

#### 4.1.6. Pedologia

Estudar os solos envolve os processos tanto estruturais das rochas, como esculturais das formas de relevo envolvidos, quanto a ação do clima, fatores determinantes para sua formação que foram comentados no contexto dos itens 4.1.4 e 4.1.5 do Termo de Referência nº 02001.003915/2016-68.

É um procedimento do diagnóstico ambiental analisar as rochas, relevo e solos com o intuito de definir unidades com as características pedológicas peculiares de cada região. A utilização da metodologia morfopedológica surgiu das abordagens propostas por Tricart e Killian (1979), que definiram unidade morfopedológica como uma porção do território, em que existem determinadas unidades geomorfológicas e de solos correspondentes que se formaram por meio de processos de morfogênese e de pedogênese associados. O processo de classificação dos solos é determinado pela interpretação das características morfológicas, propriedades físicas, químicas e mineralógicas descritas em campo e analisadas em laboratório (JACOMINE et al., 1973; LEPSCH, 2010).

Para este trabalho, foi conduzido um levantamento expedido dos solos, sempre com registros fotográficos e anotação dos parâmetros analisados. Os solos foram descritos *in situ* e no laboratório, obedecendo a vários métodos, como o sugerido por Primavesi (2002), Guerra (2005) e Nogueira (2005). As amostras deformadas usadas para análises foram coletadas entre 0 e 20 cm de profundidade, conforme a metodologia sugerida por Silva (1999), Nogueira (2005) e Serrat & Oliveira (2006).

Levando em consideração o caminhamento geológico, para o recobrimento da área de trabalho a escala utilizada é de semidetalhe. Iniciaremos com um pequeno comentário sobre a classificação geológica dos solos, em seguida com uma breve explanação sobre os solos do Ceará, depois uma descrição mais concisa sobre os solos de Caucaia e São Gonçalo do Amarante, posteriormente uma descrição de detalhe na área de implantação do Projeto do Parque Eólico Caucaia da BI Energia.

As classificações genéticas mais utilizadas para caracterização dos solos são a geológica e a pedológica. A classificação geológica, que corresponde à interpretação da gênese do solo, com base na análise tátil-visual, em observações de

campo acerca da morfologia (ocorrência) e das relações estratigráficas (posicionamento). O intemperismo atuando na desagregação e decomposição das rochas em superfície e nas subjacentes *in situ*, dá origem aos solos residuais. Com o transporte e a deposição dos materiais existentes em superfície, em geral o próprio solos residual, formam os solos transportados.

No Estado do Ceará, os solos apresentam-se com uma tipologia bastante diversificada e exibindo expressiva variação espacial, podem ser residuais ou transportados. Embora estejam, na sua grande maioria, inseridos em domínios de clima semiárido, há também, em menos proporções, áreas sob condições climáticas úmidas e sub-úmidas (PEREIRA, 2005). As condições de formações da maior parte dos solos cearense encontram-se diretamente influenciadas pelo clima que amplamente é definido por baixas precipitações pluviométricas, irregularmente distribuídas, atreladas a elevadas evaporação. Essas características climáticas estão ainda associadas a uma vegetação natural de caatinga, grande prevalência de rochas cristalinas e relevo aplainado.

A classificação dos solos do Ceará foi feita de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) do ano de 2014, a saber:

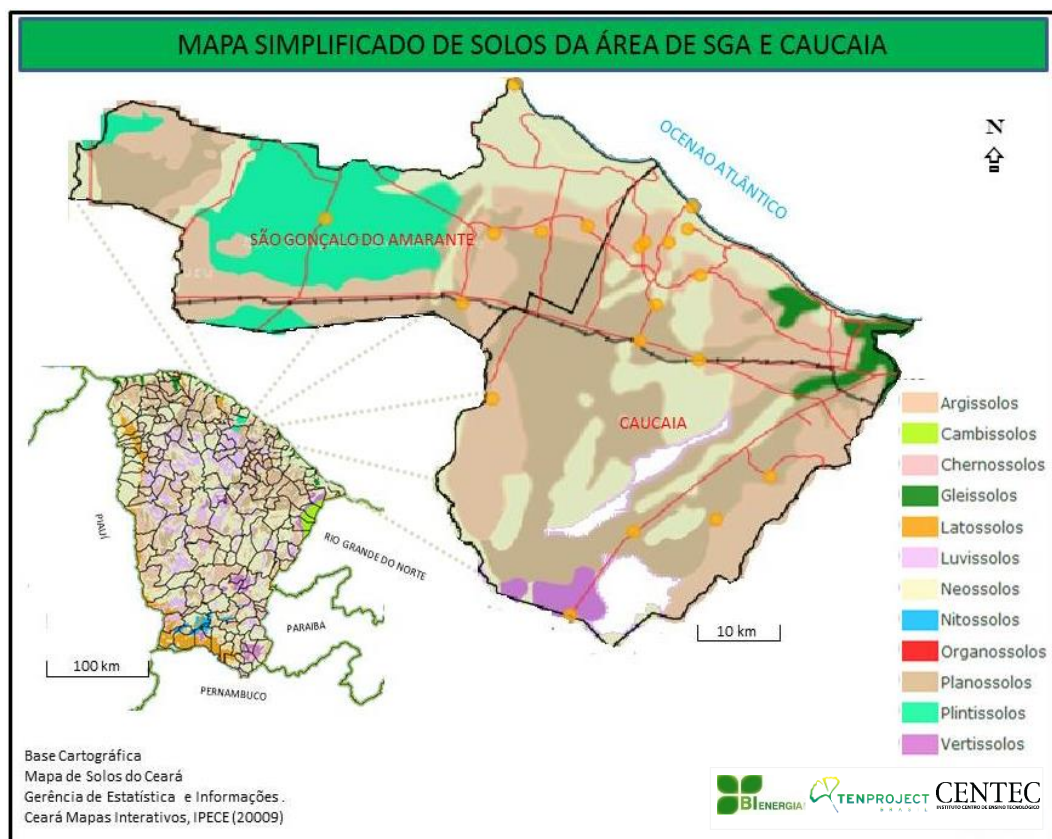
- Latossolos Vermelhos-Amarelos: eles constituem os solos mais velhos do Ceará e ocupam, de preferência, as superfícies mais elevadas em relação às paisagens circundantes representadas depressão sertaneja;
- Argissolos Vermelho-Amarelos (Eutrófico e Distrófico): eles ocupam o percentual mais elevado da área total do Estado, estando distribuídos por muitas unidades geoambientais;
- Nitossolos Vermelhos: são solos que ocupam principalmente em algumas áreas do sul do Estado, preferencialmente em relevos suave ondulados, desenvolvidos de materiais de alteração de rochas como os gnaisses migmatíticos;
- Chernossolos Argilúvico: são solos existentes praticamente apenas nos sertão central do Ceará, em relevos predominantemente suave ondulado, mas também forte ondulado e montanhoso;

- Luvisolos: eles abrangem extensas áreas do Estado, ocupando principalmente, a partir de rochas dos tipos gnaisses migmatítico;
- Planossolos: são solos típicos de relevo planos e suaves ondulados de regiões semiáridas ocupando as partes mais baixas das depressões e várzeas. São derivados principalmente de materiais proveniente do Pré-cambriano;
- Neossolos Flúvicos: ocorrem em áreas de várzeas ocupando as partes marginais dos cursos d'água, onde são formados por sedimentos não consolidados oriundos de depósitos fluviais quaternários;
- Vertissolos: ocorrem ocupando áreas relativamente pequenas de maneira dispersa por diferentes unidades geoambientais, condicionados por relevo plano e suave ondulado. São desenvolvidos por calcários, além de sedimentos quaternário de várzea;
- Neossolos Litólicos: são solos presentes em muitas partes dos sertões, além das serras semiáridas e sub-úmidas, em relevo desde plano a montanhoso;
- Cambissolos: ocupam áreas planas do topo da Chapada do Apodi, onde são desenvolvidos de rochas calcárias;
- Neossolos Regolíticos: abrangem pequenas áreas dispersas por unidades geoambientais do litoral e sertões, sob condições de relevo plano e suave ondulado;
- Neossolos Quartzarênicos: eles encontram-se nas unidades geoambientais do litoral, Planalto da Ibiapaba e ainda na região do Cariri. São originados a partir de sedimentos arenosos da Formação Barreiras;
- Gleissolos: eles se distribuem em relevo plano de várzeas e próximos à desembocadura dos rios. São formados por sedimentos muito finos de deposição quaternária misturados com detritos orgânicos.

A descrição dos solos da área de estudo teve início com a leitura dos perfis de solos trabalhados por Pereira *et al* (1991), Mota (2005), Medeiros (2014), Nascimento (2014) e Tomas (2017), confrontados em campo. Foi elaborado um mapa de solos para área utilizando o programa Ceará Mapas Interativos do IPECE (2009), com os pontos visitados e pontos descritos (Figura 4.1.6.1). As unidades morfopedológicas foram definidas pelos domínios de solos inseridos nas unidades de relevo.

As características dos solos da área de estudo revelam a existência de solos com forte evolução pedológica (Argissolos), aqueles com evolução pedológica definida, mas exibindo ainda considerável presença de minerais primários de fácil decomposição (Planossolos, Luvisolos, Plintissolos), até aqueles com fraca ou quase nula a evolução pedológica (Neossolos: Litólicos, Quartzarênicos, Flúvicos; Gleissolos, Vertissolos). Em São Gonçalo do Amarante não foi identificado os Gleissolos e nem os Vertissolos. Essa variedade de solos nos municípios é justificada pela diversidade litológica e pelas formas de relevo existentes.

**Figura 4.1.6.1: Mapa de Solos simplificado de SGA e Caucaia.**



**Fonte:** Adaptado de IPECE, 2019.

A primeira feição geomorfológica foi a da *depressão sertaneja*, unidade de relevo que abrange a maior parte do município. Apresenta uma maior diversidade de tipos de solos, pois há também diversidade de substratos geológicos. Nela se desenvolvem: Planossolo Nátrico, Argissolos Vermelho-Amarelo, Vertissolos, Luvisolos Crômico, Luvisolos Crômico Háplico (Mota, 2005). Os Argissolos

Vermelho-Amarelos são profundos e bem drenados, no entanto possuem baixa fertilidade natural. Como estão associados nessa unidade de relevo plano e suave ondulado, podem ser utilizados para a agricultura, exploração mineral.

O solo de maior abrangência nessa feição é o Planossolo Nátrico, considerado raso, onde se desenvolve principalmente a caatinga hiperxerófila e a floresta ciliar de carnaúba. Possui limitação física, pois devido à dureza existente no horizonte subsuperficial, ele pode encharcar e compactar no período chuvoso e no período seco tornar-se impermeável, ficando assim, mais susceptível à erosão. No entanto quando está mais associado ao relevo plano, possui tendência para acumular água e sedimentos, e assim, amenizar o problema.

Os Vertissolos ocorrem na porção sul do município de Caucaia é caracterizado pelo fendilhamento e o acentuado movimento de expansão e contração que limitam o seu uso tanto para o uso agrícola, como para construções, pois podem sofrer rachaduras. Os Luvisolos Crômicos ocorrem nos municípios em áreas de relevo suave ondulado e tem como limitações a deficiência de água e a consistência dura devido a mudança textural de horizontes e a presença de calhaus.

A segunda feição geomorfológica foi o *maciço residual*. Desenvolvem principalmente dois tipos de solos: Neossolos Litólicos Eutróficos e Argissolos Vermelho-Amarelos. Os Neossolos Litólicos ocorrem nas áreas mais íngremes, e possuem deficiência de água, pois quando chove a mesma logo escorre. Por esses fatores são bastante susceptíveis a erosão. Além disso, a alta pedregosidade limita a utilização de máquinas agrícolas.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos ocorrem tanto no relevo forte ondulado como no suave ondulado e por isso, possuem impedimentos à mecanização e susceptibilidade à erosão. Essas feições geomorfológicas têm como uso recorrente no município a exploração mineral, no entanto deve ser feita de maneira controlada e sob as normas e leis municipais (MOTA, 2005).

No terceiro compartimento de acumulação, estão incluídas os *tabuleiros pré-litorâneos*, as planícies fluviais e a planície litorânea que engloba a faixa praial, a planície de deflação, as dunas fixas, as dunas móveis e a planície flúvio-marinha. Os *tabuleiros pré-litorâneos* se desenvolvem sob a Formação Barreiras e apresentam

alguns tipos de solos principais: Argissolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Quartzarênicos.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos são os de maior ocorrência, se desenvolvendo em um relevo moderadamente plano e suave ondulado. A vegetação que se desenvolve é a caatinga caducifólia mais próxima do interior e subperenefólia próxima ao litoral e que estão bastante descaracterizadas.

Os Neossolos Quartzarênicos são profundos e permeáveis. Ocorrem na região mais próxima do litoral e próximos de corpos hídricos e encontram-se em avançado estado de ocupação, sendo utilizado também para retirada de areia pela construção civil. Na planície fluvial e lacustre os sedimentos são formados principalmente por areias finas e médias, siltes, argilas e matéria orgânica em decomposição, sob os Depósitos inconsolidados do Quaternário (SOUZA, *et al.*, 2009).

Os Neossolos Flúvicos são solos profundos, de alta fertilidade natural, com minerais não hidromórficos, formados por sucessivas deposições de sedimentos do Quaternário (EMBRAPA, 2014). Sua ocorrência está relacionada a existência de um rio e que deve, portanto ter sua mata ciliar protegida, ou seja, a área de preservação permanente (APP), que varia de acordo com a largura do rio, sem permissão de usos. Em Caucaia 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*). E em São Gonçalo do Amarante se distribuem nos Rio São Gonçalo, Anil e Guaribas.

Na planície litorânea se desenvolvem principalmente os Neossolos Quartzarênicos e os Gleissolos Sálícos. Os Gleissolos se localizam principalmente atrelados à planície flúvio-marinha e são caracterizados pelo alto teor de sais e pelo risco de inundação periodicamente. Esses fatores conferem a esse tipo de solo a baixa fertilidade natural e conseqüentemente, as limitações agrícolas. 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 se desenvolvem atrelados a planície de deflação e as dunas fixas. São solos essencialmente quartzosos, pouco evoluídos, formado por material mineral ou material orgânico com menos de 20 cm de espessura. 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. É considerado susceptível à erosão principalmente devido ao excesso de água de estação chuvosa e ao déficit na estação seca. Além disso, a presença de sódio, que é variável, também contribui para as limitações desse solo à mecanização (NASCIMENTO, 2014).

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). Em Caucaia e SGA, os *Argissolos Vermelho-Amarelo* distrófico ocorrem associados aos tabuleiros pré-litorâneos e interiores, e os com caráter eutrófico ocorrem associados às serras na porção leste do município e à depressão sertaneja.

Devido às características geológica e geomorfológica os solos apresentam na sua maioria delgada cobertura de material pedimentar, horizontes e gradientes texturais ligados diretamente com a sua herança litológica e ao ambiente de formação variando em relação às características geotécnicas e geoquímicas. O trabalho limitações do uso dos solos do Estado do Ceará por suscetibilidade à erosão, produzido pela Embrapa Agroindústria Tropical (2002) enquadrados os solos quanto ao grau de suscetibilidade à erosão, a saber: Nulo, Ligeiro, Moderado, Forte e Muito Forte.

- Nulo (N) - Os solos praticamente não são suscetíveis à erosão. Quando usados para agricultura, a erosão é ausente na maioria da área. Predominam solos que têm boa permeabilidade, com relevo plano, isto é, em que os declives variam de 0 a 3%. Nos levantamentos detalhados, preconizados para áreas de irrigação, é possível separar os solos nos quais os declives são realmente nulos, onde não ocorre erosão. Nesse caso os solos que têm declives mais próximos do limite máximo (3%), quando cultivados por dez a vinte anos, poderão apresentar erosão ligeira, cujo

controle deverá ser feito com práticas simples de manejo. Os solos enquadrados nesse grau são os seguintes: Latossolos Vermelho-Amarelos, textura média, relevo plano; Neossolos Flúvicos, textura média, relevo plano; Cambissolos, textura média, relevo plano; Neossolos Quartzarênicos Distróficas, relevo plano; Glei Húmico (Gleissolos), textura média, relevo plano; Latossolos Vermelho-Amarelos Eutróficos; Argissolos VermelhoAmarelo, textura média, relevo plano; Solos Indiscriminados de mangue, textura indiscriminada, relevo plano.

- Ligeiro (L) - Os solos são pouco suscetíveis à erosão. Se usados para agricultura, a erosão é reconhecível por ligeiros fenômenos. Entretanto, danos no solo se manifestam somente após prolongado uso agrícola. Em geral, o horizonte superficial ainda está presente, mas pode ter sido removido. O horizonte superficial (A) pode ter sido perdido na maioria da área se foi usada para agricultura. São solos que geralmente apresentam declives suaves (3% a 8%) e têm condições físicas muito favoráveis à mecanização. Neste trabalho, os Latossolos de textura argilosa, com declives superiores a 10%, são incluídos no grau Ligeiro. Proteção e controle da erosão deverão ser feitos sob manejo desenvolvido. Assim, para a classe de relevo suave ondulado é indicada a construção de terraços de base larga e do tipo de drenagem. Nas demais classes de relevo ondulado, se os Latossolos de textura argilosa forem utilizados para agricultura, os plantios deverão ser feitos em curvas de nível. Os solos enquadrados no grau de limitação Ligeira são os seguintes: Latossolos Vermelho-Amarelos textura argilosa, relevo plano e suave ondulado; Latossolos Vermelho-Amarelos textura média, relevo plano e suave ondulado; Latossolos Vermelho-Amarelos textura média, fase concrecionária, relevo plano e suave ondulado; Latossolos Vermelho Escuros textura média e argilosa, relevo plano e suave ondulado; Argissolos Vermelho-Amarelos textura argilosa, relevo plano e suave ondulado. Cambissolos textura argilosa, substrato calcário, relevo plano e suave ondulado.

- Moderado (M) - Os solos são moderadamente suscetíveis à erosão. Se usados para agricultura, a erosão é reconhecível por fenômenos que são moderados no início e que se agravam rapidamente. Inicialmente, dá-se a remoção de todo o horizonte A, o que facilmente resulta na formação de sulcos e voçorocas. Nessa classe, os solos poderão ter textura argilosa, média e arenosa. Somente os Latossolos



de textura argilosa são excluídos. Os demais podem ser suaves (3% a 8%) e até 20% nos relevos ondulados. Proteção e controle deverão ser feitos com manejo desenvolvido: construção de terraços, de acordo com a textura do solo e os declives e plantio em curvas de nível. No caso dos solos serem usados para pastagens, é indispensável fazer rotação. Os solos enquadrados nesse grau de limitação são: Argissolos Vermelho-Amarelos textura argilosa relevo plano e suave ondulado; Nitossolos Vermelhos textura argilosa, relevo plano e suave ondulado; Planossolos Nátricos textura arenosa/média e argilosa, relevo plano e suave ondulado; Luvisolos textura argilosa fase pedregosa, relevo suave ondulado; Neossolos Litólicos textura arenosa e média fase pedregosa, relevo suave ondulado e ondulado; Gleissolos relevo plano e suave ondulado; Chernossolos textura argilosa fase truncada, relevo suave ondulado e ondulado; Neossolos Flúvicos textura arenosa relevo suave ondulado; e Neossolos Quartzarênicos relevo suave ondulado e ondulado Embrapa (1999).

- Forte (F) - Os solos são fortemente suscetíveis à erosão. Se usados para agricultura, a erosão é reconhecível por fenômenos fortes na maioria da área e os danos no solo serão rápidos. Os solos nessa classe poderão ter textura argilosa, média e arenosa, mas a erosão estará condicionada aos relevos ondulado e forte ondulado. São excluídos os Latossolos de textura argilosa. Proteção e controle serão, na maioria dos casos, muito difíceis, dispendiosos ou não viáveis, como exemplo, banquetas individuais; solo protegido por vegetação viva e morta (“mulching”). Os solos enquadrados nesse grau são: Argissolos Vermelho-Amarelos textura argilosa e média, relevo ondulado e forte ondulado; Neossolos Litólicos textura arenosa e média fase pedregosa, relevo ondulado e forte ondulado; Chernossolos textura argilosa fase truncada, relevo ondulado e forte ondulado; Neossolos Litólicos textura média e siltosa fase pedregosa e rochosa, relevo ondulado e forte ondulado; Afloramentos de Rocha relevo forte ondulado; Argissolos Vermelho-Amarelos textura argilosa cascalhenta, relevo ondulado e forte ondulado; Luvisolos textura argilosa fase pedregosa, relevo ondulado.

- Muito Forte (MF) - Os relevos são fortemente suscetíveis à erosão. Se usados para agricultura, esses solos serão destruídos em poucos anos. Os solos dessa classe poderão ter textura argilosa, média, siltosa e arenosa. Os relevos são

forte ondulados e montanhosos, com declives acima de 30%. São excluídos dessa classe os Latossolos de textura argilosa. Quando os solos são utilizados para agricultura a proteção e o controle da erosão não são, normalmente, viáveis, tanto técnica como economicamente, mesmo com cultivos de árvores ou pastoreio extensivo. As áreas montanhosas que têm limitações Muito Fortes do uso do solo por suscetibilidade à erosão, exigem cuidados especiais quando se projetam estradas de rodagem. Devido à ocorrência de solos facilmente erosivos, torna-se obrigatória a colaboração de pedólogos e técnicos florestais. A identificação das áreas-problema possibilita aos técnicos florestais fazer o estudo detalhado das espécies florestais, de modo a preservar as que tiverem sistema radicular apropriado para melhor fixar o solo, que, assim, não sofrerá deslizamentos nem desbarrancamentos. Os solos enquadrados no grau de limitação Muito Forte são: Neossolos Litólicos textura média e argilosa fase pedregosa e rochosa, relevo forte ondulado e montanhoso; Argissolos Vermelho-Amarelos textura média e argilosa, relevo forte ondulado e montanhoso; Neossolos Litólicos textura arenosa e média fase pedregosa e rochosa, relevo montanhoso; Afloramentos de Rocha relevo montanhoso; Chernossolos textura argilosa, relevo forte ondulado e montanhoso; Luvisolos textura argilosa fase pedregosa, relevo forte ondulado e montanhoso.

O enquadramento dos solos nos graus de limitação por suscetibilidade à erosão baseou-se, principalmente, nas avaliações dos três aspectos ou parâmetros que são fundamentais e descritos a seguir (Estados Unidos, 1951) (EMBRAPA, 2002):

- Natureza do solo - dada pelo conhecimento dos solos que constituem a unidade de mapeamento. As unidades de mapeamento são áreas de solos definidas, em função das unidades taxonômicas (unidades simples) que as compõem. A suscetibilidade à erosão diz respeito ao desgaste que a superfície do solo poderá sofrer, quando submetida a qualquer uso, sem medidas conservacionistas. Está na dependência das condições climáticas (especialmente do regime pluviométrico), das condições do solo (textura, estrutura, permeabilidade, profundidade, capacidade de retenção de água, presença ou ausência de camada compacta e pedregosidade), das

condições do relevo (declividade, extensão da pendente e microrelevo) e da cobertura vegetal.

- Classes de relevo - que traduzem a geomorfologia e informam os declives e a extensão, na área ocupada por cada unidade de mapeamento. Foram considerados os limites das percentagens de declive de cada classe de relevo (Lemos & Santos, 1996) baseado no mapa de levantamento de solo escala 1:600.000 (Brasil, 1973).
- Tipos de Textura - definida, segundo o “Soil Survey Manual”, pela percentagem relativa dos diversos tamanhos de partículas que compõem a massa do solo. A textura se destaca das demais propriedades morfológicas, talvez por sofrer alteração somente num longo período de tempo. Em alguns solos, o tipo de textura jamais sofre alteração, como é o caso do arenoso. No estudo da erodibilidade do solo, os tipos de textura, que qualificam o tamanho das partículas, têm tanta importância quanto os fenômenos de floculação e agregação inerentes àquelas de diâmetros mais finos. Na falta de indicações climáticas das áreas de cada unidade de mapeamento, devido ao número insuficiente de postos de observações climáticas, utilizou-se o tipo de vegetação primária que reflete o maior ou menor grau de umidade de determinada área.
- Vegetação - a cobertura vegetal quanto mais densa, mais proteção oferece ao solo contra a erosão. Nas áreas cobertas com florestas, os solos são menos erodidos do que os cobertos com pastagens e caatingas hiperxerófila e hipoxerófila, sem controle de erosão.

Quanto aos percentuais de ocorrência (Embrapa (2002):

- O Estado do Ceará, com 150.630 km<sup>2</sup>, deduzidos 8,5% de áreas dos espelhos d'água, apresenta uma área de solos da ordem de 137.825 km<sup>2</sup>.
- Os solos enquadrados no grau de limitação Nulo ocupam a área de 13.369 km<sup>2</sup>, ou seja, 9,7% dos solos do Estado.
- Os solos enquadrados no grau de limitação Ligeiro ocupam a área de 21.600 km<sup>2</sup> o que representa 15,6% da área de 137.825 km<sup>2</sup>.

- Os solos enquadrados no grau de limitação Moderado ocupam a área de 74.425 km<sup>2</sup>, ou seja, 54,1% da área de 137.825 km<sup>2</sup>.
- Os solos enquadrados no grau de limitação Forte ocupam a área de 9.096 km<sup>2</sup>, ou seja, 6,7% dos solos do Estado.
- Os solos enquadrados no grau de limitação Muito Forte ocupam a área de 19.019 km<sup>2</sup>, ou seja, 13,9% dos solos do Estado.
- Os dados apresentados, relativamente à extensão das áreas com solos incluídos nos graus Moderado e Muito Forte, sugerem a necessidade de uma política conservacionista a curto prazo e mais dinâmica, a fim de evitar o desgaste de áreas que poderão ser utilizadas na produção agrícola, sem ficar sujeitas ao processo contínuo de degradação e, conseqüente redução da ação produtiva do Estado.
- Nos solos em que a erosão é Moderada devido ao relevo, é possível o controle da erosão por métodos agrônômicos, o que irá diminuir as perdas de solo, trazendo como conseqüência imediata o aumento do rendimento das culturas.
- Nos solos em que a erosão é Forte e Muito Forte, totalizando 20,6% da área de solos do Estado do Ceará, além da alta erodibilidade há, ainda, o relevo forte ondulado e montanhoso, que favorecem os fenômenos de deslizamentos e desmoronamentos, causando graves prejuízos à comunidade.

#### 4.1.6.1. Pedologia do Município da Caucaia

A classificação foi feita de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBSC) da EMBRAPA, do ano de 2013 (Figura 4.1.6.1.1). Assim, foram identificados oito tipos de solos: Neossolos Flúvicos, Gleissolos Sálcos, Neossolos Quartzarênicos, Planossolos Nátricos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Vertissolos, Neossolos Litólicos Eutróficos e Luvisolos Crômicos. Essa variedade de solos no município pode ser justificada pela diversidade litológica e pelas formas de relevo existentes.

Os *Neossolos Flúvicos* são solos profundos, de alta fertilidade natural, com minerais não hidromórficos, formados por sucessivas deposições de sedimentos do Quaternário (EMBRAPA, 2014). São considerados profundos e moderadamente a

imperfeitamente drenados (MEDEIROS, 2014). Em Caucaia se distribuem ao longo dos cursos dos principais rios, como o Ceará, Juá, Cauípe e também de lagoas.

Gleissolos Sálícos ocupam áreas normalmente ocupadas por florestas de mangues, cuja sua gênese envolve um grande período de solo alagado, auxiliando no sequestro de carbono devido às baixas taxas de mineralização do material orgânico. 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). 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 pouco desenvolvidos pedogeneticamente, e que apresentam textura arenosa de minerais primários de elevada dureza como o quartzo. Neste caso, apesar de apresentarem baixa fertilidade química, são bons para a agricultura, uma vez que a utilização de material orgânico e fertilizantes podem sanar este problema.

São formado por material mineral ou material orgânico com menos de 20 cm de espessura, sem horizonte B (JACOMINE, 2009). Entretanto as altas taxas de infiltração e o relevo suave, fazem desse tipo de solo pouco suscetíveis à erosão (RIBEIRO, *et al.*, 2009) São solos de baixa aptidão agrícola, e o seu uso indiscriminado e de culturas anuais pode fazer com que rapidamente sofram degradação (VIEIRA, 1987; SILVA *et al.*, 1993).

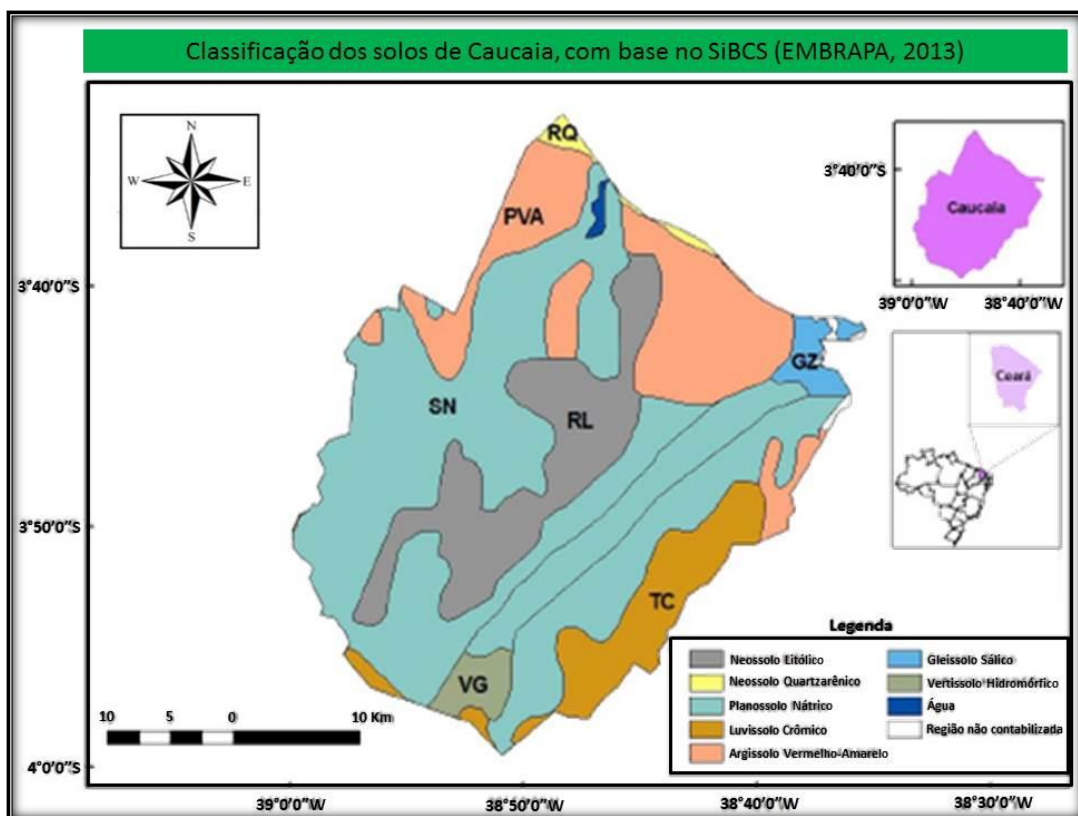
Verificou-se que mais da metade do território do município de Caucaia está sobre solos de classe Planossolo Nátrico, desenvolvidos em planícies ou depressões. Neste caso, apresentam horizonte B plânico, com estruturas colunares, possuindo uma baixa permeabilidade da água. Além disso, apresentam o caráter sódico, onde há aumento na taxa de sódio no solo, indicando que estes solos, caso utilizados na agricultura, devem ser manejados com culturas tolerantes ao sódio, bem como devem ser adotadas práticas que não permitam o acúmulo deste elemento químico no solo (MORAES *et al.*, 2016).

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.

Em Caucaia esse tipo de solo é predominante e ocorre geralmente associado à depressão sertaneja e existe a associação do Planossolo Háplico com o Planossolo Nátrico. Além disso, a vegetação que se desenvolve nesse tipo de solo, varia entre floresta ciliar da carnaúba e a caatinga hiperxerófila. É considerado susceptível à erosão principalmente devido ao excesso de água de estação chuvosa e ao déficit na estação seca. Além disso, a presença de sódio, que é variável, também contribui para as limitações desse solo à mecanização (NASCIMENTO, 2014).

**Figura 4.1.6.1.1 - Mapa de solos do município da Caucaia.**



Fonte: Moraes *et al.*, 2016.

A segunda maior área é ocupada pelos Argissolo Vermelho Amarelo, que segundo o Levantamento Exploratório (JACOMINE *et al.*, 1973), os solos deste município possuem elevada saturação por bases ( $V > 50\%$ ) e baixa atividade de argila ( $< 27 \text{ cmolc kg}^{-1}$ ). Neste caso, de todos os solos do município, este apresenta

Raoni Ceci



condições mais propícia para o desenvolvimento da agricultura por serem profundos, não havendo impedimento físico para desenvolvimento radicular e não apresentar hidromorfismo, uma vez que sua coloração indica a presença de hematita e goethita. 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). Em Caucaia, os Argissolos Vermelho-Amarelo distrófico ocorrem associados aos tabuleiros pré-litorâneos e interiores, e os com caráter eutrófico ocorrem associados às serras na porção leste do município e à depressão sertaneja.

Os Vertissolos Hidromórficos também se fazem presentes no município de Caucaia. Apresentam horizonte com um caráter vértico, fendados e com superfícies de fricção devido à expansão e a contração das argilas do solo em condições de tempo diferentes; e um horizonte glei de caráter hidromórfico. Possuem uma baixa permeabilidade, o que ocasiona em períodos chuvosos a ocorrência de encharcamento. Próximo ao mar, encontram-se solos com predomínio de sais ( $CE \geq 7$  dS m<sup>-1</sup>, a 25 °C; EMBRAPA, 2013) e condições hidromórficas.

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*, que apresenta estriamento que são produzidos pelo deslizamento e o atrito da massa do solo. 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.

Seguidos dos Argissolos, encontram-se os Neossolos Litólicos, que são solos rasos, pouco desenvolvidos, com pedregulhos próximos à superfície e, em alguns casos, com afloramento rochoso. São caracterizados por serem solos rasos, com contato lítico a partir de 50 cm, apresentando alta pedregosidade, e que estão

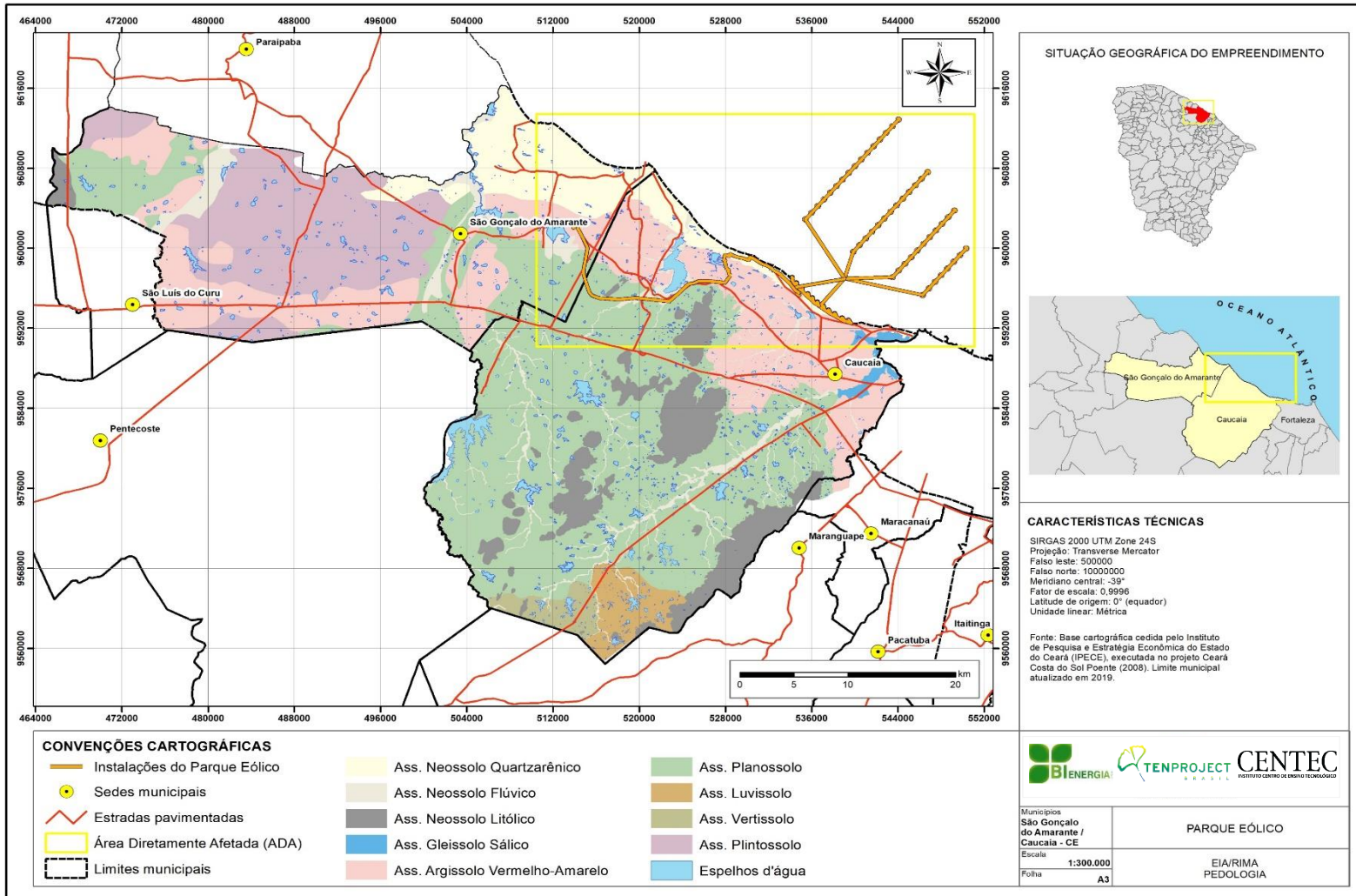
associados geralmente a relevos com uma relativa declividade (EMBRAPA, 2014). São solos pouco desenvolvidos, com textura arenosa e bem drenados. No município abrangem a área central, e apresentam pedregosidade e rochosoidade, além de frequentes afloramentos rochosos, o que possibilita o desenvolvimento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

Estes solos não apresentam um bom desempenho para a atividade agrícola, principalmente por problemas com sua fertilidade física, por serem muito rasos, bem como são conferidos em relevos acidentados favoráveis a processos erosivos. Com isto, é preferível que esta área seja reservada sem atividade antrópica.

Constata-se que a classe do Luvisolo Crômico se encontra em quarto lugar em extensão, apresentando cores fortes devido ao caráter crômico, elevada atividade de argila ( $> 27 \text{ cmolc kg}^{-1}$ ), conforme o Levantamento Exploratório (JACOMINE et al., 1973). Neste último caso, a elevada atividade de argila em subsuperfície, confere uma maior susceptibilidade de erosão nestes solos. 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, ocorre associado a Planossolo Háplico, na serra de Maranguape, onde se desenvolve a caatinga hiporxerófila. Além disso, ocorre também associado a Neossolo Litólico Eutrófico, na porção central do município, em relevo ondulado, apresentando-se em fase pedregosa e rochosa sob o substrato gnaisse e granito.

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) (Figura 4.1.6.1.2 e 4.1.6.3). 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.

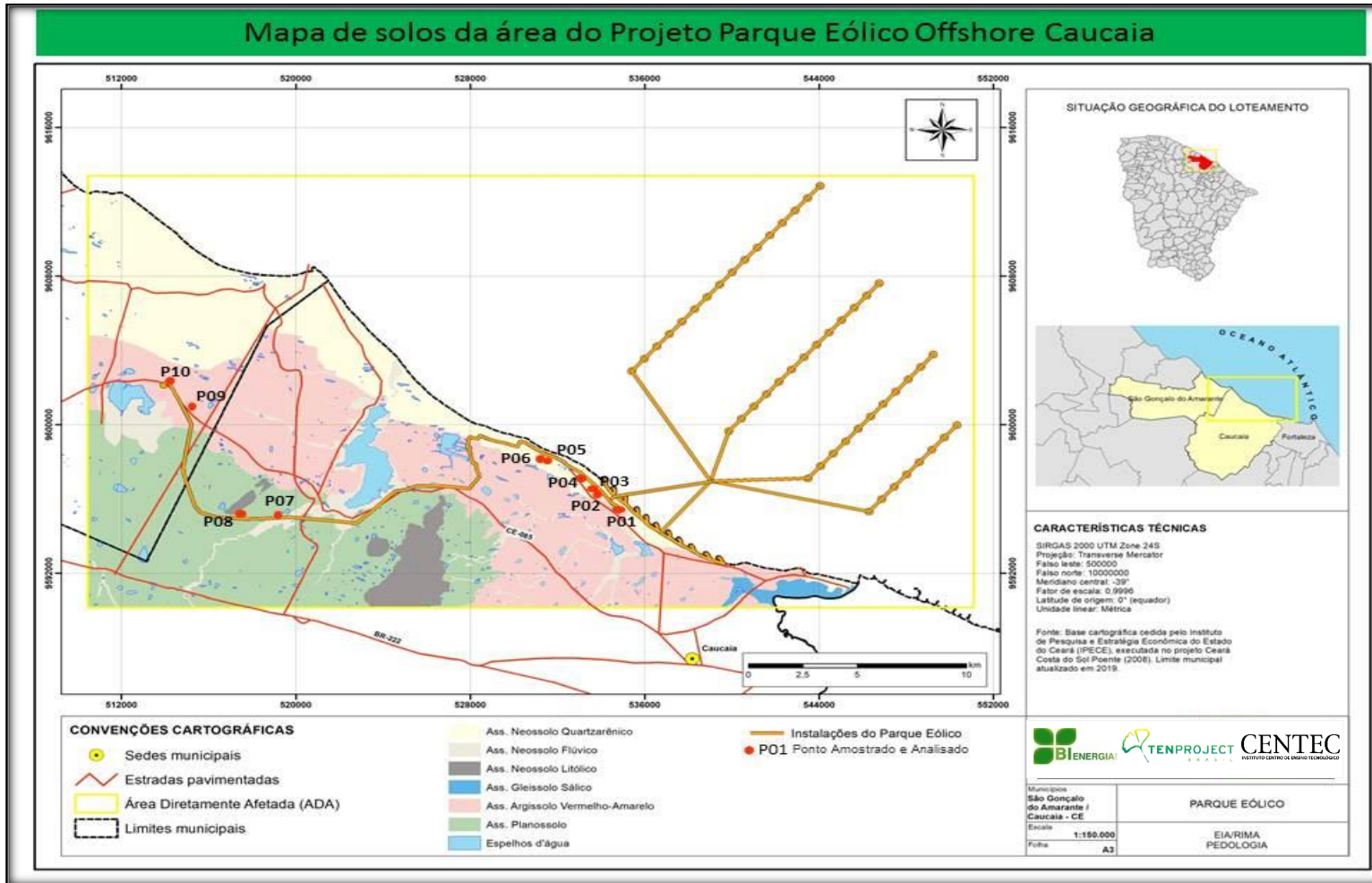
Figura 4.1.6.1.2 - Mapas de solos de Caucaia e São Gonçalo do Amarante.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Raoni Ceci

**Figura 4.1.6.1.2 - Mapa de solos da área do Projeto Parque Eólico Offshore Caucaia.**



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Raoni Ceci



O homem consegue transformar o meio natural através de atividades denominadas no meio técnico-científico de tecnogênicas e, têm tornado a paisagem diferente a cada dia que passa, tendo como uma das principais consequências a degradação dos solos. O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente através do GLSOD (Global Assessment of Soil Degradation – Projeto de Avaliação Mundial da Degradação do Solo) registrou que 15% dos solos do planeta, uma área do tamanho dos Estados Unidos e Canadá, são classificados como degradados devido às atividades humanas. Do total desta área degradada, 5% encontra-se na América do Norte, 12% na Oceania, 14% na América do Sul, 17% na África, 18% na Ásia, 21% na América Central e 13% na Europa. Considerando as áreas inabitadas do mundo, o percentual de solos degradados no planeta sobe de 15% para 24% (OLDEMAN, 1994, apud TAVARES, 2008).

No continente Sul Americano, segundo o GLSOD há  $244 \times 10^6$  hectares de solo degradado, sendo o desmatamento responsável por 41% dessa degradação (OLDEMAN, 1994, apud TAVARES, 2008). No Brasil, a quantificação da extensão dos solos degradados ainda é muito precária, porém, independente da ausência de dados a respeito da extensão de áreas degradadas, todas as estimativas apontam para o desmatamento, mineração e atividades agrícolas como as principais responsáveis pela degradação dos solos brasileiros (DIAS e GRIFFITH, 1998).

Uma grande parte dos solos degradados do território brasileiro está localizada no semiárido, na Região Nordeste. Segundo dados apontados pelo Projeto PNUD/BRA/93/036, o Nordeste do país já apresenta cerca de 180.000 km<sup>2</sup> de áreas com processos de degradação considerados como grave e muito grave, sendo que 18.740 km<sup>2</sup> apresentam sinais intensos muito preocupantes – os chamados núcleos de desertificação – localizados em Gilbués/PI, no Seridó do RN, Cabrobró/PE e na região Irauçuba/CE.

Da Região Nordeste, o Ceará tem proporcionalmente a maior área distribuída no perímetro do semiárido, cerca de 92% de seu território. Aproximadamente 14% da área do Estado é afetada por processos de degradação que podem evoluir para o grau de desertificação (NASCIMENTO et al., 2007). O Município de Caucaia, localizado na Região Metropolitana de Fortaleza, se enquadra nessa problemática de degradação. Dentre os fatores mais importantes que impulsionaram a degradação,

destacam-se a erosão costeira iniciada no porto do Mucuripe, as implicações do crescimento urbano, a extração de bens minerais, o desmatamento irracional para obras, as estiagens, a pecuária, a indústria da lenha e outros impactos que ocasionaram a remoção da cobertura do solo, levando ao aumento do escoamento superficial e gerando alterações (SÁ, 2002).

Após a abordagem podemos afirmar que, a degradação dos solos é um problema que influencia todo o mundo e constitui um fenômeno de grande importância, em razão da rapidez com que se processa e pelo fato de acarretar grandes prejuízos para diversas atividades econômicas e para o meio ambiente. Segundo Bertoni & Lombardi Neto (2010), a erosão hídrica é a forma mais ativa do processo de degradação dos solos. Para a avaliação e predição das perdas de solo por erosão, a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), apresentada por Wischmeier & Smith (1978), tem sido o modelo mais utilizado em todo o mundo (Kinnell, 2010).

Essa equação engloba um conjunto de fatores como a erosividade da chuva (R), a erodibilidade do solo (K), a topografia (LS), o uso e manejo do solo (C) e as práticas conservacionistas de suporte (P). A erodibilidade representa a suscetibilidade do solo ao processo erosivo e pode ser determinada de forma direta, pela razão entre as perdas de solo e a erosividade das chuvas, sob chuva natural ou chuva simulada, e também por meio de análise de regressão linear simples entre essas duas variáveis (Wischmeier & Smith, 1978). De forma indireta, a erodibilidade pode ser estimada por meio da representação gráfica (nomograma), com base na combinação dos atributos físicos dos solos (textura, estrutura e permeabilidade), com porcentagem de matéria orgânica (Wischmeier et al., 1971). De acordo com Singh & Khera (2009), o nomograma tem sido amplamente utilizado em todo o mundo, mas diversos estudos têm indicado que o método não é adequado para uso no Brasil (Marques et al., 1997; Silva et al., 2000; Amorim et al., 2009; Eduardo, 2012). Segundo Pruski (2009a), diferentes tipos de solos no Brasil já apresentam seus valores de erodibilidade determinados.

Portanto, com base nas várias literaturas estudadas é correto afirmar que os solos possuem diferentes vulnerabilidades à erosão, a qual depende diretamente de



suas características física, química e mineralógica. A erodibilidade está relacionada a vulnerabilidade de um solo condicionando ao processo erosivo.

A partir deste conceito, enquadraram-se cada tipo de solo em sua respectiva classe de erodibilidade, como pode ser revelado no Quadro (4.1.6.1). Tais classes vão de I a V, sendo a primeira representada pelos solos de maior erodibilidade e, as de classes V, pelos solos de menor erodibilidade.

**Quadro 4.1.6. 1: Classes e índices relativos de erodibilidade dos solos.**

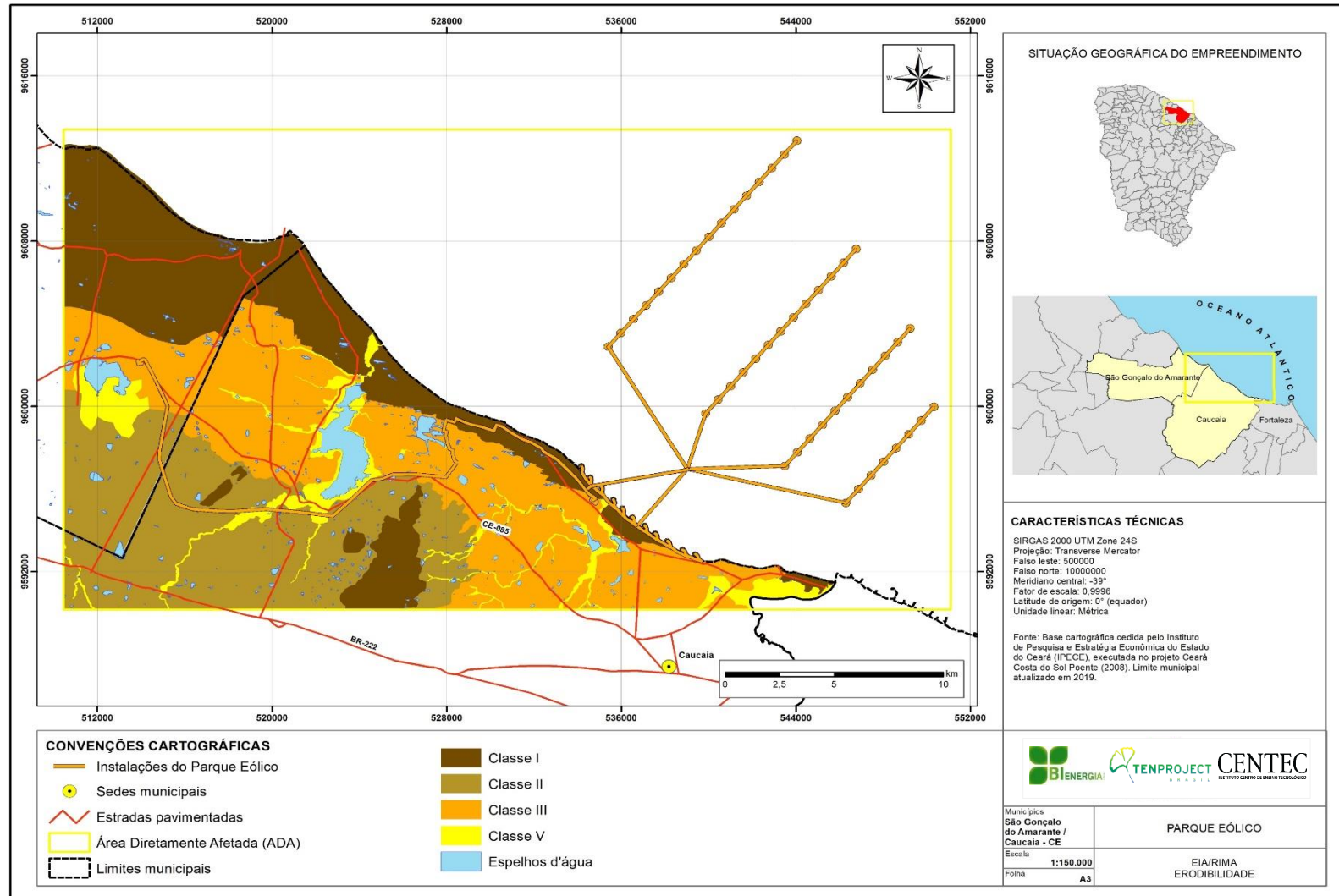
Classes de Erodibilidade	Índices Relativos de Erodibilidade	Unidades Pedológicas*
I	10,0 a 8,1	Neossolo Quartzarênico; Neossolo Litólico
II	8,0 a 6,1	Planossolo; Luvisolo; Plintossolo
III	6,0 a 4,1	Argissolo Vermelho-Amarelo; Vertissolo
IV	4,0 a 2,1	----
V	2,1 a 0	Neossolo Flúvico; Gleissolo Sálico

**Fonte:** Adaptado de Salomão, 1999.

Como pode ser observado, os solos de maior erodibilidade, ao longo da área analisada, são os Neossolos Quartzarênicos e os Neossolos Litólicos. Ambas as classes são constituídas de unidades de desenvolvimento pedogenético incipiente (rasos), além de apresentarem baixa coesão entre suas partículas, podendo em alguns casos serem levadas pelo próprio vento de maneira natural (erosão eólica). Já as classes de menor erodibilidade são os Neossolos Flúvicos e os Gleissolos Sálicos, ambas são unidades onde predominam os processos de agitação ou deposição de sedimentos. As demais unidades podem ser consideradas de média a alta erodibilidade (III e II, respectivamente).

As classes de erodibilidade para área do projeto estão demonstradas a seguir, na Figura (4.1.6.1.3).

Figura 4.1.6.1.3 - Mapa das classes de erodibilidade para área do projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Raoni Ceci

## 4.1.7 Recursos Hídricos

### 4.1.7.1 Metodologia

Para a identificação e caracterização dos recursos hídricos foram consultados dados e informações de órgãos como a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE e Comitê das Bacias Hidrográficas da Região Metropolitana de Fortaleza. Além disso, foram utilizados, como consulta bibliográfica, estudos desenvolvidos na área abordada nesse trabalho.

As informações de caráter hidrogeológicas foram obtidas através de avaliações quali-quantitativas realizadas no ano de 2016 pela Companhia de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – COGERH. Para tal foi realizado um cadastro de poços dos tipos tubulares rasos e profundos, amazonas (cacimbões) e lagoas (representam a exposição de lençol freático) que serviram como fonte de informação no que se refere às condições de ocorrência e circulação da água subterrânea na região.

### 4.1.7.2 Caracterização do Sistema Hidrográfico

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos, que instituiu a Divisão Hidrográfica Nacional, designa doze Regiões Hidrográficas brasileiras. As bacias em questão são a Amazônica, Tocantins-Araguaia, Atlântico NE Ocidental, Parnaíba, Atlântico NE Oriental, São Francisco, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste, Paraná, Paraguai, Uruguai, Atlântico Sul.

De acordo com a Agência Nacional das Águas, o Ceará localiza-se na Bacia Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental. Essa região ocupa 3,4% do território nacional, sua densidade demográfica é aproximadamente 4 vezes maior do que a média brasileira. Quase a totalidade de sua área pertence à Região do Semiárido Brasileiro, a qual apresenta períodos de estiagens prolongadas e temperaturas

elevadas durante todo o ano, caracterizando a região hidrográfica com a menor disponibilidade hídrica do Brasil.

O Estado do Ceará é dividido em doze bacias hidrográficas: Metropolitana, Acaraú, Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe, Baixo Jaguaribe, Banabuiú, Coreaú, Curú, Litoral, Salgado, Serra da Ibiapaba e Sertões de Crateús (Figura 4.1.7.2.1).

A área estudada localiza-se na bacia Metropolitana, abriga o mais importante centro consumidor de água do Estado, que é a região Metropolitana de Fortaleza. Essa bacia é dividida em um agrupamento de 16 microbacias, distribuídas por 31 municípios cearenses localizados no nordeste do estado. As sub-bacias posicionadas no sentido oeste-leste, estando assim distribuídas: São Gonçalo, Gereraú, Cauípe, Juá, Ceará, Maranguape, Cocó, Coaçu, Pacoti, Catu, Caponga Funda, Caponga Roseira, Malcozinhado, Uruau e Pirangi, representando um conjunto de bacias das mais diversas formas e tamanho, cobrindo uma área total de 15.085 km<sup>2</sup>, correspondente a 10,18% do Ceará.

As bacias hidrográficas significativas a serem descritas em relação a área do estudo são as Bacias hidrográficas dos Rios Cauípe, Ceará, Gereraú e São Gonçalo do Amarante, as quais correspondem a 1,8%, 3,7%, 0,8% e 8,8%, respectivamente, da Bacia Metropolitana, totalizando 15,2% desse território (Mapa 4.1.7.2.1).


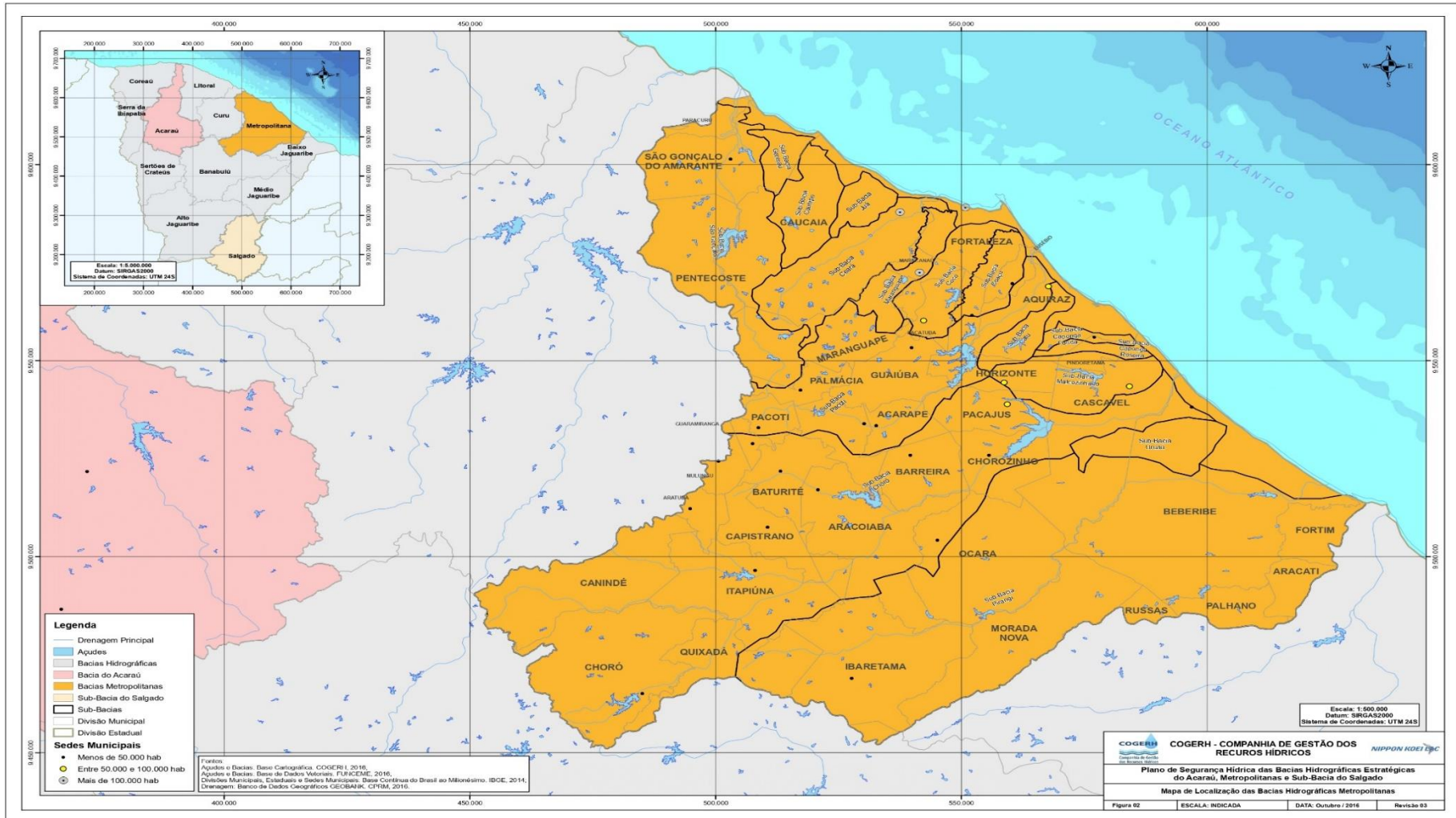


Figura 4.1.7.2.1 - Mapa das Bacias Hidrográficas do Ceará.

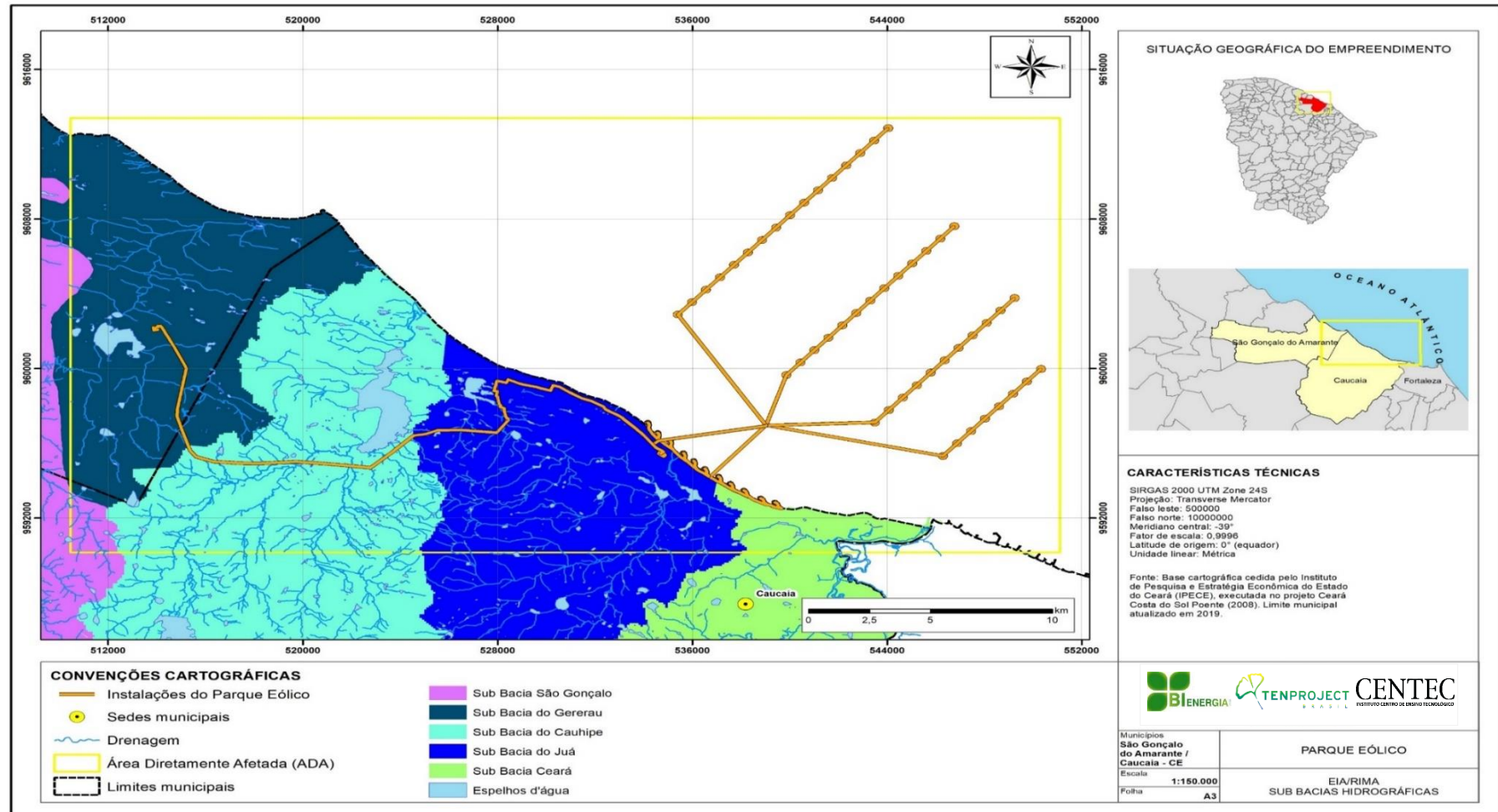


Fonte: COGERH, 2019.

Raoni Ceci



### Mapa 4.1.7.2.2 - Bacias Hidrográficas ao longo do empreendimento



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Raoni Ceci



#### 4.1.7.2.1 Bacia Hidrográfica do Rio Cauípe

Drenando uma área de 279km<sup>2</sup>, a bacia do rio Cauípe apresenta forma retangular longilínea com comprimento do talvegue de 35,0 km, a largura se apresenta de forma variada, sendo de 8,0km no alto do curso para 13,0 km no médio e 6,0 km no baixo curso, e declividade do rio principal ao longo do talvegue é igual a 2,29%.

O padrão de drenagem foi desenvolvido pela rede hidrográfica utilizando o tipo dentrítico, com os tributários se unindo ao rio principal em ângulos agudo e valores variados. Na região de baixo curso, por exemplo, a confluência ocorre em ângulos retos, devido a própria formação estrutural. A área de domínio do embasamento cristalino aparece de forma mais dissecada que a área de domínio sedimentar. Esta área também possui um maior número de rios, o que demonstra um certo controle da geologia sobre a drenagem.

A bacia está localizada na parte central do município de Caucaia, sendo destacada pelo barramento natural e parcial, feito pelo cordão de dunas a uma distância de 3km da praia, estendendo-se desde o extremo sul do município até o seu litoral, onde desagua no extenso Lagamar do Cauípe, próximo a sua foz.

As ocorrências de áreas sujeitas a inundações periódicas não representam muita relevância, sendo constatadas apenas na região de baixo curso do rio, na área de entorno do lagamar anteriormente mencionado.

Pode-se destacar os riachos do Juá, Davi, Conceição, Sítio e Salgadinho pela margem direita, enquanto que na parte esquerda da margem, destacam-se os riachos da Barriga, Coité e dos Matões. Todos estes citados apresentam caráter intermitente, ou seja, permanecem secos durante a maior parte do ano, com exceção nas áreas próximas ao litoral onde o rio se torna perene e sofre influência da maré.

Para resolver o problema de estiagem foi necessário, por parte do governo estadual, a implantação de açudagem para garantir água para a população. Desta forma, em 1999, foi concluído o açude Cauípe com capacidade máxima de reservatório 11 x 106m<sup>3</sup> e vazão regularizada de 0,154m<sup>3</sup>/s (CEARÁ, 2002). O nível de açudagem da Bacia não é desenvolvido, sendo representado quase que unicamente por reservatórios de porte pequeno e médio. Destaca-se entre os

reservatórios apenas o Açude Cauípe (12,0hm<sup>3</sup>), construído recentemente, que faz parte do sistema de suprimento hídrico do Complexo Industrial e Portuário do Pecém. O sistema em questão é composto pelo Canal Sítios Novos/Pecém e por uma adutora, que aduzem as vazões que são liberadas pela Bacia de São Gonçalo, as quais se integram as vazões do Açude Cauípe.

O volume d'água que é armazenado em açudes interanuais é da ordem de 6,2 milhões de m<sup>3</sup> em anos considerados com precipitações normais, caindo, quando se passa por anos secos, para 1,8 milhões de m<sup>3</sup>. Nesses valores não estão inclusos os recursos hídricos represados no açude do Cauípe.

A linha de transmissão do projeto passa pela porção Sul da Bacia do Cauípe, caracterizada pela presença de espelhos d'água, destacando-se as lagoas do Banana, do Tapacaú, do Damião, Tanupaba e o Rio Cauípe. Pode-se observar que três riachos têm seus cursos d'água em direção a lagoa do Banana que, quando está cheia, drena para o Lagamar do Cauípe através do riacho Pirapora (CEARÁ, 2008).

#### **4.1.7.2.2 Bacia Hidrográfica do Rio Ceará**

A Bacia do Rio Ceará está localizada a Leste da área de influência do empreendimento, na porção norte do Estado do Ceará, a qual contempla os municípios de Caucaia, Fortaleza e Maranguape, possuindo configuração espacial retangular com uma área de drenagem de 555,9 km<sup>2</sup>, estendendo-se no sentido sudoeste-norte ao longo de 52,5 km.

Segundo Ceará (2008), esta bacia é caracterizada por chuvas escassas e irregulares no tempo e no espaço, típico da maior parte das bacias do semiárido brasileiro. Além disso, possui baixa permeabilidade devido à grande parte dos seus terrenos serem formados por embasamento cristalino.

O Rio Ceará nasce na Serra Maranguape da confluência do Riacho Bom Princípio com o Jandaíra, e tem como seu principal afluente o Rio Maranguapinho. Segundo a COGERH (2016), esta bacia é composta por cursos d'água de natureza intermitente, que fluem somente durante a época das chuvas, apresentando

fluviometria semi-perene, caracterizada pela penetração das marés, onde existe a mistura da água doce dos rios com a água salgada das marés, formando um estuário que abrange uma área de aproximadamente 500 ha de manguezal.

Na área de manguezal, que é uma região de transição entre os ambientes marinho, continental e fluvial, está localizada a APA (Área de Preservação Ambiental) do estuário do Rio Ceará, que abrange 2.744,89ha e localiza-se na divisa dos municípios de Fortaleza e Caucaia.

O baixo curso do Rio Ceará, é dividido em planície litorânea, planície fluvial e tabuleiros pré-litorâneos, e possui como vegetação as seguintes classes: mangue, apicum, vegetação de praia, vegetação de dunas, mata ciliar e vegetação de tabuleiro (CEARÁ 2008).

A região da bacia é formada por 98 açudes, com um espelho d'água de 961,3ha e 12 lagoas com um espelho d'água de 104,2ha, com destaque para as lagoas da Parangaba e do Porangabuçu, ambas situadas na malha urbana de Fortaleza.

#### **4.1.7.2.3 Bacia Hidrográfica do Rio Gereraú**

Drenando uma área de 120,2km<sup>2</sup> e se desenvolvendo no sentido sul-nordeste ao longo de 20,0km<sup>2</sup>, o rio Gereraú apresenta forma longilínea, onde as ocorrências de picos de cheia não são favorecidas por conta da configuração espacial retangular. Encontra-se restrita a zona costeira e, observando os termos hidrológicos, pode-se afirmar que a Bacia do Gereraú possui capacidade pouco significativa.

O recurso hídrico em questão é representado por uma pequena bacia litorânea que corresponde uma área entre as bacias dos rios Cauípe e São Gonçalo, o qual a linha de transmissão do projeto passa na porção Nordeste. A partir de suas áreas de montante, no serrote Olho D'água, até a foz, este recurso drena aproximadamente 140km<sup>2</sup>.

Dentre os corpos d'água pode-se destacar: lagoas do Pecém, Eganambi, Bolso, Tucum, Acende Cadeira, Patos, Manuel Fernandes e Andréia, além de outras com dimensões inferiores as estas citadas. Alguns trabalhos mais regionais destacam

esses espelhos d'água, inclusive, a própria micro-bacia do Guaribas como pertencente integralmente ao sistema Gereraú ou, ainda, a Bacia do São Gonçalo.

A referida bacia tem caráter intermitente, que flui somente em épocas de chuva, exceto próximo ao litoral, no trecho do Rio Gereraú/ Riacho das Guaribas, onde se torna perene. Em seu baixo curso, possui influência das marés, devido ao seu desnível em relação ao mar, formando um estuário composto por vegetação de mangue.

Na bacia do Gereraú podem ser mencionadas 22 lagoas, dando ênfase para as Lagoas do Pecém, Talos e Batateiras, com 4,9 ha, 20,5 ha e 6,7 ha, respectivamente. Estas são consideradas as mais importantes em termos de dimensão e uso destinado ao abastecimento da população e pequenas irrigações. Inúmeras lagoas são contabilizadas em seu alto curso, podendo destacar o Lagamar do Gereraú, enquanto que na região litorânea merece menção a Lagoa do Pecém. Além disso, dois açudes foram identificados, um situado no sítio Guaribas, com 1,8 ha, outro localizado no sítio Santo Amaro, com área de 2,6 ha.

Grande parte do seu traçado é apresentada como mata ciliar com boas condições em sua maior porção, sendo composta por vegetação de porte arbustivo. Observando a parte sul do Lagamar Gereraú e o seu baixo curso próximo ao limite com o campo de dunas, nota-se a presença de áreas antropizadas.

As Áreas de Proteção Ambiental (APA's) do Pecém e do Lagamar são delimitadas nas bacias do Gereraú e Cauípe. Essas áreas foram criadas pelo Decreto Estadual nº 24.957, datado de 05 de junho de 1998, sendo ambas administradas pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) e representativas do complexo vegetacional litorâneo.

#### **4.1.7.2.4 Bacia Hidrográfica do Rio Juá**

A Bacia Hidrográfica do Juá está localizada na porção norte do território de Caucaia, abrangendo uma área de 21,00 km<sup>2</sup>, perímetro de 51,13 km, comprimento de talvegue de 12,50 km e fator de forma 0,77. Dentre seus riachos, os de maior porte são o Juá, Santo Amaro, Barra Nova, Buriti Forte, Tabeba e Camará. Já em relação

às lagoas, encontra-se às do Poço, Genipapu, Damião, Jeneguaba, Parnamirim, dentre outras (CEARÁ, 2008).

Esta Bacia possui características de Cerrado, ilhada pela vegetação de tabuleiros que se apresenta heterogênea face a penetração de espécies da caatinga, e de maciços residuais, devido sua presença serrana, configurada por apresentar condições de umidade elevadas nas vertentes voltadas para o mar.

O rio Juá nasce na serra do Juá e possui mata ciliar parcialmente preservada, com predominância de vegetação de porte arbóreo em seu alto e médio curso. Já em relação à lagoa do Poço, sua vegetação, em geral, tem porte arbustivo, áreas antropizadas e cultivos agrícolas, devido a sua proximidade com a área urbana de Icaraí.

A referida Bacia também possui como seu principal afluente o rio Barra Nova, que desemboca na zona costeira de Caucaia e possui uma área de aproximadamente 87.500 m<sup>2</sup>. No seu trecho final, adjacente à desembocadura, alarga-se em uma planície de maré triangular conhecida por Lagoa ou Lagamar da Barra Nova, limitada entre as praias de Icaraí (leste) e Tabuba (oeste).

A lagoa da Barra Nova representa um importante reservatório de água e sua desembocadura rio é extremamente dinâmica, com curtos períodos de fechamento da barreira intercalado por períodos de migração longitudinal de sua foz mais longos, influenciando as condições hidrodinâmicas de fornecimento de sedimentos para a costa.

A vegetação da região de dunas apresenta porte arbóreo-arbustivo e se apresenta entre as dunas fixas e semifixas e o limite do tabuleiro. A vegetação de mangue está presente nas desembocaduras dos rios e é caracterizada pela mistura entre a água salgada do mar e a água doce dos rios.

O lagamar da Barra Nova possui ainda forte presença de prática de esportes náuticos e apresenta-se como uma área potencialmente turística, onde os esportes ecológicos são a grande atração, embora seja uma região que sofre com o processo erosivo costeiro.

Pode-se citar ainda, como um dos principais componentes da Bacia do Juá, a Lagoa do Banana, que é conhecida pelas atividades de lazer e turismo no seu entorno,

e está localizada entre o Lagamar do Cauípe e a Lagoa da Barra nova. Esta lagoa apresenta variações na configuração geomorfológica local no seu entorno, com tabuleiros costeiros e planície flúvio-lacustre, vegetação arbórea-arbustiva e fauna pouco diversa.

A Lagoa do Banana possui como componentes geoambientais a planície litorânea, os tabuleiros pré-litorâneos e a depressão sertaneja, dispondo de um espelho d'água de 90 ha e um volume armazenado de 973.480 m<sup>3</sup>.

#### **4.1.7.2.5 Bacia Hidrográfica do Rio São Gonçalo do Amarante**

A maioria dos cursos d'água da região estudada formam uma rede de drenagem natural de cunho intermitente, ou seja, conservam-se secos a maior parte do ano, podendo citar como exceção o Rio São Gonçalo e Cauípe, na área próxima ao litoral se tornam perenes, possuindo água durante todo o ano, além de sofrer influência das marés. Esses rios nunca secam, nem mesmo durante períodos de estiagem, quando apresentam uma pequena vazão.

A oeste do empreendimento, localiza-se a bacia hidrográfica de São Gonçalo do Amarante, sendo o Rio São Gonçalo seu principal curso de água, o qual é indispensável para o abastecimento da população local. Com extensão de 95,75 km e área drenada de 1.332,3 km<sup>2</sup>, possui diversidades ao longo do seu curso, desaguando entre os Municípios de São Gonçalo do Amarante e Paracuru, e tem sua nascente localizada em Baturité.

Devido sua nascente possuir localização em terrenos de rochas cristalinas, apresenta um tipo ramificado de drenagem, por vezes dendrítica, o qual é conduzido por direções situadas nos quadrantes NE e SW, enquanto que seus tributários comumente estreitos, adquirem direções SE-NW (CEARÁ, 2008).

O semiárido conta com pequeno potencial hídrico, caracterizado pelas áreas de embasamento cristalino, que representam mais de 2/3 do mesmo. O rendimento dos reservatórios artificiais é normalmente baixo devido às elevadas taxas de evaporação e coeficiente de variação (CEARÁ, 2008). Diante do exposto, pode-se



dizer que o rio São Gonçalo representa uma expressiva fonte superficial de abastecimento de água da área em questão.

Dentre seus tributários, destacam-se na margem direita: açude Lajero, açude Amanari; riacho Amanari, riacho Santa Luzia, lagoa dos Talos, riacho Catuana/rio Anil, rio Siupé, córrego do Carrapicho. Na margem esquerda: riacho dos Grossos, açude Landua, riacho do Cedro, riacho do Tigre, córrego do Curú, riacho Pau d'álho, córrego Santa Rosa. As bacias hidrográficas evidenciadas no entorno do Rio São Gonçalo são a dos rios Curu, Guaribas, Cauípe, Choró, Estrela, Ceará e Choró.

Ao longo da bacia surgem diversas lagoas perenes e intermitentes, observando-se na região de baixo curso, próximo ao litoral, a formação de uma extensa lagoa de caráter perene, a Lagoa dos Talos.

O escoamento superficial e alimentação de aquíferos dos rios citados possuem um volume médio de 272.500 m<sup>3</sup>. Do volume d'água precipitado na referida bacia cerca de 892,8 milhões de m<sup>3</sup> se transformam em escoamento superficial. Devido a irregularidade de precipitação, em relação a tempo e espaço, esses valores podem mudar de forma significativa.

Outra feição hídrica comum do local, de forma representativa, principalmente na planície litorânea, são as lagoas interdunares pluviais e freáticas e os riachos de pequeno porte, podendo destacar as lagoas do Coração, dos Talos, das Cobras e dos Queimados, as quais são cortadas pelos rios Curu, São Gonçalo e Anil.

Em relação aos açudes, a bacia do rio São Gonçalo expressa um nível pouco desenvolvido. Sua formação se dá por médios e pequenos açudes, e por dois reservatórios que permitem a perenização dos seus cursos d'água, os açudes do Amanari (11,3 hm<sup>3</sup>) e Sítios Novos (123,2 hm<sup>3</sup>). O volume d'água armazenado em açudes interanuais é da ordem de 10,1 milhões de m<sup>3</sup> em anos normais de precipitação, caindo para 3,0 milhões de m<sup>3</sup> em anos secos.

Dentre todos os açudes existentes na região, o de Sítios Novos, construído em 1999, merece destaque em função da capacidade de seu reservatório que aumentou consideravelmente a capacidade hídrica estocada artificialmente.

Os cursos d'água dos açudes Sítios Novos e Cauípe, são direcionados para a bacia do São Gonçalo, Ceará e Sistema Ceará/Maranguape. A referida bacia será

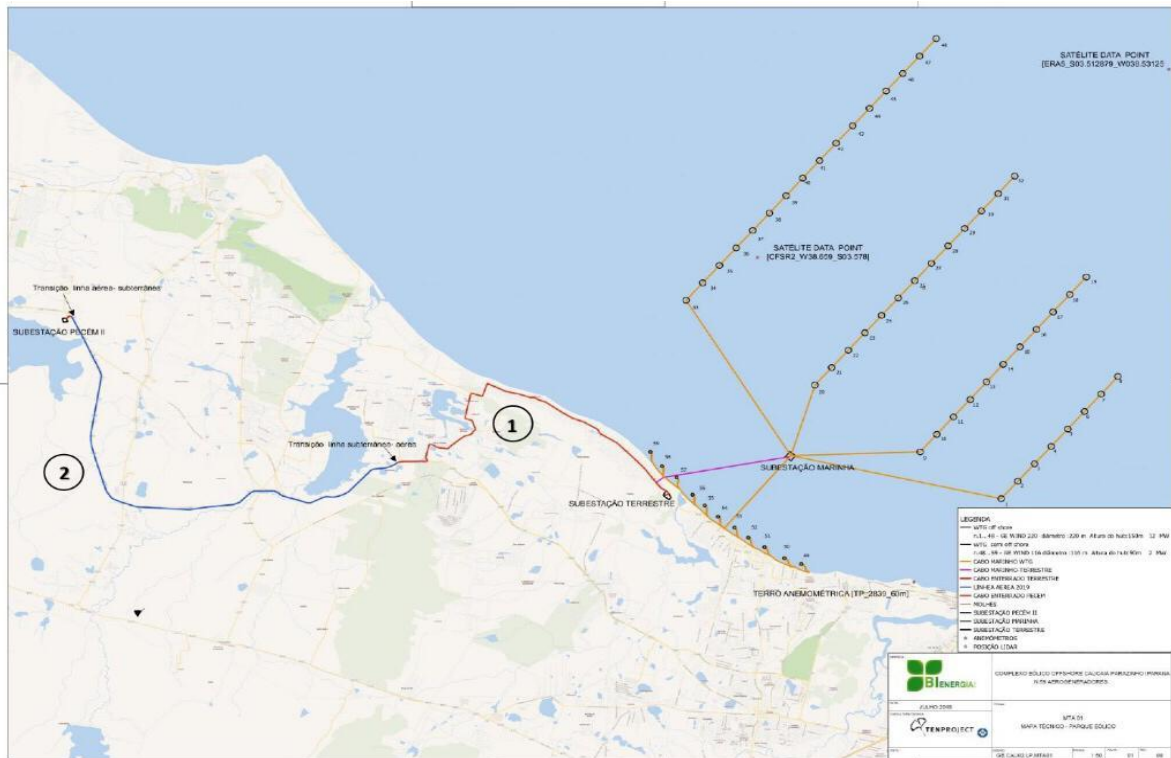
contemplada com a implantação de mais dois reservatórios no âmbito do Programa de Açudagem, o açude Itapebussu (29,2 hm<sup>3</sup>), no município de Maranguape e o açude Anil (15,0 hm<sup>3</sup>), no município de Caucaia.

#### **4.1.7.3 Caracterização Geral dos Cursos D'água a Serem Atravessados pelo Empreendimento**

O parque eólico compreende 48 aerogeradores offshore, 11 molhes onde serão instalados aerogeradores, além de uma subestação marinha, uma terrestre e linha de transmissão com trechos subterrâneos e aéreos. A conexão do parque eólico offshore com o Sistema Interligado Nacional (SIN) será feita através de uma linha de transmissão a ser construída para conectar a subestação terrestre do parque, localizada em Icaraí, com a subestação da Companhia Hidrelétrica de São Francisco (CHESF) Pecém II. Esta linha tem tensão nominal de 230 kV, com 3 fases e 2 circuitos. O comprimento total da linha é de 30,4 km, sendo 11,4 km subterrânea e 19 km aérea.

Todo o traçado foi concebido para minimizar as intervenções nos cursos d'água existentes na área diretamente afetada pelo empreendimento conforme apresentado na Figura 4.1.7.3.1 e descrito a seguir, sendo representado pelo item 1 o traçado da linha subterrânea e pelo item 2 o traçado da linha de transmissão aérea.

**Figura 4.1.7.3.1 – Traçado aéreo e subterrâneo do empreendimento.**



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

#### 4.1.7.3.1 Linha de Transmissão Subterrânea

A linha de transmissão subterrânea que partirá da subestação terrestre seguirá paralela ao traçado da CE 090, assim não ocasionará nenhuma alteração nos recursos hídricos, pois será fixada a obra de arte/ponte preexistente.

O traçado foi escolhido a partir da análise dos aspectos ambientais, por reunir diversos fatores que reduzem de forma relevante os impactos ambientais, tais como: área altamente antropizada, a travessia das áreas alagadas, rios e lagos, já possuem infraestrutura construída, de forma que o projeto não ocasionará interferência direta nos recursos hídricos da área, conforme descrito no item características do empreendimento.

Raoni Ceci

#### **4.1.7.3.2 Linha de Transmissão Aérea**

O empreendimento proposto não ocasionará intervenções diretas nas Unidades de Conservação da área em estudo. Ressalta-se que a linha de transmissão aérea que compõe o as obras complementares do Parque Eólico que será instalado em paralelo ao traçado da CE-085 cruzarão a APA do Lagamar do Cauípe. Tal posicionamento é factível por este tratar-se de um empreendimento imprescindível para o desenvolvimento regional, por tratar-se de geração de energia, fator propulsor de desenvolvimento, além de utilizar fonte renovável.

#### **4.1.7.4 Classe de Enquadramento dos Cursos D'água**

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), conhecida também como Lei das Águas, foi promulgada pela Lei Federal nº 9.433/97, tem como objetivos assegurar à atual e às futuras gerações disponibilidade de água em quantidade e qualidade necessárias, promover a utilização racional e integrada dos recursos hídricos e a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

Entre os instrumentos de gestão estabelecidos pela mesma, encontra-se o enquadramento de corpos d'água em classes, segundo os usos preponderantes da água, que visa indicar a meta de qualidade hídrica em função da classificação por tipo de uso, de acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357. Essa meta deve ser de longo prazo, pois o instrumento também é de planejamento e contempla estudos de diagnóstico, prognóstico, proposta de enquadramento e programa de efetivação, conforme procedimentos gerais descritos na Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) nº 91. Dessa forma, o instrumento busca assegurar às águas qualidades compatíveis com os usos mais exigentes a que forem destinadas e, simultaneamente, diminuir os custos de combate à poluição.

Esse instrumento adota o enquadramento por classes de acordo com o uso preponderante, sendo que cada classe tem uma série de parâmetros de qualidade da água a serem atendidos, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05. A classificação é realizada em cinco grupos: Classe Especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4. A Classe Especial representa os usos mais exigentes, ou seja, aqueles que requerem melhor qualidade da água, como a proteção e a preservação da vida aquática; o outro extremo, a Classe 4, expressa os usos menos exigentes, como a navegação e a harmonia paisagística (Figura 4.1.7.4.1).

**Figura 4.1.7.4.1: Classes de enquadramento e respectivos usos e qualidade da água.**



Fonte: Agência Nacional de Águas, 2019.

As bases para estudos de enquadramento são estipuladas em duas resoluções federais: a Resolução nº 357 do CONAMA e a Resolução nº 91 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. A Resolução nº 357/05 indica as classes de qualidade ambiental de rios conforme seus usos preponderantes e estabelece os limites dos diversos parâmetros. Já a Resolução CNRH nº 91/08 apresenta as etapas a serem seguidas em um estudo de enquadramento.

O enquadramento dos corpos d'água é influenciado por aspectos técnicos, econômicos, sociais e políticos, sendo as metas de qualidade das águas passíveis de

implementação. A seleção dos rios a serem enquadrados é um processo decisório no condicionamento dos usos da água, na capacidade suporte do recurso hídrico classificado e nos custos para redução da poluição, sendo que os demais serão definidos como Classe 2 por força da Resolução CONAMA nº 357/05.

Nas bacias hidrográficas brasileiras, após a seleção dos cursos d'água a serem enquadrados, são definidos os seus usos atuais e futuros. Nessa etapa se verifica a necessidade de um inventário de captações e lançamentos de efluentes no corpo receptor, estudo complementado através de reuniões com membros dos comitês e outros agentes locais que possuam melhor conhecimento do uso local dos recursos hídricos.

Os usos futuros são identificados através de informações fornecidas pelas empresas municipais ou estaduais através de seus planos e programas para ações futuras, como a implantação de novas estações de tratamento de efluentes domésticos, previstas nos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSBs) e no planejamento estratégico das empresas de esgotamento sanitário.

O diagnóstico da qualidade da água é uma das etapas iniciais do enquadramento e auxilia na identificação dos pontos críticos de qualidade e, assim, elencar conformidades e desconformidades com o enquadramento proposto. Nem sempre a malha de monitoramento qualitativo do órgão gestor é eficiente, seja em termos de quantidade de estações ou de periodicidade das coletas. Deve-se também fazer uso de outros dados de qualidade da água, especialmente aqueles coletados pelas empresas de saneamento junto às suas captações e lançamentos, bem como as declarações anuais de uso exigidas nas outorgas de lançamento ou nos licenciamentos ambientais.

Após o diagnóstico dos recursos hídricos a serem estudados e seus usos atuais e futuros, pode-se enquadrá-los preliminarmente conforme o disposto na Resolução CONAMA nº 357/05 em função dos usos preponderantes. Vale considerar que o enquadramento é um instrumento de planejamento baseado na qualidade exigida pelo uso, e não na qualidade apresentada pelo rio atualmente.

Alguns estados do Nordeste iniciaram o processo de enquadramento dos corpos d'água, tendo utilizado como princípio norteador legislações em desuso tal



como a portaria nº 013/76 do Ministério do Interior. Foi o caso do estado do Rio Grande do Norte, enquadrando apenas rios, riachos e lagoas, e do estado da Paraíba no ano de 1988, se baseando na resolução CONAMA nº 20/86, mas também se atendo apenas a rios e riachos. Desta forma, há poucas experiências no uso da legislação atual, a resolução CONAMA nº 357/05, principalmente na região Nordeste, tão pouco na região semiárida.

O Estado do Ceará que foi pioneiro no Nordeste na implantação de uma política de recursos hídricos, no entanto o enquadramento não foi incluso como instrumento de gestão na Lei Estadual de Recursos Hídricos nº 11.966/92. O artigo nº 50 contemplava como instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos: a outorga; a cobrança e o rateio de custo dos recursos hídricos.

O Estado do Ceará também é pioneiro na implantação dos instrumentos de gestão cobrança e outorga de recursos hídricos, com o objetivo de alcançar a racionalização e a otimização do uso da água, porém existe uma lacuna quando a legislação deve ser aplicada pela ausência do enquadramento dos seus corpos d'água. Somente com a nova lei estadual de recursos hídricos Nº 14.844/10 é que o enquadramento passou a configurar como instrumento de gestão dos recursos hídricos.

A Superintendência Estadual do Meio Ambiente - SEMACE, através do seu Conselho Estadual do Meio Ambiente - COEMA publicou a resolução COEMA nº 02/17 que revogou a resolução nº 154/02, que dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Sendo o instrumento utilizado pelo Estado do Ceará com maior proximidade do tema enquadramento dos corpos d'água.

#### **4.1.7.5 Mapeamento das nascentes e áreas alagáveis**

De acordo com o Mapa 4.1.7.5.1, observa-se que existem três áreas alagáveis ao longo do empreendimento. São estas: Lagoa do Banana, Lagamar do Cauípe e Lagamar Gererau.

Pode-se citar também a área alagável do rio barra nova, a qual é influenciada pelo índice pluviométrico regional, além do fechamento do estuário por meio da criação de um cordão arenoso. Cordão este que pode ser formado pela deposição de sedimentos de origem marinha, bem como, através de ações de origem antrópica para o aumento do volume d'água da barra nova, com a finalidade de realizações de esportes aquáticos, tal como kitesurf.

Porém, vale ressaltar que as instalações do empreendimento farão proveito de estruturas já existentes, aproveitando o traçado de certas rodovias, como a CE-085. Tal situação subsidia o Projeto Executivo tendo em vista que estas rodovias estão fora da área de influência das áreas alagáveis e em cota altimétrica superior ao referente da cota de cheia.

Aliado a esse fator, Lagoa do Banana e Lagamar do Cauípe apresentam vazões baixas, sendo muitas vezes influenciados diretamente pela recarga de fluxo subterrâneo, fato que favorece a formação das lagoas interdunares, como é o caso de ambas.

Desta forma serão apresentadas algumas imagens a seguir, procurando contrastar períodos de cheia e de escassez hídrica. Foram obtidas imagens de satélite do Google Earth Pro no ano de 2014 e no ano de 2019, pós estação chuvosa, para as Lagoas do Banana, Gereraú, Cauípe e Barra Nova (Figura 4.1.7.5.1, 4.1.7.5.2, 4.1.7.5.3, 4.1.7.5.4, 4.1.7.5.5, 4.1.7.5.6, 4.1.7.5.7, 4.1.7.5.8). Em relação às nascentes, não foi verificado registro bibliográfico.

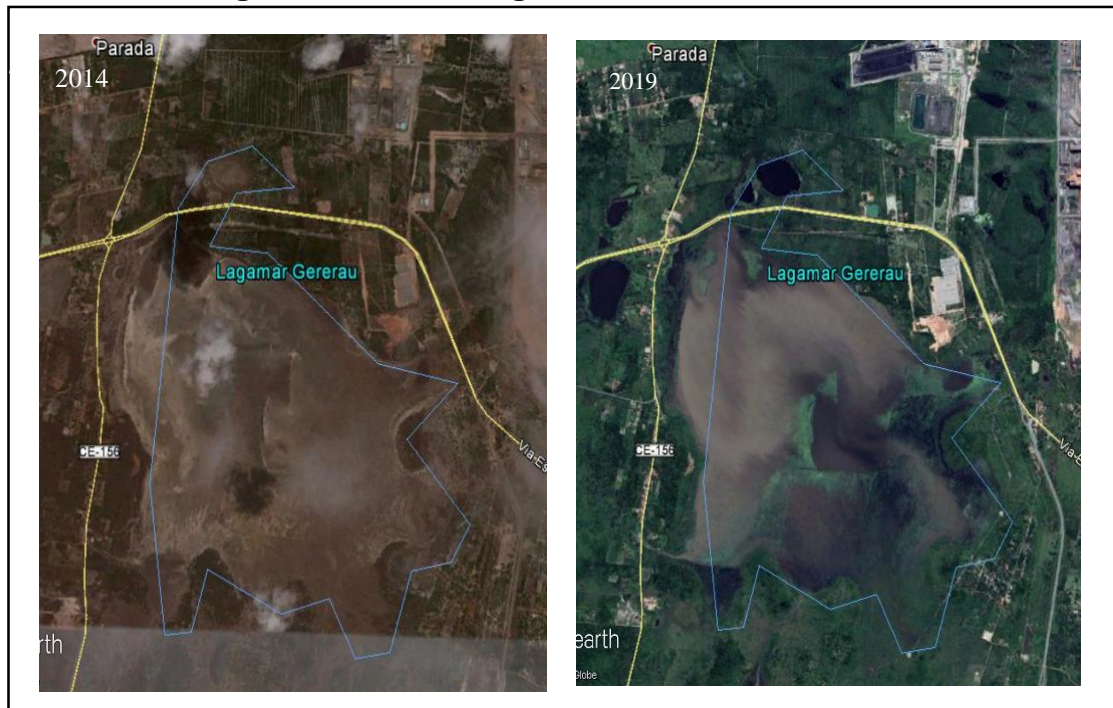


**Figura 4.1.7.5.1 – Lagoa do Banana em 2014 e 2019.**



Fonte: Google Earth Pro, acessado em 2019.

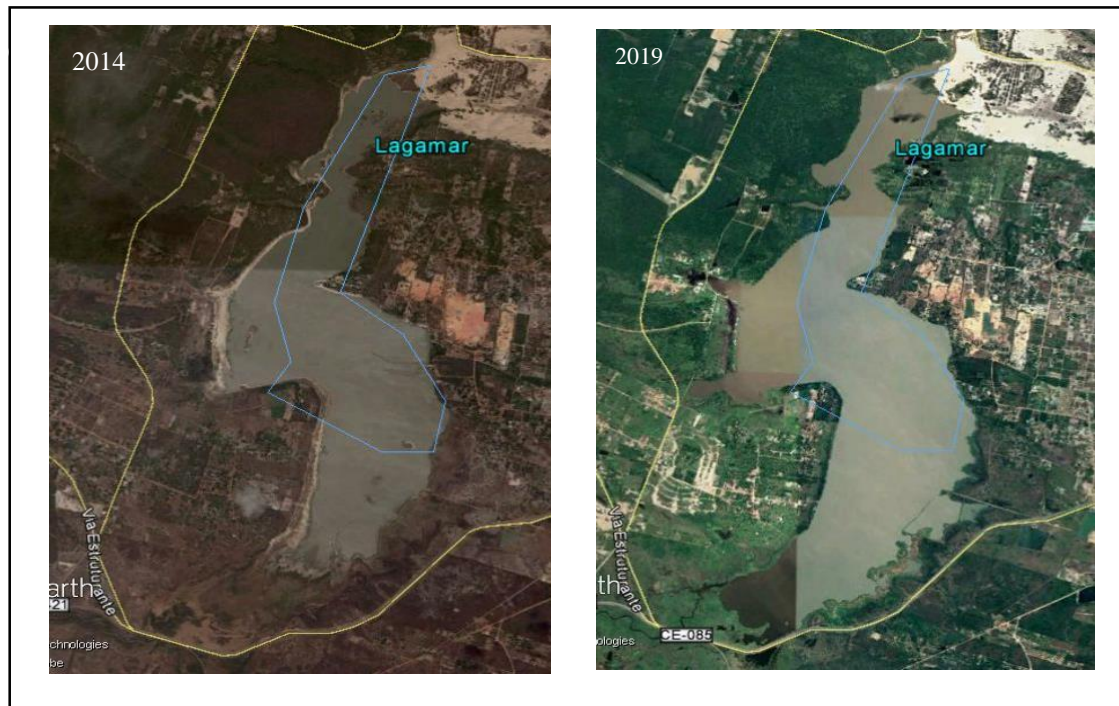
**Figura 4.1.7.5.2 – Lagoa Gereraú em 2014 e 2019.**



Fonte: Google Earth Pro, acessado em 2019.



**Figura 4.1.7.5.3 – Lagoa do Cauípe em 2014 e 2019.**



Fonte: Google Earth Pro, acessado em 2019.

**Figura 4.1.7.5.4 – Barra Nova em 2014 e 2019.**



Fonte: Google Earth Pro, acessado em 2019.



**Figura 4.1.7.5.5 – Lagoa do Cauípe**



Fonte: Autor, 2019

**Figura 4.1.7.5.6 – Lagoa do Gereraú**



Fonte: Autor, 2019

**Figura 4.1.7.5.7 – Barra nova**



Fonte: Autor, 2019

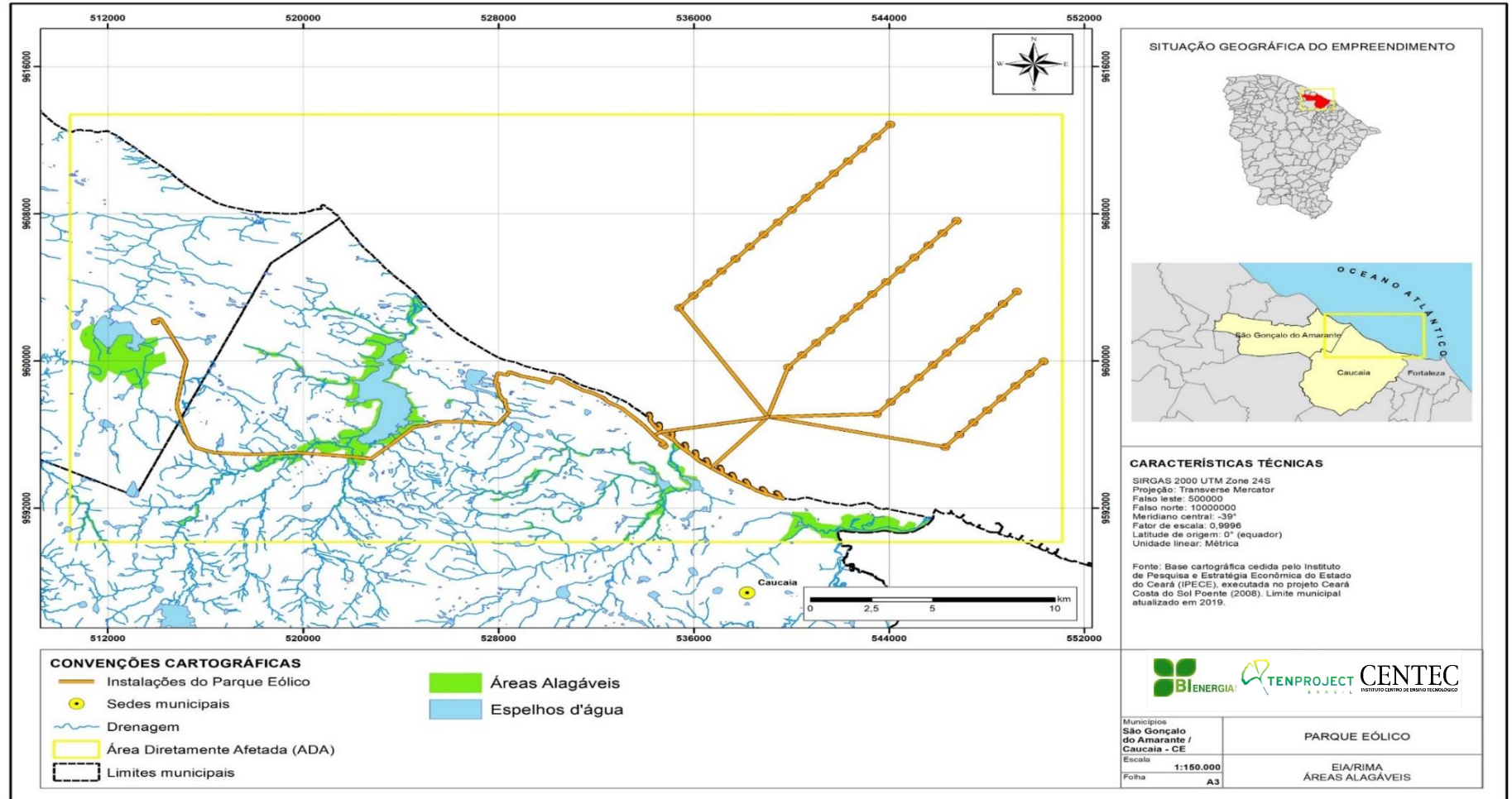
**Figura 4.1.7.5.8 – Lagoa do Banana**



Fonte: Autor, 2019



### Mapa 4.1.7.5.1 – Áreas alagáveis



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Raoni Ceci

#### 4.1.7.6 Caracterização Hidrogeológica da Área do Empreendimento

##### 4.1.7.6.1 Hidrogeologia

Para o conhecimento das peculiaridades da hidrodinâmica e dos parâmetros físicos de uma unidade geológica em termos de capacidade para armazenar, liberar e o fluxo da água subterrânea, é realizada a avaliação hidrogeológica da área.

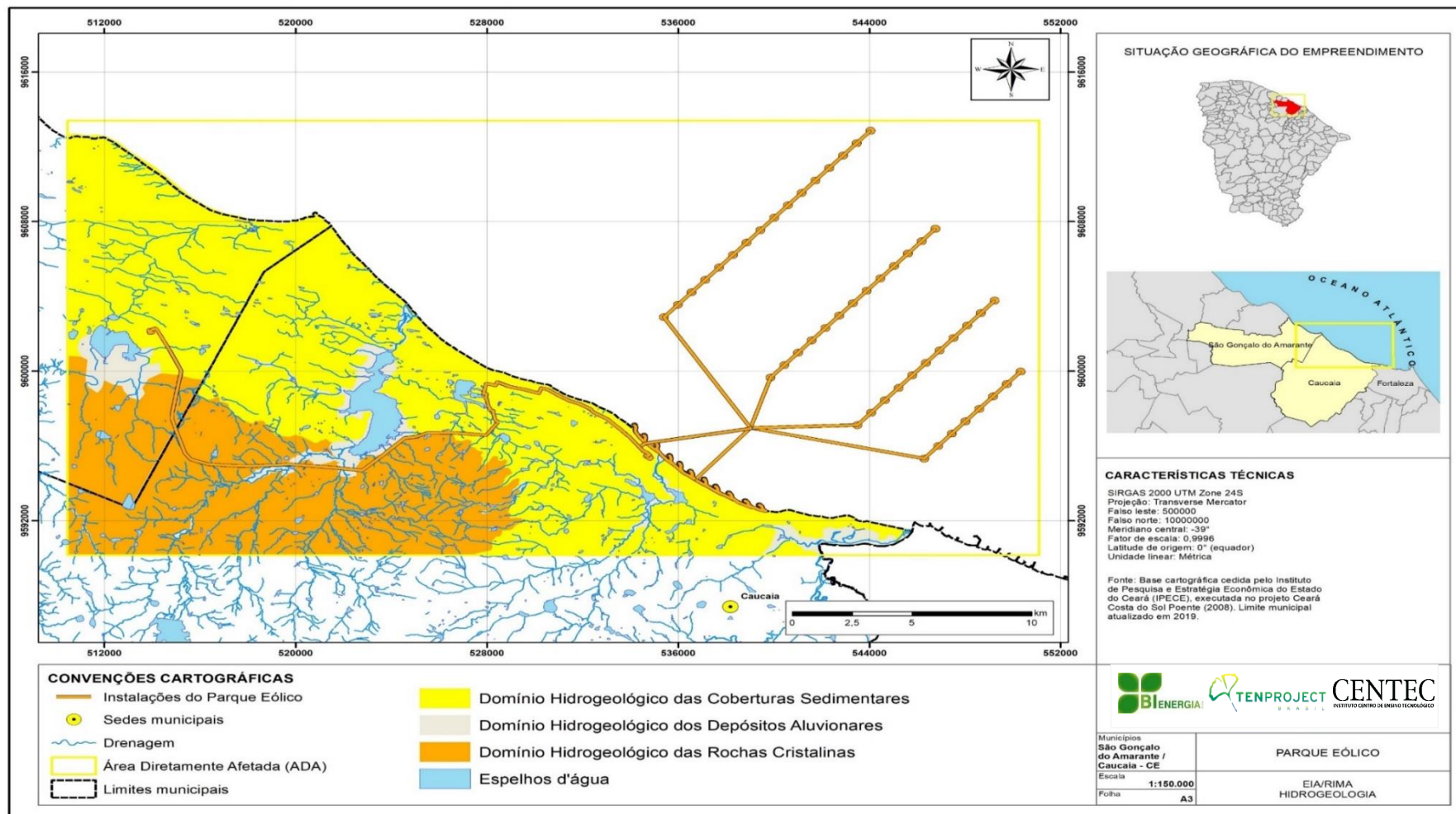
Constituindo 97% da água doce e líquida que existe na terra, as águas subterrâneas são fundamentais para qualquer estudo que envolva o meio físico natural, objetivando planejar o uso da água e a ocupação do solo com uma visão de desenvolvimento sustentável.

O fluxo das águas subterrâneas se dá, preferencialmente, a partir das zonas de cotas mais elevadas para as zonas de cotas mais baixas, em direção ao mar, representadas pelos leitos dos principais cursos d'água que percorrem a área do empreendimento, sendo eles: São Gonçalo, Gereraú, Cauhipe e Ceará.

Pode-se dizer que o escoamento subterrâneo é fortemente influenciado pela rede drenagem superficial. Por outro lado, os poços de bombeamento também exercem uma forte influência na distribuição das cargas hidráulicas, alterando significativamente as direções de fluxo e, conseqüentemente, o escoamento das águas subterrâneas.

O empreendimento está localizado na região de Caucaia e São Gonçalo do Amarante, na porção norte do estado do Ceará, a qual é caracterizada pela presença de aquíferos subterrâneos. Em termos hidrogeológicos, pode-se verificar a presença de quatro aquíferos no município de Caucaia e São Gonçalo: Dunas/Paleodunas, Aluviões, Barreiras e Cristalino (Mapa 4.1.7.6.1).

Mapa 4.1.7.6.1 – Domínios hidrogeológicos presentes na área do empreendimento



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Raoni Ceci

#### 4.1.7.6.1.1 Aluviões

Aluviões são definidos pela presença de aquíferos livres, possuem espessuras de até 10 metros e nível estático sub-aflorante inferior a 2 metros, quando ocorrem em áreas cristalinas, podem aumentar a medida em que os cursos d'água interceptam áreas de litotipos sedimentares. São caracterizados por sedimentos de granulometria muito fina, frequentemente intercalados com níveis argilosos e orgânicos, oriundos de uma ação de erosão que ocorre sobre rochas sedimentares e migração das partículas derivadas das zonas de mangue.

Os depósitos aluvionares são representados por sedimentos recém encontrados nas margens das drenagens da região, sendo compostos de areia, conglomerados, seixos, lateritas residuais e níveis argilosos associados a fase úmida do sistema de drenagem. Caracterizam-se pela heterogeneidade litológica resultante de um processo de sedimentação fluvial com irregular energia de transporte, gerando litótipos clásticos com granulometria variada e composição oscilando de silto-argilosas a areias grosseiras.

Nas áreas de foz para o oceano sofrem influência de sedimentação marinha com contribuição de bioclastos e água salina. Apresentam maior expressão geográfica ao longo dos rios São Gonçalo e Cauípe, onde o regime intermitente das águas permite o contato visual direto com as manchas aluvionares.

Nas lagoas costeiras são depositados sedimentos pelíticos e grande quantidade de matéria orgânica, sendo comum a ocorrência de diatomito, muitas vezes com volume suficiente para justificar a sua exploração econômica.

Próximo à costa, sob influência marinha, os sedimentos aluvionares correspondem a vasas escuras, fluvio-marinhas, onde se misturam materiais pelíticos e matéria orgânica em decomposição, formando extensos manguezais, alagados na preamar. Destaca-se na região da Bacia Metropolitana as áreas de mangues associadas ao Rio Ceará, bem como a lagoas, que sofrem influência da maré, denominadas lagamar.

Em geral, é uma boa alternativa como manancial, tendo em vista sua importância hidrogeológica, principalmente em regiões semiáridas com predomínio de rochas cristalinas. Em virtude de sua alta permeabilidade dos termos arenosos, compensa as pequenas espessuras, produzindo vazões significativas. Além da qualidade química, a qual apresenta padrões bastante aceitáveis de dureza.

#### 4.1.7.6.1.2 Dunas/Paleodunas

As Dunas/Paleodunas constituem um sistema aquífero único, o que impossibilita uma nítida distinção a nível regional. Em geral, estas repousam sobre os sedimentos da Formação de Barreiras ou sobre as manchas aluvionares, possuindo como característica básica a presença de uma dupla função hidrogeológica, refletida no funcionamento do sistema como aquífero principal e aquífero de transferência do potencial hídrico para unidades sotopostas.

As dunas móveis formam um cordão contínuo de areias secas bordejando a linha costeira, constituídas por areias claras, comumente esbranquiçadas, de granulação fina, formadas por grãos de quartzo arredondados e bem selecionados. Enquanto que as dunas fixas avançam um pouco mais para o interior, repousando discordantemente sobre os sedimentos do Grupo Barreiras, assim como as paleodunas, em cujos níveis já se têm o desenvolvimento pedogenético.

Na área de estudo elas bordejam todo o litoral, representando as maiores elevações dos pacotes sedimentares formando campos homogêneos, recortados ocasionalmente pela rede de drenagem e possibilitando a existência de lagoas interdunares, comumente observados na área de entorno do empreendimento.

Normalmente as águas das Dunas/Paleodunas são freáticas, com nível estático predominantemente inferior a 5m e média de 4m (Figura 8.31), reflexo da pequena espessura desses corpos sedimentares. Alguns níveis apresentam profundidades que chegam a 15m, reflexo maior da localização do poço, geralmente associado à área de recarga e elevadas altitudes das Dunas.



O comportamento de fluxo das águas subterrâneas nas Dunas/Paleodunas é refletido pelas águas que fluem em direção ao mar, mas que, porém, sofrem alteração de percurso ao encontrarem o fluxo condicionado pela recarga de cordões de dunas mais próximas a linha de praia em direção ao continente, formando as lagoas interdunares.

A recarga do aquífero é realizada, principalmente, através das chuvas, enquanto que suas maiores perdas d'água são por consequência da intensa evapotranspiração, associada a um nível estático sub-aflorante, além da contribuição para a rede de drenagem, lagoas e para aquíferos subjacentes. Neste contexto a Formação Barreiras representa uma unidade de permeabilidade reduzida e compõe a base do aquífero Dunas/Paleodunas. A recarga para o sistema barreiras pode ocorrer em áreas mais elevadas com fluxo hídrico em direção à costa, ou ainda pode ser abastecido por excesso de carga hidráulica presente no Sistema Dunas/Paleodunas associada a condições satisfatórias de porosidade e permeabilidade da rocha do Sistema Barreiras, permitindo assim o acúmulo de água subterrânea e consequente formação do sistema aquífero médio (Sistema Barreiras).

O Sistema Dunas/Paleodunas é também caracterizado pela presença numerosa de lagoas intermitentes. Nos períodos de chuvas, com a elevação da cota da superfície piezométrica, o aquífero assume um caráter efluente, contribuindo para o aumento do volume de águas das lagoas e riachos. Essa condição é perfeitamente compreendida quando se observam as diferenças de cotas (< 1 metro) entre os níveis estáticos de cacimbas e de poços tubulares, em relação ao da superfície das lagoas e riachos localizados próximo ao ponto observado.

Quanto à qualidade natural da água do aquífero dunas em termos físico-químicos e bacteriológicos, apresenta uma boa qualidade, sendo potencialmente aceita como potável para consumo humano dentro das prerrogativas impostas pela portaria nº 2914 do MS, mudando quando submetida ao uso e ocupação desordenado do solo e a mercê dos elementos poluidores liberados pela indústria ou pela ausência de saneamento básico.



#### 4.1.7.6.1.3 Formação de Barreiras

Trata-se de depósitos terciários formados por arenitos argilosos, de cores distintas e variadas, com matrizes de cores avermelhadas, amareladas e cinza-esbranquiçadas. Muitas vezes a matriz é caulínica, ou seja, pode apresentar cimento argiloso e ferruginoso, fazendo-se presente níveis lateríticos e marcada variação faciológica. A formação de barreiras possui espessuras normalmente inferiores a 60 metros, predominando as que estão na faixa de 40 a 50 metros. (CEARÁ, 2008).

São caracterizadas por apresentar uma expressiva variação litológica representada por intercalações de níveis arenosos, silticos e siltico-argilosos que são capazes de refletir condutividades hidráulicas variadas, tanto de forma vertical quanto horizontal. Ocorre na área mais próxima ao litoral, especificamente entre rochas do embasamento cristalino e o Sistema de Dunas/Paleodunas.

O domínio hidrogeológico composto pelos sedimentos da formação Barreiras também pode ser caracterizado por evidente variação de níveis clásticos com porosidades distintas e permeabilidades que, quanto a produtividade de água subterrânea, se traduzem em potencialidades diferentes. Essa característica confere uma formação geológica que possui baixa permeabilidade onde a água é transmitida de forma lenta.

#### 4.1.7.6.1.4 Meio Cristalino

O meio cristalino ou fissural, se caracteriza pela presença de poços tubulares, os quais possuem profundidade que varia entre 30 a 80 metros, predominando os que estão na faixa de 50 a 60 metros. Neste meio, a porosidade intergranular é praticamente nula, assim como a permeabilidade.

A ocorrência da água subterrânea está condicionada a presença de uma porosidade e permeabilidade secundárias representadas, no geral, por fraturas que proporcionam ao sistema cristalino a configuração de um sistema anisotrópico e heterogêneo.

As vazões produzidas pelos poços são pequenas em comparativo ao meio sedimentar poroso, e a água, em função da falta de circulação e dos efeitos do semi-árido é, na maioria das vezes, classificada como salobra ou, até mesmo, salinizada. Essas características e condições atribuem um potencial hidrogeológico relativamente baixo para as rochas cristalinas, no entanto, a sua importância como alternativa de abastecimento em casos de pequenas comunidades, ou até mesmo reserva estratégica em períodos prolongados de estiagem, não é diminuída (CEARÁ, 2008).

#### **4.1.7.6.2 Levantamentos do Nível do Lençol Freático**

As informações de caráter hidrogeológicas foram obtidas através das avaliações quali-quantitativas realizadas no ano de 2016 pela Companhia de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – COGERH. Para tal foi realizado um cadastro de poços dos tipos tubulares rasos e profundos, amazonas (cacimbões) e lagoas (representam a exposição de lençol freático) que serviram como fonte de informação no que se refere às condições de ocorrência e circulação da água subterrânea na região.

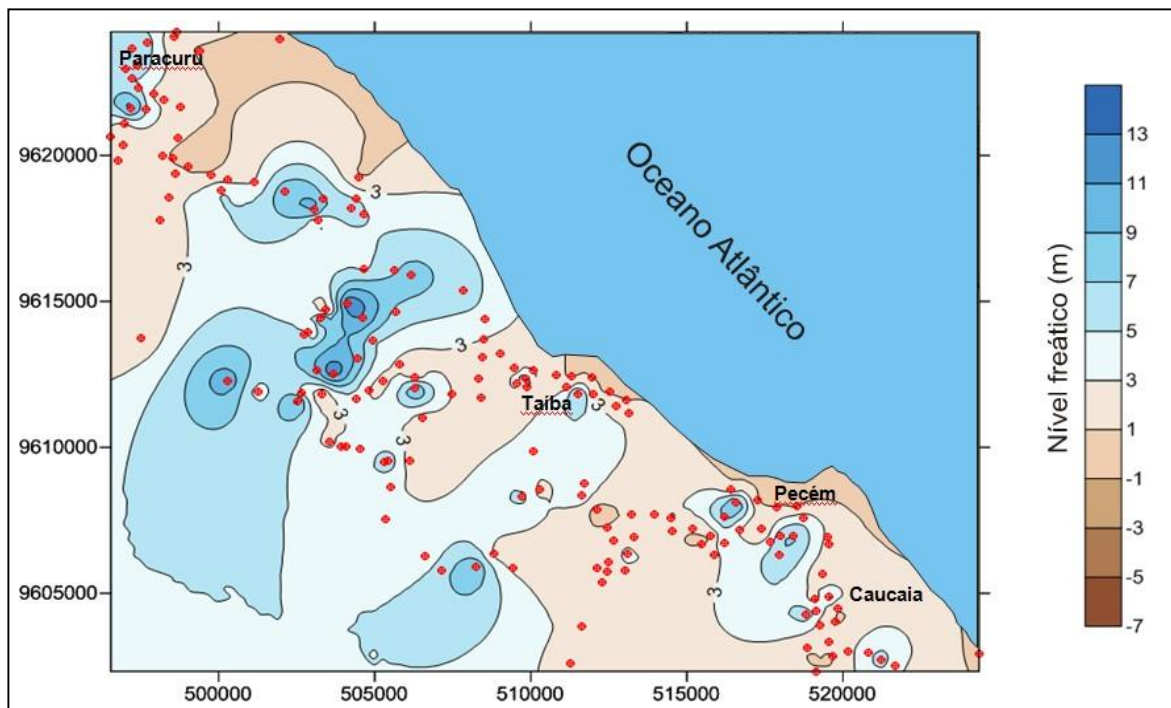
O estudo da piezometria forneceu informações sobre o comportamento dos níveis freáticos, bem como as interações entre as diferentes informações do meio físico (geologia, solos e geomorfologia). A metodologia usada pela COGERH para análise sobre a piezometria da área constituiu-se na seleção de poços com maior representatividade na região em estudo, nivelamento dos poços com GPS geodésico, realização de medida dos níveis estáticos quando da execução do levantamento planimétrico, realização de medida das alturas de boca de todos os poços levantados e a medida de níveis estáticos para identificação de suas variações ao longo do final do período chuvoso do ano de 2016.

Através dos dados obtidos, foi elaborado um mapa prévio para a avaliação do comportamento da superfície freática da região, onde utilizou-se o programa Surfer Versão 9, da Golde Software, que forneceu informações sob a forma de mapas de

isolinhas, o que permitiu as avaliações preliminares sobre as condições de piezometria da região.

O resultado do estudo está apresentado na Figura 4.1.7.6.2.1, onde foi identificado que os níveis freáticos da área de estudo são rasos e apresentam profundidades que variam de 1 a 7 metros.

**Figura 4.1.7.6.2.1 – Mapa de isolinhas para os valores dos níveis freáticos medidos nos poços cadastrados na área de pesquisa.**



Fonte: COGERH, 2016.

A potenciometria do aquífero livre representado pelo sistema Dunas/Paleodunas evidencia que a zona de recarga está associada aos altos topográficos, enquanto que a zona de descarga é compreendida pela região do baixo curso do rio Siupé.

A área pesquisada possui uma ampla relação entre os mananciais subterrâneos e superficiais, indicando uma tendência ao afloramento na estação chuvosa. Fato que ocorre nas lagoas existentes na área, as quais apresentam uma exposição do nível freático da região quando se encontra em sua carga hidráulica

4.230

*Raoni Ceci*

máxima, ou seja, em períodos de chuva. Observando a potenciometria, o aquífero exerce sua descarga na principal drenagem presente na área, representada pelo rio Siupé, caracterizando o curso de água como efluente no trecho considerado.

As cotas piezométricas na área têm valores médios que variam de 2 a 30m. Esses dados demonstram alta variabilidade de cotas do aquífero livre na área, algumas praticamente ao nível do mar. Na região existe um aproveitamento acentuado do recurso hídrico subterrâneo, através de captação em poços tubulares ou do tipo amazonas, ou ainda, através de captações diretas instaladas nos vários lagos que expõem o nível freático a superfície.

#### **4.1.7.6.3 Fluxo do Lençol Freático**

A elaboração de mapas de fluxo faz parte de uma rotina em estudos hidrogeológicos quando se investiga as formas de circulação da água subterrânea. A superfície que representa o nível de pressão (carga) do aquífero é chamada de superfície piezométrica. Para aquíferos confinados, submetidos a elevadas pressões pode-se utilizar o termo superfície potenciométrica.

Os níveis piezométricos podem ser obtidos através de unidades de medição denominadas piezômetros. Poços tubulares e do tipo amazonas com profundidades que interceptam o nível freático também podem funcionar como unidades de medidas, os quais são comumente presentes na área de estudo. A Figura X ilustra o posicionamento de piezômetros poços e cacimbões que podem fornecer informações sobre os níveis piezométricos em aquíferos livres (área estudada) e confinados (Figura 4.1.7.6.3).

A instalação de piezômetros em diferentes pontos e a profundidades específicas para o aquífero estudado permite mapear as variações de carga piezométrica, a partir das quais podem ser traçadas linhas de igual carga ou potencial piezométrico, denominadas linhas equipotenciais. Entre pontos de alta e baixa carga piezométrica, ocorrem os fluxos d'água subterrâneos, composto por vetores que fazem ângulos retos com as linhas equipotenciais

Observou-se uma relação entre a variação topográfica e a do nível piezométrico. As dunas, por serem as áreas topograficamente mais elevadas, apresentam níveis de piezometria mais elevados, em torno de 30m. Já nas áreas de depressões, representadas pelas calhas das principais drenagens, os níveis piezométricos apresentam suas altitudes menores, em torno de 2m. O estudo destacou um fluxo descendente em direção as drenagens fluviais, bem como em direção ao nível do mar.

#### **4.1.7.7 Caracterização da Hidrogeologia Regional**

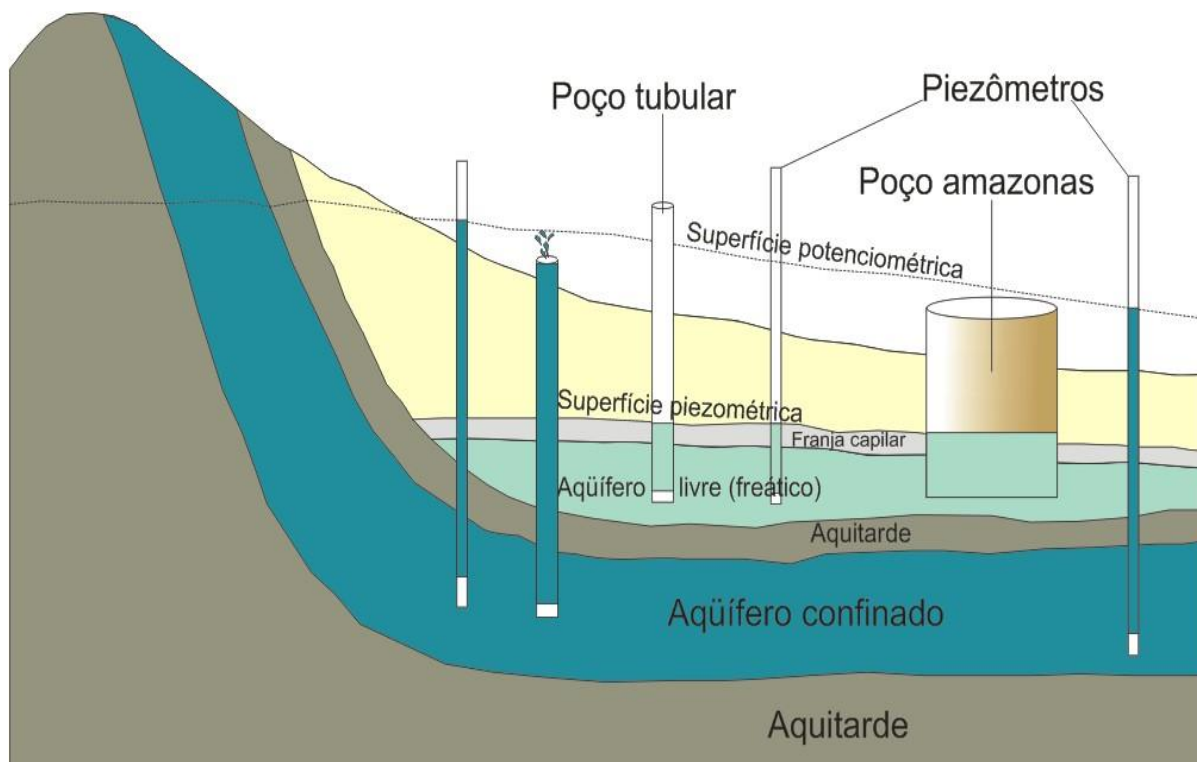
As características hidrogeológicas de uma região estão diretamente relacionadas às condições geológicas das rochas presentes e aos fatores climáticos atuantes. A hidrogeologia da região de Caucaia e São Gonçalo do Amarante é composta por quatro aquíferos, sendo eles: Dunas/Paleodunas, Aluviões, Barreiras e Cristalino (Figura 4.1.7.7.1).

O sistema aquífero Dunas/Paleodunas presente em larga escala na costa cearense, engloba as unidades Dunas Móveis, Dunas Fixas e Paleodunas, pode ser considerado como um sistema aquífero único, uma vez que possui características estratigráficas e hidrodinâmicas similares. Tem como recarga fundamental uma parcela da precipitação pluviométrica devido a sua infiltração eficaz. Constitui-se num aquífero homogêneo, isotrópico, com porosidade e permeabilidade primárias, clásticas, livre e freático (raso), onde o nível estático está unicamente submetido à pressão atmosférica.





**Figura 4.1.7.6.3 – Ilustração esquemática das unidades que funcionam como auxílio às medidas dos níveis piezométricos (piezômetros, poços tubulares e poços tipo amazonas) em associação com os diferentes ambientes aquíferos (livre e confinado).**



Fonte: COGERH, 2016.

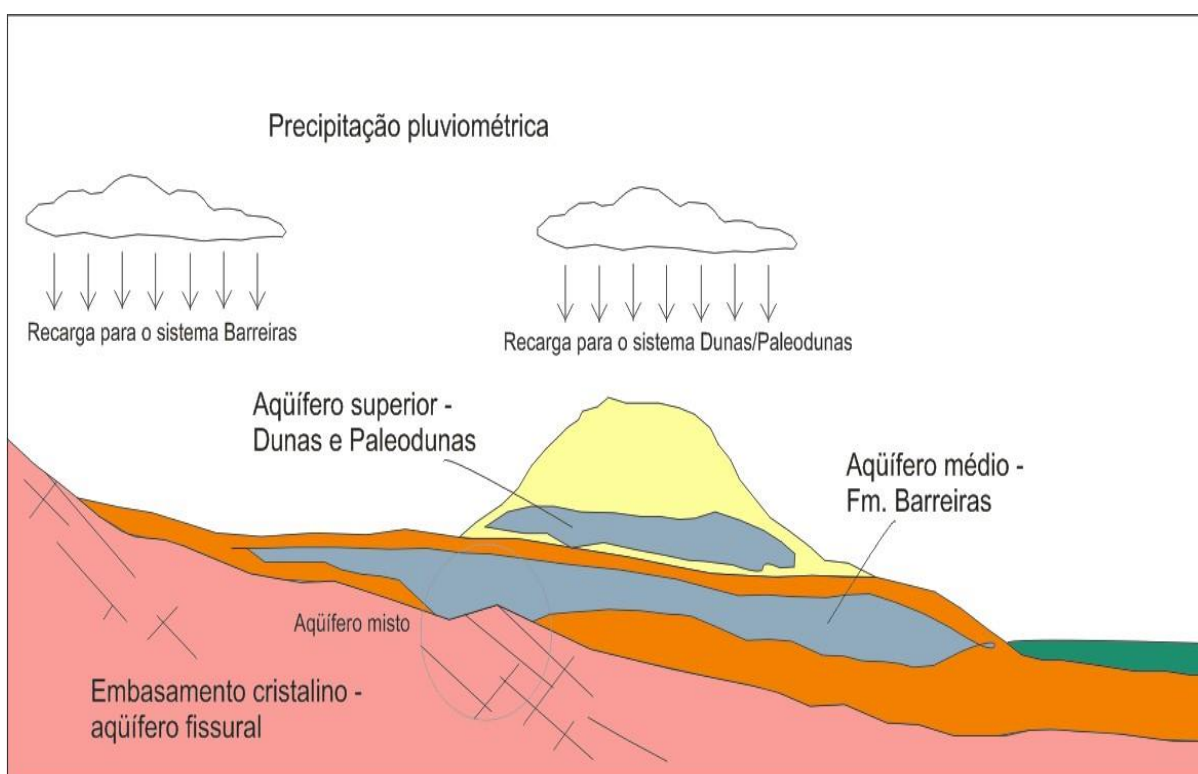
As Barreiras são representadas por arenitos argilosos, de cores variegadas, com matizes avermelhados, amarelados e cinza-esbranquiçados, ocorrendo na área mais próxima ao litoral, entre as rochas do embasamento cristalino e o Sistema Dunas/paleodunas. Caracteriza-se por expressiva variação de níveis clásticos com diferentes porosidades e permeabilidades, que se traduzem em potencialidades diferenciadas quanto à produtividade de água subterrânea, devido possuir baixa permeabilidade e transmitir água lentamente.

O meio cristalino, ou meio fissural, é representado por granitos e complexos gnáissicos-migmatíticos que contém gnaisses, xistos e anfibólitos, dentre outros litotipos, que ocorrem predominantemente a partir da CE-085. Sua porosidade intergranular e a permeabilidade são praticamente nulas, e a ocorrência da água subterrânea está condicionada a presença de uma porosidade e permeabilidades

secundárias representadas por fraturas, proporcionando ao sistema cristalino a configuração de um sistema anisotrópico e heterogêneo.

Os depósitos hidrogeológicos aluvionares são representados por sedimentos areno- argilosos recentes, que ocorrem margeando as calhas das principais drenagens, possuem alta permeabilidades, mesmo com pequenas espessuras, os depósitos arenosos chegam a produzir vazões bastante significativas.

**Figura 4.1.7.7.1 - Perfil esquemático das condições de ocorrência e circulação da água subterrânea nos sistemas aquíferos da região costeira do Ceará.**



Fonte: COGERH, 2016.

#### 4.1.7.7.1 Exploração da água subterrânea

Os Sistemas Dunas/Paleodunas presentes ao longo da costa são de grande importância em termos hidrogeológicos. São ambientes de grande porosidade e

permeabilidade, o que confere ao sistema uma excelente condição aquífera. Em síntese, o sistema é bom acumulador e transmissor da água subterrânea.

Para a região estudada, o referido sistema aquífero possui ainda maior importância em decorrência das lagoas existentes na área. Estas lagoas possuem elevado potencial hídrico e são utilizadas como fonte de abastecimento. Mesmo com intensa exploração não se identificou um rebaixamento significativo dos níveis das águas nessas lagoas, no entanto é necessária uma avaliação mais detalhada através de medições das cotas dos espelhos d'água dessas lagoas ao longo de séries históricas mais amplas, promovendo a possibilidade de avaliação das oscilações dos níveis em função das taxas de precipitação. A condição constatada de exploração da água subterrânea através das lagoas inseridas no Sistema Dunas/Paleodunas fornece subsídio para denotar um potencial aquífero extremamente elevado. As lagoas presentes na área representam uma exposição do nível freático em decorrência das respostas aos eventos de precipitação e conseqüente recarga dos mananciais subterrâneos. Dessa forma, estas unidades devem ser controladas no que se refere aos volumes explorados e às condições ambientais, pois qualquer desequilíbrio pode refletir em impactos na unidade aquífera regional.

Verificam-se comumente na área de estudo complexos turísticos e casas de veraneios que são abastecidas através de poços tubulares rasos e profundos construídos para captar água do aquífero superior Dunas/Paleodunas. Com o crescimento acelerado da atividade turística aumenta também a necessidade do recurso hídrico para subsidiar os empreendimentos. Existe uma demanda fixa associada aos moradores locais e outra variável que se refere às casas de veraneio que são utilizadas esporadicamente. Em ambas as situações a água subterrânea é captada através de cacimbões, poços tubulares rasos e profundos construídos para consumo próprio.