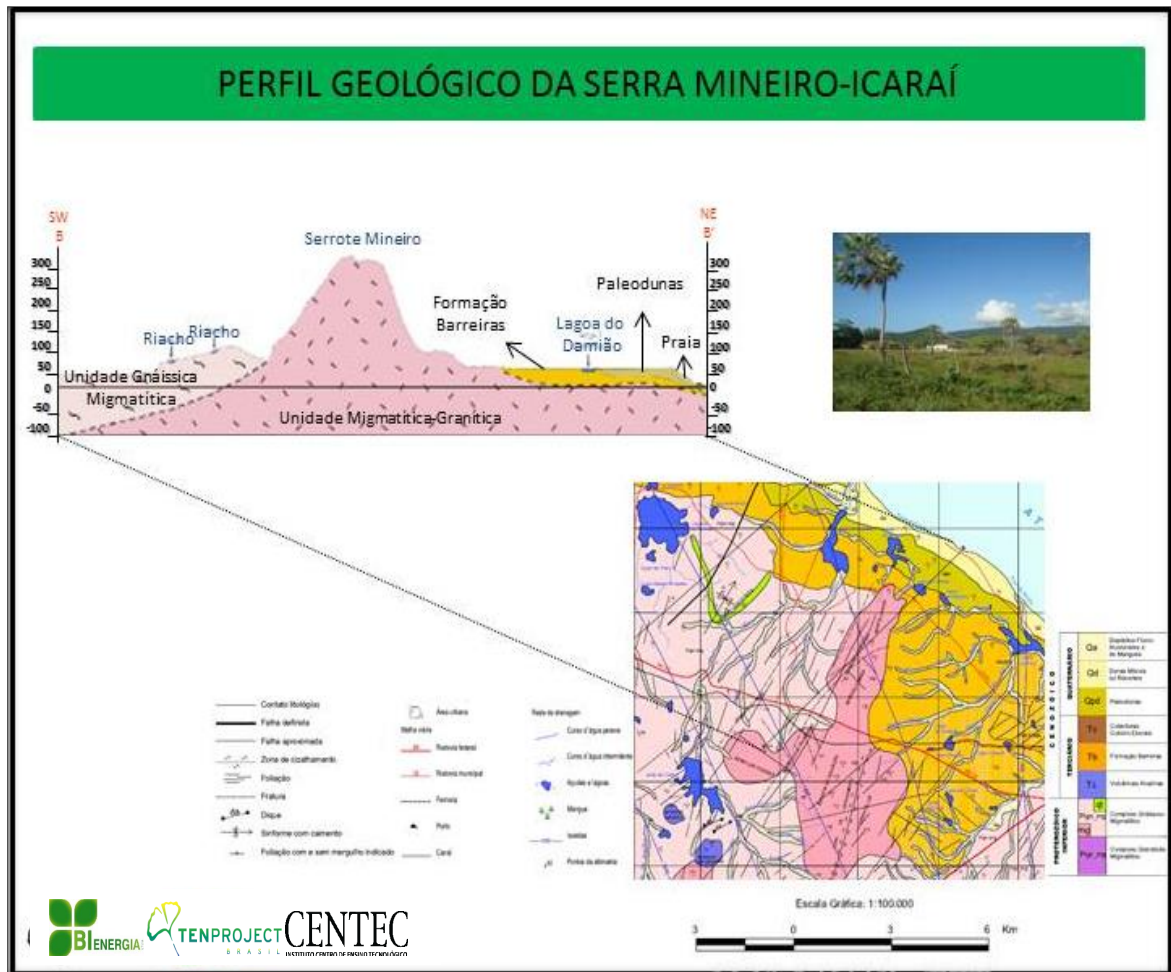
Figura 4.1.4.4.2.2 - Perfis de solos em toposequência no município da Caucaia.



Fonte: Adaptado de Perreira *et. al.*, 1991.

O último ponto do perfil litoestratigráfico na porção norte da área, marca o contato do embasamento com os depósitos sedimentares Cenozoicos (Terciário-Quaternário) da Formação Barreiras e com os sedimentos quaternários atuais na linha de praia. A área é representada por um empilhamento estratigráfico composto por rochas representadas na área pelas Serras da Conceição-Mineiro-Juá, Boticário, Santa Luzia, Serrote Bico Fino e Japarara. Observa-se em perfil o soerguimento do corpo ígneo cortando o embasamento cristalino, sua ocorrência em extensão e volume, formando relevo residual (Figura 4.1.4.4.2.3).

Figura 4.1.4.4.2.3 - Perfil estratigráfico Serra Mineiro – Icaraí.



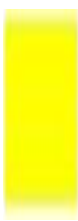




Fonte: Adaptado de Mota, 2005.

Os dados apresentados a seguir correspondem uma análise através da troca de informações de diversos trabalhos de pesquisa e as observações colhidas em campo. Os Capítulos (Itens) 4.1.4.2 e 4.1.4.3, abordam sobre o contexto geológico em escala regional e de detalhamento sobre a planície litorânea e a sobre a plataforma continental da área do Projeto Parque Eólica Offshore Caucaia. A partir deste contexto foi elaborada uma coluna litoestratigráfica para área em questão.



A figura abaixo (Quadro 4.1.4.4.2.4), demonstra o posicionalmente do pacote sedimentar através da coluna crono-litoestratigráfica, que foi elaborada com base no mapa geológico (Figura 4.1.4.3.1.1) refere-se a síntese estratigráfica da área de estudo (Caucaia), o qual expõe o posicionamento das unidades em termos de eras e períodos. Tratou-se de demonstrar a estrutura geológica simplificada da área de

estudo. O embasamento cristalino é a mais velha e vasta formação geológica da área de estudo, compreende o conjunto de rochas que se convencionou chamar complexo gnáissico migmatítico, a base sobre todos os outros depósitos geológicos posteriores vieram assentar-se direta ou indiretamente, no período Arqueano – Paleoproterozóico.

Quadro 4.1.4.4.2.4 - Coluna crono-litoestratigráfica de Caucaia e São Gonçalo do Amarante.

COLUNA CRONO-LITOESTRATIGRÁFICA				
ERA	PERÍODO	UNIDADE GEOLÓGICA		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
Cenozóico	Quaternário		Depósito Quaternário	Sedimentos arenosos, arenos-argilosos, com ou sem matéria orgânica, engloba depósitos lacustre e fluviomarinhos.
	Terciário		Formação Barreiras	Arenitos de granulação fina a média com tons avermelhados, matriz com níveis conglomeráticos e concreções lateríticas.
			Vulcânicas Alcalinas	Fonólitos, traquitos e turfas-rochas vulcânicas sob a forma de necks (feldspatos, nefelina, anfibólio, opacos e caulinita).
Proterozóico	Superior		Unidades Independência	Xistos, anfibólitos com presença marcante de granada, quartzos, mármore.
			Unidade Canindé	Paragnaisses quartzo-feldspato migmatítico, milonitizados e metamorfisados, anfibolitos e ortognaisses.

Continuação do Quadro 4.1.4.4.2.4

COLUNA CRONO-LITOESTRATIGRÁFICA				
ERA	PERÍODO	UNIDADE GEOLÓGICA		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
Proterozóico	Inferior		Complexo Gnáissico Migmatítico	Biotita-gnaisses com muscovita, silimanita granada, quartzitos e lentes de calcários.
			Complexo Granitóide Migmatítico	Ortognaisses granitóides e migmatíticos, com microclima, biotita e hornblenda (rocha ortoderivada).

Fonte: Adaptado de CPRM, 2003.

Esses gnaisses são cortados por intrusões de rochas eruptivas, os maciços costeiros, marcantes na área de estudo, enormes massas de granitos, sienitos e diorito, na porção norte da área, do Proterozóico. Formações geológicas mais modernas surgem no Terciário, corpos vulcânicos alcalinos na porção semiárida da área.

Após o soerguimento dos maciços costeiros a flexura marginal, associada com a alternância climática, deu-se no Terciário a deposição da Formação Barreiras, de considerável espessura, quebrando a monotonia da paisagem arqueana. Estampa-se na era Quaternária, a atividade geológica de origem continental, marinha e litorânea de fraca espessura (Figura 4.1.4.4.2.4).

Os sedimentos Quaternários são apresentados na área por sedimentos representados pelos depósitos eólicos (cordão litorâneo de idade recente, dunas móveis e fixas, depósitos lacustres e fluviomarinhos). A literatura pesquisada afirma que planície litorânea da área tem uma disposição contínua e sua formação está associada aos processos de acumulação e abrasão marinha, os sedimentos possuem granulometria e o grau de seleção variável e que o principal agente selecionador é o vento. As planícies lacustres e flúvio-lacustre ocorrem dispersas por toda área, como a Lagoa do Poço (Barra Nova) na praia do Icaraí, a Lagoa do Parnamirim (Tabuba),

Lagoa do Banana e o Lagamar do Cauípe (Cumbuco), apresentam sedimentos arenos-argilosos, além da matéria orgânica.

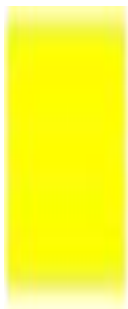

A figura a seguir (Figura 4.1.4.4.2.5) mostra o perfil geológico esquemático (A – A') partindo do Serrote Japurá até a orla marítima para área de estudo e a coluna crono-litoestratigráfica elaborada a partir do mapa geológico. Em seguida elaborou-se a coluna crono-litoestratigráfica para área em epígrafe (Quadro 4.1.4.4.2.5).

Figura 4.1.4.4.2.5 - Perfil geológico esquemático da área do Projeto Eólico no município da Caucaia.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Quadro 4.1.4.4.2.5 - Perfil geológico esquemático da área do projeto eólico no município da Caucaia.

ERA	PERÍODO	LEGENDA	UNIDADE GEOLÓGICA	LITOLOGIA
Cenozóico	Quaternário		Sedimentos de praia, Depósitos flúvio marinhos, aluvionares e lacustres, Dunas móveis e fixas.	Sedimentos arenosos, argilo-arenosos, com ou sem matéria orgânica, engloba fluviais lacustre. Areia fina à média, bem selecionada, quartzosa, contendo minerais pesados.
	Terciário		Formação Barreiras	Arenitos de granulação fina à média com tons avermelhados, matriz argilosa, com níveis conglomeráticos e concreções lateríticas.

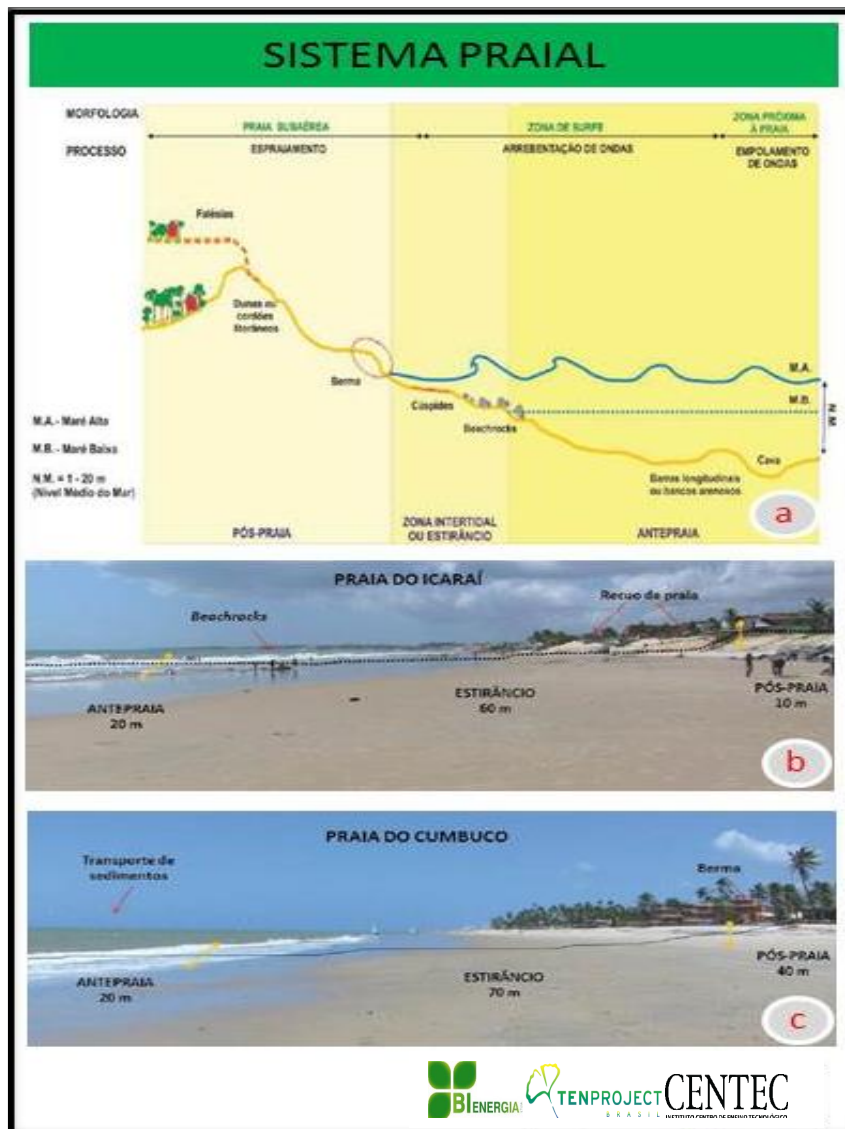
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Planície litorânea é uma faixa de terra que acompanha paralelamente a faixa costeira, com largura de 5 - 10 km e constituída por sedimentos arenosos recentes intensamente trabalhados pela ação eólica. Formam corpos de areia alongados por toda extensão da costa entre os limites de baixa maré e o início das dunas móveis, onde o nível freático das águas subterrâneas se aprofunda e as areias tornam-se secas e bem selecionadas pelo constante trabalho eólico. Nas praias a nordeste da área, a faixa de areia de praia fica caracterizada, compreendendo as partes pós-praia e antepraia (GURGEL JÚNIOR, 1984). A primeira é a área que começa no limite de preamar e estende-se até a base das dunas, nessa área desenvolve-se uma vegetação rasteira e por vezes formam-se pequenos bancos de areia seca e lagoas

freáticas. A segunda é a zona frontal entre os limites de preamar e baixa mar, denominada de estirâncio (Figura 4.1.4.4.2.6 a).

Na faixa de praia do município da Caucaia possui aproximadamente 31 km de extensão dividida entre as praias de Dois Coqueiros, Iparana, Pacheco, Icaraí, Tabuba e Cumbuco, tendo um perfil perpendicular à costa variações entre 180 a 70 m de extensão, constituídos por sedimentos quartzosos polidos, comumente bem selecionados (MOURA, 2012) (Figura 4.1.4.4.2.6 b, c).

Figura 4.1.4.4.2.6: Ambiente de deposição do domínio marinho-costeiro, acompanhado do perfil de praia do Icaraí e do Cumbuco.



Fonte: Adaptado de Moura, 2012.

Segundo Morais *et al.* (2015) o conhecimento do fundo marinho é importante por diversos fatores como: estudar as mudanças climáticas visando à previsão ambiental, entender o impacto da pesca no habitat bêntico e outras comunidades biológicas, estudar padrões de poluição no mar e quais os mecanismos para ajudar a manter a integridade das áreas costeiras, localizar recursos minerais estratégicos e fornecer base de dados através de sensores remotos, ajudando a refinar novas técnicas para previsão e caracterização ambiental.

Como sabemos a Plataforma Continental faz parte da estrutura morfológica da margem continental, além de ser uma província fisiográfica e continuação do bloco continental submarino. O seu relevo é bastante plano, com início na zona praial atingindo até a borda da plataforma, onde se caracteriza por uma declividade acentuada. Esse caráter amplo e plano é proveniente de atividades erosivas e deposicionais, ligadas aos movimentos de regressões e transgressões marinhas, decorrentes de processos de glaciação e de glaciação registradas ao longo da história geológica da Terra (HEEZEN & MENARD, 1966. In: FILHO, 2017).

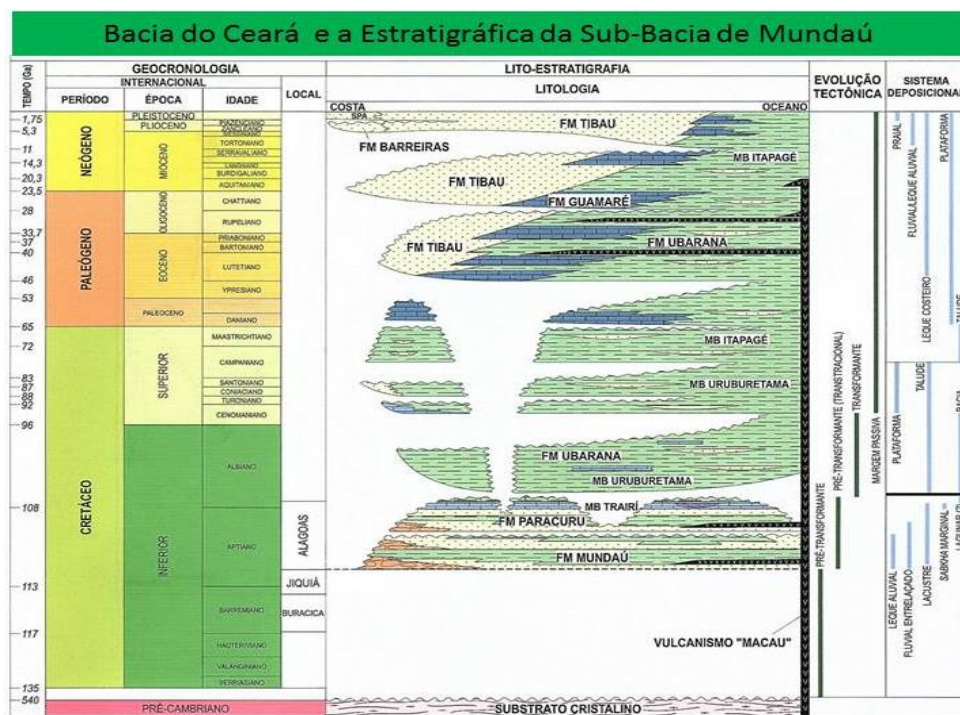
Em quase toda a sua extensão, junto à linha de costa, a plataforma continental cearense encontra-se um pequeno declive que é característico e constante. Esse declive é o gradiente da passagem da parte emersa para a plataforma continental propriamente dita. Segundo Freire (1985), a plataforma continental é dividida em interna e externa:

- Plataforma Continental Interna: de 0 a 20 metros de profundidade, caracterizada por esse declive que varia de 0 a 15 metros, tendo uma maior frequência na isóbata de 10 metros. A declividade varia em torno de 1:670 e a cobertura sedimentar é basicamente areia quartzosa.
- Plataforma Continental Externa: vai até a quebra da plataforma, numa profundidade média de 60 metros. A cobertura sedimentar é basicamente areia biodetrítica constituída por componentes esqueléticos os quais são compostos por carbonatos biogênicos com teores de CaCO_3 superiores a 75%. A porção oeste da plataforma externa cearense é constituída pela predominância em ordem decrescente de abundância de algas coralíneas ramificadas/incrustantes, *Halimeda*, foraminíferos plantônicos e moluscos. (Freire, 1985).

Pode-se afirmar que a sedimentação na plataforma continental cearense é predominantemente bioclástica (carbonática algálica), com contribuições de até 75%, os sedimentos siliciclásticos (origem terrígena) estão mais presentes na plataforma interna e defronte a Fortaleza e chegam até a borda da plataforma (MARTINS & COUTINHO, 1981; FREIRE, 1985; SILVA FILHO, 2004).

Nos itens anteriores foi abordada detalhadamente a geologia da plataforma continental cearense, bem como, sobre a porção onde está inclusa a região costeira da Caucaia, dados que possibilitam estabelecer um quadro geral da atual situação da morfologia e fisiografia do fundo dos oceanos cearense. Em resumo, a geologia da plataforma continental é descrita em dois compartimentos geológicos: as Bacias do Ceará e Potiguar. O município da Caucaia está inserido na Bacia Ceará e a área do Projeto Parque Eólico na Sub-Bacia Mundaú, a qual é a menos influenciada pelos esforços ligados à movimentação dextral entre as placas africana e sul-americana (Figura 4.1.4.4.2.7).

Figura 4.1.4.4.2.7: Carta litoestratigráfica da Bacia Ceará e da Sub-Bacia Mundaú, contendo os ambientes tectônicos e os intervalos de abrangência.

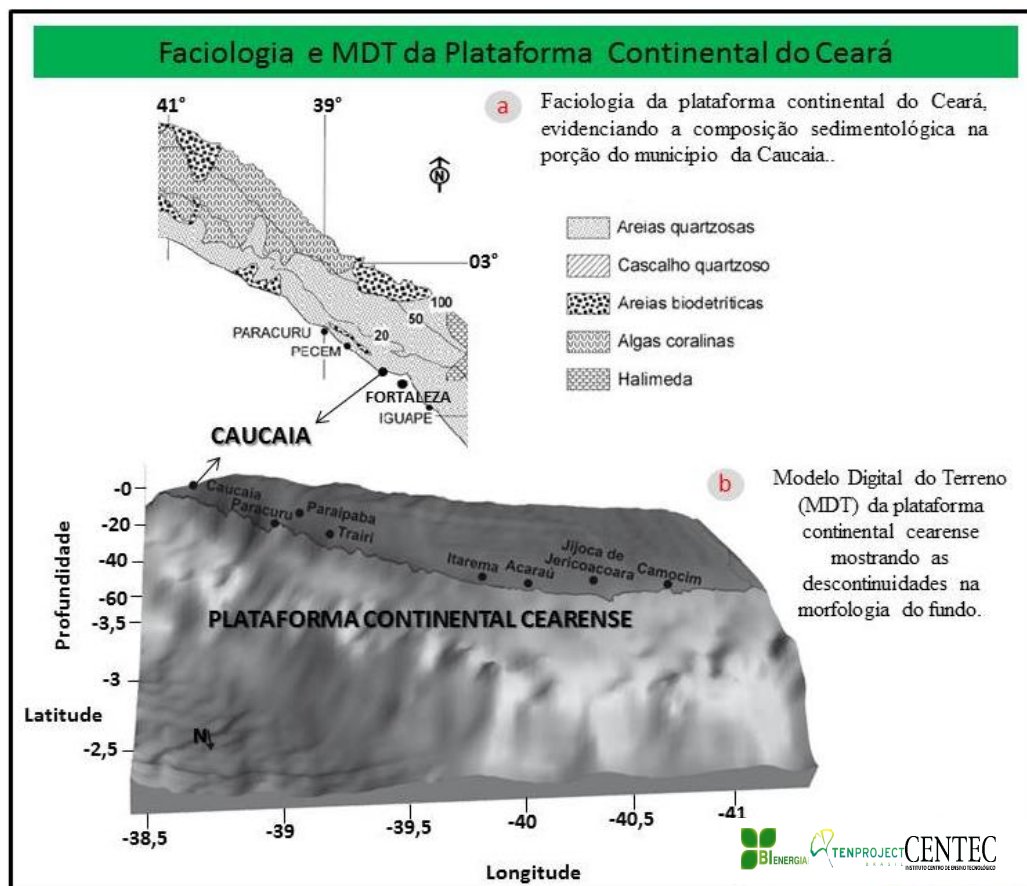


Fonte: Antunes *et al.*, 2008.

Raoni Ceci

Na vasta literatura estudada e como descrito anteriormente, a plataforma continental cearense caracteriza-se pelo baixo gradiente de declividade até aproximadamente a profundidade de 30 m, sendo interrompida por irregularidades nas formas de fundo. Esse declive é o gradiente de passagem do domínio emerso para a plataforma continental, sendo estreito entre Fortaleza e Pecém, onde a largura é mínima (SETECO, 1996), está inserido o município da Caucaia, porção leste da plataforma com maior contribuição terrígena (Aguiar Neto *et al.*, 2016). O referido autor elaborou o modelo digital do terreno (MDT) que exhibe essas discontinuidades na morfologia do fundo, diferenciando-se do padrão de rampa da plataforma continental. Essa quebra na monotonia morfológica é explicada pela atuação pretérita de cursos fluviais, que interceptavam a costa em níveis de mar mais baixo durante o Quaternário (4.1.4.4.2.8).

Figura 4.1.4.4.2.8: Composição e morfologia da plataforma continental cearense evidenciando o município da Caucaia.



Fonte: Adaptado de Aguiar Neto *et al.*, 2016.

Raoni Ceci

Com a apresentação da evolução paleogeográfica, dos perfis estratigráficos, topográficos, das toposequências e do modelo digital do terreno (MDT) foi possível expor a sequência litológica do município da Caucaia desde o embasamento até a plataforma continental permitindo uma visualização da topografia da região, possibilitando a reconstrução da história geológica da área do Projeto Parque Eólico Offshore.

Em resumo a área onde serão instaladas as fundações dos aerogeradores *offshore* é rasa, morfologia que facilita o emprego das fundações tipo *monopille* (Dados do Empreendimento), a plataforma interna é constituída por sedimentos finos a médios de maioria de origem terrígena; a conexão da Linha de Transmissão subterrânea irá atravessar depósitos sedimentares (praial, dunas e da Formação Barreiras) e até chegar a Subestação do Pecém a referida formação tem contato direto com rochas do embasamento. Portanto, a maior parte do município da Caucaia é composta por rochas datadas do Pré-Cambriano.

4.1.4.5 Caracterização das Condições Geológicas e de Estabilidade Geotécnica em Áreas Sensíveis

Os processos geológicos fazem parte da dinâmica natural do planeta. O avanço das diversas formas de uso e ocupação nas áreas naturalmente suscetíveis aos movimentos de terra, movimentos gravitacionais de massa, acelera e amplia os processos de instabilização das áreas vulneráveis (sensíveis) em que exista potencial risco geológico.

A ocorrência de processos geodinâmicos em áreas ocupadas ou até mesmos nas desabitadas pode provocar sérios problemas, sérios riscos geológicos. Risco geológico é definido como uma situação de perigo, perda ou dano, ao homem e as suas propriedades, em razão da possibilidade de ocorrência de processos geológico induzido ou não (ABGE, 1999) (Tabela 4.1.4.5.1).

Tabela 4.1.4.5.1 - Processos geológicos causadores de risco mais frequentes no Brasil

PROCESSOS GEOLÓGICOS	PRINCIPAIS CONDIÇÕES PREDISPOSTAS	ALGUMAS FEIÇÕES DE CAMPO INDICATIVAS
Escorregamentos	Encostas com inclinação elevada; depósitos de tálus e colóides; concentração do escoamento d'água de superfície de subsuperfície; pluviometria média anual elevada.	Trincas no terreno; degraus de abatimento; postes, árvores e muros inclinados ou tombados.
Inundações e alagamentos	Planícies de inundações; ruptura de declive (terraços, patamares, bermas, etc.); áreas de baixadas; cabeceiras de drenagem; lençol freático próximo à superfície; marés altas; bacias de forma circular; alta densidade da drenagem na bacia; baixa capacidade de escoamento; assoreamento.	Marcas de inundação em árvores, barrancos e construções; áreas úmidas ou acúmulo de água mesmo sem chuva; solos hidromórficos, sedimentos atuais cobrindo o terreno original; solapamento de margens.
Erosão hídrica	Solos arenosos e siltosos pouco coesivos; inclinações acentuadas dos terrenos; concentração do escoamento d'água de superfície e subsuperfície; chuvas intensas e mal distribuídas no espaço e no tempo.	Áreas de solo nú; solos sem horizontes superficiais; feições erosivas lineares (sulcos, ravinas, voçorocas); depósitos de sedimentos à meia encosta; assoreamento de fundo de vales.
Subsidência por adensamento	Planícies ou baixadas com presença de solos moles, continentais ou marinhos.	Desnívelamento acentuado entre estruturas e os terrenos adjacentes; trincas no terreno em pavimentos e edificações.
Colapso de solos	Presença de solos que apresentam recalques importantes quando saturados e submetidos a sobrecarga.	Idem acima; afundamento e formação de cavidades.
Subsidência e colapso devido à cavidades subterrâneas	Feições cársticas, principalmente cavernas; minerações subterrâneas.	Idem acima; tremores e construções; formação de crateras e desabamentos.
Expansão de terrenos	Presença de rochas e solos que apresentam aumento de volume ao serem desconfinados e sob a ação da umidade; presença de argilominerais expansíveis.	Ondulações e trincas em pisos e em pavimentos; material desagregando nas superfícies de cortes; rupturas em taludes muito suaves.

Fonte: Adaptado de Cerri & Amaral, 1998.

A suscetibilidade de uma área com relação a um determinado fenômeno geológico caracteriza a possibilidade de um evento. De acordo com Tricart (1977), a detecção do grau de vulnerabilidade de um território resulta da análise geossistêmica dos componentes do meio físico considerando a ecodinâmica, ou seja, a relação entre os processos morfogenéticos e pedogenéticos, assim como das ações antrópicas.

Existem três categorias de condições ecodinâmicas a dos meios estáveis, de transição e fortemente instáveis, definidas a partir da inter-relação presente nas relações entre os elementos da paisagem e as intervenções humanas. Os riscos geológicos, os problemas de vulnerabilidades e as situações de suscetibilidade podem ser identificados como instalada e potencial. Situação instalada o evento já ocorreu, enquanto o potencial expressa a probabilidade de ocorrência de processos geológicos.

Para elaboração deste item foi utilizados os seguintes trabalhos: Lima *et. al.*(2000), De Jesus (2002), Sobrinho (2004), Ramos (2008), Medeiros (2012), Pimentel (2015), Silva (2017), Gomes (2016), entre outros, todos abordando a temática geologia, geomorfológica e especialmente geotecnia, com emprego na caracterização do meio físico, na pavimentação, capacidade de suporte, delimitação e classificação das áreas vulneráveis (sensíveis) em que exista potencial risco geológico.

Os dados foram adquiridos por meio de vários procedimentos metodológico dos trabalhos estudados, os mais frequentemente utilizados no assunto instabilidade, com as necessárias adaptações às características naturais da área de estudo. Foi usada também, a metodologia de Augusto Filho (1992), que tem como proposta metodológica de investigação, o modelo fenomenológico, trata-se de um conjunto de hipóteses sobre os principais aspectos do processo de instabilização investigado.

Executou-se então, uma correlação entre as unidades geológicas e geomorfológicas anteriormente descritas (anos passados) com o momento real da visita técnica ao campo, indicando os comportamentos das unidades após as solicitações impostas por alguns tipos de obras. O levantamento e tratamentos dos dados preexistentes formam neste trabalho, o conjunto de agentes predisponentes. Portanto, o objetivo básico desta caracterização foi identificar os agentes, causas e

condicionantes atuantes no processo de instabilização das áreas vulneráveis como dunas, corpos d'água, terrenos com declividades elevadas e terrenos úmidos na área de estudo.

O projeto preliminar do Parque Eólico Offshore da Caucaia é composto por um total de 59 aerogeradores (Item 2: Dados do Empreendimento). O layout do projeto foi definido levando em consideração as características geométricas das turbinas, compreendidas na faixa de potência estabelecida. O Parque Eólico Offshore deverá ser conectado à rede elétrica administrada pela Aneel. A construção de uma rede elétrica é, portanto, necessária para conectar os aerogeradores entre si, pertencente a cada subcampo e à estação elétrica. A conexão será feita por cabo submarino até a Estação de Coleta (Estação de Transição na Terra), na praia da Tabuba a Subestação Elétrica Pecém II, na CE-085 em São Gonçalo do Amarante.

Neste contexto, o Parque Eólico Offshore Caucaia será implantado em sua maior parte em ambiente costeiro e uma pequena porção em ambiente de transição (litoral/maciços úmidos), terrenos que possuem pontos de fragilidade natural. As áreas sensíveis da área do projeto (escala de detalhe) compreendem terrenos com declividades e formas muito variadas, foram elas: terrenos úmidos, lagoas, margens de rios, dunas, áreas com declividades.

O litoral do Estado do Ceará vem sofrendo problemas em sua dinâmica natural, a partir do momento em que a relação sociedade e natureza se deram de forma desordenada. Isto se verificou principalmente quando construído o Porto do Mucuripe, que trouxe consequências relativas a impactos ambientais de ordem negativa tais como os processos erosivos com destruição de trechos de praia em várias áreas localizados a oeste da construção, conforme explica MORAIS (1980; 1981). Tendo que minimizar tais problemas ambientais empregaram-se geotecnologias na busca de um equilíbrio no meio natural, construindo-se espigões (molhes) como forma de barrar os sedimentos e engordar a linha da costa.

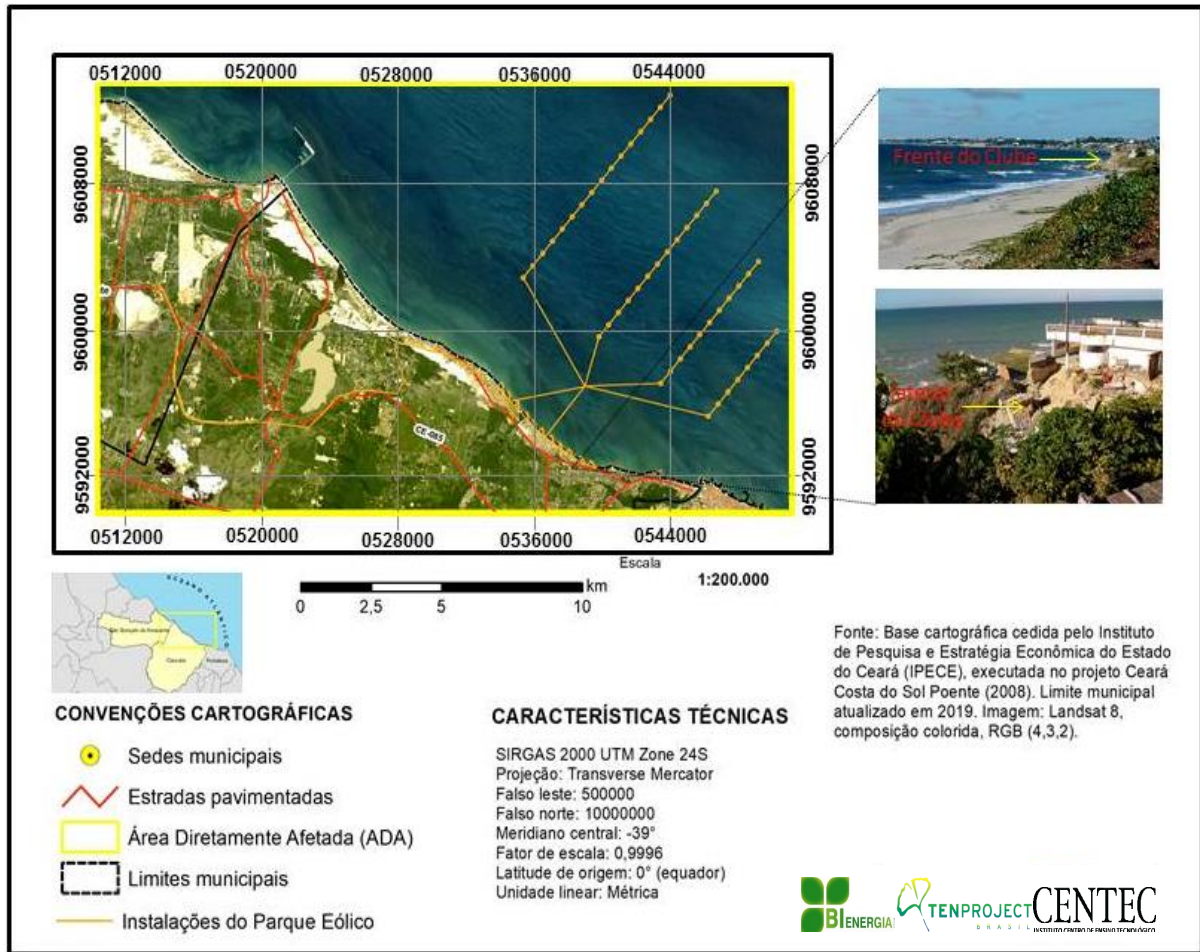
O último molhe a ser construído foi na desembocadura do Rio Ceará, impedindo o fluxo de sedimentos no sentido leste-oeste, como aconteceu com a construção do primeiro espigão no Mucuripe, a costa subsequente (oeste) ao espigão deixou de receber sedimentos o que provocou a não alimentação da área. Por causa

da construção dos espigões, áreas desta faixa do litoral (Região Metropolitana de Fortaleza) ficaram desguarnecidas às ações das ondas, ocasionando efeitos erosivos, associados ao não recebimento de sedimentos fruto da ação eólica, visto que as áreas de dunas estão praticamente tomadas por núcleos urbanos e suas infraestruturas.

Dada a crescente ocupação na zona costeira dos municípios da Caucaia e de São Gonçalo do Amarante, vale salientar que o acompanhamento da velocidade, intensidade e forma com que atuam os processos erosivos na área de estudo merece atenção. Constatou-se que nos últimos 10 anos, a linha da costa vem avançando em relação ao continente, como mostra a situação do clube Icaraí Acqua Play, localizado no Icaraí “velho”, tendo o mesmo já construído obstáculos a fim de evitar a abrasão marinha (Figura 4.1.4.5.2).

As falésias da área do Projeto Parque Eólico estão associadas a depósitos friáveis, correspondentes à Formação Barreiras e aos sedimentos pós-Barreiras. Esta unidade geológica apresenta-se como uma rampa suavemente inclinada do interior para o oceano e em razão de litologias pouco consolidadas, é constituída de arenitos e argilitos, às vezes ocorre a presença de um material concrecionário de maior resistência. Trata-se de um depósito sedimentar bastante susceptível a processos erosivos.

Figura 4.1.4.5.2 - Costa erosiva no litoral da Caucaia



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

As falésias das praias de Iparana, do Pacheco e do Icaraí encontram-se em processo fortemente erosivo. Pode-se observar em escala de detalhe que as falésias apresentam indícios (avisos preliminares) de desmoronamentos, que são as fraturas, sugerida neste estudo como um geoindicador de instabilidade. Fraturas foram observadas no topo da falésia visitada no limite das parias do Pacheco e com a praia do Icaraí, ponto situado por trás do posto BR na CE-090 (0538530, 9593004) (Figura 4.1.4.5.3). Essas fraturas conectadas com fendas verticais existentes, afetadas pela ação dos agentes denudacionais aumentaram o entalhe do talude na falésia.

Figura 4.1.4.5.3 - Processo erosivo na falésia viva no limite Icaraí/Pacheco.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Como descrito no primeiro parágrafo deste item, é natural que ocorram os movimentos de massa, pois os mesmos sempre agem para tornar o perfil da face da falésia mais estável, criando um perfil com inclinação mais suave. Concomitantemente ao movimento, os sedimentos gerados são fornecidos à base da falésia, que são removidos pelas ondas, e que novamente agem para cortar a base da falésia, então todo o perfil da falésia se torna íngreme e instável e um novo movimento de massa irá se suceder. Constata-se, todavia, que a instabilidade nas falésias da área de trabalho teve como condicionantes atuantes a implantação do porto do Mucuripe e a ocupação urbana, que se fez de forma desordenada e intensa, sendo responsáveis pela interferência direta no processo erosivo.

Pode-se afirmar que as falésias da área do Projeto Parque Eólico, são naturalmente susceptíveis aos processos erosivos, nelas os problemas ambientais já se instalaram e com grandes potencialidades de novas ocorrências de movimento de massa. E que o percurso do eletroduto (linha de conexão do campo marinho com o

campo terrestre) enterrado e aéreo não atravessará esta área de sensível, nesta porção do litoral da Caucaia.

No item Dados do Empreendimento é possível verificarmos que a conexão campo marinho com o campo terrestre será na praia da Tabuba, em ambiente praial, trecho de dunas e terraços litorâneos. A conexão enterrada do campo marinho com o campo terrestre, que também, será enterrada no sistema dunas até a Estação de Coleta. A referida estação será implantada na unidade geomorfológica terraço litorâneo. A linha de transmissão sairá da Estação de Transição na Terra pela na faixa de servidão existente sob as dunas, terraços litorâneos e maciços residuais úmidos perfazendo um total de 32km. O traçado do eletroduto será pela CE-090, CE-85 (Estruturante) até a Subestação Pecém II (Figura 4.1.4.5.4).

Figura 4.1.4.5.4 - Traçado da linha de transmissão do Projeto Parque Eólico Offshore.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Mais do que qualquer sistema físico, o ambiente costeiro caracteriza-se por ambiente vulnerável devido sua fragilidade natural, passa por mudanças com frequência, esse grande dinamismo costeiro advém da complexa interação dos processos deposicionais, ação eólica e erosiva relacionados com a ação das ondas, marés, além de influências antrópicas, que podem atingir proporções significativas, como modificações das paisagens nessas áreas (ROSSETTI, 2008). A área de estudo encontra-se densamente ocupada e passa por intenso processo de erosão costeira.

A área sensível contida no Projeto do Parque Eólico a ter o primeiro contato com a linha de transmissão (LT) subterrânea através de eletroduto será área de dunas. Segundo Dados do Empreendimento, a conexão subterrânea seguirá 14.050 metros pela rodovia estadual CE-090 (Figura 4.1.4.5.5 a). Essa estrada local está assetada por sobre cordões de dunas, como mostra a imagem orbital datada de 1984 (Figura 4.1.4.5.5 b). Na década de 80 a especulação imobiliária (loteamentos, condomínios) estava entrando na zona costeira da Caucaia, em poucos anos a planície litorânea ficou fortemente ocupada, restando locais específicos de dunas móveis e fixas (Figura 4.1.4.5.5 c), uma pequena porção por trás do condomínio Residencial Ipacaray, antes da ponte sobre o lagoa da Barra Nova, no bairro do Icaraí, nas proximidades do restaurante Tendas do Sertão, no bairro da Tabuba e no Cumbuco. A conexão subterrânea da LT terá início na rua Deputado Wilson Furtado Leite, bairro da Tabuba, a Figura (4.1.4.5.5 d) trata-se de uma foto das ruínas de construção civil resultante do processo erosivo e faciologia praial.

O material atravessado entrará em contato com material arenoso até a área da Subestação Terrestre nos terraços litorâneo, depósito sedimentar identificado com face laterítica da Formação Barreiras. No domínio das dunas, as escavações para conexão subterrânea cumprirão todas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas nas obras de engenharia, além de algumas internacionais, especialmente sobre implantação de parques eólicos offshore.

O material atravessado entrará em contato com material arenoso até a área da Subestação Terrestre nos terraços litorâneo, depósito sedimentar identificado com face laterítica da Formação Barreiras. No domínio das dunas, as escavações para conexão subterrânea cumprirão todas as normas da Associação Brasileira de Normas

Técnicas nas obras de engenharia, além de algumas internacionais, especialmente sobre implantação de parques eólicos offshore.

Figura 4.1.4.5.5 - Traçado da Linha de Transmissão (LT), dimensão do espaço dunas nos anos 80 e nos dias atuais.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A aproximadamente 90 metros depois do início da conexão, a escavação encontra um solo tipo glei, resultando do acúmulo de água em área de depressão, popularmente conhecida como área brechada. Cinquenta (50) metros depois do

pacote argiloso, a escavação tem contato novamente com material arenoso, até a rodovia CE-090.

Quando a conexão atingir a aproximadamente 2 km na CE-090, em linha reta na faixa de servidão, novo contato com a fase laterítica da Formação Barreiras, a vegetação observada no local é o bioindicador de área úmida. Continuando pela faixa de servidão da CE-090 a LT segue pelo ambiente dunar até o contato com outra área sensível, o ambiente lacustre do sistema Lagoa do Banana.

Tecnicamente falando, os cabos submarinos serão colocados no subsolo a uma profundidade de 1,5-2 m (um metro e meio a dois metros) abaixo do nível do solo, medida padrão de normas internacionais para parques eólicos offshore, de modo a assegurar tanto a sua proteção como a segurança dos operadores no mar. O enterramento dos cabos também permitirá reduzir aos termos mínimos a dispersão dos campos eletromagnéticos gerados.

As operações de disposição dos cabos onshore, serão realizadas nas seguintes etapas (Dados do Empreendimento):

- Disposição dos cabos na escavação: os cabos são posicionados no topo de uma camada de escavação de areia;
- Cobertura de cabo com areia e material de escavação;
- - Se necessário, realiza-se a cobertura dos cabos com uma camada protetora de cimento;
- - Restauração de lugares, com eventual asfaltamento ou em qualquer caso, restaurando a camada superficial pré-existente.

A vasta literatura sobre dunas da área de estudo, as descrevem como uma unidade geológica sedimentar que começa a ser delineada a partir da linha de praia alta (*backshore*) possuindo uma largura média de 2 – 3 km e espessura que atingem até 30 m. A cava para o aterramento dos cabos não ultrapassará a profundidade de 2 metros. Já nos pontos onde se tem contato com material argiloso das áreas brechadas e da Formação Barreiras, que em função da umidade trata-se de um material mais plástico e mais resistente quando seco, será instalado adequadamente tanque de

junção (Dados do empreendimento). No final da instalação, as atividades de restauração do estado dos lugares serão organizadas.

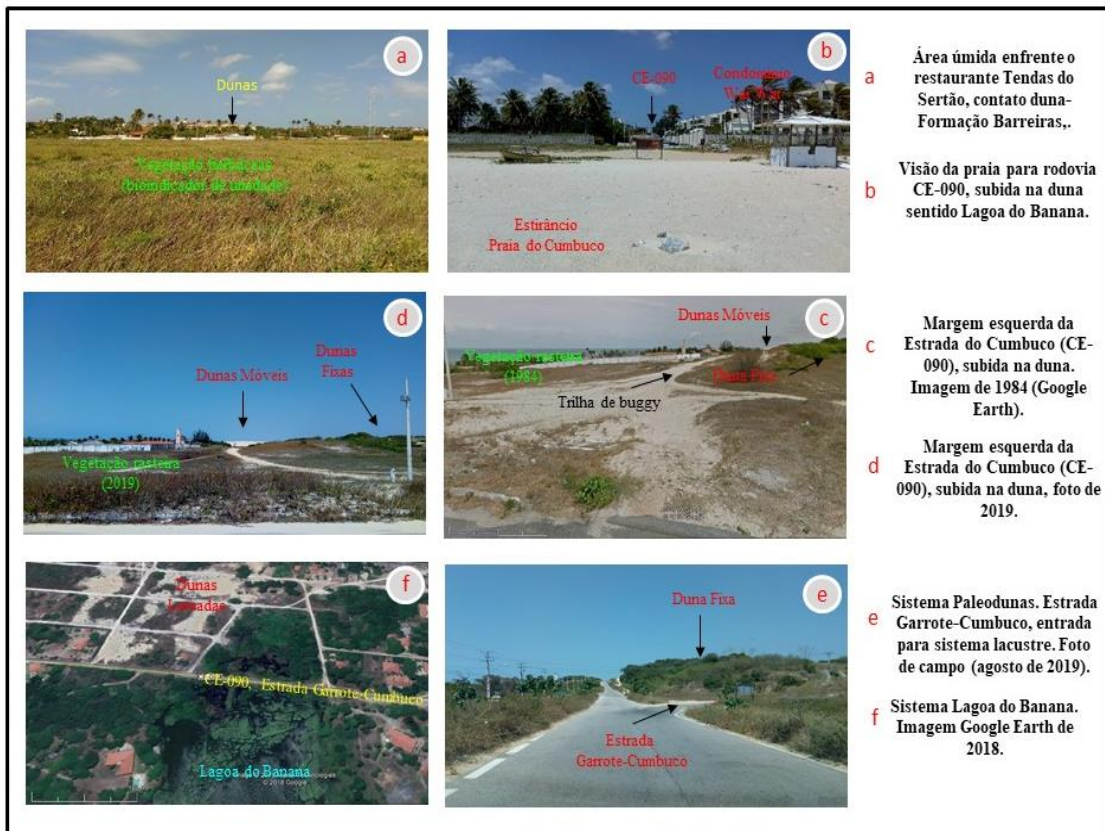
A partir do ambiente praial, os cabos serão aterrados em sedimentos quartzosos, que quando desmantelado, inicia-se o processo de movimento dos grãos de areia, pois o arranjo estrutural se desfaz ocasionando a instabilidade geotécnica. Por isso, o material utilizado para o recobrimento das escavações será o mesmo que foi retirado, facilitando o rearranjo da fábrica dos grãos proporcionando uma maior estabilidade. No caso de aquisição de materiais extraídos de jazidas exploradas por terceiros, serão utilizadas daquelas que estarão em conformidade com aspectos legais e ambientais vigente, devidamente licenciados pelo órgão competente.

As dunas móveis e especialmente as fixas são áreas de interesse hidrogeológico, portanto, por sua natureza foram consideradas áreas sensíveis neste estudo, porém, vale salientar que as cavas para enterrar os cabos não cortará este sistema e por se tratar de uma obra de engenharia obedecerá todas normas de construção, segurança e ambiental.

Desde o Icaraí a conexão subterrânea atravessa dunas, quando chega no bairro Cumbuco o traçado da LT passará pela Av. dos Coqueiros próximo ao condomínio Wai Wai, haverá uma conversão para esquerda, Estrada do Cumbuco, trecho de subida, onde se observa as dunas fixas (área de recarga). Na Estrada Garrote-Cumbuco (CE-090) a LT atravessa margens da Lagoa do Banana, sistema flúvio lacustre (Figura 4.1.4.5.6).

A área com declividade considerada sensível cortada pela LT é o trecho de subida da Estrada do Cumbuco (CE-090), a estrada foi implantada sob dunas fixas e móveis conforme imagem de 1984 do Google Earth. Essas dunas são de geração mais antiga, os sedimentos tiveram mais tempo para se organizarem quanto ao grau de seleção dos grãos, obtendo um perfeito arranjo estrutural. Pela descrição em campo pode-se observar que, trata-se de areia de coloração clara a amarelada, grãos de quartzo subarredondados a arredondado.

Figura 4.1.4.5.6 - Prancha com imagens do traçado da LT, trechos com áreas sensíveis.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Em algumas áreas (citadas anteriormente) estão assentadas diretamente sobre os sedimentos terciários da Formação Barreiras. O cuidado técnico nesta situação é com a variável inclinação, o desmantelamento do arranjo das dunas ocasiona preeminente o movimento das partículas. No item Dados do Empreendimento cita as operações e obras de engenharia nestas áreas.

A aproximadamente 800 metros depois da travessia nas bordas da Lagoa do Banana, a LT atravessa uma drenagem (aporte de água para a lagoa), que durante as fortes chuvas rompe o asfalto da CE-090. Outro contato com área sensível, com a Lagoa do Damião, próxima da Rodovia Estadual CE-085 (Estruturante). Como já mencionado, a aberturas das cavas para travessia da conexão subterrânea do Projeto Parque Eólico Offshore Caucaia, obedecerá a norma técnicas e a legislação vigente.

A linha de transmissão subterrânea termina na CE-085, em frente a pedreira no Serrote Monguba.

O trecho aéreo começa, a área sensível que a LT passa é o Lagamar do Cauípe, depois corta terrenos dos terraços litorâneo, bem como, unidades geológicas do embasamento cristalino, até a Subestação do Pecém não há nenhuma ocorrência de áreas sensíveis.

Os ambientes costeiros são especialmente vulneráveis à ocupação humana, dada a sua natureza de movimentos (ondas, correntes, ventos), e da sua diversidade biológica. A planície costeira da Caucaia encontra-se bastante utilizada (lazer/turismo, cultivo) e muito ocupada (loteamentos, residências, sítios, condomínios, hotéis, pousadas), desde década de 80 as dunas são ocupadas pelas infraestruturas de apoio das construções civis, drenagens são atravessadas por estradas estaduais, municipais, caminhos e trilhas. Pode-se constatar que os pontos críticos (sensíveis) não são de grandes magnitudes, porém, se não forem apontados, identificados, quando da abertura das cavas podem levar a ocorrências de impactos.

4.1.4.6. Análise das Condições Geotécnicas

O levantamento geológico e geotécnico vem sendo apresentado maneira sistemática seguindo os objetivos delineados no Termo de Referência referente ao Processo nº: 02001.003915/2016-68, para implantação do Parque Eólico Offshore Caucaia, da empresa BI ENERGIA, emitido pelo IBAMA.

Entende-se por análises das condições geotécnicas, a interpretação das descrições do contexto geológico da área do empreendimento, apresentando informações que identificam as camadas de solo e do substrato rochoso, permitindo definir o comportamento do terreno. Trata-se de um levantamento preliminar que ajuda nos trabalhos de engenharia.

A presente análise constitui mais uma etapa que prevê o estudo geotécnico de campo e laboratório necessárias à delimitação das áreas sensíveis, dos contatos geológicos, da variação faciológica ao longo do traçado da LT e das fundações

offshore. Inicialmente foi pesquisada várias literaturas sobre tema, depois os dados adquiridos foram confrontados em campo, em campo foi executada a coleta de amostras deformadas para ensaios de laboratório.

Com as amostras coletadas é possível determinar o perfil geológico do solo investigado. O processo executivo é simples e pode ser descrito basicamente pela escavação do solo com o trado manual. A escavação foi iniciada com o trado cavadeira, e nos terrenos com superfície muito dura foi utilizado a ponteira de aço (trado mecânico).

Em tese, este item apresenta uma investigação preliminar, que descreve as principais características do terreno definindo a sua estratigrafia, esclarecendo as feições relevantes do subsolo e caracterizar as propriedades das camadas de solos mais importantes, para sejam empregadas a fase de projeto e a investigação para a fase de execução do empreendimento.

4.1.4.6.1. Fundações

Todo e qualquer construção precisa ser suportada por algo que faça a ligação de todos os esforços até o solo, isso é chamada de fundação. Fundação é a parte do sistema construtivo que possui o escopo de transmitir todas as cargas, levando em conta até mesmo seu peso próprio, da construção até o solo, em alguns casos de fundações mais profundas até as rochas.

A superestrutura é a parte do sistema de engenharia responsável por levar as cargas depositadas sobre ela para a fundação, ou subestrutura. O termo superestrutura é facilmente ligado à edifícios, pontes, barragens, etc. Entretanto, as fundações também podem suportar maquinários, equipamentos industriais (tubulações, torres, tanques), atuando como bases. Por essas razões, é melhor descrever uma fundação como a parte do sistema que interliga os componentes de carga com o solo (BOWLES, 1996). O objetivo prioritário das fundações de turbinas eólicas é combater o momento de tombamento das torres sob condições extremas.

As soluções de fundação para aerogeradores existem várias que podem ser

divididas, para os parques eólicos onshore, em fundações rasas e em fundações profundas. Além disso, têm-se as fundações para aerogeradores offshore. Serão esses tipos de fundações que será relatada a seguir.

Fundações rasas

As fundações rasas, também chamadas de fundações diretas ou superficiais, são fundações que possuem como características principais o descarregamento no solo em níveis próximo a superfície, usando o aumento da área de contato com o solo para que ocorra a diminuição da tensão. A escolha por este tipo de fundação é definida quando os parâmetros geotécnicos solo demonstrar resistência nos primeiros metros após a superfície. Os tipos de fundações que estão incluídas como fundação rasa são: sapatas (tanto sapatas associadas como sapatas corridas), vigas corridas, baldrames e radiers.

Existe a laje plana, que deve ser executada logo abaixo da superfície e a escolha dessa fundação é feita principalmente pelo fato da rocha ficar próxima da superfície do solo. A utilização da fundação em pedestal é usada quando a rocha mãe não está a uma distância que a espessura da laje possa resistir aos momentos de tombamento e tensões cisalhantes com o fator segurança. O pedestal é acrescentado com finalidade de aumentar a rigidez e adicionar uma certa carga gravitacional para combater o momento de tombamento da torre (BURTON *et al.*, 2001).

A laje cônica segue o mesmo princípio da fundação em pedestal, dar-se o aumento da rigidez pelo acréscimo da espessura da fundação no centro da laje, dessa forma fazendo com que o parte da torre fica adentrada na fundação. Burton *et al.* (2001) afirma que os tirantes eliminam a necessidade de adição de peso nas nessas fundações gravitacionais, reduzindo significativamente o tamanho das placas e fornecendo uma capacidade de carga bastante elevada (CARVALHO, 2014).

Fundações profundas

Fundações profundas são utilizadas quando o solo próximo a superfície não apresentam capacidade de carga suficiente. Dessa maneira, deve-se buscar a capacidade de carga e para isso utilizar as camadas mais profundas do solo, pois quanto mais profundo for não será só a resistência do solo, mas também, o atrito lateral do solo causado pela profundidade.

- Multi-estacas

A fundação multi-estacas com bloco de coroamento é usada em solos frágeis onde para se alcançar a capacidade de carga necessária para sustentar os aerogeradores é preciso fixa a fundação em extratos de solos mais profundos. Dessa maneira, são associadas várias estacas em um bloco de coroamento, essas estacas podem ser de vários tipos e de várias formas de execução, mas será abordado nesse trabalho as mais usadas no Estado do Ceará, segundo levantamento de Carvalho (2014), que são as estacas dos tipos raiz, hélice contínua e “*alluvial anker*”.

- Mono-pilar

A fundação do tipo mono-pilar é interessante quando o solo possui coesão suficiente para escavações com grandes inclinações, mas por outro lado seu custo pode ser elevado, pois é usada uma grande quantidade de concreto nesse tipo de fundação. Essa solução de fundação (mono-pilar) consiste em um único cilindro de concreto com enorme diâmetro que resiste sozinho aos esforços de tombamento mobilizando as cargas laterais no solo.

Fundações offshore

As fundações “offshore” possuem diversas formas e vão depender de diversos fatores, como tipo de maquinário, tipo das pás, tipo da torre e a carga de serviço associada. Dessa maneira, devem ser dimensionadas para suportar, além de seu peso próprio, as cargas da corrente marinha e os impactos das ondas.

As estruturas de suporte de torres offshore podem ser classificadas pela configuração e o método de instalação. As estruturas de suporte podem ser ancoradas no fundo do mar usando diversos tipos de fundações, como estruturas gravitacionais, tubulões de aço, estacas de concreto moldadas in loco, etc. (NOOD, 2008).

- Mono-estaca (“*monopile*”)

Segundo Raposo (2014), a mono-estaca consiste em um único tubo de aço de forma cilíndrica que fica enterrada no fundo do mar, profundidade da penetração irá depender do diâmetro e da espessura do tubo, que isso será determinada a partir da escolha da turbina e da profundidade do mar. Admite-se usar essa solução para profundidades até de 30 metros, para turbinas de, no máximo, 2 MW. Esta solução de fundação precisa de equipamentos de perfuração, tornando essa solução não recomendado para terrenos rochosos (Dados do Empreendimento).

- Mono-estaca atirantada

Ainda segundo Carey (2002), os tirantes devem ser presos na estaca de concreto de menor diâmetro, que ficaram locadas ao redor da mono-estaca, e na própria mono-estaca, dessa maneira, eliminando a deflexão excessiva das mono-estacas nas águas com maiores profundidades, tendo como vantagem, sob as soluções para mesmas profundidades, ser muito mais viável economicamente, entretanto possui a mesma desvantagem da mono-estaca para solos rochosos.

- Gravitacional (“gravity”)

Estruturas gravitacionais são as segundas estruturas mais utilizadas para baixas profundidades. São caracterizadas por terem uma larga base circular de diâmetros que variam de 12 a 18 m e podem pesar de 500 a 1000 toneladas (PINTO, 2013). Tipo de fundação para solos oceânicos rochosos.

- Treliça (“Jacket”)

Segundo Christóforo (2010), esse tipo de fundação tem uma estrutura semelhante a um poste de eletricidade de alta tensão. Ainda segundo o referido autor, essa solução de fundação para aerogeradores offshore é mais utilizada em fundos oceânicos arenosos. Podendo ser utilizada para profundidades entre os 25 m e os 50 m usando turbinas entre 2 MW e 5 MW.

Para escolha da fundação mais adequada para cada situação, além de se conhecer os esforços atuantes sobre a edificação e as características técnico/geométricas dos elementos estruturais, é preciso estudar as particularidades do solo sobre o qual a obra será executada. Dentre as informações que usualmente são levantadas durante o estudo do solo, seu posicionamento no terreno levando-se em consideração e a posição relativa do empreendimento a ser construído. A normalização vigente (*ABNT NBR 6122/2010; ABNT NBR 8036/1983*) e o bom senso devem nortear o tipo de programa de investigação, número mínimo de furos de sondagem e profundidade de exploração.

4.1.4.6.2. Sondagens

A sondagem de solo consiste na investigação ou prospecção do subsolo de um determinado terreno. O projeto de fundação de uma obra não pode ser concebido da maneira correta sem que haja um procedimento de sondagem para determinar as

propriedades físicas do solo. Para este estudo, Projeto Parque Eólico Offshore da Caucaia foram realizadas avaliações visuais do solo (diagnóstico) em julho e agosto, para escolha do local de amostragem em setembro do corrente ano.

As diversas formações geológicas reunidas camadas, são investigadas para fornecer esclarecimentos sobre o posicionamento dos estratos litológicos. Existem a investigação do subsolo que é destinada a esclarecer as condições geológicas de subsuperfície, e a investigação subterrânea que é importante na definição de jazidas minerais. A investigação das condições geológicas é realizada por meio de dois métodos:

- Indiretos ou geofísicos: baseados na interpretação de certas medidas físicas;
- Diretos ou mecânicos: execução de perfurações ou sondagens do subsolo.

Método Direto ou Mecânico

- Sondagem à Trado

Os trados podem ser manuais ou mecanizados. Existem dois tipos de trado mais utilizados: concha ou cavadeira e helicoidal e com menor emprego, os trados torcidos e espiral. Os trados cavadeira tem cerca de 5, 10, 15 cm de diâmetro e são usados para estudos de ocorrências de materiais para terraplanagem e pavimentação, barragens, nos estudos de subleito rodoviários e ainda para avanço da perfuração nas sondagens até que se encontre o nível de água ou até o seu limite de utilização. Os trados helicoidais, torcido ou espiral são empregados no interior do revestimento de sondagens a percussão, podendo ser utilizados nos solos argilosos, mesmo abaixo do nível de água.

O uso dos trados manuais é um processo mais simples, rápido e econômico para as investigações do solo. A sondagem penetra somente nas camadas de solo

com baixa resistência e acima do nível d'água. A perfuração do solo geralmente é realizada com os operadores girando uma barra horizontal acoplada a hastes verticais, onde se encontram as brocas. A amostragem geralmente é feita a cada metro, anotando-se as profundidades em que ocorrem mudanças do material. As amostras retiradas pelo trado manual não mantêm suas características físicas. Os resultados da sondagem são apresentados através de perfis individuais ou tabelas e são traçados perfis gerais do subsolo.

O trados mecanizados é o processo de fundação profunda mais barato em relação aos custos relacionados a perfuração. É uma opção muito utilizada um processo limpo que não produz lama, é fácil de ser transportado e mobilizado dentro da obra, requer um número pequeno de operadores e é de execução relativamente rápida.

As sondagens à percussão SPT (Standard Penetration Test) ou teste de penetração padrão ou simples reconhecimento, esse é um processo muito usual para conhecer o tipo de solo fornecendo informações importantes para a escolha do tipo de fundação.

Já a sondagem rotativa permite a investigação e reconhecimento de rochas e solos com a retirada de amostras da rocha atravessada, podendo atingir grandes profundidades. Os resultados das sondagens são apresentados em relatório, com planta do local e indicação dos pontos perfurados, perfis geológicos geotécnicos de cada sondagem, contendo as informações da obra, número, inclinação e rumo da sondagem, data de início e término, cota do furo e nível d'água quando encontrado, profundidade e cotas na vertical, diâmetros de sondagem e profundidade dos revestimentos, comprimento de cada manobra, número de golpes SPT (quando solo), recuperação dos testemunhos, alteração, coerência, fraturamento, RQD, descontinuidades, classificação e interpretação geológica.

4.1.4.6.3. Testes e Ensaios Geotécnicos

Realização deste item precisou-se inicialmente de uma ampla e detalhada fundamentação teórica sobre as fundações, sondagens, temas aqui abordados,

levando em conta uma abordagem atual e técnica do assunto. A escolha do município do litoral cearense proposto para implantação do parque eólico offshore, teve como base a qualidade dos ventos e de sua posição na costa, onde o que influenciou, principalmente, foi a profundidade do mar no município. Os dados sobre batimetria, sobre perfil estratigráfico, dados geotécnicos serviram para desenhar a morfologia da área do Parque Eólico Offshore Caucaia.

Para a realização das análises físicas considerando a heterogeneidades dos solos, utiliza-se de combinações de métodos que permitem a verificação das partículas sólidas (areia, silte e argila). Essas determinações visam indicar as possíveis diferenças morfológicas entre o solo da Planície Costeira, Terraços Litorâneo, Planície Fluvial Marinha, da Depressão Sertaneja e do Maciço Residual e a forma como essas modificações podem atuar entre os resultados nas análises físicas dos solos da área em epígrafe.

Os testes geotécnicos foram realizados *in situ* quando das visitas ao campo. Teste táctil, desagregação, resistência e compressão seguiu-se a metodologia sugerida por Nogueira (2005). Para proceder com os testes táctil e visual foi necessário preparar uma mistura de solo com água (pasta). O solo pode ser considerado como areia quando é áspero ao tato, com partículas visíveis, silte (menos áspero que a areia, mas perceptível ao tato) e, argila quando apresentam semelhança com uma pasta de sabão escorregadia e quando seca proporcionam ao tato, a sensação de farinha.

Para o teste de desagregação utilizou-se um torrão de solo seco, de aproximadamente 2 cm em seguida mergulhando-o até metade em recipiente contendo água (sem imergir totalmente). O solo identificado como areia a desagregação é muito rápida (até 2 minutos), solo considerado siltoso a desagregação é rápida (até 5 minutos) e solo caracterizado como argiloso a desagregação é lenta (mais de 5 minutos).

A partir de uma pasta de moldar foram produzidos três corpos de prova, esféricos e com aproximadamente 15 mm de diâmetro, para o teste de resistência e compressão. Os corpos de prova secaram à sombra. Depois de seco comprimir entre os dedos polegar e indicador e avaliar a pressão aplicada e observar o que ocorre com o corpo de prova (Nogueira, 2005). Os ensaios de granulometria (sedimentação) e

massa específica foram executados no Laboratório de Solos e Água (UFC/FUNCEME) do Departamento de Solos da Universidade Federal do Ceará. O método de análise granulométrica da Embrapa (1999).

Brandy (1989) após analisar a umidade nos perfis de um solo, observaram que a umidade variava de acordo com a fração granulométrica, além disso, tal variação está relacionada, também, ao teor de argila presente. Para Brady (1989) a massa específica da partícula (MEP) ou densidade da partícula, depende da composição química e da estrutura cristalográfica dos minerais constituintes dos solos Gondim (2008) menciona a relação organizada por Lambe & Witman (1979), que contém os minerais comumente encontrados nos solos com seus respectivos valores de massa da partícula, que será utilizado como uma medida de correlação (Quadro 4.1.4.6.3.1).

Troeh & Thompson (2007) afirmam que a massa específica dos solos está usualmente entre 1,0 e 1,6 g/cm³, e para Reinert & Reichert (2006) a massa específica de solos arenosos em torno de 1,65 g/cm³ e para solos argilosos 1,45 g/cm³. Para estes autores quanto mais altos o valor massa específica às restrições de uso são maiores, por reduz o movimento do ar e da água. Segundo Guerra (1990), solos que sofreram erosão apresentam uma densidade aparente entre 1,3 - 1,9 g/cm³, devido à diminuição dos agregados. Para Brandy (1989), a porcentagem de sólidos (PS) indica o volume de solo ocupado por sólidos, estando correlacionado diretamente com a massa específica do solo, com a estrutura e textura.

Quadro 4.1.4.6.3.1 - Massa específica da partícula de alguns componentes comuns no solo.

Mineral	Massa Específica (g/cm ³)
Quartzo	2,65
Feldspato-K	2,54 – 2,57
Plagioclásio Na, Ca	2,67 – 2,76
Mica	2,70 – 3,20
Caulinita	2,60 – 2,61
Ilita	2,70 – 3,10
Clorita	2,60 – 2,90
Montmorilonita	2,74

Fonte: Adaptado de Gondim, 2008.

O ensaio da densidade global (massa específica da partícula-MEP) e da densidade da partícula (massa específica do solo-MES) foi realizado no Laboratório de Solos da UFC e as normas da ABNT-NBR 6508/84. Os minerais foram identificados nas frações areia *in situ* utilizando uma lupa de bolso Triplet 30X-20.5mm.

4.1.4.6.4. Análises Geotécnicas

A seguir serão apresentados os dados físicos de solos estudados em Caucaia e posteriormente as análises das amostras coletadas. Os trabalhos de maior relevância para este diagnóstico foram: Tomaz (2017) e Barroso (2002).

A caracterização dos tipos de solos existentes no município de Caucaia foi feita de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA, do ano de 2014. Assim, foram identificados oito tipos de solos: Neossolos Flúvicos, Gleissolos Sállicos, Neossolos Quartzarênicos, Planossolos Hápllicos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Vertissolos, Neossolos Litólicos Eutróficos e Luvisolos Crômicos. Essa variedade de solos no município é justificada pela diversidade litológica e pelas formas de relevo existentes.

Os *Neossolos Flúvicos* se distribuem ao longo dos cursos dos principais rios, como o Ceará, Juá, Cauhípe e também de lagoas, associados à vegetação de mata ciliar, com destaque para a existência da Carnaúba (*Copernicia prunifera*). Nesse contexto, a Carnaúba é protegida pelo Decreto estadual Nº 27.413 de 30 de março de 2014, que a considera como símbolo do Estado do Ceará e por isso, a derrubada ou o corte da mesma, está condicionado à autorização dos órgãos estaduais vigentes.

Os *Gleissolos Sállicos* são solos minerais, constituídos por argila e areia, em que o horizonte glei inicia dentro de 50 cm da superfície, geralmente, e possuem uma elevada concentração de sais (EMBRAPA, 2006). Ocorre associado aos mangues e apesar da concentração de matéria orgânica em decomposição, é inadequado ao desenvolvimento agrícola, visto o alto teor salino. Esse tipo de solo foi identificado numa pequena porção nordeste do município, especificamente na planície flúvio-marinha do Rio Ceará, sendo recoberto pela vegetação do mangue.

Os *Neossolos Quartzarênicos* são solos essencialmente quartzosos, pouco evoluídos, formado por material mineral ou material orgânico com menos de 20 cm de espessura, sem horizonte B (JACOMINE, 2009). Geralmente são profundos, apresentando coloração esbranquiçada ou amarelada, além de possuírem alta permeabilidade (MEDEIROS, 2014). Entretanto as altas taxas de infiltração e o relevo suave, fazem desse tipo de solo pouco suscetíveis à erosão (RIBEIRO, *et al.*, 2009).

Os *Planossolos* são caracterizados pela pouca profundidade e baixa permeabilidade, e por isso encharcam no período chuvoso. No horizonte superficial apresentam uma coloração bruno-claro a bruno-escuro e uma textura arenosa, mudando de forma abrupta para outro horizonte B plânico mais compactado e impermeável com textura argilosa (BRASIL, 1973). A partir de 50 cm já ocorre o contato lítico e o horizonte A. É considerado susceptível à erosão principalmente devido ao excesso de água de estação chuvosa e ao déficit na estação seca.

Os *Argissolos Vermelho-Amarelo* são caracterizados pela boa drenagem, pela grande profundidade e pela boa estrutura, apresentando geralmente a textura média argilosa, além da coloração variante de vermelho-amarelado a bruno - acinzentado, dependendo do material de origem (EMBRAPA, 2014). Esse tipo de solo apresenta naturalmente argila de baixa atividade. Entretanto, a alta profundidade permite a existência de plantas de maior porte, por exemplo, cajueiros.

Os *Vertissolos* são solos minerais não hidromórficos, pedregosos e relativamente férteis, que possuem restrições a percolação de água, apresentando fendas profundas que se abrem durante o período seco (EMBRAPA, 2006). Esses solos possuem alto teor de argila e uma superfície alisada e lustrosa, conhecida como *slickensides*. É um solo com drenagem imperfeita e permeabilidade imperfeita se encharcando no período chuvoso, tornando-o assim, mais susceptíveis à erosão (NASCIMENTO, 2014). Possuem baixos teores de matéria orgânica, baixa condutividade hidráulica e horizonte superficial pouco desenvolvido (CUNHA *et al.*, 2010). Ocupam uma pequena área na porção sul do município estando associado a relevos planos e suaves ondulados.

Os *Neossolos Litólicos Eutróficos* são caracterizados por serem solos rasos, com contato lítico a partir de 50 cm, apresentando alta pedregosidade, estão

associados geralmente a relevos com uma relativa declividade (EMBRAPA, 2014). São solos pouco desenvolvidos, com textura arenosa e bem drenados. No município abrangem a área central, e apresentam pedregosidade e rochosidade, além de frequentes afloramentos rochosos, o que possibilita o desenvolvimento da vegetação de mata seca (MEDEIROS,2012; SOUZA, 2015).

Luvissolos Crômicos possuem caráter crômico na maior parte do horizonte B. Apresentam caráter eutrófico e uma considerável quantidade de minerais primários no perfil, além de serem rasos ou pouco profundos (EMBRAPA, 2006). No município na serra de Maranguape, na porção central do município, em relevo ondulado, apresentando-se em fase pedregosa e rochosa sob o substrato gnaisse e granito. Segundo Tomaz, (2017) (Quadro 4.1.4.6.4.1).

Quadro 4.1.4.6.4.1 Classes de solos do município da Caucaia e sua porcentagem territorial.

CLASSES	PERCENTUAL DE OCORRÊNCIA (KM ²)
Planossolo Nártico	510,21
Argissolos Vermelho-Amarelo	317,10
Neossolos Litólico Eutrófico	145,29
Luvissolos Crômico Háplico	46,59
Neossolos Flúvicos	39,03
Luvissolos Crômico	38,81
Gleissolo Sálico	28,06
Vertissolo	27,19
Neossolos Quartzarênico	18,55

Fonte: Tomaz, 2017.

Os trabalhos de campo permitiram identificar, na escala da paisagem, três “solum” e com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, associa-los a seis classes, a saber: Argissolos, Planossolos, Neossolos Flúvicos, Neossolos

Quartzarênicos e os Neossolos Litólicos (EMBRAPA, 2006). A classificação pode ser confirmada pela discussão sobre os dados geotécnicos e através dos resultados das análises físicas. Três classes foram identificadas através dos testes e ensaios geotécnicos executados em campo (Neossolos Flúvicos, Neossolos Litólicos e Planossolos), as demais através das análises laboratoriais.

A descrição morfológica tátil/visual de solos na Planície Costeira do município, P 04, fração considerado areia (praia da Tabuba), o material pedimentar foi identificado como Neossolos Quartzarênicos; os Gleissolos identificado na área (Barra Nova/Lagoa dos Patos, no bairro do Icaraí; Lagoa do Parnamirim na Tabuba; Banana e o Lagamar Cauípe, no Bairro Cumbuco) foi considerado como úmido, pois, a água (umidade) foi sentida ao tato, de cor cinza escuro quando úmido e cinza amarronzado quando seco. Foi possível constatar estrutura granular média, o material não é áspero como a areia, mas, perceptível ao tato uma matriz argilosa, apontando-o como siltoso.

Os testes geotécnicos realizados nos Neossolos Flúvicos o enquadraram como solo siltoso, a comprovação adveio do comportamento de um torrão imerso na água que se desagregou durante uma reação considerada como rápida (1,10 minutos) e dos corpos de prova produzidos, que após a secagem foram pressionados, utilizando-se média pressão resultando na quebra dos mesmos, indicando uma pequena resistência, confirmando o solo com caráter siltoso. Esse comportamento textural o classifica como um solo de pouca coesão.

O Planossolo (P 01, bairro da Tabuba), nos terraços litorâneos, local da Subestação Terrestre, e no P 07 (0519410 N, 9595151 E), área brechada na depressão sertaneja, o solo apresenta textura argilosa, mas, o conteúdo de areia é razoável, o que propicia ao solo, a formação de uma estrutura média com blocos angulares. É de consistência dura que aumenta quando seco e plástico e pegajoso quando molhado. Foi possível constatar que o Planossolo possui uma matriz argilosa, a desagregação do torrão foi muito lenta, por mais de cinco minutos e foi utilizada uma pressão nos corpos indicando alta resistência, ratificando a textura argilosa. Resultados que apontam o material pedimentar como um solo coeso.

O Neossolo Litólico, na CE-085 na jazida mineral (área de empréstimo) em frente ao posto SP, possui textura arenosa e estrutura granular, quando molhado adere ligeiramente aos dedos e não apresenta crosta e nem rachaduras. É arenoso,

o torrão no recipiente com água desagregou-se rapidamente e os três corpos de prova após pressão esfarelou indicando nenhuma resistência.

De acordo com os resultados da análise de solo as classes texturais identificadas foram, Areia Franca, Franco Arenosa, Areia, Franco Argiloarenosa. Textura que reflete a natureza granulométrica do pedoambiente da área de estudo, são constituídos principalmente por areia grossa e areia fina (composição granulométrica, em g/kg). O solo com alto teor de argila é o do P 09 (Tabela 4.1.4.6.4.2), condição que confirma a potencialidade do material de origem em fornecer quantidades de substâncias de argila.

Os valores das massas específicas dos sólidos variam de 2,62 g/cm³ a 2,81 g/cm³, indicando que há variação dessa propriedade no universo de solos amostrados. Pode-se observar que os valores das massas específicas dos sólidos são altos, e com valores inferiores ao do quartzo (2,65 g/cm³), o que pode indicar uma pequena incidência de ferro e/ou alumínio na composição química dos solos.

Tabela 4.1.4.6.4.2 - Características físicas dos solos da Subestação Terrestre e da toposequência por aonde irá passar a conexão subterrânea.

Amostras (Classe de Solo)	Horizonte (prof./cm)	MEP (densidade da partícula, g/cm ³)	MÊS (densidade global, g/cm ³)	Classificação Geotécnica
P 01(Planossolos)	0 – 26	2,80	1,54	Areia franca
	26 – 30	2,68	1,56	Franco arenosa
	30 - 50	2,72	1,59	Areia
P 02(Neossolos Quartzarênicos)	0 – 30	2,63	1,57	Areia
	30 - 90	2,66	1,62	Areia
P 04(Neossolos Quartzarênicos)	0 – 20	2,62	1,61	Areia
	20 - 40	2,69	1,65	Areia
P 07(Planossolos)	0 - 20	2,65	1,74	Areia
P 09(Argissolos)	0 – 40	2,74	1,67	Areia
	40 - 110	2,75	1,53	Franco argilo arenosa
P 10(Argissolos)	Base (3 m)	2,81	1,62	Areia

Fonte: Elaborado pelo autor,2019.

Quanto aos valores da densidade das três amostras de P 01 estão acima do valor universal, indicando a existência de partículas menos densas que o quartzo, indica ainda, a presença do plagioclásio calcosódico, mineral comum no material de origem e outro valor que se enquadra dentro da faixa característica de coloides silicatados que possuem densidade dentro dessa faixa (Quadro 4.1.4.6.3.1). As amostras dos solos nos pontos 09 e 010, também possuem, altos valores da densidade das partículas.

O alto valor da MEP é de 2,74 e 2,75 g/cm³, é atribuído à presença de partículas de plagioclásio cálcico (2,67 – 2,76 g/cm³) nas camadas detríticas, nessa faixa, também, se evidenciam a presença de mineral de argila do tipo 2:1, por exemplo, a montmorilonita (d=2,74 g/cm³), conforme dados de Gondim (2008). Os solos de dunas (Neossolos Quartzarênicos) obtiveram médios valores de massa da partícula (2,62 – 2,69 g/cm³), reflexo do quartzo, caulinita, minerais mais abundantes, nas rochas do embasamento.

Os valores encontrados da massa específica do solo (MES) ou densidade aparente, nos solos estudados são valores médios a altos (1,53 – 1,74 g/cm³), refletindo na qualidade dos solos, a área possui uma baixa cobertura vegetal responsável pelo aporte de matéria orgânica influenciado na densidade do solo. Os valores altos são devido ao alto desmatamento influenciando nos efeitos pluvioerosivos, conseqüentemente ocasionou uma selagem de superfície, aumentando a massa específica do solo.

A determinação das propriedades geotécnicas dos solos por meio sondagem manual material arenoso facilitou a perfuração, o uso do trado mecanizado só foi executada nos pontos que apresentaram argila. Se conheceu o comportamento dos solos no estado deformado (estrutura destruída). Os parâmetros dos solos, peso específico e a granulometria foram considerados geoindicadores da susceptibilidade.

A análise geotécnica, envolveu um conjunto de procedimentos que elucidaram, a o mecanismo da deflagração das instabilidades na área de estudo (Subestação Terrestre, conexão subterrânea), onde se identificou uma cadeia de eventos, que tem sua origem com a formação da própria rocha e de toda sua história geológica, como movimentos tectônicos, intemperismo, erosão e ação antrópica.

A gravidade ou criticidade da instabilização foi definida levando em consideração, que área de estudo encontra-se ocupada. A potencialidade da evolução dos danos prováveis devido a implantação do Parque Eólico Offshore Caucaia é de criticidade média a alta possibilidade. Os solos estudados são textura de arenosa, são mais permeáveis, como possuem baixa proporção partículas de argila, apresentam maior facilidade para erosão.

As diferenças observadas nos solos estudados estão relacionadas com o material de origem, o posicionamento geomorfológico onde cada um foi originado. São solos constituídos por um alto percentual de grãos grossos. Os resultados das análises geotécnicas demonstram que a qualidade está comprometida, os solos encontram-se degradados.

4.1.4.7. Possíveis Interferências na Área de Estudo com Recursos Minerais Identificados

O registro geológico do Brasil evidencia ambientes férteis em todo o tempo geológico, do Arqueano ao Holoceno, contendo importantes acumulações de bens minerais, algumas das quais já transformadas em minas.

Em termos geotectônicos, pode-se dividir o Brasil em duas partes: o Amazônico (Oeste) e o Atlântico (Leste), tendo como elemento divisor a faixa de dobramentos Paraguai-Araguaia. Dentre várias outras, duas características geotectônicas maiores diferenciam os dois blocos. O Brasil do Leste, englobando as regiões Centro, Oeste, Sul, Sudeste e Nordeste, diferencia-se do Brasil Amazônico (Oeste) por conter cinturões orogênicos de idade neoproterozoica (brasílicos) circundando o Cráton do São Francisco e núcleos menores, bem como a borda leste do Cráton Amazônico.

Pode-se resumir as características geográficas e de conhecimento geológico/exploratório desses dois tratos do território nacional da seguinte forma:

- Brasil Amazônico: 60% do território nacional, floresta tropical, infraestrutura viária e energética muito limitada, baixa população, conhecimento geológico/metalogenético muito básico, poucas minas de porte significativo, garimpos

ativos ou em extinção, potencial para depósitos superficiais ou em subsolo.

- Brasil Atlântico: 40% do território nacional, vegetação de cerrado, caatinga, resíduos da mata atlântica e campos sulinos; densamente povoado, infraestrutura viária e energética razoável, maior conhecimento geológico/metalogenético, oportunidade para reabertura de minas abandonadas e para descobertas em subsuperfície.

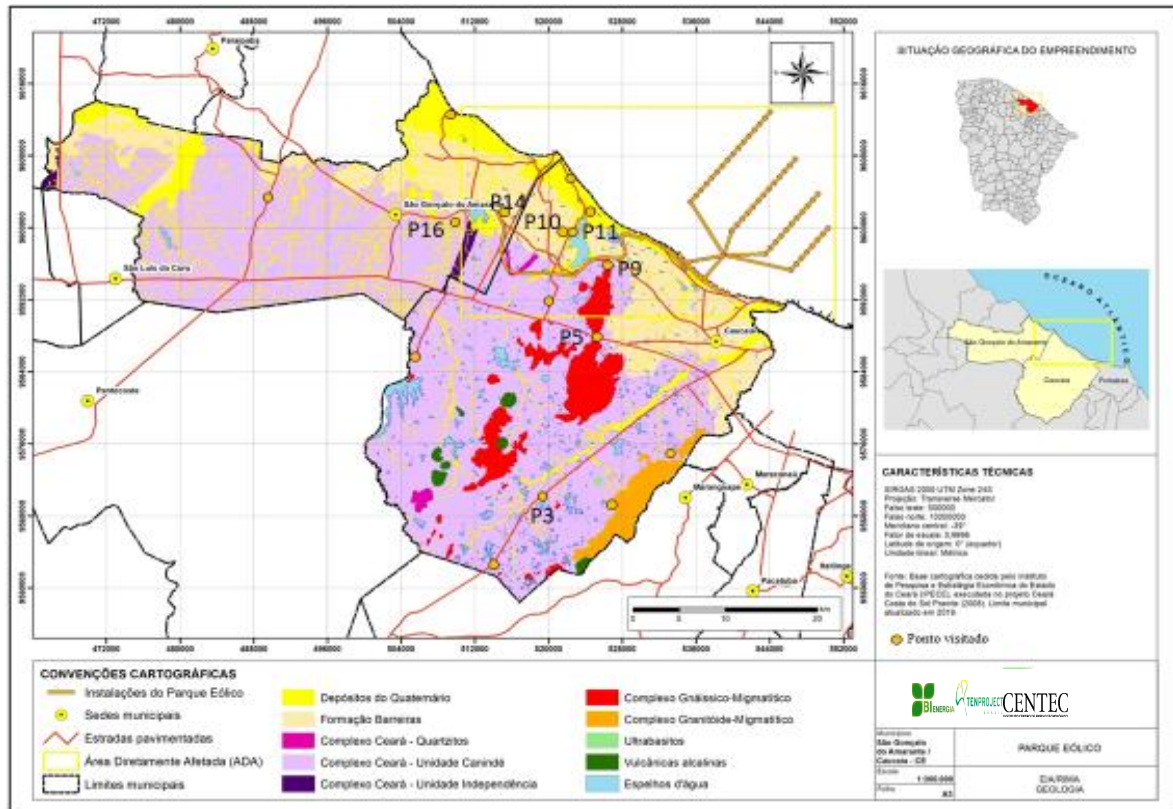
Os recursos minerais do Ceará e especificamente na Caucaia e São Gonçalo do Amarante foram citados no Item 4.1.10. Na Caucaia existem extração de brita, areal, saibro, maior parte encontra-se registradas na Agência Nacional de Mineração e no órgão ambiental. Ocorreram vários estudos sobre os minérios na plataforma continental da Caucaia, mas não há e nem haverá nenhuma interferência na área de estudo com os recursos minerais.

4.1.4.8. Mapa dos Pontos de Coletas

O produto do reconhecimento dos municípios de Caucaia e São Gonçalo do Amarante foi a Figura (4.1.4.8.1), representado abaixo, quando percorreu-se os limites leste, sul, oeste, centro e norte dos municípios de Caucaia e SGA, em aproximadamente a cada 30 km ocorreu a descrição litológica, foram visitados e descritos 20 pontos

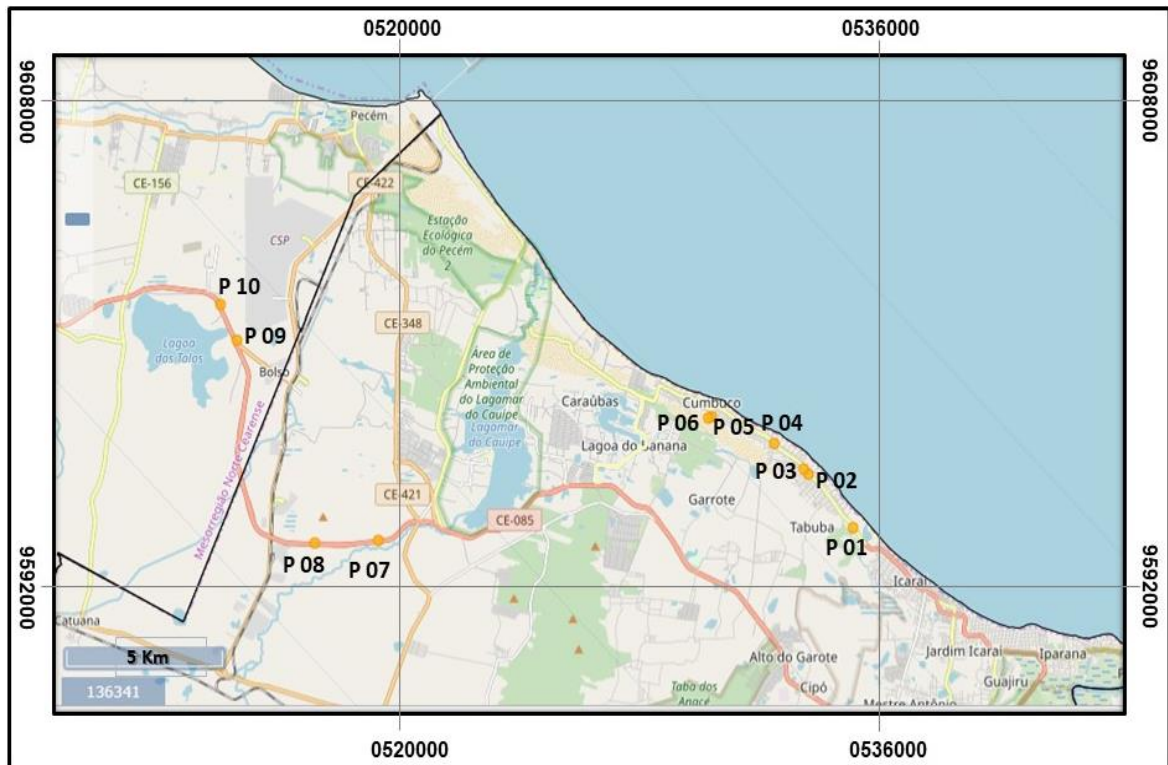
O mapeamento de detalhe da área do Projeto Parque Eólico Offshore foi realizado através do reconhecimento das unidades geológica sedimentares, da morfologia e da dinâmica litorânea e suas correlações com a paisagem (relevo) e com o solo, em escala de trabalho aproximadamente 1: 50.000. Nos meses de agosto e setembro ocorreu o caminhamento geológico pontuando os locais onde a Linha de Transmissão subterrânea irá passar, foi feita coleta do material cada variação pedológica e/ou geológica, numa escala de detalhamento grande, onde em aproximadamente a cada 2km, quando havia variedade geológica e/ou pedológica, um ponto era marcado, foram amostrados 10 pontos da Subestação Terrestre até a Subestação Pecém, os P01, P02, P04, P07, P09 E P10 foram coletados para análises físicas (Figura 4.1.4.8.2).

Figura 4.1.4.8.1 - Mapa de pontos do reconhecimento regional (Caucaia e SGA).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 4.1.4.8.2 - Mapa de pontos da Subestação Terrestre a Subestação Pecém.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os mapas apresentados são registros das observações feitas no campo, após análises do recobrimento geológico e geotécnico executados, pode-se perceber que o mapeamento abrangeu uma extensa área do município de Caucaia, especialmente em relação a área do traçado da linha de transmissão elétrica.

4.1.4.9. Identificar as Áreas Prováveis de Serem Utilizadas Para Empréstimo e Bota-fora

Na implantação do Projeto Parque Eólico Offshore Caucaia não será necessário utilizar recursos mineral de classe II (área de empréstimo), mas se por algum motivo houver a necessidade, as possíveis áreas serão levantadas a partir do item Recursos Mineraiis.

Raoni Ceci

Os bota-fora que existirão serão os materiais resultantes da escavação na faixa de servidão para abertura das cavas para conexão subterrânea. Os quais deverão ser recolhidos e espelhados preferencialmente nas cavas para recobrimento das mesmas, o restante deverá ser recolhido e dispostos no aterro sanitário da Caucaia. Como a área encontra-se desmatada devido ao uso e ocupação, pode-se afirmar que o bota fora de desmatamento praticamente não existirá.

4.1.5. Geomorfologia

4.1.5.1. Metodologia

Os percursos metodológicos foram baseados em técnicas clássicas da Geomorfologia como revisão dos dados já produzidos em livros e mapas temáticos, trabalhos de campo e análise de perfis topográficos. Como descrito anteriormente, o diagnóstico ambiental foi adaptado a partir da técnica sugerida por Rodrigues (2004), bem como a análise a natureza sugerido por Claudino-Sales (1993).

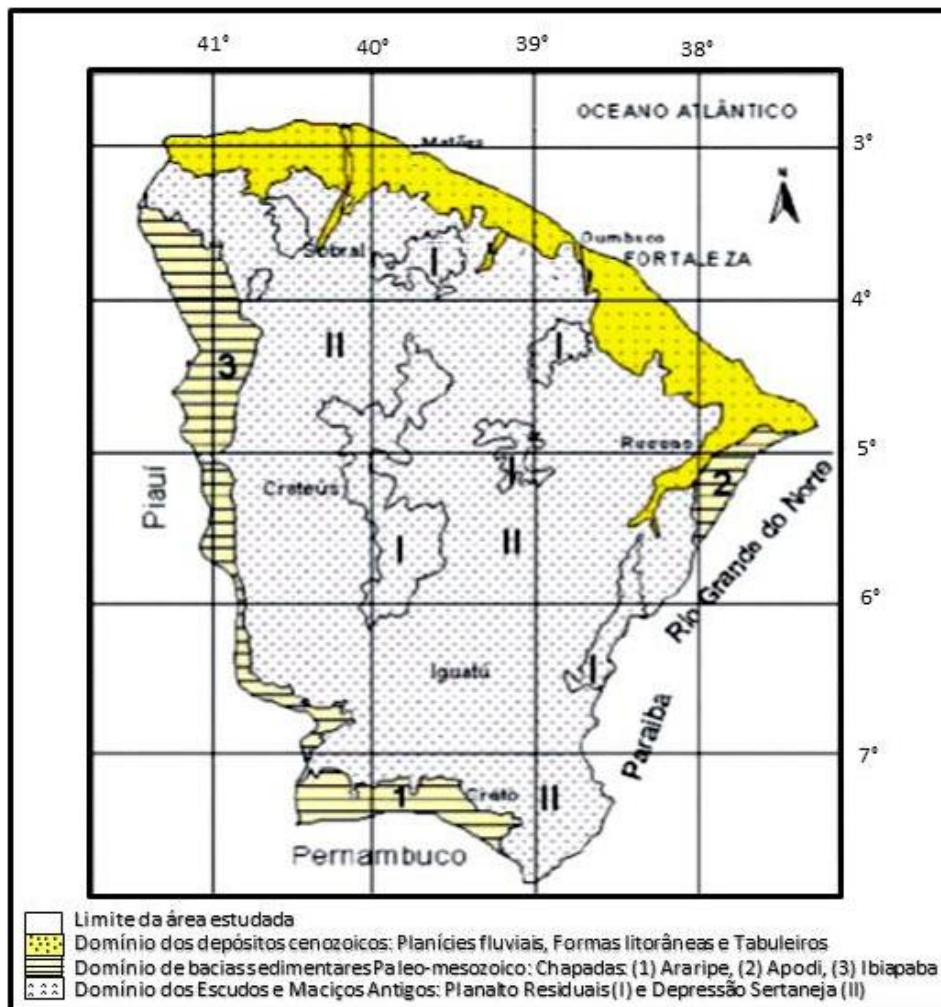
4.1.5.2. Principais Unidades Geomorfológicas e suas Características Dinâmicas

Essa abordagem foi embasada nas informações contidas no item eventos geotectônicos, morfoestruturais e paleoclimáticos, trabalhos científicos, como o de Souza *et. al.* (1979), que “a compartimentação topográfica do território cearense decorre eminentemente de eventos naturais que se verificaram no Período Pleistocênico, sem dúvida o de maior significado para análise dos fatos geomorfológicos”. Souza (1983 e 1988), baseado em aspectos tais como estruturação geológica e dinâmica morfogênética, dividiu a morfologia da região, sugerindo uma nova classificação para as unidades morfoestruturais, ampliando o conceito de grandes unidades, dividindo-as em unidades menores ou subunidades, ressaltando

critérios de posicionamento crono-estratigráfico das litologias e suas relações com características morfodinâmicas predominantes (Figura 4.1.5.2.1).

Esta classificação mostra uma compartimentação geomorfológica caracterizada por unidades bem definidas e desenvolvida em: (1) Domínio dos depósitos sedimentares cenozoicos, incorporando as unidades de planícies fluviais, formas litorâneas e dos Tabuleiros Pré-Litorâneos; (2) Domínio das bacias sedimentares Fanerozoico, incorporando as unidades da Chapada do Apodí, Chapada do Araripe e Planalto da Ibiapaba e (3) Domínio dos escudos e maciços antigos, incorporando os planaltos residuais e a depressão sertaneja.

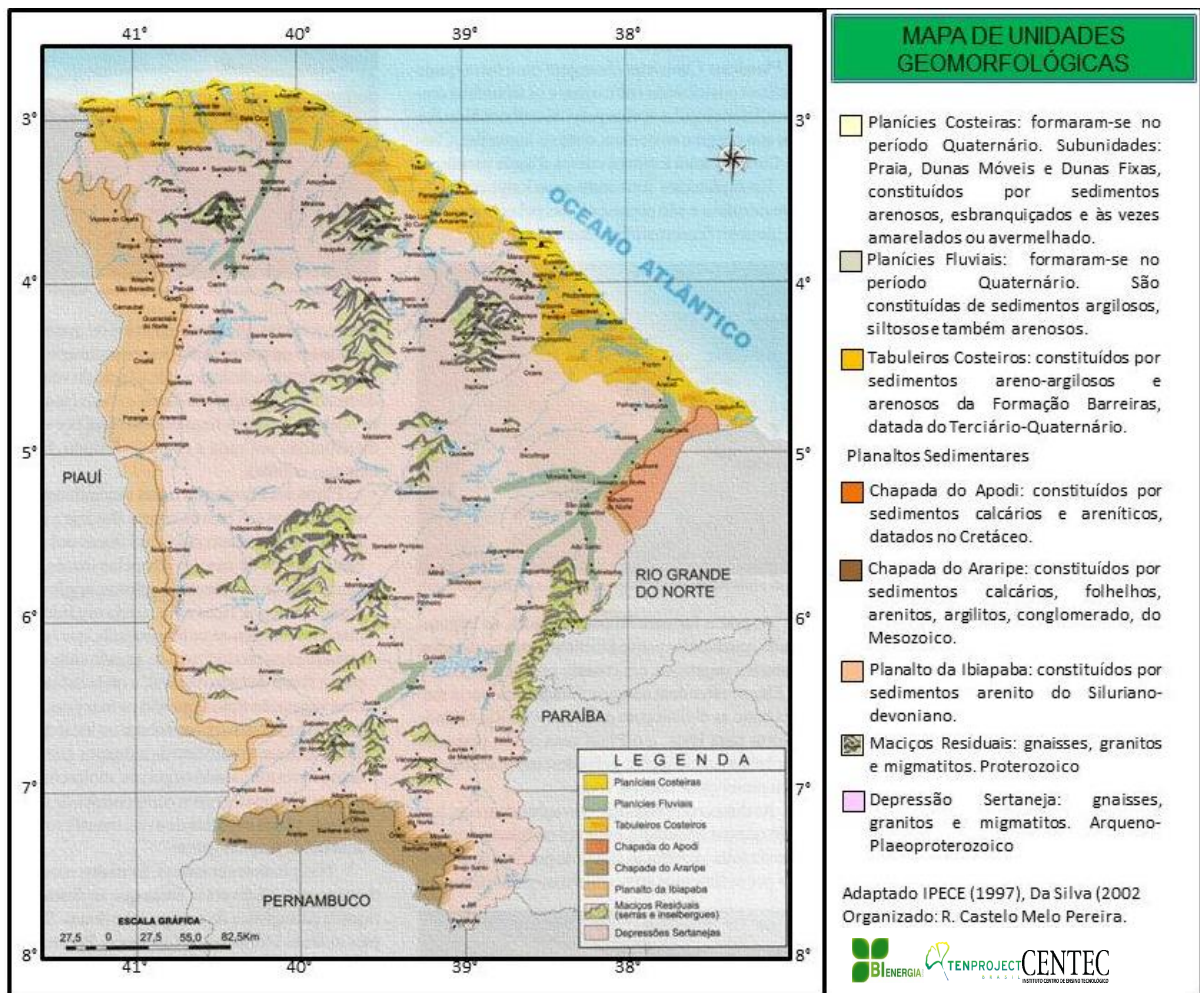
Figura 4.1.5.2.1 - Unidades morfoestruturais do Estado do Ceará. Com os critérios de posicionamento crono e litoestratigráfico das litologia.



Fonte: Souza, 1989.

A partir da elaboração deste mapa simplificado das unidades geológica e geomorfológica do Ceará, surgiram novos, como produzido pelo IPECE (1997) (Figura 4.1.5.2.2). Em geral, esta classificação resultou numa proposta mais concisa, que delimita melhor as unidades geomorfológicas, apesar de alguns aspectos relacionados aos depósitos quaternários atuais representarem um complicador na análise das unidades. Isto ocorre pelo fato de algumas feições quaternárias estarem distribuídas sobre todas as outras unidades, merecendo um desmembramento em unidades quaternárias.

Figura 4.1.5.2.2 - Unidades geomorfológicas do Estado Ceará.



Fonte: Adaptado de Silva, 2002.

A dinâmica desta morfogenética é estreitamente vinculada às condições climáticas atuais, evidenciando a atuação presente dos processos erosivos responsáveis pela esculturação do modelado. As influências conjuntas desses fatores resultaram na modelagem do relevo cearense que destaca no seu aspecto geral oito principais unidades geomorfológicas, podemos caracterizar o relevo do Ceará.

Planícies Costeiras

Abrangem uma faixa quase contínua posicionada entre o litoral e os tabuleiros pré-litorâneo com forma de acumulação, interrompidas pelos vales dos rios. Essas planícies formaram-se ao longo do período Quaternário e são representadas pelas praias, dunas e planície flúvio-marinhas (manguezais). As dunas são constituídas por sedimentos arenoquartzosos de coloração esbranquiçada–amalerada-avermelhada, resultantes da acumulação desses sedimentos. Nelas se diferenciam-se duas feições de dunas móveis dunas móveis (sem cobertura vegetal) e dunas fixas estabilizadas por vegetação, distribuídas por toda a costa do Estado, formando os cordões litorâneos.

Destacamos as planícies flúvio-marinhas, área estuarina (contato água doce e água salgada) propícia formação dos mangues, constituindo-se, também, como área de acumulação devido ao relevo é plano. São compostas de sedimentos argilosos, argilo-siltosos e argilo-arenosos, ricos em matéria orgânica.

Planícies Fluviais

Estão situadas em faixas tipicamente plana e estreitas ao longo das margens dos rios e riachos, resultantes de deposições por eles efetuadas, durante o Quaternário. São constituídas de sedimentos argilosos, siltosos e também arenosos.

Tabuleiros Costeiros

São relevos predominantemente planos com trechos suavemente ondulados, distribuídos ao longo da região do litoral em faixa praticamente contínua, entre as planícies costeiras e as depressões sertanejas. Quando atinge o oceano ocorre em alguns pontos do litoral, estas formas são retrabalhadas pela erosão marinha, propiciando o surgimento de falésias vivas. São constituídos por sedimentos areno-argilosos e arenosos da Formação Barreiras, sobrepostos diretamente ao embasamento cristalino.

Planaltos Sedimentares

Têm como unidades mais representativas, as Chapada do Apodi, do Araripe e o Planalto da Ibiapaba. A chapada do Apodi é a mais baixa, localiza-se no limite leste do Ceará. Pertence geologicamente à Bacia Potiguar (Item 4.1.4.3.1) sendo constituída por rochas sedimentares do tipo calcário e arenito do Grupo Apodi (Cretáceo) (relevo *kárstico*). A Chapada do Araripe, situada na porção sul do Estado, constitui um relevo tabular, com aspecto de uma mesa, cujo comprimento de leste para oeste é da ordem de 180 km, e largura de norte a sul varia de 40 a 70 km. Este planalto é formado por rochas sedimentares pertencentes à Bacia do Araripe com idade do período Cretáceo.

O Planalto da Ibiapaba possui característica cuestiforme em cravada entre o Ceará e o Piauí, com o lado voltado para o Ceará bastante íngreme e com caimento mais suave para o Piauí. O relevo é dissimétrico e os elementos que compõem são o reverso, inclinado para oeste; a cornija, no topo; e a frente (front) de declive íngreme. É composta por rochas sedimentares da Formação Serra Grande (Siluriano-Devoniano), e sua camada superficial constituída rochas areníticas.

Maçiços Residuais

São formações cristalinas constituídas por gnaisses e granitos migmatizados, que se encontram dispersos pela unidade geomorfológica Depressão Sertaneja. Os maciços de altitudes menores encontram-se inseridos distantes do litoral, revelam as condições de semiaridez da região, característica que rendeu-lhe a categoria de Serra de Matas Secas, e as outras Serra de Matas Úmidas.

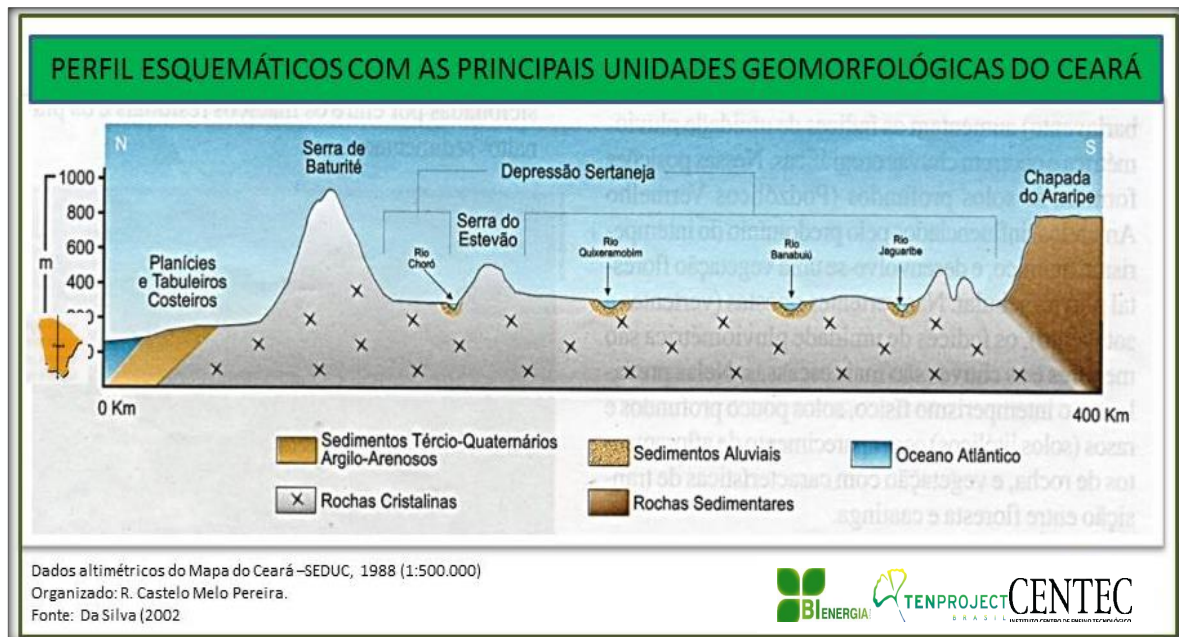
Depressão Sertaneja

Está posicionada entre os maciços residuais e os planaltos sedimentares em ambiente semiárido. Nessas condições se produziu um intenso trabalho erosivo, rebaixando o relevo, principalmente nas áreas de rochas menos resistentes, o intemperismo físico atua desagregando as rochas mais superficiais formando os detritos de rochas, chãos pedregosos, colúvios, que são transportados para partes mais baixa. Desse processo surgem os pedimentos que em conjunto formam o pediplano sertanejo.

Com base na apresentação da compartimentação geomorfológica do Estado do Ceará pode-se destacar a quase totalidade da depressão sertaneja em terrenos do embasamento cristalino, são 100.000 km²; o predomínio de três processos de acumulação marinha, nas faixas de praias, na planície flúvio-marinha, nos cordões de dunas; e que pode-se distinguir, também, três setores hipsométricos para o Ceará, os terraços litorâneos e pré-litorâneos, as depressões sertanejas e as serras.

A Figura 4.1.5.2.3 retrata o posicionamento das unidades geomorfológica através de perfis esquemáticos contendo as principais unidades geológicas do Ceará (DA SILVA, 2002).

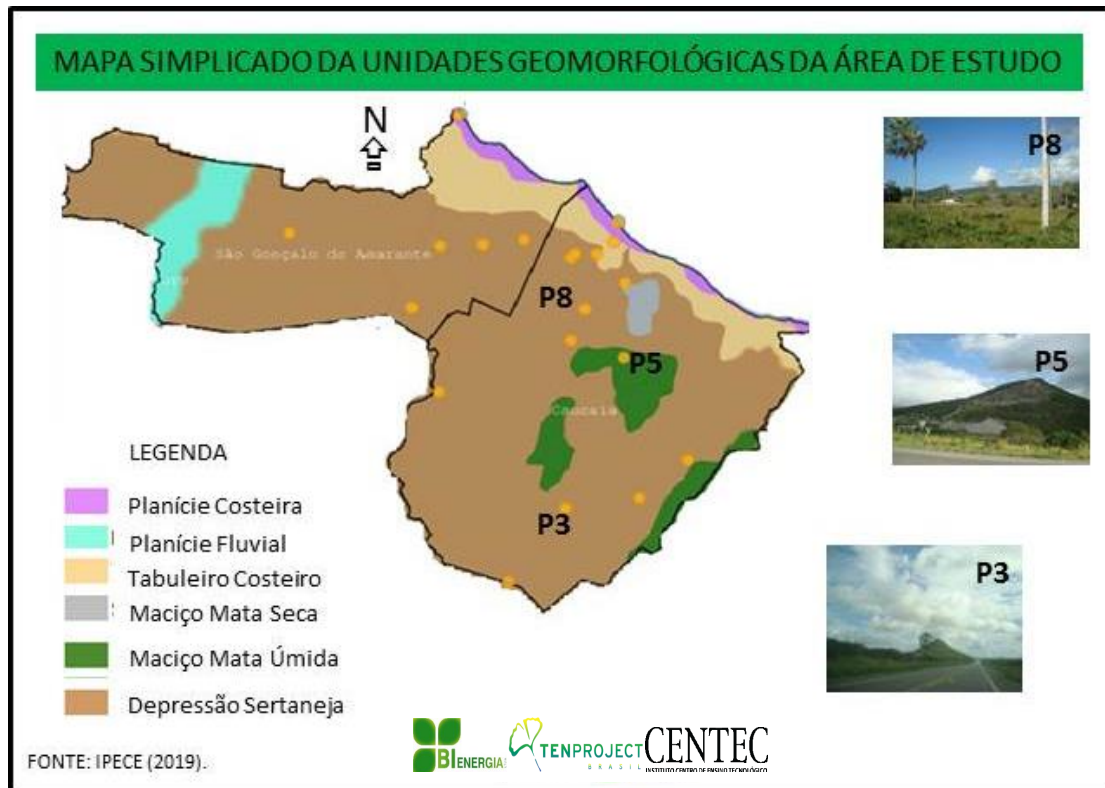
Figura 4.1.5.2.3 - Perfil esquemático com as principais unidades geológicas e geomorfológicas do Ceará.



Fonte: Da Silva, 2002.

Os relevos de Caucaia e São Gonçalo do Amarante representam mosaicos resultantes da interação entre os componentes litológicos, tectônicos, hidroclimáticos e fitogeográficos que influenciam diretamente na dinâmica geomórfica regional através dos processos dinâmicos, que vêm ocorrendo há milhões de anos. Conforme Medeiros e Souza (2015), a configuração geoambiental de Caucaia São Gonçalo do Amarante é bastante diversificada, possuindo terrenos cristalinos Pré-Cambrianos encravados na depressão sertaneja, que bordejam as serras úmidas e secas, tendo contato geológico com a Formação Barreiras. Por sua vez, o litoral apresenta a planície flúvio-marinha, campos de dunas móveis e fixas.

Figura 4.1.5.2.4 - Mapa simplificado das unidades geomorfológicas com os pontos visitados e descritos.

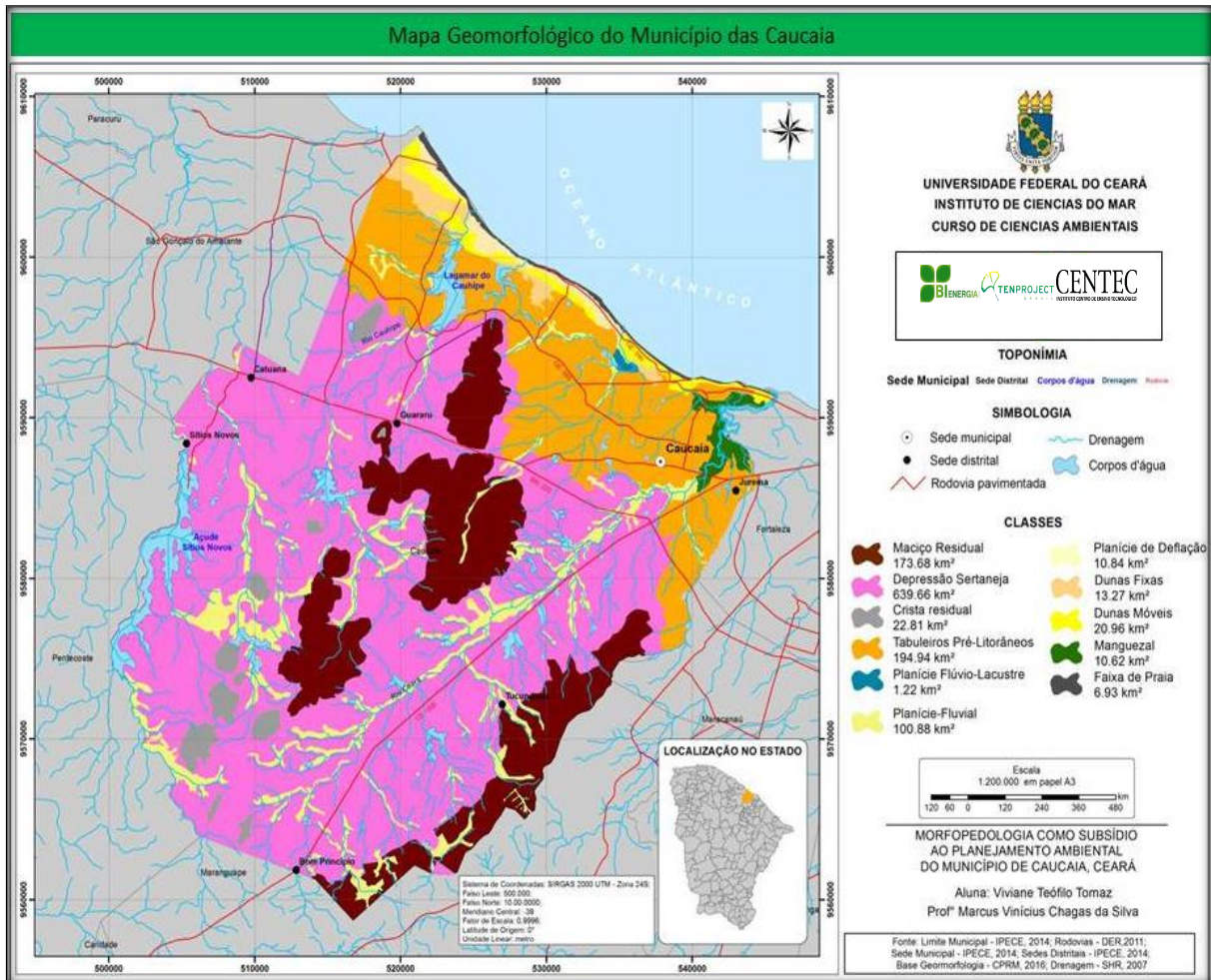


Fonte: Adaptado IPECE (2009).

A depressão sertaneja representa segundo Souza *et al*, (1979) e Souza (1988), a unidade de maior extensão geográfica do Estado, geralmente está ligada à ocorrência de rochas paraderivadas e responde por cerca de 60% do território cristalino da região de Caucaia e Pecém. Constitui uma superfície plana a suavemente ondulada, na área de estudo e está assentada adjacente aos grandes planaltos, sotoposta ou mesmo encaixada entre os planaltos sedimentares.

Localmente, a morfologia do embasamento apresenta uma superfície plano-ondulada, com elevações maiores no extremo sudoeste da área, sustentadas pelos corpos migmatíticos e na porção centro-oeste pelos maciços ou planaltos residuais esculpidos nas unidades granitóides e granitóide-migmatítica. Na porção leste/sudeste de Caucaia, os afloramentos migmatíticos destacam-se da planura geral e ondulações suaves do embasamento gnáissico-migmatítico, formando cristas residuais lineares e *inselbergs* (Figura 4.1.5.2.5).

Figura 4.1.5.2.5 - Mapa Geomorfológico do município da Caucaia



Fonte: Adaptado de Tomaz, 2017.

Algumas litologias de composição quartzítica produzem cristas retilíneas e/ou dobradas de pequenas dimensões. As unidades geomorfológicas desenvolvidas sobre estas litologias diminuem gradativamente em altitude em direção ao mar até serem cobertas por depósitos sedimentares, a exceção de algumas cristas residuais e *inselbergs* que, algumas vezes, afloram ao longo da linha de costa.

Como descrito anteriormente, os maciços antigos são feições desenvolvidas pela ação dos processos morfodinâmicos sobre as unidades predominantemente Pré-Cambrianas. Os pequenos maciços residuais ou "*inselbergs*", caracterizam-se como forma de relevo positivos resultantes do trabalho seletivo dos processos de erosão na superfície do embasamento.

Os Tabuleiros Pré-Litorâneos no Município de Caucaia e São Gonçalo do Amarante são constantemente entrecortada por cursos fluviais de padrão dentrítico a retangular com direção geral NE. Desenvolvem meandros em cursos fluviais mais senis e, muitas vezes, servem de substrato ao desenvolvimento de pequenos interflúvios tabuliformes ligeiramente abaulados de lagoas, tais como Lagoa do Poço, Damião, Parnamirim, Pajuçara, do Tapaca, Banana, do Tanupapa e Lagamar ou Lagoa do Cauípe. A maioria obedece a um lineamento NW e o restante S-N. Geralmente, iniciados nos flancos das escarpas de *inselbergs*, estendem-se até os limites da linha de costa, às vezes, truncada pela ação das ondas, os tabuleiros desenvolvem falésias costeiras.

O relevo na área litorânea é caracteristicamente representado na área pelos campos de dunas, sobrepostos em sua grande maioria à superfície dos Tabuleiros Pré-Litorâneos, que representam a feição mais marcante da porção costeira estudada.

Os diferentes tipos de modelados na área de estudo são indicadores de diferentes estágios de evolução da área. A análise morfogenética evidencia uma convergência de fatores complexos de natureza geológica, climática e atualmente antrópica. A literatura exalta que a evolução do Cenozóico no Plio-quadernário com evidente primazia dos processos degradacionais por climas secos e semiáridos, são responsáveis pela elaboração da superfície pediplanada e pelo acúmulo de grande volume de sedimentos levados em direção ao litoral.

Essa sedimentação de origem continental é responsável pelos depósitos da Formação Barreiras. O Quaternário teve sua evolução marcada por flutuações do nível marinho subordinadas às influências glacio eustatismo. As alternâncias das transgressões e regressões marinhas estiveram sincronicamente ligadas às mudanças climáticas úmidas e secas.

Em resumo, o relevo na área de estudo apresenta-se plano até montanhoso comportando as seguintes unidades: planície costeira com as dunas móveis e as paleodunas (dunas fixas), planície flúvio-marinha no estuário do Rio Ceará, as lagoas interdunares; planície fluvial formando estreita faixas de deposição recente ao longo dos cursos d'água, principalmente do Rio Ceará, Cauípe, Juá; na porção centro-norte da área vê-se que as sedes municipais se desenvolveram, na sua maior parte, sobre

o tabuleiro costeiro modelado e sedimentos terciário-quadernário da Formação Barreiras; superfície de erosão, compreendida por áreas marcadas por processos residuais ou conjuntos topográficos elevados constituídos essencialmente por granitos, gnaisse ou fonolitos, representados na área pelas Serras da Conceição-Juá, Boticário, Santa Luzia, Serrotes Pão de Açúcar e Japarara.

4.1.5.3 Descrição Geomorfológica da Área de Implantação e a Dinâmica de Relevo

Pode-se afirmar que para realizar a compartimentação morfológica de uma paisagem engloba o estudo geológico dos diversos níveis topográficos, bem como, as características do relevo, a partir daí inicia-se o processo de ocupação, dessa forma, a geociências oferecem subsídios e orientações tanto do uso quanto da ocupação.

Nesse contexto, foram encontradas as seguintes feições geomorfológicas no município da Caucaia: faixa praias, planície de deflação, dunas fixas, dunas móveis, planície flúvio-marinha, manguezal, planície flúvio lacustre, planície fluvial, pré-litorâneos, depressão sertaneja, maciços e cristas residuais.

A área de estudo se insere na unidade morfológica designada de planície litorânea, precisamente no domínio dos depósitos sedimentares Quaternários (Holoceno), bordejando a linha da costa e sobre a formação barreiras. Posicionada de forma horizontal à linha da costa, tendo um modelado plano a suave ondulado nas áreas de dunas, esta que é uma das unidades de paisagens naturais mais expressivas na área, tratando-se de extensão, e que condiciona outras feições na paisagem.

A referida área está posicionada na direção NW/SE, da praia da Iparana ao Cumbuco, onde seu limite ao norte é a própria linha da costa e ao sul faz contato com os sedimentos do quaternário e com a Formação Barreiras. A linha de praia estirâncio fica submetida aos efeitos das marés, variando entre as marés altas e baixas. Na faixa de praia se formam depósitos contínuos que se estendem ao longo da linha da costa, desde a linha da maré baixa chegando até ao início das dunas móveis.

As várias pesquisas demonstram que o transporte litorâneo de sedimentos tem

efeito marcante na paisagem litorânea, tendo nas ondas e marés os agentes de transporte, constituindo-se um sistema de entrada e saída de materiais. O transporte de material pelas ondas e marés é um processo contínuo e depende de outros, como os demais fatores para a configuração das paisagens morfológicas do litoral (SOBRINHO, 2006).

O litoral da Caucaia vem sofrendo problemas em sua dinâmica natural, a partir do momento em que o uso e ocupação se deram de forma desordenada. Isto se verificou principalmente quando da construção do Porto do Mucuripe, que ocasionou impactos ambientais de ordem negativa tais como, assoreamento e processos erosivos com destruição de trechos de praia em várias áreas das praias de Iparana, Icaraí.

Visando minimizar tais impactos negativos implantou-se barreiras artificiais, construindo-se molhes (espigões) como forma de barrar os sedimentos e engordar a linha da costa. O último molhe a ser construído foi na embocadura do Rio Ceará, impedindo o fluxo de sedimentos no sentido leste-oeste, como aconteceu com a construção do primeiro molhe em Mucuripe, a costa subsequente (oeste) ao molhe deixou de receber sedimentos o que provocou a não alimentação da área. A literatura a ponta que existem mais de quatorze (14) molhes ao longo da linha costa de Fortaleza.

Por causa da construção dos espigões, áreas desta faixa do litoral ficaram desguarnecidas, sujeitas às ações das ondas, ocasionando efeitos erosivos, associados ao não recebimento de sedimentos fruto da ação eólica. Desta forma, se alterado for o processo as ações refletem-se na forma de erosão evidentes ao longo da zona costeira da Caucaia. Portanto, pode-se afirmar que as praias de Iparana e Icaraí não estão recebendo sedimentos (SOBRINHO, 2006).

Quanto ao trabalho dos ventos, o mesmo resulta em extensos cordões de dunas ao longo do litoral, propiciando a formação de dunas em uma faixa de aproximadamente 01 a 2 km. As construções de casas e prédios estão impedindo o fluxo migratório dos grãos de areias. Se interrompido o processo de encaminhamento ocorrerá transtornos na retroalimentação da praia, o que já se verifica na praia do Icaraí, com construções de condomínios e barracas próximo à linha da costa implantados sobre dunas móveis.

Ressalta-se a função das dunas bordejantes, sendo estas responsáveis pela proteção da linha da costa e eventual fonte de sedimentação. Na praia do Icaraí, as dunas são distribuídas de forma a identificar-se em dunas móveis e fixas, distribuídas paralelamente à linha da costa, sendo que a área de abrangência das mesmas é cada vez mais restrita no decorrer do tempo, em virtude das construções.

As dunas móveis ou dunas recentes se caracterizam, geralmente, por ausência de vegetação e ocorrem mais próximas a linha da costa. Apresenta uma coloração esbranquiçada, cuja morfologia é do tipo de dunas barcanas meia lua (como no município do Paracuru), apresentando declives mais acentuados a barlavento, onde sofre as ações dos ventos, diferenciando a sotavento onde as inclinações são acentuadas.

À retaguarda das dunas móveis estão situadas as dunas fixas, de geração mais antiga, apresentando já evidências de processos pedogenéticos, consideradas como dunas edafizadas, observando-se nelas uma vegetação de maior porte, arbóreo arbustiva responsável por sua fixação. O papel das dunas na paisagem do litoral é bastante expressivo, pois as mesmas bordejam a linha da costa e servem de fonte de sedimentos para o transporte litorâneo, como também, estando as dunas fixadas, propiciam todo um condicionamento à existência e manutenção de um ecossistema no conjunto da paisagem (SARAIVA JÚNIOR, 2009).

A literatura descreve que o ambiente lacustre no bairro Icaraí encontra-se à retaguarda dos campos das dunas (fixas e móveis), como é o caso da lagoa do Poço. A mesma atinge o mar, tendo em sua foz a designação de Rio Barra Nova, formando um ambiente flúviomarinho. Devido ao movimento migratório das dunas, no período seco, a foz do rio Barra Nova tende a ser obstruída por sedimentos, tendendo a deslocar-se para oeste, conforme vários autores descrevem.

A lagoa do Poço encontra-se disposta à linha da costa de forma horizontal, haja vista o bloqueio que as dunas representam na sua configuração. Sua interação com as dunas não se limita apenas a estes aspectos, pois a mesma transporta o material que é deslocado para seu interior é removido para a linha da costa subsequente, no caso a praia de Tabuba.

Segundo NERI (1993), em estudos realizados no município de Caucaia, afirma

que as dunas constituem o aquífero mais superior livre da região, com profundidade em torno de 5m, tendo seu lençol abastecido exclusivamente pela precipitação pluviométrica. Comparando os mapas 1 e 2, pode ainda constatar que:

- Icaraí apresentava um intenso campo de dunas (84,6% de sua área), com uma exuberante vegetação ocupando cerca de 8,25%, associada às diversidades faunísticas.
- Contava com um elevado número de lagoas, muita destas só apareciam nos períodos de estação chuvosa e se apresentavam dispersas entre as dunas.
- Ergue em Icaraí uma verdadeira parede de concreto ao longo do litoral. As construções de casas perderam lugar para os edifícios. A vegetação nativa, além de ser degradada, não é repostada por um outro tipo de vegetação.
- As primeiras barracas acompanharam o surgimento dos primeiros núcleos urbanos, e eram feitas de troncos e palhas de carnaúba. Hoje, as barracas acompanharam o linear das construções, como também, modificaram sua forma.
- Uma antiga paisagem de dunas, a qual correspondia em 1978 a 84,6% da área, associada à vegetação e lagoas naturais, servindo de suporte a uma comunidade nativa de pescadores, transforma-se, abruptamente, em uma paisagem de concreto, com casas e prédios correspondendo a 47,40% da área no ano de 1995.

Muito se tem observado e despertado grande interesse sobre o que acontece nos entremeios tectono-estruturais da região costeira de Caucaia. Deve-se, evidentemente, ao aumento do uso e ocupação para esta região. Autores mais recentes têm preocupações com os mecanismos de transporte de sedimentos e com a água subterrânea.

Analisando a conformação da linha de costa e seus condicionantes litoestruturais sugerem coincidência com estruturas dobradas em antififormes e sinformes com altos estruturais no interior do continente e embasamento, respectivos, Carvalho *et al.* (2005). Pensamento este, até certo ponto, análogo ao de SAAD e TORQUATO (1992).

A área se situa dentro da extremidade norte do Domínio Tectônico Setentrional da Província Borborema, limita-se a NW pela Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II e a SE pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu, inserida nos Terrenos do Ceará Central, torna-se evidente e normal a presença de zonas secundárias de cisalhamento geradas pelas duas grandes zonas dominantes. Isto é, produzem estruturas dobradas e redobradas não obedecendo a um padrão regional dominante NE.

Na área existe uma zona de cisalhamento no sentido noroeste de Caucaia entre o promontório do Pecém e o chamado protopromontório do Cumbuco de direção N50E que converge, próximo à costa, para N10E e serve de recarga de aquífero não só à unidade aquífera do cristalino da Serra do Camará, mas também à unidade do Aquífero Barreiras (MOTA, 2005).

Nesta zona, a presença de falhas de sentido aproximado N25E e com paralelismo proeminente ao direcionamento do Rio Cauípe, cujo prolongamento conjunto segue em direção ao mar, sugere sua participação nas unidades aquíferas costeiras adjacentes e, provavelmente, condiciona o arcabouço da linha de costa. Nas faixas de Icaraí, Cumbuco, a ocorrência de rochas gnáissicas-migmatíticas posiciona-se com suas foliações evidentes obedecendo ao prolongamento dessas linhas de falhas e de litologias semelhantes, que afloram no interior do continente (MOTA, 2005).

O padrão estrutural é o mesmo dos afloramentos que ocorrem na faixa costeira. Evidentemente, as rochas paraderivadas obedecem a este mesmo padrão estrutural e pode ser verificadas através de afloramentos de rochas quartzíticas e gnáissicas dobradas que constituem “Ponta do Pecém”.

Entre esta feição do Pecém e o limite oeste do município de Caucaia já próximo ao Canal Sítios-Novos, uma grande estrutura dobrada sinforme com caimento para sudoeste, composta por quartzito parece indicar um movimento no sentido do continente da zona de cisalhamento que condiciona a linearidade do Rio Cauípe. Outros termos dobrados antiformes nas rochas paraderivadas que compreendem o Complexo Gnáissico-Migmatítico, são coincidentes com o posicionamento dos promontórios e a projeção dos lineamentos parece se estender até a plataforma continental, participando no condicionamento da batimetria (MOTA, 2005).

Anomalias gravimétricas sugerem uma concentração de litologias mais densas, o que pode ser atribuído aos termos granitóides, que afloram, em escala de detalhe, em alguns lugares próximos à costa. Verifica-se a presença de contatos na parte sudeste da área (na direção do Batólito de Itaitinga) entre unidades litológicas que foram submetidas a movimentos transtensionais responsáveis pelos processos de enrugamento da litosfera e parece ter atuado como elementos diferenciadores da configuração da linha de costa.

O prolongamento das litologias do embasamento e dos lineamentos estruturais sob as coberturas cenozóicas, no sentido do interior para o mar, pode ser verificado no levantamento gravimétrico apresentado por Castro & Castelo Branco (1999), o qual engloba um trecho a oeste de Fortaleza e inclui os promontórios do Cumbuco e Pecém, dentro da área.

Na região de Icaraí a linha de costa torna-se mais retilínea e recuada em direção ao continente, em relação a sua orientação geral. Este trecho é marcado pela coincidência de prolongamentos de lineamentos de sentido SE-NW, os quais são interceptados mais a diante pela Falha de Forquilha (sentido NE-SW) e por lineamentos de direção principal E-W (Mota, 2005). A partir deste ponto até próximo da localidade de Icaraí a isóbata de dez metros torna-se mais próxima da linha de costa.

Complicadores estruturais, envolvendo também a falha de Icaraí e lineamentos no sentido E-W, parecem ter influenciado na compartimentação dos blocos deformados pelas falhas normais localizadas na plataforma continental. Saadi & Torquato (1992) propuseram a atuação de um campo compressivo regional de direção E-W na elaboração do arcabouço geomorfológico regional, baseados em evidências de neotectonismo, a exemplo de falhamentos em rochas da Formação Barreiras e presença de diques clásticos em terraços fluviais terciários, localizados na região de Camocim no extremo oeste do Ceará. Segundo este autor, tomando como base os dados sismológicos, existe um campo de tensões atual, compressivo de direção E-W e WNW-ESE, e uma direção de extensão NNE-SSW.

Conforme a descrição acima pode-se dizer que a área estudada pertence a um compartimento alto de Fortaleza, que se estende a partir da zona de cisalhamento, na

porção a leste de Fortaleza, até a zona de cisalhamento posicionada entre Pecém e Cumbuco.

Segundo Marinho & Vasconcelos (2000), há presença de um sistema de fraturas de direção predominantemente NE, na região de Cauípe. Os *necks* Pão de Açúcar acompanham, em linhas gerais, os *trends* dominantes da Província Borborema. Na área encontram-se corpos mapeáveis, tais como Serrote do Cararu e Serrote do Salgadinho obedecendo ao mesmo padrão estrutural de fraturas, aspecto que reforça a interpretação de ALMEIDA (1958).

4.1.5.3.1 Caracterização Topográfica com Levantamento Altimétrico e Batimétrico

A topografia evidencia-se como um fator imprescindível no entendimento da dinâmica ambiental, pois trata-se de uma ciência que tem como objetivo representar a superfície de áreas de dimensões reduzidas, definindo por exemplo, a altura de um monumento. O levantamento foi realizado para a obtenção de informações topográficas do município de Caucaia, contribuindo com a caracterização detalhada da área do Projeto Parque Eólico Offshore.

Cerca de aproximadamente 75% do subsolo cearense é constituído de rochas ígneas intrusivas e metamórficas, genericamente chamadas de cristalinas, que corresponde a toda a porção central do estado (IPECE, 2018), e 25% de cobertura sedimentares que limitam ao sul com Bacia Sedimentar do Araripe, a oeste com Bacia Sedimentar do Parnaíba, a leste com Bacia Sedimentar do Apodi, além dos sedimentos da faixa costeira, ao norte (BRANDÃO, 2014).

Pode-se observar que há variação significativa das altitudes em função dos inselbergs, serras isoladas e planaltos que percorrem os limites oeste, sul e leste do Estado. A ampla maioria das altitudes é encontrada em níveis inferiores a 500 metros, as quais se referem principalmente às das depressões sertanejas e às dos tabuleiros costeiros. Em pequenas proporções, registram-se altitudes superiores a 900 metros e mais raramente 1000 metros (DA SILVA, 1999).

Com base na literatura, sugere-se que a média altimétrica do território cearense, seja:

- de 300 a 900 metros: Maciços Residuais;
- de 100 a 900 metros: Planaltos sedimentares;
- de 100 a 400 metros: Depressão Sertaneja;
- de 50 a 200 metros: Tabuleiros Litorâneos (Pré-litorâneo);
- de 0 a 50 metros: Planície Litorânea.

O Pico da Serra Branca (na Serra das Matas, com 1.154m) é o local de maior altitude do Estado, seguido pelo Pico Alto de Guaramiranga (na Serra do Baturité, com 1.114m), e Pico Alto de Santa Quitéria (na Serra do Machado, com 1.085m); pelos Morro do Coquinho de Itapajé (na Serra da Uruburetama com 1.081m) e pelo Morro do Coquinho Meruoca com 1.020m (MESGA, 2019).

Os Maciços Residuais Cristalinos são constituídos por rochas metamórficas ou intrusivas com direção preferencial de SW-NE ou SSW-NNE e mais raramente S-N. As vertentes orientais das serras situadas mais próximas ao litoral possuem altitudes superiores a 600m. Nas áreas mais úmidas dos maciços residuais, a dissecação do relevo ocorre na forma de topos aguçados ou convexos e os declives das encostas superam a 25% (SOUZA, 1979).

Os maciços cristalinos secos possuem altitudes abaixo de 600m. Por serem fortemente dissecados em colinas e cristas, intercaladas por vales profundos a drenagem é muito densa, formando solos profundos a rasos. As “serras secas” ou maciços mais interioranos, tais como as serras do Machado, das Matas e do Pereiro, faces sul e oeste, destaca-se a prevalência de processos de intemperismo físico com a geração de solos pouco profundos ou rasos, arenosos ou cascalhentos, com ocorrência de muitos blocos rochosos nas vertentes íngremes (SOUZA, 1979).

Como verificado nos maciços posicionados mais próximos à linha de costa, em especial, nas faces norte e leste das serras de Maranguape, Pacatuba, Baturité,

Uruburetama e Meruoca, destaca-se a prevalência de processos de intemperismo químico e gerando solos profundos areno-argilosos ou argiloarenoso, bem drenados.

O Planalto da Ibiapaba constitui uma das mais expressivas cobertura sedimentar do território cearense. Em termos estruturais, a escarpa da Ibiapaba compreende o rebordo leste da bacia sedimentar Paleozóico do Maranhão-Piauí. Este rebordo constitui um "front" de declive superior a 35% que contrasta para leste com os terrenos rebaixados e aplainados. À medida que se atinge a superfície de topo da Ibiapaba a topografia declina de modo quase imperceptível para oeste no sentido do Piauí (SOUZA, 1979). Nas altitudes médias do Planalto da Ibiapaba, em torno de 150m encontram-se solos resultantes de um arenito que acoberta todo o planalto em território cearense.

Chapada do Araripe abrange os setores meridionais do território cearense na fronteira com o Estado de Pernambuco. Desenvolve-se em rochas cretáceas do Grupo Araripe, com cotas altimétricas que alcançam em média 900m. O topo do planalto compreende uma superfície tabular onde a inexistência de drenagem superficial justifica a preservação da superfície horizontal sem que se chegue a denunciar qualquer trecho sujeito aos efeitos dos processos intempéricos (SOUZA, 1979). A topografia da chapada é extremamente regular formando solos profundos a medianamente profundos.

Para Souza (1979), a Chapada do Apodi é a mais baixa cobertura sedimentar, com altimetria que não supera 250m. Desenvolvida em formações sedimentares do Cretáceo pertencente ao Grupo Apodi (Formação Jandaíra e Açú), de suave mergulho estratigráfico no sentido NNE, com declive mais íngreme voltado para o interior e o reverso mergulha de modo mais suave para o litoral através de declives não superiores a 5%, formando ranço de colúvio com solos profundos.

A Depressão Sertaneja compreende em termos de extensão geográfica, a unidade de maior expressividade. Representa uma superfície com níveis altimétricos variáveis entre 100 a 400 m, com topografia expressivamente aplainada ou ligeiramente ondulada. Do ponto de vista geotécnico, as áreas deprimidas do sertão se evidenciam através de rampas suavemente inclinadas com declives da ordem de 3 a 8%. O caimento topográfico se orienta no sentido dos fundos dos vales, ou do litoral, com declive a partir da base dos níveis elevados dos planaltos sedimentares

ou dos maciços residuais (SOUZA, 1979). Unidade de menor profundidade de solos, em alguns locais a ocorrência de pavimento desértico (chão pedregoso).

Os Tabuleiros Pré-Litorâneos são desenvolvidos em material detríticos pertencente ao Grupo Barreiras, área de relevos rebaixados de topos horizontais, se apresenta como uma rampa suavemente inclinada do interior para o oceano com declividade não superior a 5%. Situa-se entre o campo de dunas e a depressão sertaneja. Tem altitude entre 30-80 m e são constituídos por sedimentos mais antigos da Formação Barreiras. Alcançando para o interior já nas proximidades do contato com rochas do embasamento cristalino, cotas mais elevada faixa dos 200m. Nos interflúvios os sedimentos são de textura mais arenosa, a erosão tende a se acentuar formando topos ligeiramente convexos (SOUZA, 1979).

As Dunas São formadas a partir da acumulação de sedimentos removidos da face de praia pela deflação eólica e distribuem-se como um cordão contínuo, dispostos paralelamente a linha de costa, o qual começa a ser esboçado a partir da linha de praia alta (*backshore*) possuindo uma largura média de 2 – 3 km e espessura que atingem até 30 m.

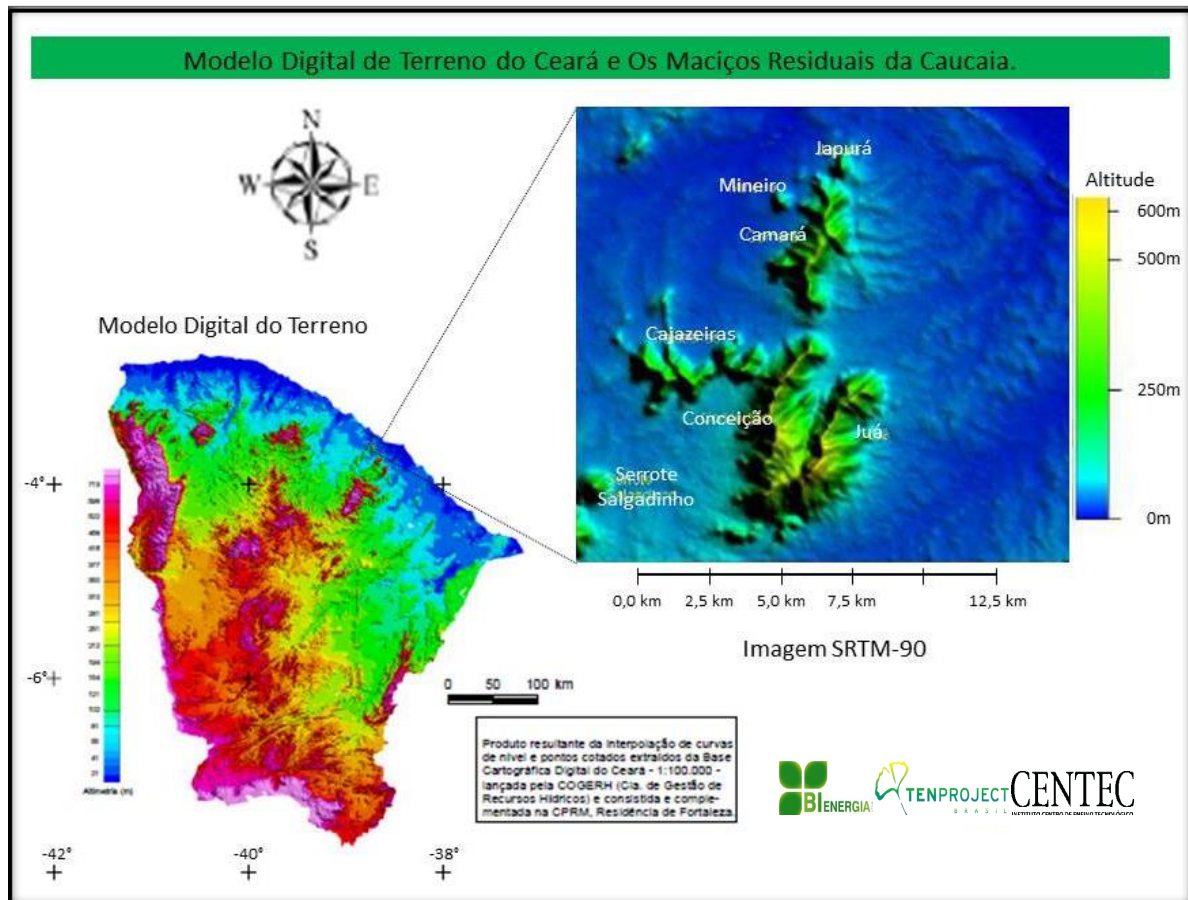
A discussão acima esclareceu que as unidades geomorfológicas do Estado do Ceará são diferenciadas a partir das características topográficas, litológicas e tectônicas. Algumas dessas paisagens apresentam seus processos morfogenéticos modificados pela ação antrópica (BRANDÃO 1995).

Diversas foram as contribuições à geomorfologia do município da Caucaia e da área do Projeto Parque Eólico Offshore Caucaia (LIMA, 2014; MAIA e BEZERRA, 2014; BASTOS, 2012; VASCONCELOS et al., 2004; CAVALCANTE *et al.*, 2003; CLAUDINO SALES, 2002; BRANDÃO, 1995 e 2014; SOUZA, 1988, 2000; BRASIL, 1981).

Em termos de topografia, o município da Caucaia é marcado por altitudes médias a baixas geralmente inferiores a 1.000 metros. O município é caracterizado pelas serras e campos de inselbergs na depressão sertaneja; pelos tabuleiros pré-litorâneos, planícies fluviais, planícies flúvio-marinhas e campos de dunas, móveis ou fixas (Souza, 2000). Figura (4.1.5.3.1.1) apresenta o Modelo Digital do Terreno (MDT) do Estado do Ceará ressaltando as elevações no município da Caucaia.

O município apresenta áreas de Morros Elevados e Serras, constituídos por rochas pertencentes ao Complexo Migmatítico-Granitóide, responsáveis pela maior expressão topográfica da área fazendo parte do complexo de rochas cristalinas, estando geomorfologicamente no Domínio dos escudos e maciços antigos, incorporando os Maciços Residuais e a Depressão Sertaneja.

Figura 4.1.5.3.1.1 - Morfologia e hipsometria do município da Caucaia.



Fonte: Adaptado de Saraiva Júnior, 2009 e da CPRM, 2003.

Os maciços costeiros que constituem a área de estudo estão situados na porção norte do estado do Ceará, a nordeste do maciço de Baturité. Os relevos cristalinos de Juá e Conceição estão dispostos a NNE–SSW; Camará N-S; Aratanha e Maranguape em NE–SW. No município da Caucaia esses maciços são representados pelo complexo serrano do Camará, Conceição e Juá, ao sul da zona litorânea de Caucaia e pelo Serrote do Bico Fino, a sudoeste da área.

Compondo a paisagem cristalina do referido município, podemos citar o Serrote do Japurá (200 m), Serrote Mineiro (380 m), Serra do Camará (381 m), Serra da Conceição (556, 514 e 524m) e Serra do Juá (648 m), todos constituídos de corpos migmatíticos sob a forma de maciços residuais (*Inselbergs*). Ao lado esquerdo da BR-222, na direção Caucaia-Boqueirão, cerca de 1 km da sede distrital Boqueirão, na parte centro-oeste da área, encontra-se mais uma expressão topográfica composta ainda de migmatitos, denominada Serrote do Bico Fino (435 m) e posicionada no limite sudoeste da área (MOTA, 2005).

Adotado com critério a altitude e extensão Saraiva Júnior (2009) dividiu os maciços costeiros da Caucaia em três setores: Setor 01 (S1) com altitudes maiores que 620 metros e com 40 km²; Setor 02 (S2) com altitude intermediária em torno dos 400 metros com 20 km² e Setor 03 (S3) com altitude em dos 300 metros, com 15 km². No S1 foram enquadradas as Serras do Juá e Conceição, no S2 as serras Camará e Japurá e no S3 a Serra da Cajazeiras.

O relevo das maiores cotas topográficas são os das Serras do Juá e Conceição apresentam cotas com altitude de 620 metros, suas vertentes são apontadas nas cotas de 400 a 500 metros. Posicionamento que facilita a ação extrema do intemperismo e da erosão deixando o relevo acentuado.

Os relevos dos serrotes Japurá e Camará apresentam vertentes no sentido N, E, S e W, e o serrote Jacurutu a W. Neste contexto geomorfológico observa-se o contato geológico entre o embasamento cristalino e a Formação Barreiras. O serrote Jucurutu, localizado a W do maciço Japurá, apresenta uma altitude de 198 a 200 metros, uma elevação individualizada formando um relevo residual.

O Maciço Camará as cotas topográficas são de no máximo 380 metros de altitude, as vertentes são íngremes exibindo topo suavemente plano. Na vertente oriental do Camará, na cota topográfica de 50 metros é evidenciado o contato com a Formação Barreiras (Saraiva Júnior, 2009). O *inselbergs* do Japurá representa relevo residual mais próximo do litoral do Cumbuco e da Lagoa do Banana. Caracteriza-se como um relevo com caimento da vertente N, totalmente modelado nas rochas do Complexo Canindé. O relevo da Serra da Cajazeiras tem contato com a vertente W com o Maciço da Conceição, apresenta altitude máxima de 381 metros.

A depressão sertaneja está presente em grande parte da Caucaia, bordejando todos os maciços existentes. Sua topografia apresenta-se como plana a moderadamente dissecada por pequenos vales fluviais, com níveis altimétricos entre 100-200m. Representa segundo Souza *et al*, (1999), os setores de contato entre o embasamento cristalino e os sedimentos da Formação Barreiras, transições entre os sertões e os tabuleiros, sem apresentarem rupturas topográficas nítidas. Localmente, a morfologia do embasamento apresenta uma superfície plano-ondulada, com elevações maiores no extremo sudoeste da área.

As faixas pré-litorânea e litorânea bordejam paralelamente o litoral do município de Caucaia, com altitudes inferiores a 100 metros. Estas faixas apresentam topografias com declividades inferior para costa, da ordem de 2 a 5% (PDDU, 2005). Os tabuleiros pré-litorâneos apresentam topografia plana a levemente ondulada, dissecados por pequenas drenagens formando vales fluviais, elaborando na paisagem interflúvios tabulares (Saraiva Júnior, 2009). A Formação Barreiras têm níveis altimétricos inferiores a 80 metros, com caimento topográfico suave na direção da faixa costeira e penetram cerca de 40 quilômetros, em média, para o interior. A morfologia exhibe-se como uma rampa suavemente inclinada, com declive inferior a 5%.

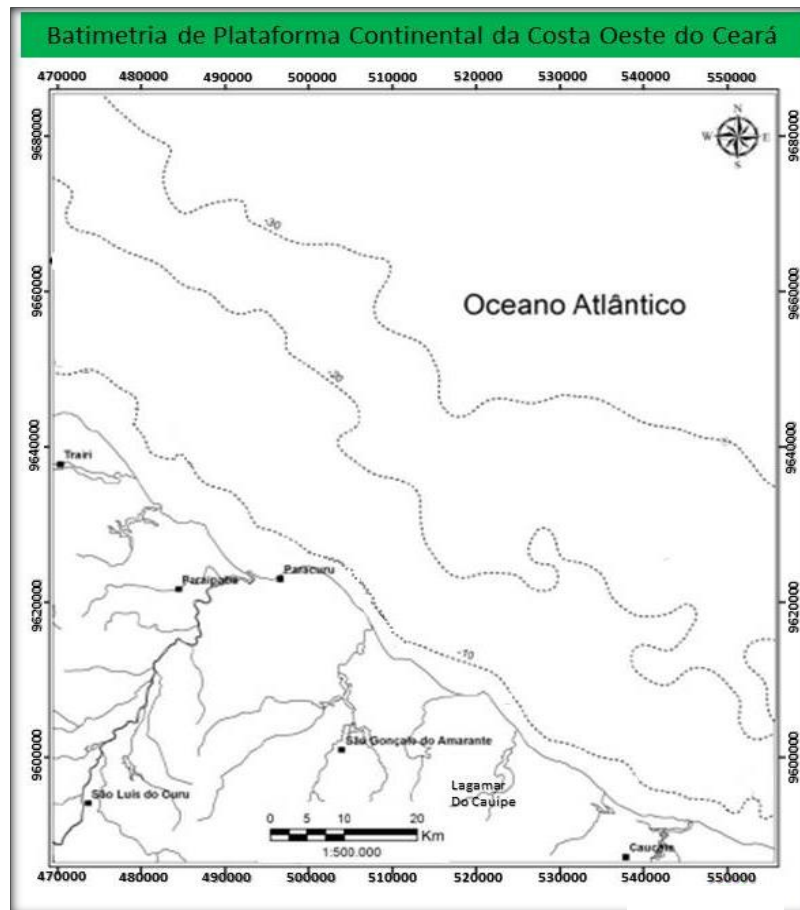
Nas zonas baixas do litoral, ainda no continente, as altitudes são inferiores a 40 metros, encontra-se planície litorânea, e os sedimentos quaternários que repousam, discordantemente, sobre a Formação Barreiras. As feições morfológicas que a integram são muito variadas, incluindo-se as faixas praias, os campos de dunas, as planícies flúvio marinhas, as planícies de marés, as planícies lacustres e falésias.

As dunas, segundo Mota (2005), desenvolvem na área feições peculiares representadas por: (I) terraços em forma de amplos lençóis de topos planos a levemente ondulados; (II) as paleodunas, com sua forma plana a suavemente ondulada e (III) os campos de dunas compostas com superposições de formas transgressivas. Morfologicamente, as dunas na área pesquisada se sobressaem às demais unidades, com alturas que atingem acima dos 40 m.

Na zona imersa do município está a plataforma continental que se caracteriza

pele baixo gradiente de declividade até aproximadamente a profundidade de 30 metros, sendo interrompida por irregularidades nas formas de fundo (Aguiar Neto *et al.*, 2016) (Figura 4.1.5.3.1.2). A batimetria da área do Parque Eólico, também, foi abordada em outros itens (Dados do Empreendimento, Geologia e Geotecnia, Oceanografia e Hidrodinâmica Costeira), sendo ilustrada por meio de várias imagens (Figuras: 4.1.4.2.3 e 4.1.4.2.4).

Figura 4.1.5.3.1.2 - Mapa batimétrico da plataforma continental do litoral oeste do Ceará.



Fonte: Adaptado de Aguiar Neto, 2015.

Segundo Freire (1985), a plataforma continental da região é dividida em: Plataforma Continental Interna: de 0 a 20 metros de profundidade, caracterizada por esse declive que varia de 0 a 15 metros, tendo uma maior frequência na isóбата de

10 metros; Plataforma Continental Externa: vai até a quebra da plataforma, numa profundidade média de 60 metros.

4.1.5.4. Caracterização dos Diversos Padrões de Relevô e Os Diferentes Graus de Suscetibilidade.

A análise do meio físico (litologia, perfis geológicos, unidades geomorfológicas, pedologia) revelam quais os elementos que influenciam na configuração na paisagem. Os processos geomorfológicos estão diretamente relacionados com a dinâmica natural da superfície terrestre. De acordo com Tricart (1977), a detecção do grau de vulnerabilidade de um território resulta da análise geossistêmica dos componentes do meio físico considerando a ecodinâmica, ou seja, a relação entre os processos morfogenéticos e pedogenéticos, assim como das ações antrópicas.

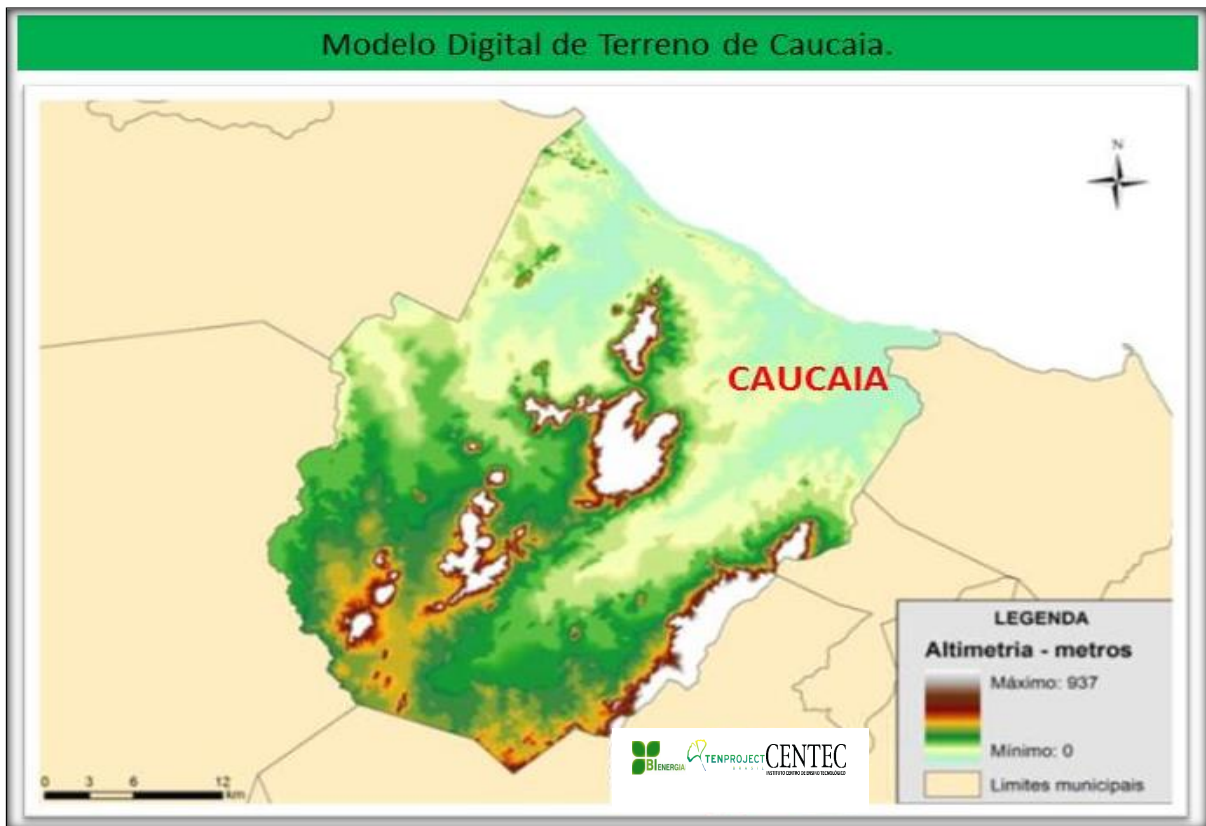
O aumento das várias formas de uso e ocupação nas áreas naturalmente suscetíveis, aos processos erosivos, aos movimentos de terra, movimentos gravitacionais de massa, acelera e amplia os processos de instabilização das áreas vulneráveis. Portanto, suscetibilidade é a relação de um determinado fenômeno geomorfológico com a propensão de que esse evento aconteça.

Para elaboração deste item foi utilizados os seguintes trabalhos: Juvenal *et al.* (2016), Ceará (2016), Ribeiro *et al.* (2016), Medeiros e Souza (2015), Saraiva Júnior (2009), entre outros, todos abordando susceptibilidade, movimento de massa, compartimentação geomorfológica, e classificação das áreas vulneráveis.

Como de praxe, os dados foram adquiridos por meio de vários procedimentos metodológico dos trabalhos estudados, os mais frequentemente utilizados no assunto susceptibilidade, com as necessárias adaptações às características naturais da área de estudo. Executou-se então, uma correlação entre as unidades geomorfológicas anteriormente descritas com o momento real da visita técnica ao campo, indicando os comportamentos das unidades após as solicitações impostas por alguns tipos de obras.

Em termos de relevo, o município de Caucaia é marcado por altitudes médias a baixas inferiores a 1000 metros. O município é caracterizado pela depressão sertaneja englobando maciços residuais e campos de inselbergs, pelos tabuleiros pré-litorâneos planícies fluviais, planícies flúvio-marinhas e campos de dunas, móveis e fixas. A Figura (4.1.5.4.1) apresenta o Modelo Digital do Terreno (MDT) de Caucaia.

Figura 4.1.5.4.1 - Modelo Digital do Terreno (MDT) de Caucaia. Mapa Hipsométrico.



Fonte: Adaptado de Medeiros *et al.*, 2012.

Os Maciços são formações cristalinas constituídas por gnaisses e granitos migmatizados, que se encontram dispersos na Depressão Sertaneja. Caracterizam-se como forma de relevo positivos resultantes do trabalho seletivo dos processos de erosão na superfície do embasamento. Segundo Lima (2000) são fortemente dissecados formando colinas e cristas, intercaladas por vales profundos a drenagem é muito densa, de vulnerabilidade moderada a forte em função das condições de

susceptibilidade à erosão. Tendem a instabilidade nas vertentes mais íngremes.

A Depressão Sertaneja é o domínio geomorfológico de maior representatividade no município de Caucaia. Como descrito anteriormente corresponde a uma superfície de aplainamento, onde o trabalho erosivo se fez sobre as rochas do Complexo Granitóide-Migmatítico e Complexo Gnáissico-Migmatítico. A morfologia desta unidade é representada por extensas rampas pedimentadas que se iniciam na base dos maciços residuais e se inclinam suavemente em direção aos fundos dos vales. Formando uma topografia plana ou levemente ondulada. Para Lima (2000) esta unidade apresenta vulnerabilidade alta em função da degradação generalizada, podendo conduzir aos casos que evidenciam a desertificação. Ambiente com tendência à instabilidade nas áreas mais intensamente degradadas.

Os Tabuleiros Pré-litorâneos são formados pelos sedimentos pertencentes a Formação Barreiras, que formam relevos tabulares, dissecados por vales alongados e de fundo chato, com cotas altimétricas baixas e suave inclinação em direção ao mar. No interior, limitam-se por uma linha de escarpa de contorno extremamente irregular, com desníveis pequenos em relação à depressão sertaneja.

Ambiente de vulnerabilidade moderada devido a descaracterização da vegetação primária pelo uso (mineração, agricultura) desencadeando processos erosivos especialmente em áreas degradadas, e ocupação (condomínio e casas de veraneio) levando a impermeabilização comprometendo a recarga hídrica.

A Planície Litorânea compreende os campos de dunas e a praia. As dunas formam cordões quase contínuos que acompanham paralelamente a linha da costa, sendo interrompidas, vez ou outra, pelas planícies fluviais e flúvio-marinhas. Pôde-se constatar que quando a drenagem tem seu fluxo obstruído formam-se as lagoas interdunares. À retaguarda das dunas recentes, observam-se gerações de dunas fixas alcançando alturas superiores a 20 m.

A planície litorânea em função da fragilidade ambiental são consideradas ambientes instáveis com vulnerabilidade alta à ocupação (Lima 2000). Durante anos vem sendo descaracterizada pelo uso indiscriminado de suas feições. As planícies flúvio marinhas por se tratarem de sistema ecológico frágil são consideradas áreas de ambientes instáveis com vulnerabilidade alta à ocupação.

Pelos Dados do Empreendimento (Item 2), o Parque Eólico Offshore da Caucaia deverá ser conectado à rede elétrica administrada pela Aneel. A construção de uma rede elétrica é, portanto, necessária para conectar os aerogeradores a subcampo e à estação elétrica. A conexão será feita por cabo submarino até a Estação de Coleta na praia da Tabuba a Subestação Elétrica Pecém II, na CE-085 em São Gonçalo do Amarante. Neste contexto, o Parque Eólico Offshore Caucaia será implantado em sua maior parte em ambiente costeiro e uma pequena porção em ambiente de transição (litoral/maciços úmidos), terrenos que possuem pontos de fragilidade natural. As áreas susceptíveis identificadas foram: dunas, tabuleiros e maciços (Mapa 4.1.5.4.1).

Por causa da construção dos vários espigões devido a implantação do Porto do Mucuripe, a faixa do litoral da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) ficou desguarnecidas às ações das ondas, ocasionando efeitos erosivos, associados ao não recebimento de sedimentos fruto da ação eólica, ficou impactada.

As falésias da área do Projeto Parque Eólico estão associadas a depósitos friáveis, correspondentes à Formação Barreiras e aos sedimentos pós-Barreiras. Esta unidade geológica como descrita anteriormente apresenta-se como uma rampa suavemente inclinada do interior para o oceano e em razão de litologias pouco consolidadas, é constituída de arenitos e argilitos, às vezes ocorre a presença de um material concrecionário de maior resistência. Trata-se então, de um depósito sedimentar bastante susceptível a processos erosivos. Nelas os problemas ambientais já se instalaram e com grandes potencialidades de novas ocorrências de movimento de massa.

Vale salientar que o percurso do eletroduto (linha de conexão do campo marinho com o campo terrestre) enterrado e aéreo não atravessará esta área de sensível, nesta porção do litoral da Caucaia.

No item Dados do Empreendimento é possível verificarmos que a conexão campo marinho com o campo terrestre ocorrerá pela praia da Tabuba, em ambiente praiar, trecho de dunas e terraços litorâneos. A conexão enterrada do campo marinho com o campo terrestre, que também, será enterrada no sistema dunas até a Estação de Coleta. A referida estação será implantada na unidade geomorfológica terraço

litorâneo. A linha de transmissão sairá da Estação de Transição na Terra pela na faixa de servidão existente sob as dunas, terraços litorâneos e maciços residuais úmidos perfazendo um total de 32 km. O traçado do eletroduto será pela CE-090, CE-85 até a Subestação Pecém II.

Como se sabe, o ambiente costeiro caracteriza-se por ambiente vulnerável devido sua fragilidade natural, passa por mudanças com frequência, esse grande dinamismo costeiro advém da complexa interação dos processos deposicionais, ação eólica e erosiva relacionados com a ação das ondas, marés. A área de estudo encontra-se densamente ocupada e passa por intenso processo de erosão costeira.

As dunas serão as primeiras unidades geomorfológicas a ter o primeiro contato com a linha de transmissão (LT) subterrânea através de eletroduto. Segundo Dados do Empreendimento, a conexão subterrânea seguirá 14.050 metros pela rodovia estadual CE-090, essa estrada local está assetada por sobre cordões de dunas. A conexão subterrânea da LT terá início na rua Deputado Wilson Furtado Leite, bairro da Tabuba.

O material atravessado entrará em contato com material arenoso até a área da Subestação Terrestre nos terraços litorâneo, depósito sedimentar identificado com face laterítica da Formação Barreiras. No domínio das dunas, as escavações para conexão subterrânea cumprirão todas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas nas obras de engenharia, além de algumas internacionais, especialmente sobre implantação de parques eólicos offshore.

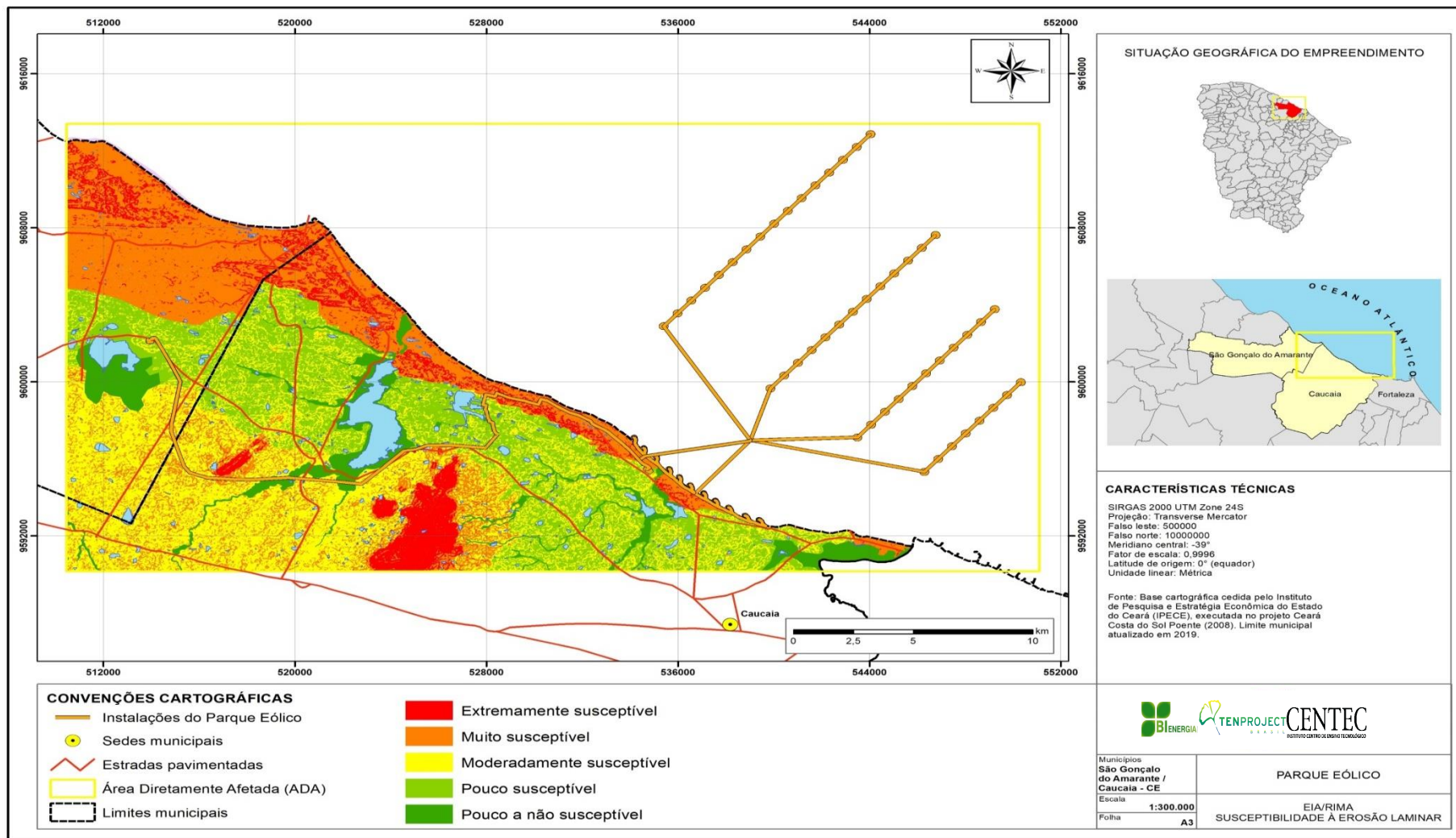
A partir da Subestação Terrestre o eletroduto seguirá enterrando em material arenoso até o contato com outra área vulnerável, o ambiente lacustre do sistema Lagoa do Banana. Serão colocados no subsolo a uma profundidade de aproximadamente 2 m (dois metros) abaixo do nível do solo, medida padrão de normas internacionais para parques eólicos offshore, de modo a assegurar tanto a sua proteção como a segurança dos operadores no mar. O enterramento dos cabos também permitirá reduzir aos termos mínimos a dispersão dos campos eletromagnéticos gerados.

Depois da travessia nas margens da Lagoa do Banana, a LT chegará a Rodovia Estadual Estruturante (CE-085) em frente a pedreira no Serrote Monguba. Na área da

pedreira o maciço encontra-se desmatado para exploração, situação com possibilidade de queda de blocos, movimento de massa, porém, esta situação encontra-se fora do trajeto da LT. Na Estruturante inicia-se o trecho aéreo, a área mais vulnerável é o Lagamar do Cauípe, depois corta terrenos dos terraços Pré-litorâneos e o embasamento cristalino, até a Subestação do Pecém, devido ao tipo de material pode ocorrer processos erosivos, quando seco.

Pode-se constatar que o grau de susceptibilidade na área de estudo é de moderado a alto. A área em questão encontra-se densamente ocupada, as feições geomorfológicas encontram-se descaracterizadas, a vegetação suprimida, com processos erosivos desencadeados. Porém, se não forem apontados, identificados, quando da abertura das cavas podem levar a ocorrências de impactos.

Mapa 4.1.5.4.1 – Áreas de sensibilidade ambiental da área diretamente afetada pelo empreendimento



Fonte: Elaborado pelo ator, 2019.

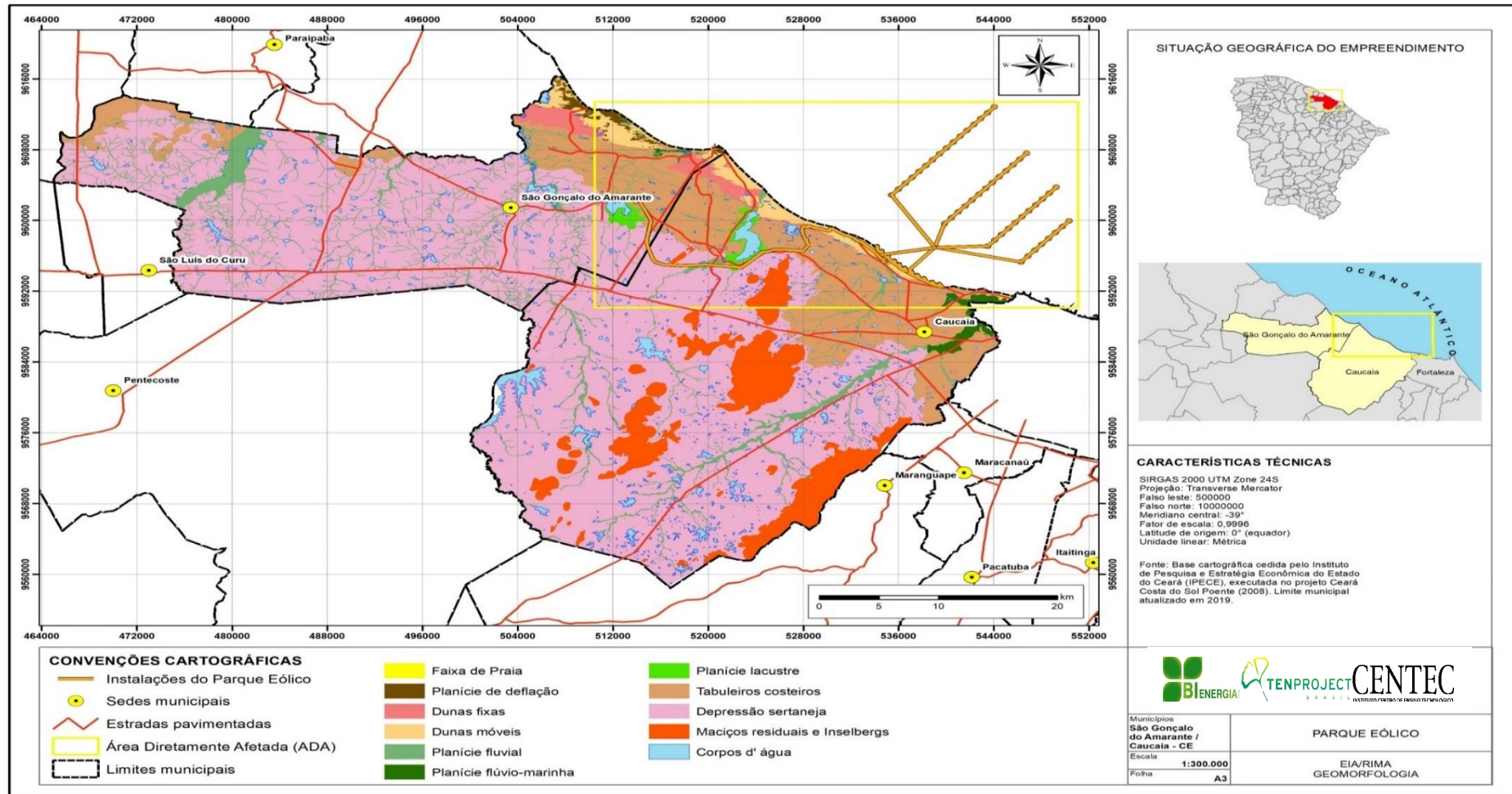
Raoni Ceci

4.1.5.5. Mapa Geomorfológico

A composição do ambiente, o entendimento das relações entre as variáveis geoambientais, auxilia na caracterização do meio físico, na identificação da fragilidade ambiental em qualquer local da superfície terrestre. Esta caracterização ambiental levou em consideração a litologia e a unidade litoestratigráfica (geologia); processos externos, formas do relevo, topografia (geomorfologia); processo de formação e tipos de solos (pedologia).

A distribuição espacial das unidades geomorfológica identificadas e descritas acima podem ser visualizadas nos mapas a seguir. Mapas geomorfológico (4.4.5.5.1 e 4.4.5.5.2) e mapa Hipsométrico (4.4.5.5.3 e 4.4.5.5.4), mostrando o contexto municipal de Caucaia e São Gonçalo do Amarante, bem como, o contexto da área do Projeto Parque Eólico.

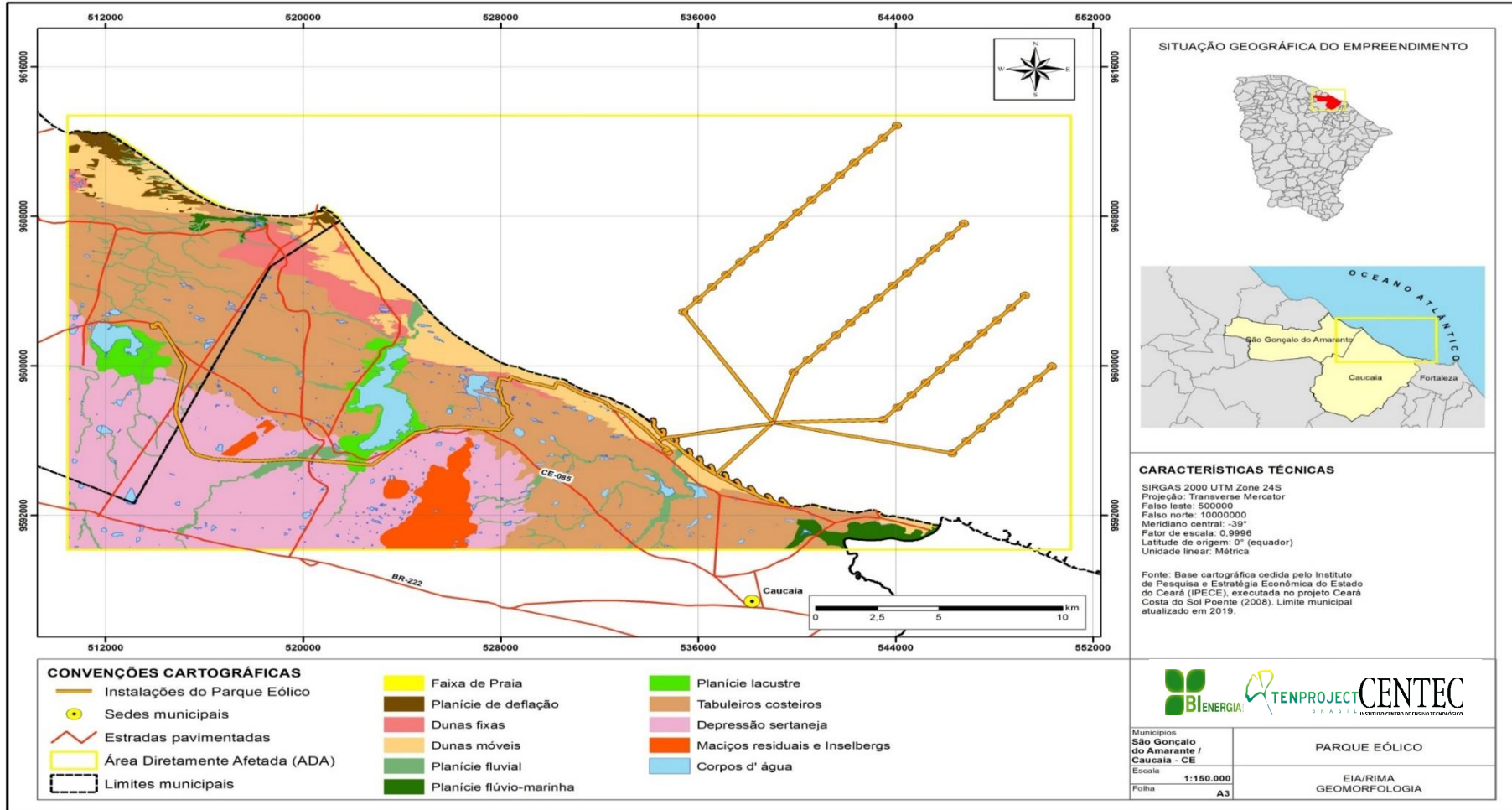
Mapa 4.1.5.5.1 – Unidades Geomorfológicas da área de influência direta do empreendimento



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Raoni Ceci

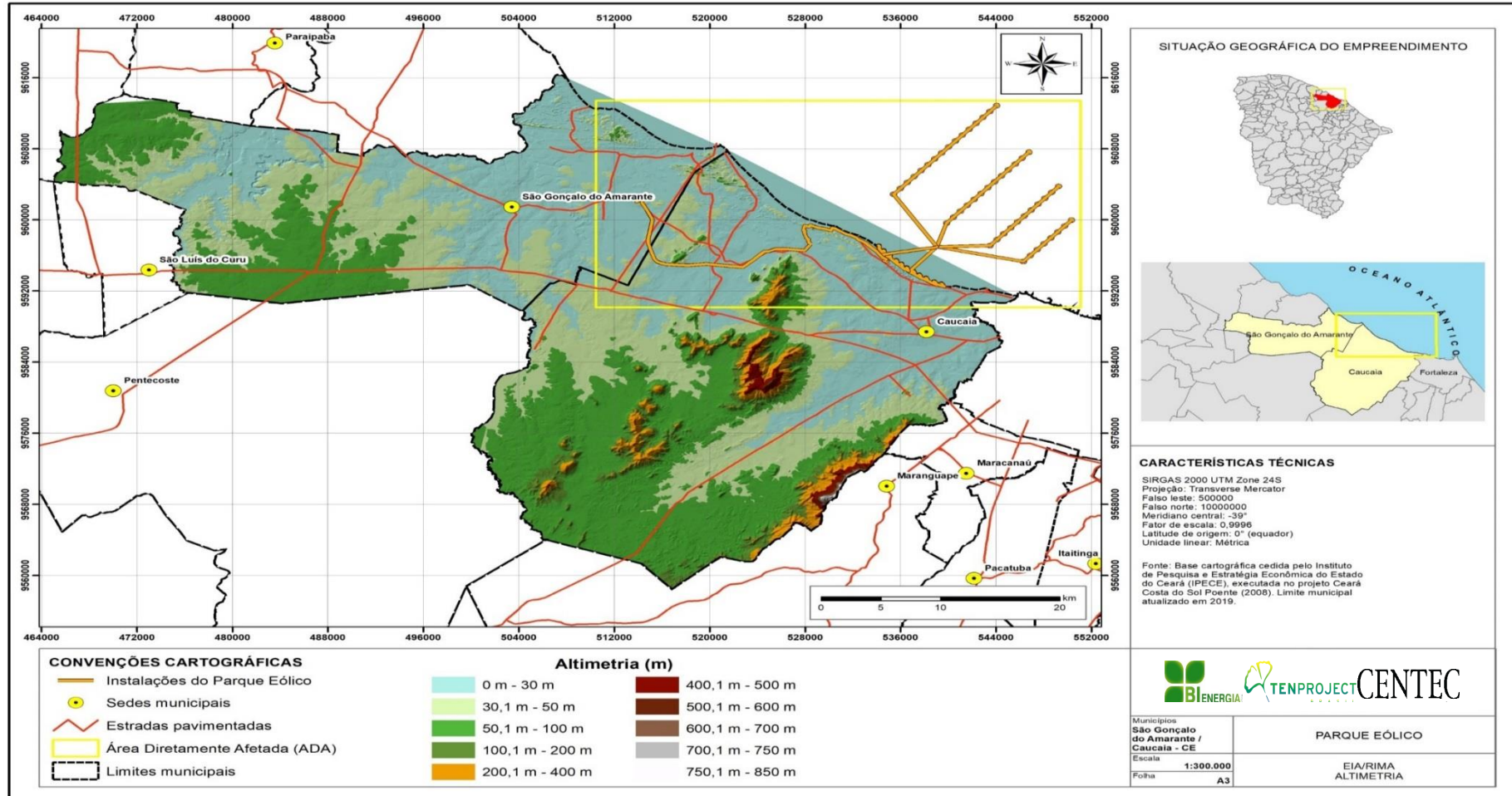
Mapa 4.1.5.5.2 – Unidades Geomorfológicas da área diretamente afetada pelo empreendimento



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Raoni Ceci

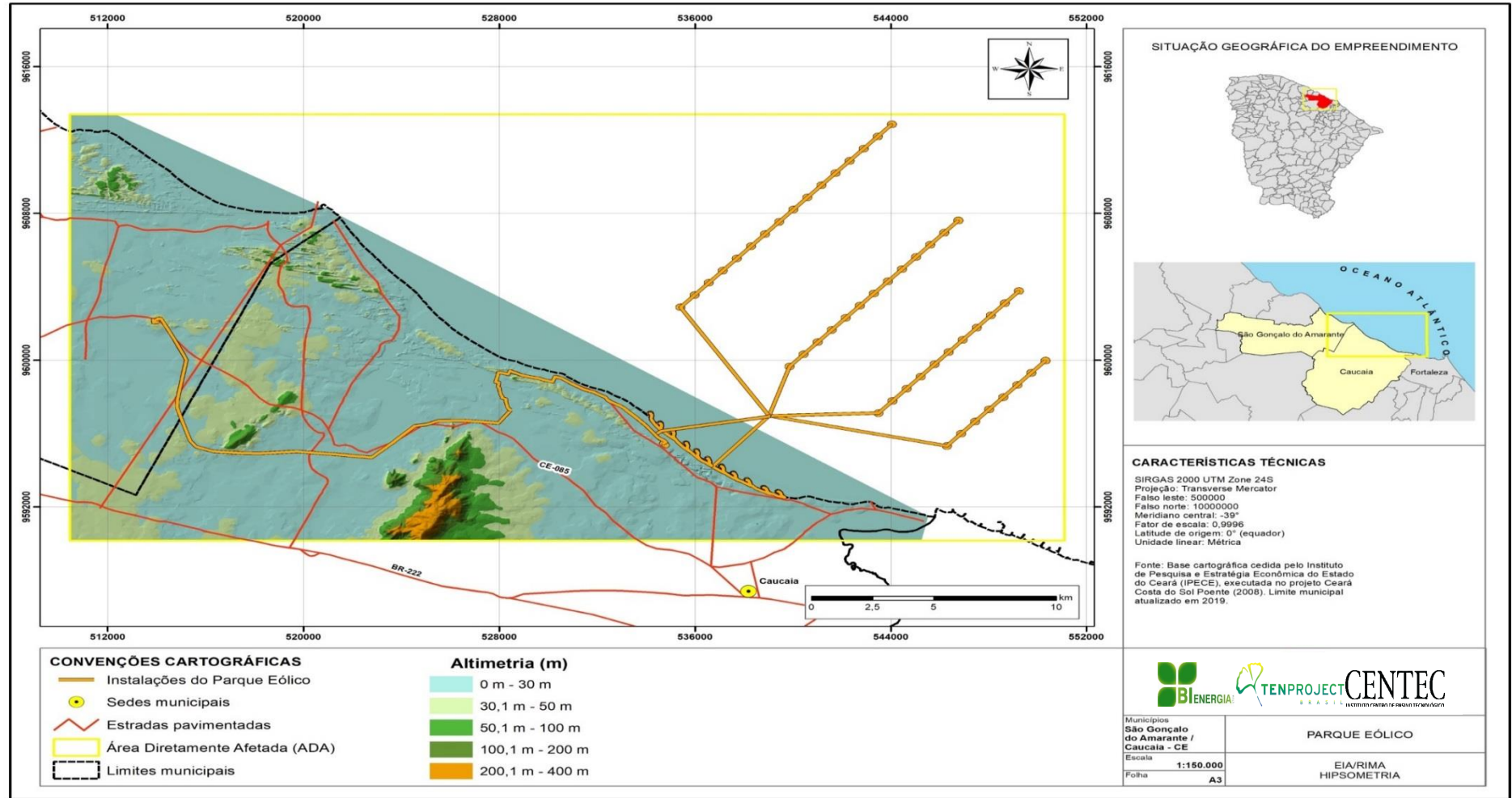
Mapa 4.1.5.5.3 – Mapa hipsométrico da área de influência direta do empreendimento



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Raoni Ceci

Mapa 4.1.5.5.4 – Mapa hipsométrico da área diretamente afetada pelo empreendimento



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Raoni Ceci