



**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
COMPANHIA PAULISTA DE PARCERIAS - CPP**

**ESTRUTURAÇÃO DE PROJETO DE PARCERIA COM A INICIATIVA
PRIVADA PARA VIABILIZAR A CONSTRUÇÃO, OPERAÇÃO E
MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE INTERLIGAÇÃO – TÚNEL IMERSO
SANTOS-GUARUJÁ**

**ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)
TÚNEL IMERSO SANTOS - GUARUJÁ
PRODUTO 1.2.4 - RELATÓRIO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS
CAPÍTULO 8 - SEÇÃO 8.1
PROCESSO IMPACTO 190/2023 (E-AMBIENTE Cetesb.062918/2023-16)**

**SÃO PAULO
JUNHO/2024**



SUMÁRIO

| | | |
|--------|---|-----|
| 8. | DIAGNÓSTICO AMBIENTAL | 200 |
| 8.1 | MEIO FÍSICO | 200 |
| 8.1.1 | Clima | 200 |
| 8.1.2 | Geologia e Recursos Minerais | 222 |
| 8.1.3 | Geomorfologia | 257 |
| 8.1.4 | Pedologia | 265 |
| 8.1.5 | Processos de Dinâmica Superficial | 276 |
| 8.1.6 | Recursos Hídricos | 290 |
| 8.1.7 | Qualidade das águas superficiais e do sedimento | 311 |
| 8.1.8 | Áreas Contaminadas | 357 |
| 8.1.9 | Qualidade do Ar | 361 |
| 8.1.10 | Ruído e Vibrações | 373 |

8. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

8.1 MEIO FÍSICO

8.1.1 Clima

Para a caracterização climática da região onde será implantado o Túnel Imerso Santos - Guarujá optou-se por uma abordagem sistêmica partindo da escala sinótica, considerando os fenômenos que definem o clima da América do Sul e do estado de São Paulo para, posteriormente, abordar as características locais da área de estudo.

8.1.1.1 Circulação Atmosférica

Climatologia do Continente Sul-americano

A climatologia da América do Sul é caracterizada em função da forma, posição e dimensão do continente. Sua extensão territorial no sentido Norte-Sul, desde as baixas até as altas latitudes, bem como seu posicionamento entre os oceanos Pacífico e Atlântico Sul, tornam sua definição climática bastante complexa, sendo afetada por diversas massas de ar.

Caracteriza-se pela presença da cordilheira dos Andes que se estende no sentido S-N desde a Venezuela até o cabo Horn, bem como por dois anticiclones quase estacionários, um no Atlântico Sul (ASAS) e outro no Pacífico Sul (ASPS), dos quais depende a penetração das massas de ar no continente, que definem as características climatológicas locais, aliadas a fatores de meso e micro-escala.

A cordilheira dos Andes impede que as massas de ar tropicais advindas do oceano Pacífico adentrem ao continente. Exceção ocorre quando as massas de ar polares chegam ao interior do continente através da Argentina, onde a cordilheira apresenta menores altitudes. Essas massas de ar chegam relativamente secas em função da perda de umidade devido ao resfriamento adiabático, quando são forçadas a subir a cordilheira a barlavento, no Chile, atravessando depois a Patagônia.

Dentre os principais sistemas atmosféricos de escala sinótica que influenciam o clima no continente apresentam-se o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), a Zona de

Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), o Anticiclone Polar Migratório (APM), além do *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) em suas fases positiva e negativa, respectivamente, *El Niño* e *La Niña*.

O Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) é um sistema semi-estacionário que permanece durante o ano todo, apresentando variações em sua posição e abrangência espacial. Em janeiro exerce influência principalmente sobre a região leste do continente. Sua circulação ocasiona, com exceção do oeste da Amazônia, ventos regionais predominantes no sentido E-NE. Apresenta elevado índice de umidade em função da evaporação oceânica, tornando-o úmido e quente, em função inclusive da elevada incidência de radiação solar.

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um sistema típico do verão do Hemisfério Sul, caracterizado por uma faixa de nebulosidade orientada no sentido NO-SE, atuando sobre a região centro-sul da Amazônia, centro-oeste e sudeste do Brasil, influenciando de forma mais significativa no regime de chuvas das regiões sul e sudeste.

Anomalias positivas da temperatura de superfície do mar (TSM) do Atlântico Sul tendem a intensificar a ZCAS, enquanto anomalias negativas diminuem sua influência. Porém, quando a ZCAS é intensificada, a TSM sofre uma anomalia negativa em função do aumento da nebulosidade, o que enfraquece a ZCAS, estabelecendo assim um esquema de *feedbacks* positivos e negativos, que tendem naturalmente ao equilíbrio.

O Anticiclone Polar é uma massa de ar frio que tem origem sobre o continente Antártico, com circulação anti-horária e ventos divergentes em superfície, originando, nessas regiões, a chamada massa de ar polar. Em sua origem, apresenta características de estabilidade, por ser fria e seca. Entretanto, após passar sobre territórios de latitudes menores, absorvendo calor e umidade, passa a apresentar características instáveis.

Essa massa também é chamada de Anticiclone Polar Migratório (APM), que invade o continente com certa periodicidade e trajetória predominante SW-NE, mas sofre influência tanto do ASAS quanto do ASPs, dependendo da estação do ano no hemisfério sul.

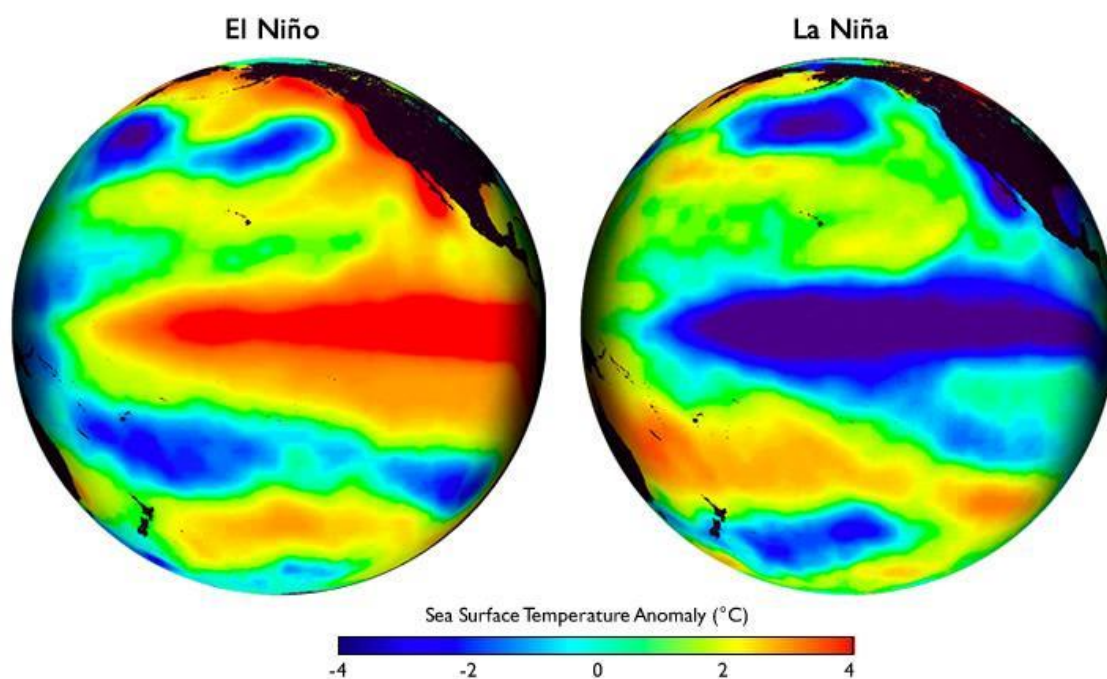
Existem, ainda, dois tipos de fenômenos, estes dentre os Sistemas Convectivos de

Mesoescala: as Linhas de Instabilidade (IT) e os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM). As IT são depressões barométricas na forma de linhas alongadas, formadas sobre os estados do Pará e Amazonas como resultado do ciclo de aquecimento diurno. Tendendo ao estágio de maturidade, deslocam-se para a região sul e sudeste, e dependendo da força de formação das IT, estas podem provocar chuvas fortes e trovoadas de pequena duração, acompanhadas de rajadas de ventos que podem chegar aos 90 km/h. Por fim, é importante salientar que o regime de chuvas do continente é fortemente influenciado pela ocorrência do fenômeno *El Niño* que está associado à fase negativa da Oscilação Sul (ENOS). O *El Niño* representa uma anomalia térmica positiva na TSM do oceano Pacífico durante o verão do hemisfério sul, enquanto a Oscilação Sul caracteriza-se por uma oscilação da pressão ao nível do mar observada entre as regiões da Indonésia e do oceano Pacífico Leste. O fenômeno inverso, ou seja, anomalia térmica negativa na TSM do oceano Pacífico é denominada *La Niña*. Este fenômeno tem duração média, desde o aquecimento até o resfriamento, de 12 a 18 meses, com início costumeiramente no começo do ano, atingindo, assim, sua máxima por volta do mês de dezembro.

Vale ressaltar que a periodicidade dos eventos *El Niño* e *La Niña* não é totalmente conhecida e ocorre de forma não linear. Molion (2016) aponta que o processo geofísico como um todo, ou seja, a alternância entre ambas as fases do ENOS, se dê durante um período entre seis e sete anos até que a viscosidade do oceano restabelece a aparente neutralidade da TSM. Varejão-Silva (2006) aponta para a grande variabilidade temporal das fases e que estas apresentem duração entre três e sete anos cada. Marengo e Oliveira (1999) notaram maior variabilidade temporal nos eventos de *La Niña* e um padrão mais consistente nos eventos de *El Niño*.

A **Figura 8.1.1.1-1** apresenta um histórico da ocorrência do fenômeno, bem como do seu inverso, conhecido por *La Niña*.

Figura 8.1.1.1-1 - Representação da temperatura do mar durante o *El Niño* e *La Niña*



Fonte: Adaptado de NOAA *Education Resources*. Texto da legenda: Anomalia de temperatura da superfície do mar (tradução livre).

A **Tabela 8.1.1.1-1** apresenta um histórico da ocorrência do *El Niño* e da *La Niña* e suas respectivas intensidades.

Tabela 8.1.1.1-1 - Histórico de ocorrência do *El Niño* e *La Niña* e respectivas intensidades

| El Niño | La Niña |
|-----------|-----------|
| 1895-1896 | 1892-1893 |
| 1896-1897 | 1893-1894 |
| 1899-1900 | 1903-1904 |
| 1902-1903 | 1906-1907 |
| 1904-1905 | 1908-1909 |
| 1905-1906 | 1909-1910 |
| 1911-1912 | 1910-1911 |
| 1913-1914 | 1916-1917 |
| 1914-1915 | 1917-1918 |
| 1918-1919 | 1924-1925 |
| 1919-1920 | 1933-1934 |
| 1925-1926 | 1937-1938 |
| 1930-1931 | 1938-1939 |
| 1939-1940 | 1942-1943 |
| 1940-1941 | 1949-1950 |
| 1941-1942 | 1954-1955 |
| 1951-1952 | 1955-1956 |

| El Niño | La Niña |
|------------|-----------|
| 1952-1953 | 1967-1968 |
| 1957-1958 | 1970-1971 |
| 1963-1964 | 1973-1974 |
| 1965-1966 | 1975-1976 |
| 1968-1969 | 1988-1989 |
| 1969-1970 | 1998-1999 |
| 1972-1973 | 1999-2000 |
| 1976-1977 | 2007-2008 |
| 1979-1980 | 2010-2011 |
| 1982-1983 | 2017-2018 |
| 1986-1987 | 2020-2023 |
| 1987-1988 | - |
| 1991-1992 | - |
| 1992-1993 | - |
| 1997-1998 | - |
| 2002-2003 | - |
| 2006-2007 | - |
| 2009-2010 | - |
| 2015-2016 | - |
| 2023-2024* | |

Fonte: CPTEC/Inpe.

Fraco / Moderado / Forte

*Previsão de término.

Climatologia da Região Sudeste do Brasil

Segundo SANT'ANA NETO (2005), a região sudeste se encontra quase totalmente inserida na região tropical, exceção feita a pequeno trecho ao sul do estado de São Paulo. Por estar em área de transição de zonas climáticas globais, tem sua regularidade e previsibilidade de condições de tempo e clima afetadas, tanto de curto como de longo prazo.

Dentre as regiões brasileiras é a única que apresenta forte influência da altimetria e da disposição do relevo em sua caracterização climática, características fundamentais para a diminuição da umidade e do aumento de temperatura no sentido litoral-interior. Esses fatores, aliados aos sistemas sinópticos já apresentados, caracterizam a região como de grande variabilidade espacial e temporal com relação ao regime de chuvas.

As extensas serras presentes na região, posicionadas em sentido norte-sul tais como Mantiqueira, Espinhaço, do Mar, dos Órgãos, Canastra e Caparaó se mostram fundamentais para a distribuição espacial das chuvas, uma vez que criam “ilhas” úmidas nas vertentes leste e sudeste (barlavento) e “ilhas” secas nas vertentes norte e oeste

(sotavento). Essa disposição também facilita a entrada da massa de ar polar e serve como barreira à ação das Ondas de Leste. O posicionamento dessas estruturas de relevo se traduz em vertentes a barlavento com precipitações da ordem de 3.000 mm, por vezes superando 4.000 mm, em determinadas regiões, enquanto nas vertentes à sotavento a pluviosidade não atinge 2.000 mm.

Ao Norte apresenta características de clima semiárido nordestino com pluviometria inferior a 800 mm anuais e período de estiagem entre quatro e seis meses. No Sudeste, especificamente no litoral paulista, o clima superúmido registra totais pluviométricos anuais superiores a 3.000 mm. De forma geral, o período chuvoso se estende entre outubro e março, concentrando 80% dos totais anuais. Essa concentração de pluviosidade tende a ocorrer nas áreas com totais anuais mais modestos, como o Norte de Minas Gerais, onde também se registra forte estiagem no trimestre seco, com menos de 5% do volume anual das chuvas.

Estando a região quase totalmente sobre o Planalto Atlântico (80%), sendo os 20% restantes localizados em altitudes superiores a 500 m, tem-se que, nas zonas mais elevadas o efeito altimétrico fomenta temperaturas mais baixas, frequentemente inferiores a 0°C, enquanto nos vales e áreas inferiores a 500 m estas chegam, com frequência aos 40°C. As diferenças térmicas também são diversificadas pelo território com médias anuais entre 14°C e 25°C, sendo as mais altas na região norte de Minas Gerais e no litoral do Rio de Janeiro, enquanto as menores são registradas na região Sul e nas áreas serranas.

No verão predominam ventos provenientes das correntes de leste originadas pelos alísios, representados na baixa troposfera pela Massa Tropical Atlântica, produzindo tempo estável e, conforme penetra no território, provoca aumento das temperaturas, em função do efeito adiabático, além de diminuição da umidade. Durante a Primavera-Verão o anticiclone polar migratório é responsável pelo avanço das frentes frias que provocam a formação de zonas frontais responsáveis por 2/3 das chuvas da região.

8.1.1.2 Classificação Climática

A classificação climática da área de estudo teve por base a metodologia de Koppen-Geiger, que é um dos sistemas de classificação climática mais utilizados atualmente. Foi

proposto em 1900 por Wladimir Koppen e atualizado por Rudolph Geiger, baseando-se no pressuposto de que a vegetação natural de cada região da Terra é a expressão do clima nela predominante.

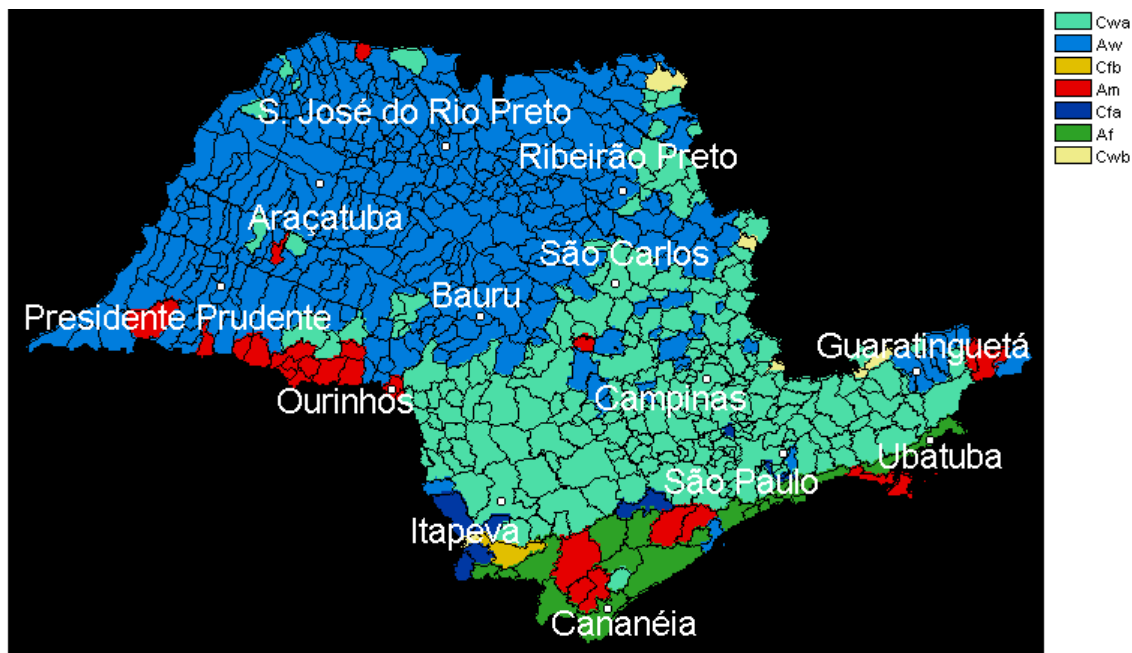
Esse sistema divide o clima em cinco grandes grupos, que representam cinco das mais importantes associações vegetais e abrangem os 11 tipos mais importantes de climas, além de tipos e subtipos. Cada clima é representado por um conjunto de duas ou três letras. A primeira letra, maiúscula, denota a característica geral do clima e indica o grupo climático, variando de “A” até “E” do Equador em direção aos polos. A segunda letra, minúscula, indica o tipo climático dentro do grupo e aponta as especificidades do regime de chuvas, como quantidade e distribuição. A terceira letra, também minúscula, apresenta a temperatura média mensal do ar dos meses mais quentes, ou a temperatura média anual do ar, no caso de o grupo climático ser “B”.

Nos municípios da AII (Santos, Guarujá, Cubatão e São Vicente) o tipo climático é classificado como “AF”, conhecido como tropical úmido ou superúmido, é caracterizado por não possuir uma estação seca distinta. Durante o mês mais quente, a temperatura média excede 18°C, e o total de chuvas no mês mais seco é superior a 60 mm, com um acumulado anual de precipitação que ultrapassa 1.500 mm. Durante os meses mais quentes do ano, como janeiro e fevereiro, as temperaturas geralmente variam entre 24 e 25°C.

Este tipo de clima é predominante em várias regiões do Brasil, incluindo o noroeste do Amazonas, os arredores de Belém, no Pará, ao longo do litoral do Paraná, São Paulo e parte do Rio de Janeiro, além do litoral da Bahia, desde o extremo sul até as proximidades de Salvador. Essas áreas são caracterizadas por uma alta umidade atmosférica e chuvas frequentes ao longo do ano, sem um período de estiagem significativo.

A **Figura 8.1.1.2-1** apresenta a classificação de Koppen para o Estado de São Paulo (Cepagri/Unicamp).

Figura 8.1.1.2-1 - Classificação Climática de Köppen para o Estado de São Paulo



Fonte: Cepagri/Unicamp.

O clima na região da Baixada Santista, que engloba os municípios de Santos, Guarujã e Cubatão, é fortemente influenciado pelas variações de posição do anticiclone marítimo tropical, com os ventos predominantemente soprando do Leste, vindo da costa. A pluviosidade nesta área costeira é altamente variável, sendo controlada pela circulação dos ventos mar-terra e montanha-vale, com uma marcante influência da convergência da brisa marítima na variação diurna da precipitação, especialmente nas áreas próximas à Serra do Mar.

Apesar de apresentar características de clima úmido ao longo de todo o ano, é notável a distinção entre um período mais chuvoso e outro mais seco, influenciados pelos sistemas extratropicais, como frentes frias provenientes do Atlântico Sul e Leste, além de áreas de instabilidade continental. Essa dinâmica resulta em chuvas abundantes durante a estação mais chuvosa e uma redução significativa da precipitação na época mais seca. Durante este último período, é comum a diminuição das temperaturas, acompanhada por momentos de estabilidade atmosférica e condições desfavoráveis para a dispersão de poluentes na atmosfera.

Na Baixada Santista, o regime pluviométrico é fortemente influenciado pelo relevo,

resultando em episódios chuvosos mais intensos durante o verão, especialmente nas áreas serranas. Anualmente, a orla litorânea recebe uma média de chuvas entre 2.000 mm e 2.500 mm, enquanto nas regiões serranas mais elevadas, esses índices variam de 1.600 mm a 3.000 mm.

8.1.1.3 Parâmetros Meteorológicos

As estações disponíveis na região do empreendimento foram pesquisadas nas bases de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) e do Departamento de Águas e Energia Elétrica (Dae). Em seguida, foram selecionadas aquelas mais próximas ao empreendimento ou em seus arredores imediatos. Isso resultou na escolha das estações apresentadas na **Tabela 8.1.1.3-1**. A **Figura 8.1.1.3-1** mostra a localização das estações meteorológicas.

Tabela 8.1.1.3-1 - Relação de estações selecionadas na Área de Influência

| Código | Nome da Estação | Município | Responsável / Operador | Coordenadas Geográficas | | | Distância Aproximada do empreendimento (km) |
|--------|---------------------|-----------|------------------------|-------------------------|----------|-----------|---|
| | | | | Altitude | Latitude | Longitude | |
| 83782 | Santos | Santos | Inmet | 13,51 | -23,93 | -46,33 | 2,8 |
| E3-045 | Vicente de Carvalho | Guarujá | Dae | 3 | -23,93 | -46,28 | 1,0 |
| E3-043 | Perequê | Guarujá | Dae | 10 | -23,98 | -46,24 | 3,8 |
| E3-070 | Ponta da Praia | Guarujá | Dae | 10 | -23,99 | -46,26 | 3,0 |

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - Inmet e Departamento de Águas e Energia Elétrica - Dae.

Para a caracterização dos parâmetros meteorológicos definidos pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), foi utilizada a estação situada na cidade de Santos, estação com maior proximidade, que possui dados meteorológicos completos, com normais climatológicas elaboradas pelo Inmet para o período de 1981-1996. As estações do Dae possuem apenas dados pluviométricos da área de estudo.

Além de consulta aos bancos de dados do Dae e Inmet, foi realizado levantamento junto ao Cepagri/Unicamp.

É importante ressaltar que as estações de Santos (83782) e Vicente de Carvalho (E3-045) estão próximas ao empreendimento, pertencendo às mesmas sub-bacias.

Figura 8.1.1.3-1 - Mapa de Localização das Estações Meteorológicas



Legenda

- AID
- ADA

AII

▲ Estações DAEE

▲ Estação INMET

0 5 10 km

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet, Departamento de Águas e Energia Elétrica – Dae e imagem Google Earth, 2024.

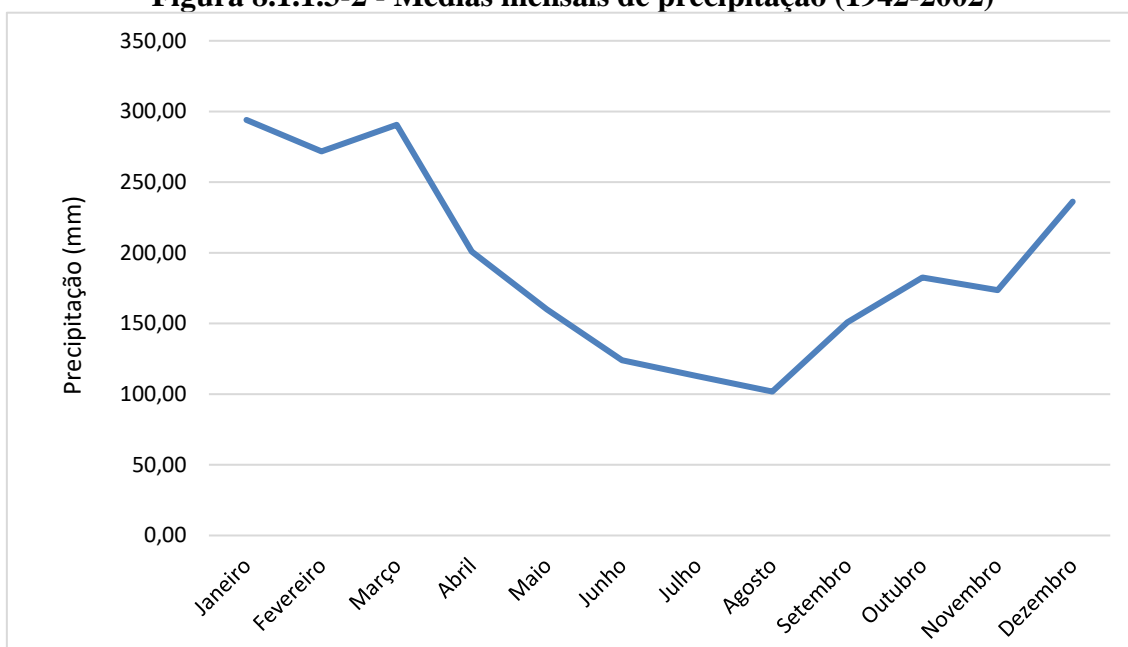
Elaboração: Fipe, 2024.

Precipitação

Para os dados de precipitação na área de estudo, utilizou-se do banco de dados do Inmet para o período de 1981-1996 e do banco de dados do Dae para o período de 1942-2002.

A **Figura 8.1.1.3-2** mostra as médias mensais de precipitação para as estações selecionadas, conforme os dados do Dae. Observa-se que não há um período seco definido, já que mesmo no mês mais seco, agosto, a precipitação média é superior a 60 mm.

Figura 8.1.1.3-2 - Médias mensais de precipitação (1942-2002)

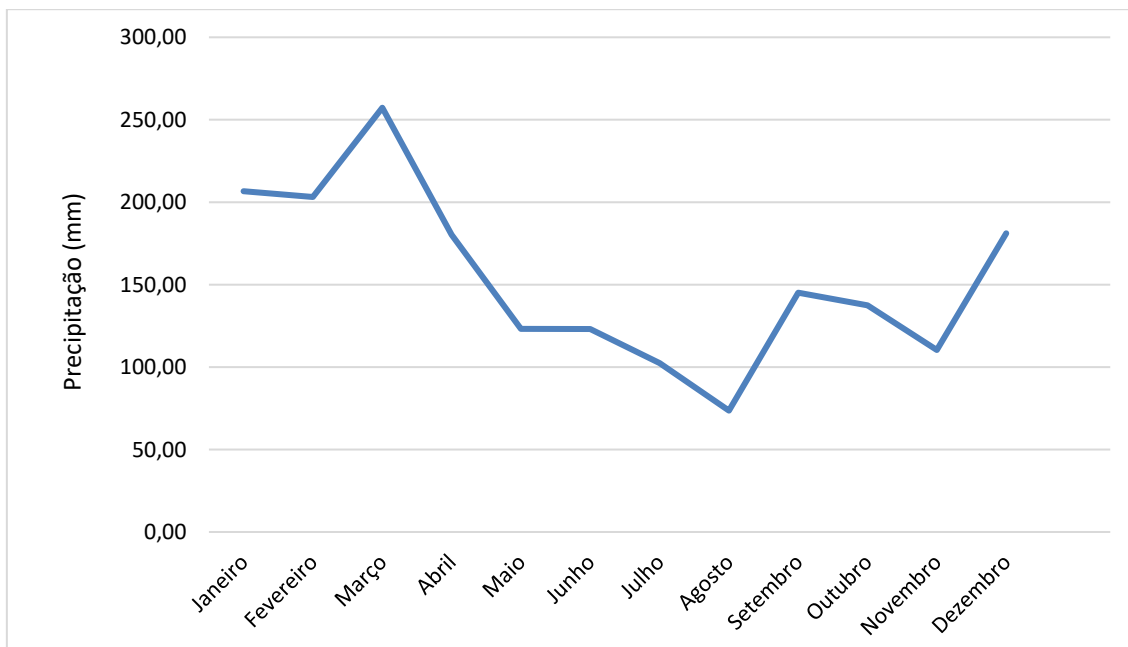


Fonte: Dae.

A distribuição da precipitação é notavelmente irregular. Os valores médios de precipitação variam consideravelmente ao longo do ano, oscilando entre 101,83 mm em agosto e 294 mm em janeiro.

A **Figura 8.1.1.3-3** exibe a precipitação mensal acumulada para a estação Santos, com base nos dados do Inmet (1981-1996). É evidente que não há um período seco definido, já que mesmo o mês de agosto registra uma precipitação significativa de 73,6 mm, enquanto março se destaca como o mês mais chuvoso, com 257,3 mm de precipitação.

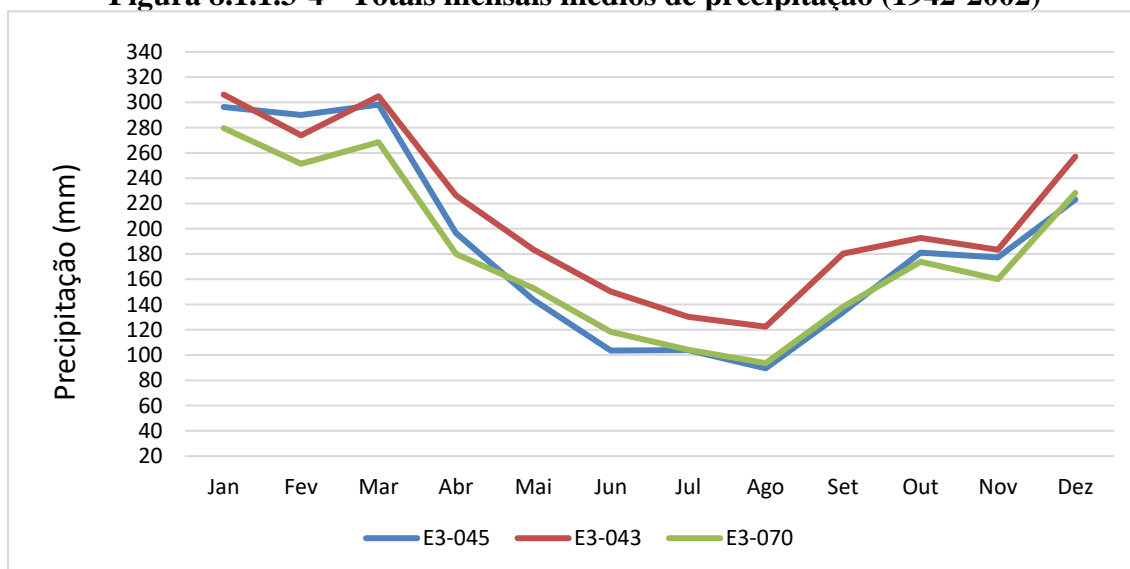
Figura 8.1.1.3-3 - Precipitação acumulada mensal (1981-1996)



Fonte: Inmet.

A **Figura 8.1.1.3-4** apresenta os totais mensais médios para o período 1942 a 2002 para as estações pluviométricas do Daee.

Figura 8.1.1.3-4 - Totais mensais médios de precipitação (1942-2002)



Fonte: Daee.

Os dados Totais mensais médios de precipitação das estações pluviométricas localizadas na AII ao longo do período analisado (1942 a 2002), apresentam valores oscilando de 93,56 mm a 306,15 mm.

Conforme o apresentado acima, referente ao comportamento da precipitação ao longo da área de estudo, não existe uma grande variabilidade entre as estações analisadas, no entanto, nota-se que a estação de Perequê (E-043) apresenta as maiores médias mensais de precipitação.

A pesquisa conduzida por Pellegatti & Galvani (2010) analisou uma série de eventos de precipitação na Baixada Santista, considerando sua intensidade e duração, evidenciando a influência da orografia na distribuição das chuvas, que se encontram entre as mais elevadas do Brasil. Mesmo em áreas comparativamente menos chuvosas em relação às vertentes úmidas, algumas regiões se mostram como áreas de sombra de chuva.

Utilizando cinco postos pluviométricos ao longo da Baixada Santista, os pesquisadores selecionaram quatro eventos ao longo do ano de 2005, analisando a evolução horária e o acumulado de precipitação para intensidades elevadas e reduzidas, assim como para durações longas e curtas. Esses eventos selecionados demonstram que a intensificação da orografia ocorre principalmente em associação com sistemas atmosféricos e a disposição geográfica dos postos de medição.

Durante eventos de curta duração, observou-se uma variação dos totais de precipitação significativamente menor em comparação com a variação espacial durante eventos de longa duração. Isso ocorre porque, nos eventos de curta duração, predominam sistemas convectivos, enquanto nos eventos de longa duração predominam sistemas frontais, resultando em totais de precipitação muito superiores nos postos voltados para o oceano em comparação com os postos mais interiores.

Temperatura do ar

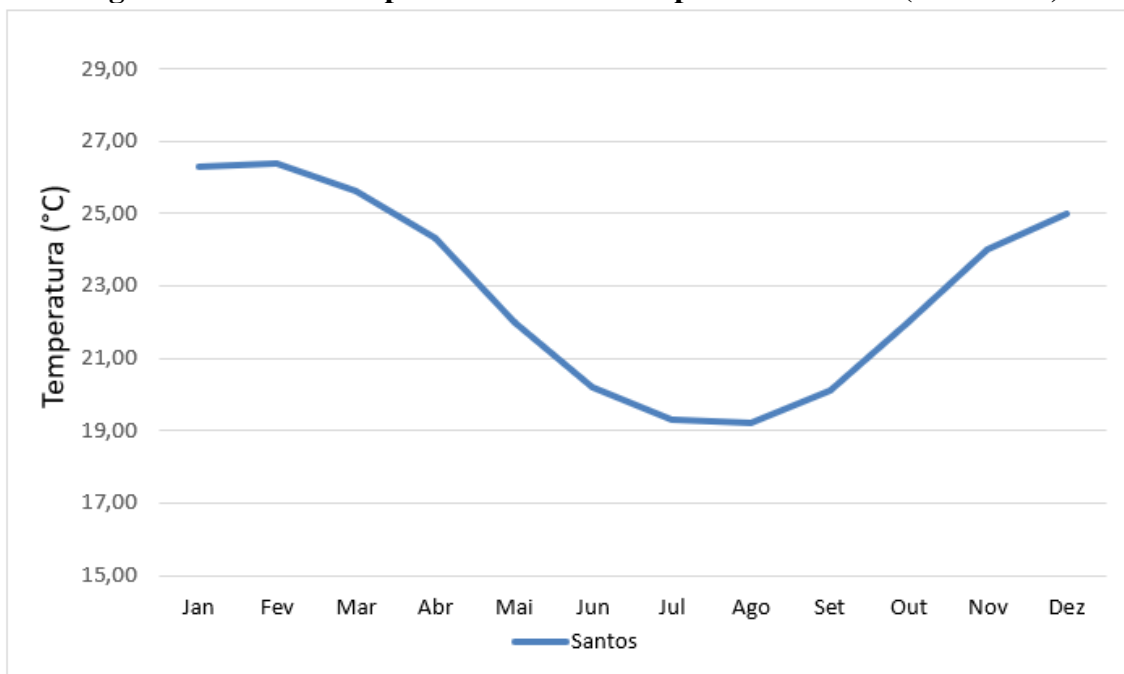
A temperatura constitui-se na capacidade de um corpo em receber ou transmitir calor. Trata-se de um parâmetro termodinâmico que representa o grau de equilíbrio da atmosfera. Indica a variação da energia cinética das moléculas do ar durante a sensação de frio e quente. Portanto, é um parâmetro de interesse para os estudos de meio ambiente.

As temperaturas mais elevadas, em geral, estão associadas à formação de movimentos convectivos na troposfera. Ao contrário, as baixas temperaturas são indicadoras de movimentos advectivos, sendo um indicador de condição menos favorável à dissipação

de calor, caracterizando uma condição de atmosfera estável sujeita a períodos prolongados de estiagens.

A temperatura média compensada (**Figura 8.1.1.3-5**) registrada para a região de estudo apresenta oscilação, segundo os dados das normais climatológicas do Inmet, entre 19,2°C, no mês de agosto, e 26,3°C, em janeiro. Assim, a média nos meses mais quentes (janeiro e fevereiro) permanecem acima de 25°C e nos meses mais frio acima de 18° C, conforme características do tipo climático “Af”, clima tropical úmido ou superúmido.

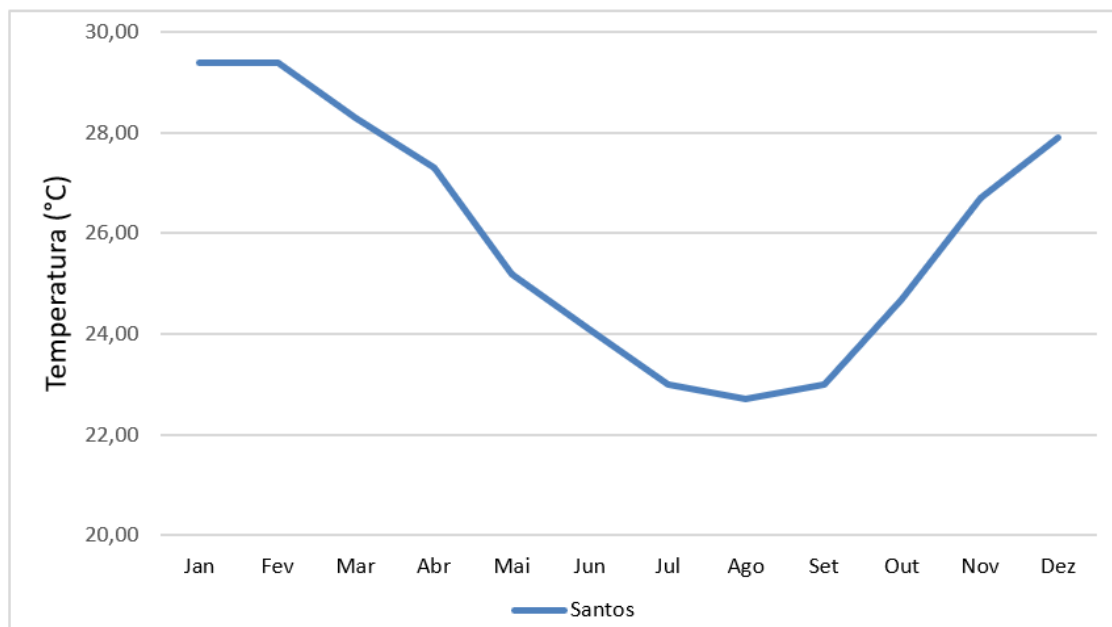
Figura 8.1.1.3-5 - Temperatura Média Compensada Mensal (1981-1996)



Fonte: Inmet.

A **Figura 8.1.1.3-6** apresenta a temperatura máxima mensal e anual a partir dos dados das normais climatológicas do Inmet, considerando o período entre 1981 e 1996.

Figura 8.1.1.3 6 - Temperatura máxima mensal (1981-1996)

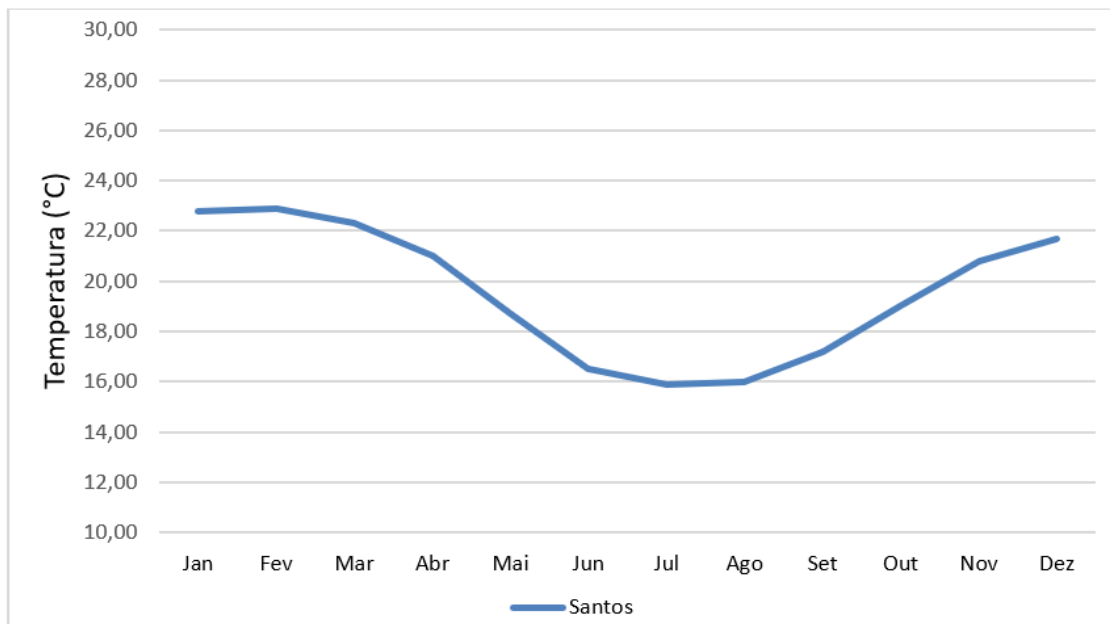


Fonte: Inmet.

A variação se dá entre 22,7°C em agosto e 29,4°C em janeiro e fevereiro. Apesar da existência de um período menos quente entre os meses de maio e outubro, a temperatura máxima permanece acima de 22°C ao longo de todo o ano. Os meses mais quentes durante o verão são janeiro e fevereiro.

Na **Figura 8.1.1.3-7**, a seguir, é apresentada a temperatura mínima mensal e anual, considerando o período de 1991 a 1996 segundo os dados das normais climatológicas do Inmet. A amplitude se dá entre 15,9°C em julho e 22,9°C em fevereiro. Os meses mais frios compreendem o período entre maio e setembro, com temperaturas mínimas médias abaixo dos 18°C.

Figura 8.1.1.3-7 - Temperatura Mínima Mensal (1981-1996)



Fonte: Inmet.

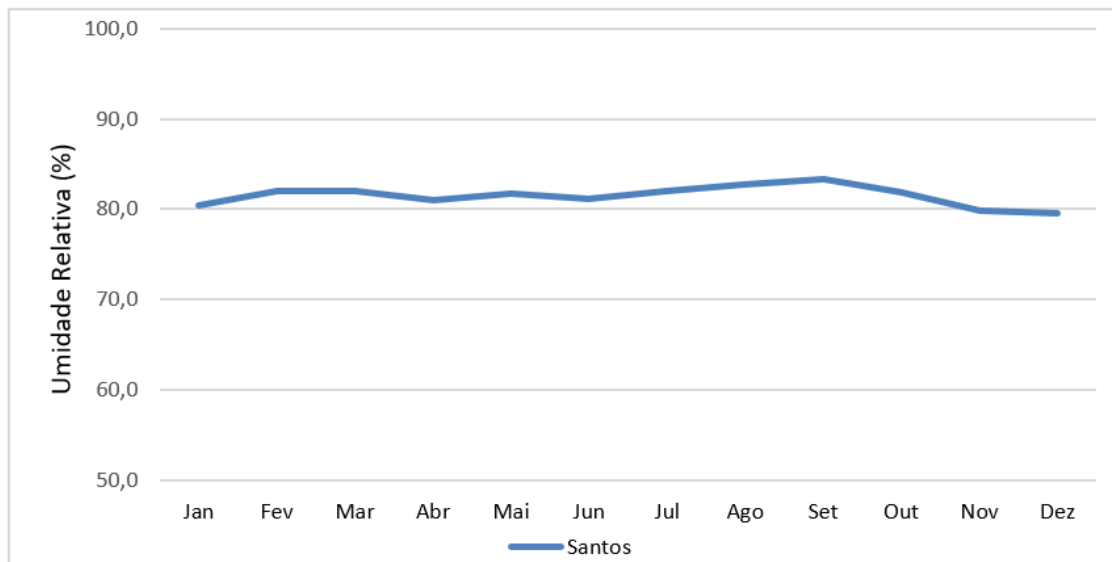
Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar é definida como a relação percentual entre a quantidade de umidade presente em um dado volume de ar e a quantidade que esse volume poderia conter se estivesse saturado. É um parâmetro variável, sendo que sua concentração depende de diversos fatores.

A **Figura 8.1.1.3-8**, apresenta o gráfico da Normal Climatológica de umidade relativa do ar compensada mensal para a estação de Santos, considerando o período de 1981 a 1996, elaborada com dados do Inmet.

A oscilação se dá entre 79,6% e 83,3%, denotando pequena amplitude ao longo do ano. A baixa variação pode ser justificada pela distribuição da precipitação ao longo do ano, que apesar de ser irregular, não apresenta estação seca.

Figura 8.1.1.3-8 - Normal climatológica - Umidade relativa do ar (1981-1996)



Fonte: Inmet.

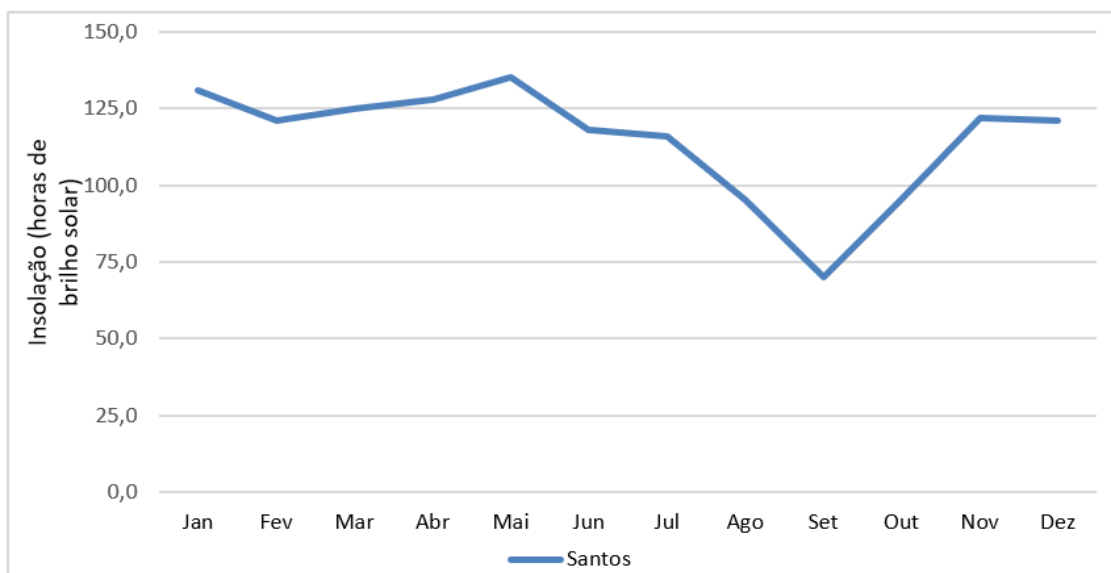
Insolação e Nebulosidade

Nas **Figura 8.1.1.3-9** e **8.1.1.3-10**, a seguir, são apresentados os gráficos com as normais climatológicas para insolação e nebulosidade de Santos, com dados do Inmet para o período de 1981 a 1996.

A oscilação da insolação na cidade de Santos ao longo do ano ocorre de maneira heterogênea, sendo constatados os maiores índices durante os meses de abril e maio, enquanto os meses de menor incidência ocorrem no mês de setembro. Isso sugere que a variação da insolação ao longo do ano em Santos não é uniforme e que há uma flutuação significativa nos níveis de radiação solar recebidos pela cidade. Essa heterogeneidade na distribuição da insolação pode ser atribuída a uma combinação de fatores, tais como a inclinação do eixo da Terra, a órbita elíptica da Terra ao redor do Sol, a posição geográfica da cidade e padrões climáticos regionais.

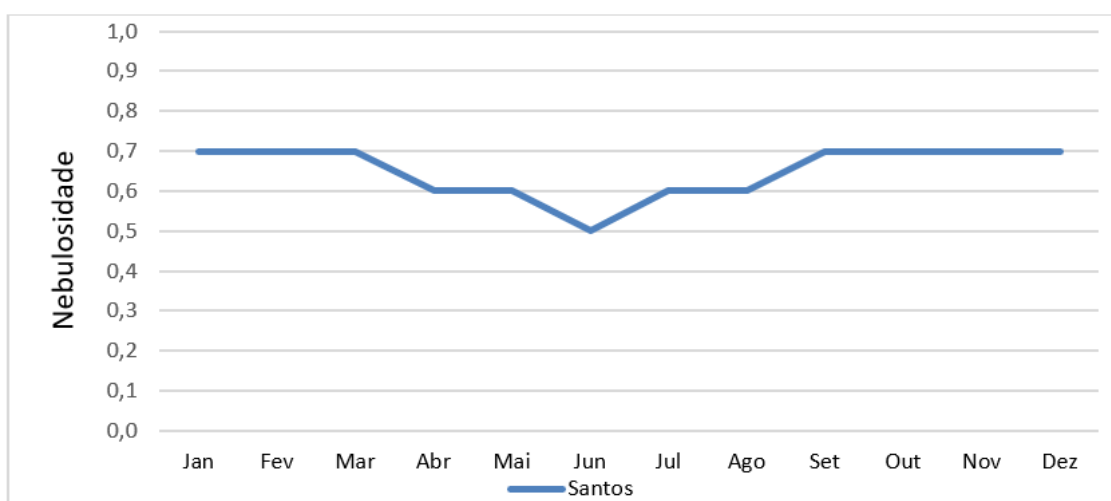
A oscilação da nebulosidade evidencia maiores índices durante o verão (de setembro a março fixo em 0,7 décimos), enquanto os menores são registrados no inverno (0,5 em junho). Considerando-se a disponibilidade hídrica na região assim como o regime de temperaturas, a nebulosidade se relaciona com esses fatores, uma vez que temperaturas mais altas durante o período de maiores precipitações proporcionam formação de movimentos convectivos e a formação de nebulosidade.

Figura 8.1.1.3-9 - Normal climatológica - Insolação média anual (1981-1996)



Fonte: Inmet.

Figura 8.1.1.3-10 - Normal climatológica - Nebulosidade média anual (1981-1996)



Fonte: Inmet.

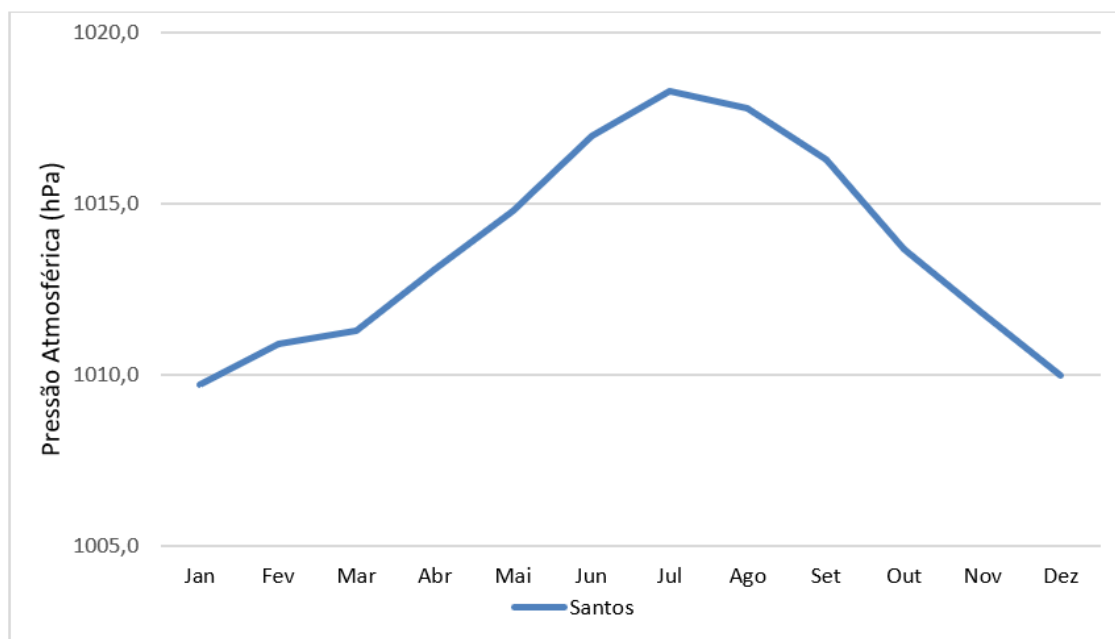
Pressão atmosférica

A pressão exercida pela atmosfera sobre um dado ponto é uma força que atua em todas as direções, devido ao seu peso total considerado acima desse ponto. O peso da atmosfera sobre um dado local fixo varia constantemente devido aos movimentos complexos do ar e das variações de temperatura e do seu teor de vapor d'água. Portanto, a pressão constitui-se em um importante indicador de mudanças do tempo, pelas relações que apresenta com a variabilidade das condições meteorológicas.

Trata-se de um parâmetro de grande influência na escala sinótica, mas pouco perceptível nos movimentos ondulatórios de pequena escala, como os que ocorrem dentro da camada limite atmosférica. Nesse sentido, cumpre destacar que os sistemas de alta pressão, ao convergirem no sentido anti-horário, divergem o ar do centro para as bordas, provocando a estabilidade do tempo. Já os sistemas de baixa pressão giram no sentido horário, convergindo o ar para seu centro e provocando o aumento da nebulosidade e a ocorrência de chuvas, ou seja, instabilidade.

Conforme apresentado na **Figura 8.1.1.3-11**, a pressão atmosférica oscila entre 1009,7 e 118,3 hPa, sendo dezembro e janeiro os meses que apresentam os menores valores, enquanto julho e agosto são os meses que apresentam os valores mais elevados.

Figura 8.1.1.3-11 - Pressão atmosférica (1981-1996)



Fonte: Inmet.

Regime de ventos

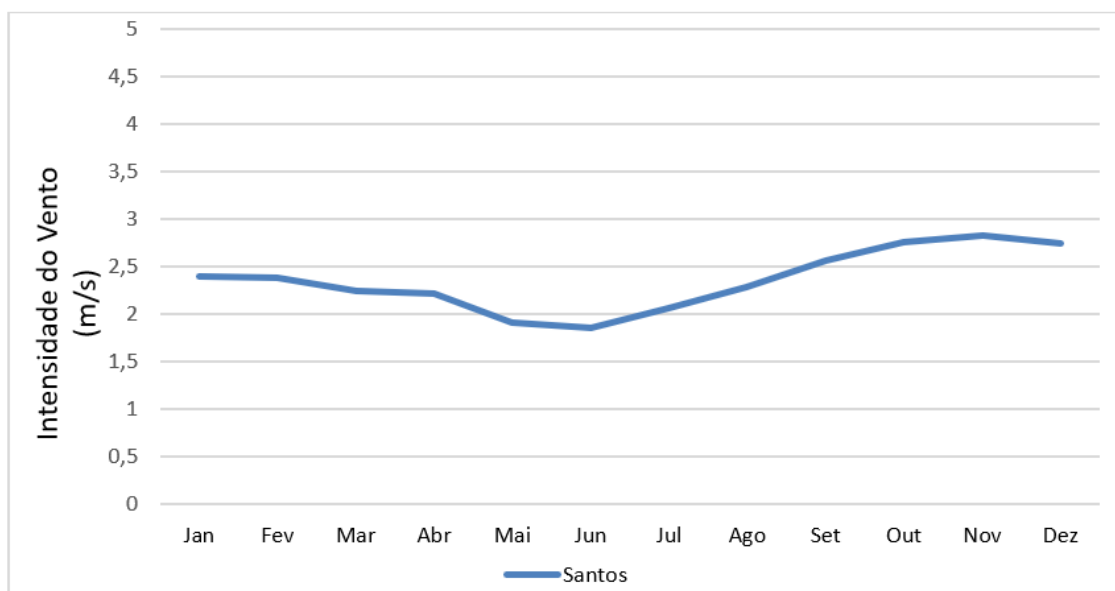
O vento representa o ar em movimento em relação à superfície e é resultante do movimento rotacional da terra e das diferentes intensidades de radiação solar, que determinam a formação dos centros de alta e baixa pressão, que determinam, por sua vez, as direções e intensidades dos ventos. Por ser um fluido atmosférico em movimento, o vento é uma entidade física vetorial com sentido, direção e intensidade. Portanto, deve

ser analisado considerando-se a sua direção e velocidade.

Em escala sinótica, a velocidade dos ventos é condicionada principalmente pela diferença entre os gradientes de pressão e pelo movimento de rotação da Terra. A Força de Coriolis atua perpendicularmente ao movimento, deslocando para a esquerda os ventos no Hemisfério Sul, e para a direita no Hemisfério Norte. Todavia, vale ressaltar que a Força de Coriolis não é uma força real, uma vez que não existe um agente fomentador. Trata-se de um artifício matemático utilizado na Meteorologia para representar a rotação da Terra nas equações meteorológicas. Essa “força” vetorial é perpendicular à trajetória do deslocamento, indo no sentido das altas pressões, sendo máximo próximo aos polos e nulo no equador (FELICIO, 2007).

A **Figura 8.1.1.3-12** apresenta a normal climatológica da velocidade média do vento para a cidade de São Paulo, elaborada pelo Inmet, com base no período histórico entre 1961 e 1990, cujos registros de médias anuais variam de 1,83 m/s em junho até 2,83 m/s em novembro.

Figura 8.1.1.3-12 - Normal climatológica - Velocidade média do vento



Fonte: Inmet.

A **Tabela 8.1.1.3-2**, a seguir, apresenta a direção predominante do vento para a localidade de Santos, elaborada com dados do Inmet para o período histórico entre 1961 e 1990. A análise dos registros históricos permite classificar, de forma geral, a predominância dos

ventos na região é de calma ao longo do ano todo, sendo indefinido em setembro e outubro, e SE em novembro e dezembro.

Tabela 8.1.1.3-2 - Direção predominante do vento (1961-1990)

| Mês | Direção Predominante |
|-----------|----------------------|
| Janeiro | Calmo |
| Fevereiro | Calmo |
| Março | Calmo |
| Abril | Calmo |
| Maio | Calmo |
| Junho | Calmo |
| Julho | Calmo |
| Agosto | Calmo |
| Setembro | Indefinido |
| Outubro | Indefinido |
| Novembro | SE |
| Dezembro | SE |

Fonte: Normais Climatológicas do Inmet Período de 1961-1990.

Nível Ceráunico

O nível Ceráunico indica o número de dias com ocorrência de raios em uma determinada região. Os raios são descargas elétricas de alta intensidade que ocorrem na atmosfera, com duração aproximada de meio segundo e comprimento de cinco a dez quilômetros, sendo que sua voltagem pode atingir 100 milhões de volts. A luminosidade do relâmpago é causada pelo rápido movimento dos elétrons, e o som (trovão) é causado pelo rápido aquecimento do ar em seu entorno imediato, que chega a atingir 27°C, resfriando rapidamente em seguida.

Segundo o Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT/Inpe, 2016), o Brasil registra uma incidência anual de cerca de 50 milhões de raios, principalmente em função da predominância do clima tropical quente, com maior ocorrência de tempestades. A alta incidência de raios também é favorecida pela grande extensão territorial do país e pela ausência de grandes elevações no relevo.

As descargas elétricas podem ocorrer dentro das nuvens (intra-nuvem), que representam 70% das descargas atmosféricas; ou nuvem-solo, quando a descarga atinge a superfície terrestre. O primeiro tipo ainda é pouco conhecido, tanto pela dificuldade observacional quanto de mensuração do fenômeno. A maior parte das descargas elétricas associa-se às nuvens do tipo *cumulonimbus*, as nuvens de tempestades, formadas principalmente pelo forte movimento convectivo do ar quente.

O órgão brasileiro competente pelos estudos das descargas elétricas é o Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), que utiliza, para o monitoramento do fenômeno, a Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas (RINDAT), formada por sensores da Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), de Furnas Centrais Elétricas (Furnas), do Inpe e do Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar).

Esse sistema monitora o Índice Ceráunico (IC), que é avaliado pelo número de dias com ocorrência de tempestades. De acordo com a OMM, um dia de tempestade é um dia no qual um trovão é ouvido. O ELAT/Inpe elaborou o Mapa Isoceráunico do Brasil (**Figura 8.1.1.3-13**), com base na NBR 5419, no qual se nota que a área de estudo registra IC da ordem de 30 a 60 dias de trovoadas por ano, o que pode ser considerado baixo, segundo REIS (2005).

Figura 8.1.1.3-13 - Mapa isoceráunico brasileiro



Fonte: Adaptado de ELAT/Inpe.

O Inpe também dispõe de registros de densidade de descargas elétricas por quilômetro quadrado por ano nos municípios brasileiros. A **Tabela 8.1.1.3-3** traz esse índice para todos os municípios abrangidos pelo empreendimento. Como pode ser observado o índice é maior nas cidades de Santos e Cubatão, enquanto Guarujá e São Vicente apresentam as menores densidades de descargas elétricas por quilômetro quadrado por ano.

Tabela 8.1.1.3-3 - Densidade de descargas elétricas por quilômetro quadrado por ano

| Município (SP) | Densidade de Descargas (km ² /ano) |
|----------------|---|
| Santos | 10,1211 |
| Guarujá | 7,6124 |
| São Vicente | 7,3159 |
| Cubatão | 10,7814 |

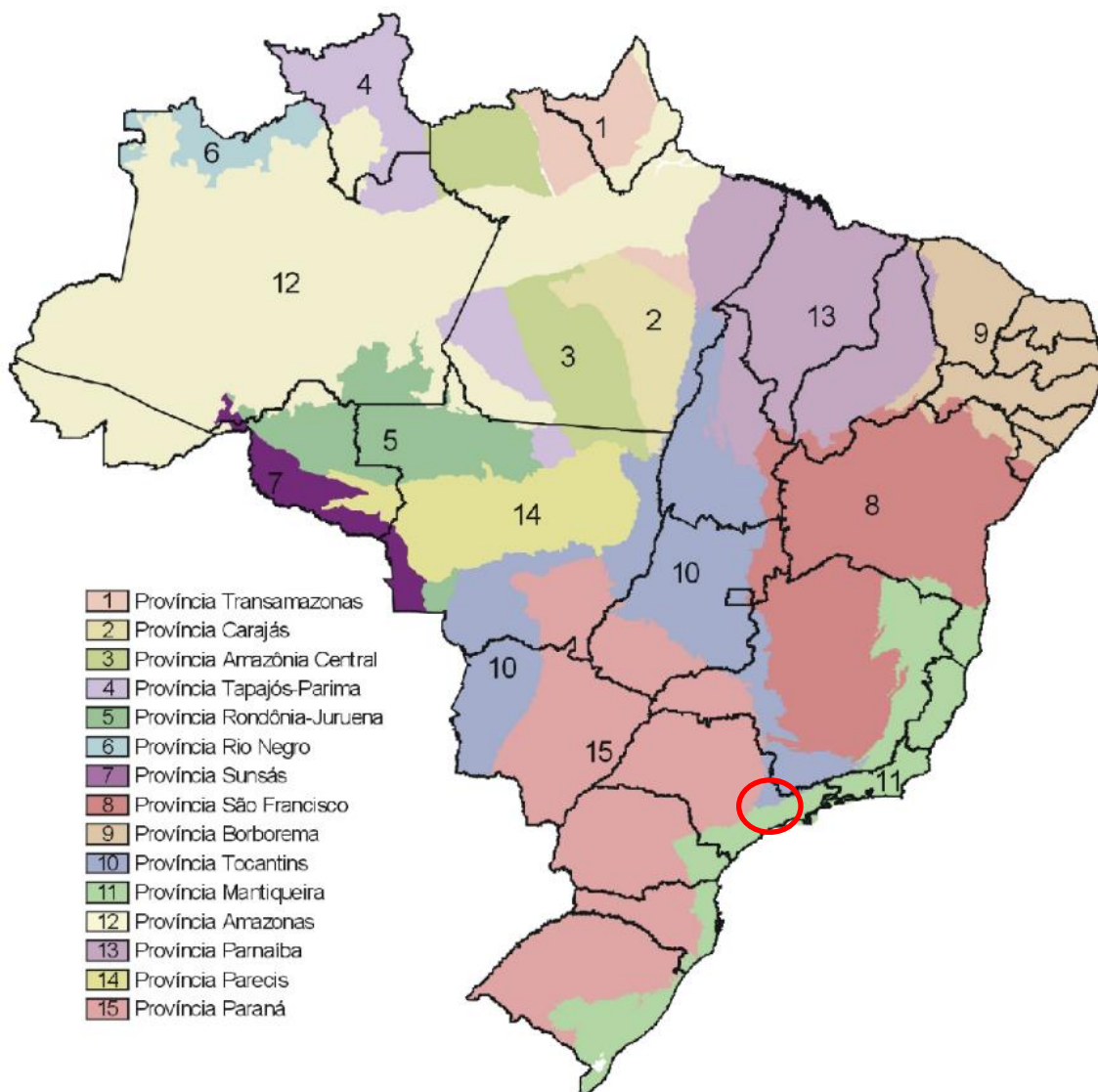
Fonte: Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT/Inpe), 2024.

8.1.2 Geologia e Recursos Minerais

8.1.2.1 Geologia - Contexto Geral

A Área de Influência Indireta (AII) para o Meio Físico está inserida no Cinturão Ribeira da Província Mantiqueira (ALMEIDA et al., 1977 HASUI, 2012) (**Figura 8.1.2.1-1**), no domínio Costeiro e das coberturas sedimentares Fanerozóicas da Planície Costeira.

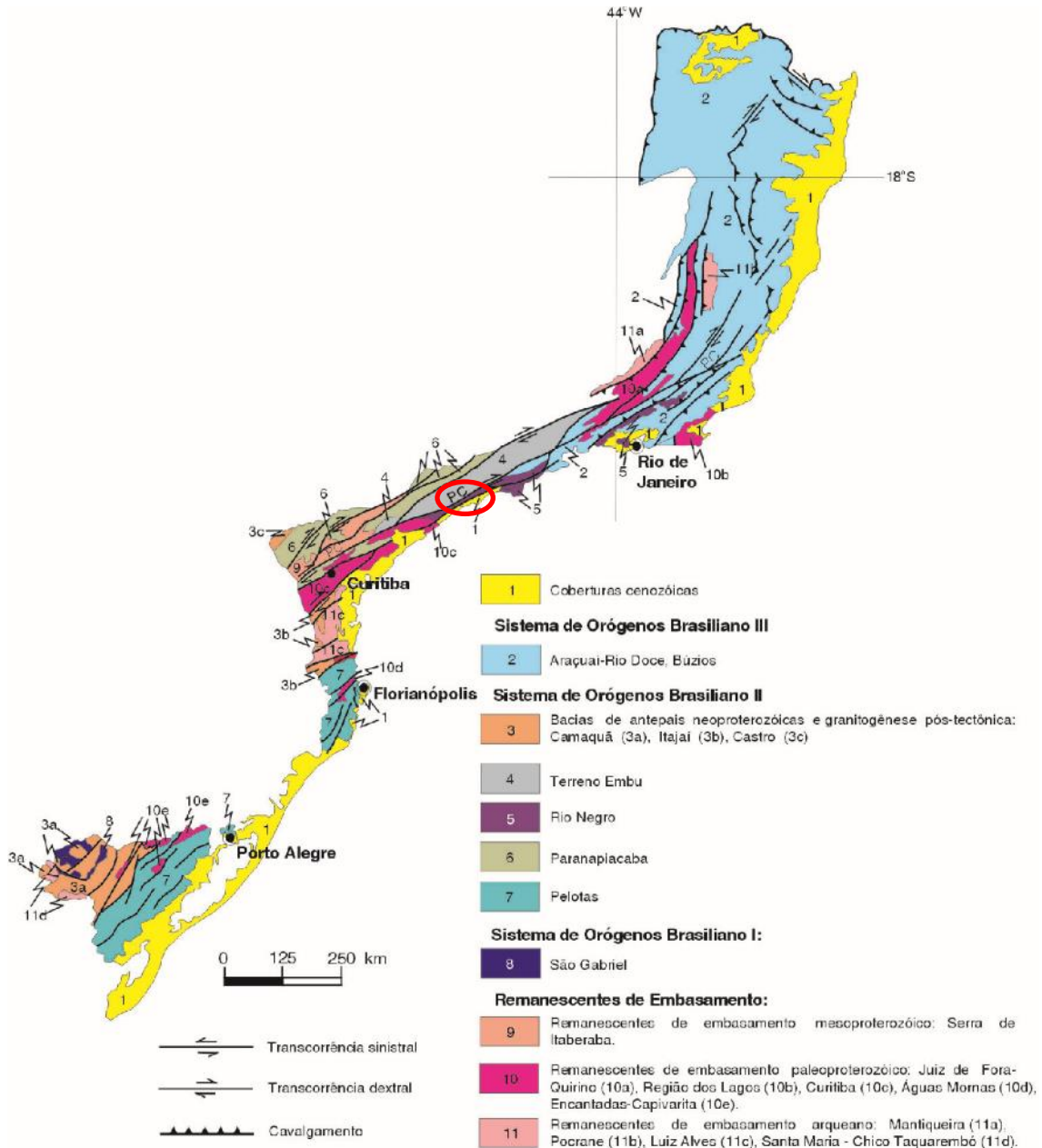
Figura 8.1.2.1-1 - Províncias Estruturas Brasileiras. Modificado de L.A. BIZZI *et al.*, (2003)



Fonte: Modificado de L.A. BIZZI *et al.*, 2003. O círculo vermelho destaca a localização aproximada da área de influência indireta do empreendimento.

De acordo com L.A. BIZZI *et al.* (2003), a Província Mantiqueira é determinada como uma entidade geotectônica instalada entre os crátons São Francisco e Rio de La Plata/Paraná, estende-se por aproximadamente 3.000 km com orientação NNE-SSW ao longo da costa atlântica. É constituída por remanescentes do embasamento de três sistemas de Orógenos Brasileiros (Orógeno Brasileiro I, II e III) (**Figura 8.1.2.1-2**).

Figura 8.1.2.1-2 - Compartimentação da Província da Mantiqueira



Fonte: Modificado de L.A. BIZZI et al. (2003), O círculo vermelho destaca a localização aproximada da área de influência indireta do empreendimento.

A Província da Mantiqueira se estende ao longo da costa atlântica brasileira, do Uruguai à Bahia, sendo composta por Remanescentes de Embasamento do arqueano, paleo e mesoproterozóico, além dos Sistemas de Orógenos Brasileiros I, II e III. Segundo L.A. BIZZI et al. (2003), o Sistema de Orógeno Brasileiro I refere-se a pulsos graníticos mais antigos, entre 700 e 880 Ma, associados a ambientes tectônicos como arco vulcânico e

intraoceânico. O Sistema de Orógeno Brasileiro II apresenta pulsos graníticos intermediários, com idade entre 560 e 650 Ma, e ambientes pós-tectônicos, tardi a pós-colisionais e pré a colisionais. Já o Sistema de Orógeno Brasileiro III, o mais recente, com idade estimada entre 520 e 600 Ma, está associado a ambientes tectônicos pré a colisionais, tardi a pós-colisionais, pós-colisionais e sincolisionais. A Província da Mantiqueira abrange diferentes sistemas orogênicos, incluindo o Orógeno São Gabriel, Orógenos Pelotas, Paranapiacaba/Pien, Rio Negro, Terreno Embu, Araçuaí-Rio Doce, Búzios e o Evento Caçapava do Sul, cada um com características geológicas específicas e distribuição geográfica distintas.

O Complexo Costeiro, definido por HASUI *et. al.* (1981), como um agrupamento de rochas metamórficas fortemente deformadas e paralelizadas, sendo individualizadas em cinco conjuntos litológicos predominantes: migmatitos com estruturas diversas; granito-gnaisses porfiroclásticos e/ou biotita hornblenda migmatito; biotita gnaisses gradando migmatitos estromáticos; quartzitos e gnaisses peraluminosos; gnaisses peraluminosos passando para migmatito, com boudins de claciosilicáticas, quartzito e anfibolitos (CPRM, 1999).

No contexto do Complexo Costeiro, encontram-se também rochas granitoides, que se apresentam como maciços pouco foliados, formados após eventos cinemáticos ou tardiocinemáticos, além de granitos foliados considerados pré-cinemáticos ou pré-sincinemáticos. Entre essas rochas, destacam-se as charnoquíticas, como os hornblenda-biotita granitos rosados, os muscovita-biotita granitos e os hornblenda-biotita granitos porfiríticos (CPRM, 1999).

Os Depósitos Quaternários encontrados no Cinturão Ribeira compreendem depósitos colúvio-aluvionares, lacustres e palustres, tanto de natureza continental quanto costeiro-marinha (CPRM, 1999).

8.1.2.2 Geologia - Contexto Regional

O contexto geológico regional próximo ao canal de Santos abrange rochas do embasamento cristalino com idades pré-cambrianas, bem como algumas formações ígneas do Cambriano e depósitos sedimentares quaternários. A configuração atual dessas

rochas foi moldada pela evolução geológica do litoral paulista, resultando em uma complexa estruturação geológica, principalmente nos terrenos cristalinos mais antigos, destacando-se zonas de cisalhamento transcorrentes com direção E-NE, formadas entre o final do Pré-Cambriano e início do Paleozóico, sendo a falha de Cubatão a mais proeminente.

A orientação da linha costeira é influenciada por essas estruturas geológicas, e até mesmo as formações ígneas cambrianas e os depósitos sedimentares cenozoicos mostram algum grau de influência dessas estruturas, às vezes através de reativações em períodos mais recentes. Na região da Baixada Santista, o arcabouço tectônico abrange os Domínios Embu (Complexo Embu - Mesoproterozóico) e Costeiro (Complexo Costeiro - Neoproterozóico), separados pela Zona de Cisalhamento Cubatão. Esses complexos contêm unidades metamórficas intrudidas por rochas granitoides, podendo ser parcialmente recobertos por coberturas sedimentares quaternárias, predominantemente formando a Planície Costeira, com depósitos marinhos, lagunares e continentais, como aluviões e coluviões.

Na área do Estuário de Santos, onde está planejada a conexão entre as cidades de Santos e Guarujá, são encontradas unidades do Domínio Costeiro e coberturas sedimentares quaternárias.

Domínio Costeiro

Na área de estudo, o Domínio Costeiro se manifesta de duas maneiras distintas: através de morros isolados na Planície Costeira e como uma ampla faixa na Serra do Mar, situada entre as Zonas de Cisalhamento Cubatão e Freires Lourenço. De acordo com a CPRM (1999), nesta área específica, identificam-se três unidades dentro deste Complexo: uma unidade de migmatitos com estruturas diversas, incluindo nebulítica, schlieren e estromatítica (responsável pela formação dos morros do Botelho, Tejereba e Engenho, no Guarujá), uma unidade de migmatito (hornblenda-biotita) e/ou granito-gnaiss porfiroclástico, e uma unidade de gnaisses com biotita que transicionam para migmatitos estromatíticos (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Rochas Granitóides

As rochas granitóides, com idade Neoproterozóica-Paleozóica, são consideradas intrusivas no Complexo Costeiro, formando cinco maciços rochosos distintos na região da Baixada Santista. No contexto das alternativas de travessia na região, destacam-se dois conjuntos principais: os Morros de São Bento, Santa Maria, Cachoeira, Marapé e Voturuá, compostos por biotita granito de tonalidade cinza-rosada e textura porfírica, correspondendo aos Maciços Granitoides Santos e Guarujá; e os morros do Itararé, Santa Terezinha e José Menino, constituídos por granito de tonalidade rósea, com predominância de muscovita-biotita, textura maciça e equigranular, referentes ao Maciço Granitóide Santos - Itararé (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Coberturas Sedimentares Quaternárias

As Coberturas Sedimentares Quaternárias, em parte, cobrem as unidades do Complexo Costeiro e alguns maciços granitóides, formando a Planície Sedimentar de Santos. Essa planície é composta por depósitos marinhos pleistocênicos, marinhos e lagunares holocênicos, além de depósitos continentais, conforme descrito por SUGUIO e MARTIN (1978).

Os depósitos pleistocênicos são compostos por uma mistura de sedimentos argilo-arenosos na base e arenosos no topo, formados em um ambiente transicional continental-marinho, sendo representativos da Formação Cananéia, conforme descrito por SUGUIO e PETRI (1973).

As argilas "transicionais" são associadas a ambientes marinho-continental e podem conter vestígios de vegetação carbonizada. Os sedimentos argilo-arenosos foram depositados em ambientes que variavam de continental a marinho, enquanto os sedimentos arenosos na parte superior da Formação Cananéia indicam deposição em ambiente litorâneo. São comuns a presença de fósseis de tubos de Callianassa e indicam a posição do nível médio do mar durante o período em que esses organismos viveram. Sobre a Formação Cananéia, são encontradas areias marinhas costeiras com estruturas de cordões litorâneos, sugerindo uma fase regressiva, que atualmente afloram em Samaritá e São Vicente.

Os depósitos holocênicos abrangem sedimentos marinhos e lagunares, como sedimentos

flúvio-lagunares, baías, de mangues e pântanos, e de baixios. Os sedimentos flúvio-lagunares, principalmente argilo-arenosos, contêm conchas e restos vegetais e são correlacionáveis com a Formação Ilha Comprida. Os sedimentos de mangues e pântanos, compostos por argilas e areias, estão localizados nas margens de lagunas, canais de maré e cursos inferiores de rios. Os sedimentos de baixios, formados por areias finas, resultam da movimentação de correntes associadas à variação das marés, comumente encontrados no Largo do Caneú e no Largo de Santa Rita (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

As principais Entidades Tectônicas e Unidades Litoestratigráficas que caracterizam a AII são mostradas na **Figura 8.1.2.2-2** (Mapa Geológico da AII), e descritas no **Quadro 8.1.2.2-1**.

Quadro 8.1.2.2-1 - Unidades litoestratigráficas que constituem a AII

| Idade | Unidade Tectônica | Unidades litoestratigráficas | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------|---|
| Cenozoico (0,01 a 1,8 ma) | Sedimentos recentes | Coberturas Detríticas Indiferenciadas | | *Qdi | Depósitos de areia, cascalho e de argila |
| | | Depósitos Litorâneos Indiferenciados | | *Qli | Depósitos de argila e areia |
| Neoproterozóico (536 a 10000 ma) | Terrenos Serra do Mar | Granito Guarujá-Santos | | Çay4gs | Biotita granito |
| | | Complexo Costeiro | Unidade Gnaise Peraluminoso | NPccgp | Gnaise, paragnaisse, migmatito, rocha calcissilicática. |
| | | | Unidade Granito Gnáissica Migmatítica | NPccgm | Migmatito, gnaise, augen gnaise, biotita monzogranito, diorito, álcali-feldspato granito e tonalito |

Fonte: CPRM (2006).

(*) Unidades litoestratigráficas interceptadas pelo empreendimento.

8.1.2.3 Geologia - Contexto Local

No que diz respeito às unidades litoestratigráficas interceptadas pelo empreendimento, conforme proposto por PERROTTA *et al.* (2005), observam-se predominantemente Coberturas Detríticas Indiferenciadas (Qdi) e Depósitos Litorâneos Indiferenciados (Qli). A seguir, é apresentada uma descrição detalhada dessas coberturas sedimentares interceptadas.

Gênese das Coberturas Sedimentares

A região da Baixada Santista foi fortemente influenciada pelas variações do nível do mar ocorridas nos últimos 25.000 anos. A cerca de 17.000 anos, durante um período de resfriamento global, os gelos polares avançaram em direção ao equador, resultando em

um significativo abaixamento do nível do mar em aproximadamente 110 metros. Esse evento estabeleceu um novo nível de base para os rios que desciam da Serra do Mar, causando um aumento do poder erosivo, o que levou ao aprofundamento dos rios e à formação de uma baía na região de Santos (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Com o subsequente aquecimento do planeta, o nível do mar aumentou novamente, dando origem a ambientes costeiros com praias, manguezais e lagunas, caracterizados pela deposição de sedimentos marinhos e flúvio-lagunares. As oscilações no nível do mar ocasionaram avanços e recuos da linha costeira ao longo do tempo, resultando em uma complexa intercalação de camadas de sedimentos argilosos e arenosos. A contribuição dos materiais carreados pelos rios durante a fase inicial da elevação do nível do mar é evidente nos sedimentos marinhos (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

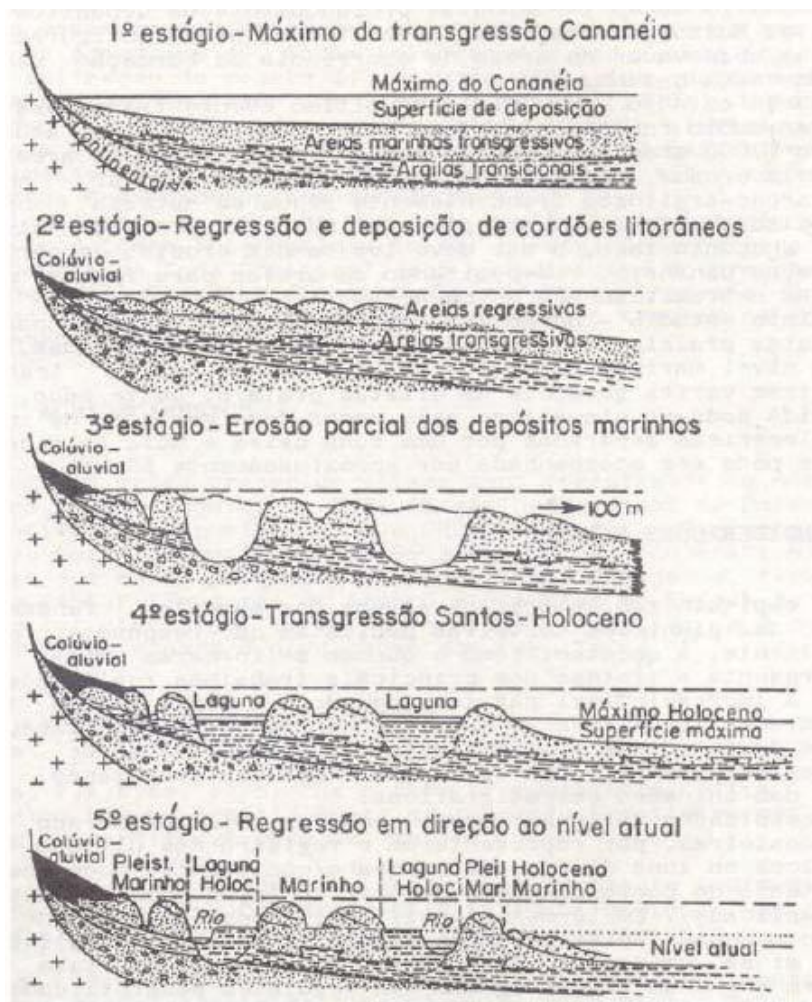
SUGUIO e MARTIN (1978) destacam que a formação dos sedimentos flúvio-lagunares holocênicos e transicionais pleistocênicos está intrinsecamente ligada às variações do nível do mar relacionadas às flutuações glácio-eustáticas. Os depósitos pleistocênicos e holocênicos estão associados a eventos de transgressão e regressão que ocorreram entre 100.000 e 120.000 anos, com um intenso processo erosivo intercalado (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Os sedimentos pleistocênicos, incluindo as "Argilas Transicionais" definidas por MASSAD (1986, 1996), são atribuídos à Formação Cananéia, formada durante a fase transgressiva conhecida como Transgressão Cananeense (120.000 - 100.000 anos). Durante uma fase regressiva subsequente (17.000 anos), devido a um evento de glaciação, o nível do mar diminuiu em 110 metros, resultando em uma forte erosão dos sedimentos da Formação Cananéia (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Os depósitos flúvio-lagunares e de baías, referidos como SFL por MASSAD (1985; 1986, 1996), têm origem na Transgressão Santos (5.000 - 7.500 anos), durante a qual se formaram sistemas de lagunas pela invasão do mar no continente. Esses depósitos podem ter até 50 metros de espessura (SUGUIO e MARTIN, 1978).

Na **Figura 8.1.2.3-1** é apresentado o modelo de evolução geológica dos depósitos pleistocênicos e holocênicos propostos por SUGUIO e MARTIN (1978).

Figura 8.1.2.3-1 - Modelo evolutivo da gênese das planícies sedimentares paulistas



Fonte: SUGUIO e MARTIN (1978, *apud* CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Suguiou e Martin (1976a) propuseram cinco estágios na formação das planícies sedimentares paulistas. No primeiro estágio, ocorreu o máximo da Transgressão Cananéia, com o mar atingindo o sopé da Serra do Mar e deposição dos sedimentos da Formação Cananéia. No segundo estágio, durante a fase regressiva após a Transgressão Cananéia, houve a deposição de cordões litorâneos no topo dos depósitos da Formação Cananéia. No terceiro estágio, durante a máxima regressão, o nível do mar estava cerca de 100 metros abaixo do atual, com erosão fluvial parcial dos depósitos da Formação Cananéia. O quarto estágio marcou o início da Transgressão Santos, com a formação de um sistema lagunar e deposição de sedimentos areno-argilosos. No quinto estágio, com o retorno do nível do mar ao atual, ocorreu a deposição de cordões litorâneos.

Com relação à formação da antiga baía santista, AB’SABER (1965 *apud* CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013) sugere a presença de dois núcleos distintos com orientação nordeste-sudoeste. O Núcleo 1, localizado entre a Serra de Cubatão e os Maciços Monte Serrat-Itaipu, evidencia resquícios de areias pleistocênicas protegidas pelos maciços rochosos. A sedimentação neste local ocorreu em ambientes de águas fluvio-marítimas turbulentas, resultando em depósitos heterogêneos de areia e argila. Já o Núcleo 2, situado entre os Maciços Monte Serrat-Itaipu e o Espigão Central da Ilha Santo Amaro, mostra vestígios de argilas transicionais devido à erosão das areias pleistocênicas durante estágios posteriores. Neste segundo núcleo, a sedimentação ocorreu em águas mais tranquilas de baías, resultando em depósitos com maior homogeneidade de argila e pouca intercalação de areia.

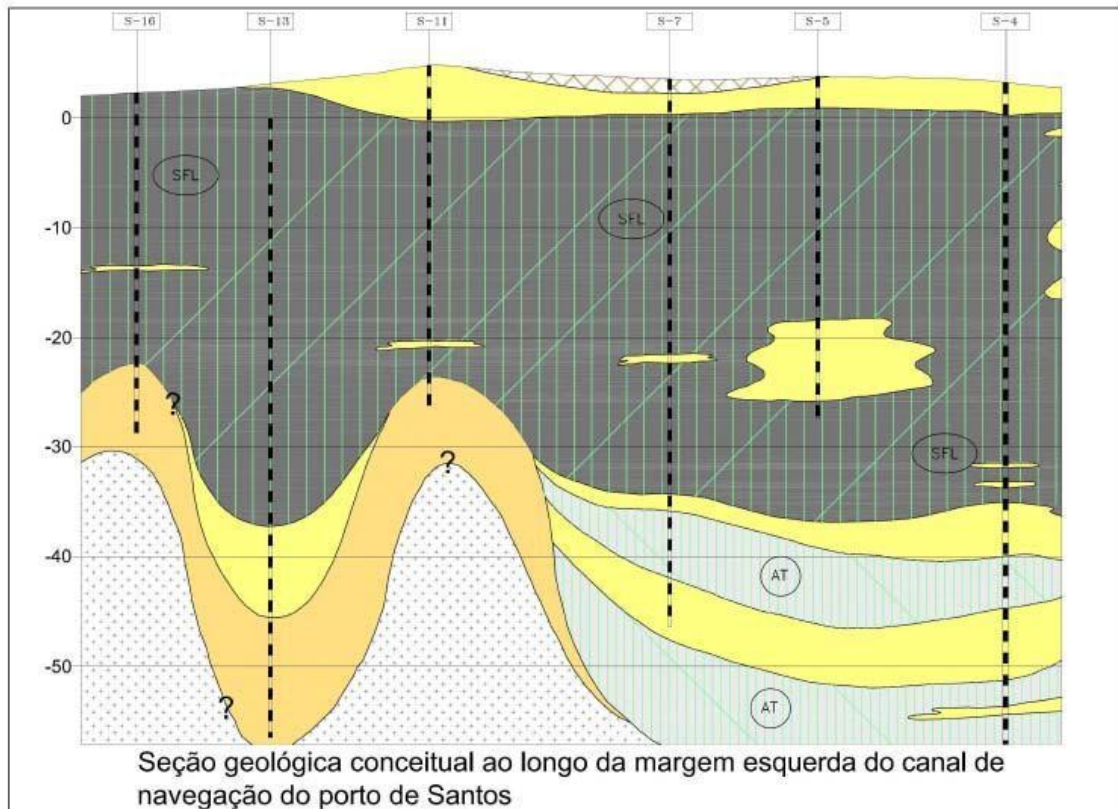
Litoestratigrafia das Coberturas Sedimentares

Na região da área de estudo da travessia Santos - Guarujá, predominam as coberturas sedimentares holocênicas, compostas pelos sedimentos flúvio-lagunares (SFL) e de baías (areias e argilas), além das argilas transicionais (AT) pleistocênicas. As areias marinhas litorâneas, algumas vezes retrabalhadas pela ação dos ventos, são encontradas recobrendo as argilas de SFL e podem estar em contato com os sedimentos flúvio-lagunares e de baías (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

A cidade de Santos, conforme descrito por DIAS (2010), encontra-se sobre sedimentos de areias marinhas litorâneas, sedimentos flúvio-lagunares e de baías.

De acordo com CONSÓRCIO PRIME-ETEL (2013), os resultados de sondagens realizadas no canal de navegação do porto (**Figura 8.1.2.3-2**) e na orla de Santos (**Figura 8.1.2.3-3**) indicam que este conjunto argiloso é por vezes coberto por um horizonte arenoso fino, siltoso, leve a pouco compacto, com espessura variável não excedendo 12 metros, exceto na área da Ponta da Praia na orla santista, onde essas espessuras chegam a atingir 24 metros. Importante notar que na margem esquerda, ao longo do canal de navegação, essa camada superficial de areia é menos pronunciada em comparação com a margem direita.

Figura 8.1.2.3-2 - Seção geológica ao longo da margem esquerda do canal de navegação do porto de Santos



LEGENDA

SA-05 Sondagem a percussão

Aterro

Areia fina, silto-argilosa, com restos vegetais, fofa a pouco compacta, cinza escuro, na profundidade de 0 a 10m.
Areia fina a média, com lentes argilosas e de cascalho arenoso, pouco compacta a compacta, cinza escura.

SFL Sedimentos Flúvio-Lagunares. Argila marinha siltosa com intercalações arenosas, muito mole a mole (0<SPT<4).

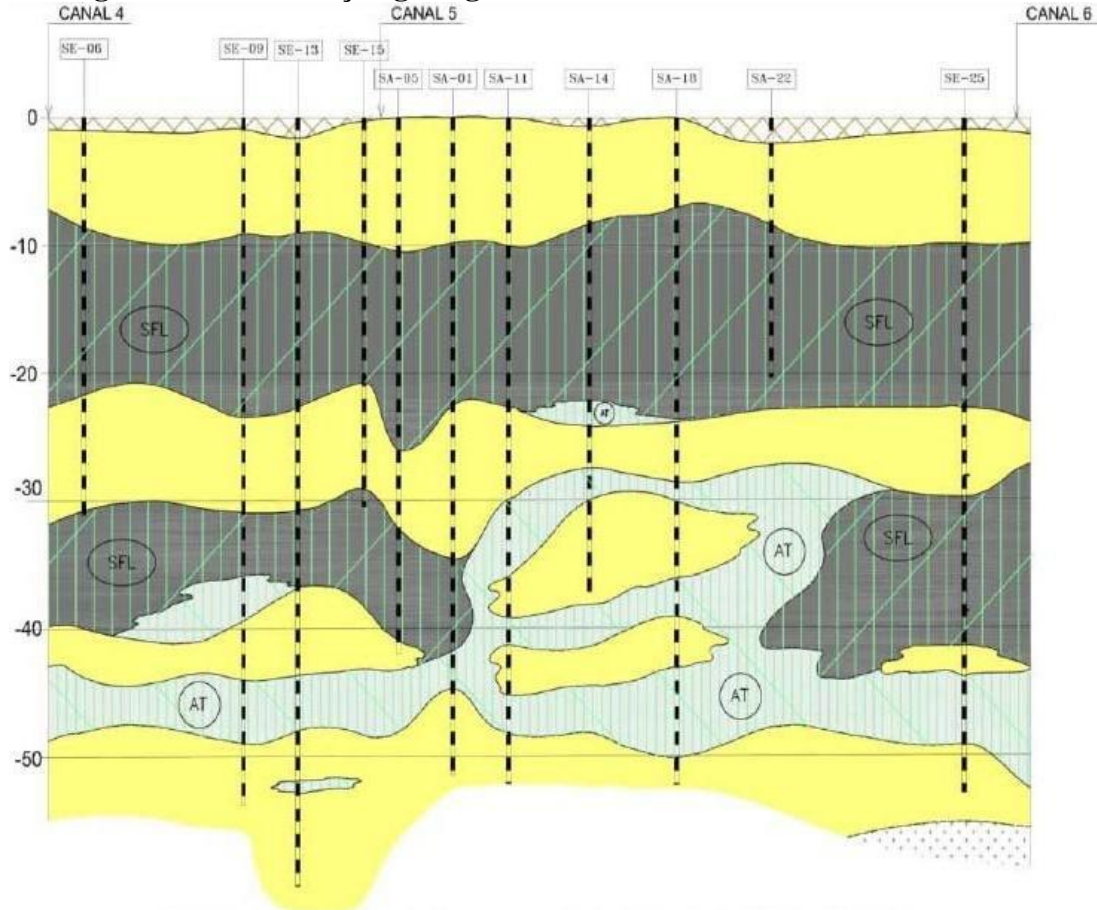
AT Argilas transicionais Argila marinha siltosa com intercalações arenosas, média a rija (6<SPT<15).

Solo de alteração de rocha

Maciço rochoso

Fonte: CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013.

Figura 8.1.2.3-3 - Seção geológica entre os canais 4 e 6 na orla de Santos



Fonte: CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013.

De acordo com os estudos apresentados por CONSÓRCIO PRIME-E TEL (2013), são identificadas camadas de argila orgânica superiores, geralmente classificadas como muito moles a moles, com valores predominantes de SPT entre 0 e 4, como sedimentos flúvio-lagunares (SFL) atribuídos ao Holoceno. As camadas de argila de consistência média a rija, com valores predominantes de SPT entre 6 e 15, localizadas na parte inferior e denominadas argilas transicionais (AT), são consideradas do Pleistoceno superior. Dentro desses estratos de argila, são encontradas camadas de areia predominantemente fina a média, ocasionalmente contendo pedregulhos arenosos, com espessuras variáveis, desde alguns decímetros até 14 metros no máximo. Esses horizontes de argila também contêm fragmentos de conchas e restos vegetais, como pedaços de madeira, troncos e folhas em decomposição.

O pacote argiloso resultante da sobreposição das camadas de SFL+AT, com espessura variável entre 20 e 50 metros, repousa sobre solo alterado ou maciços rochosos cristalinos, caracterizados por uma alta dureza e resistência à compressão uniaxial superior a 150 MPa. Em certas áreas locais, como os pontos conhecidos como pedra de Teffé, Itapema e do Barroso, o topo do substrato rochoso pode se encontrar mais próximo da superfície.

A seção geológica, ilustrada na **Figura 8.1.2.3-2**, estendendo-se da Ponta da Praia ao Canal de Bertioga (AII), demonstra que a camada superior de argila orgânica (SFL), caracterizada por sua consistência muito mole a mole, intercalada com camadas arenosas, possui uma espessura entre 25 e 35 metros e repousa sobre a camada inferior de argila orgânica (AT) ou diretamente sobre o solo alterado das rochas do Pré-Cambriano. A camada de SFL exhibe aproximadamente 35 metros de espessura, com camadas esporádicas de areia, cuja espessura é reduzida a alguns metros e apresenta baixa persistência. Por outro lado, a camada de argila orgânica transicional (AT), também com suas camadas arenosas intercaladas, possui uma espessura máxima de cerca de 25 metros e repousa também sobre o solo alterado.

A variabilidade na distribuição e espessura das camadas de sedimentos marinhos pode ser observada ao comparar as seções geológicas da orla santista entre os canais 4 e 6, conforme demonstrado na **Figura 8.1.2.3-3**, e a do canal de navegação mostrada na **Figura 8.1.2.3-2**. Nota-se que as camadas argilosas de SFL e AT diferem em espessura, enquanto os horizontes arenosos são mais espessos e persistentes na área da orla santista.

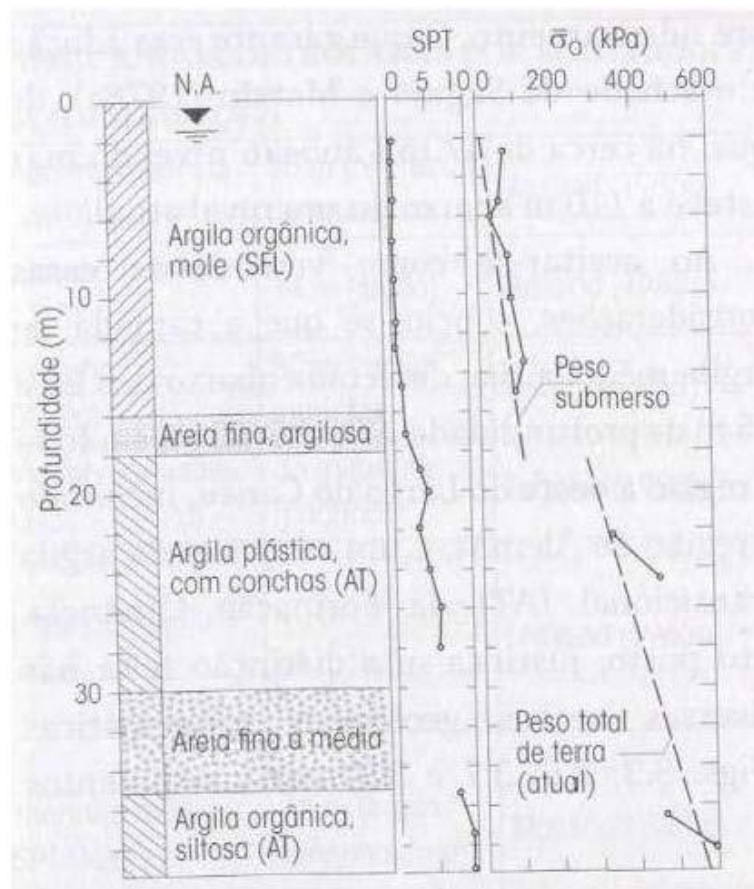
Como indicado na **Figura 8.1.2.3-2** e pelos afloramentos rochosos no canal de navegação, a cota do topo da rocha pode variar significativamente, alcançando mais de 30 metros.

O estudo realizado por MASSAD (2009, *apud* CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013) reuniu informações de sondagens em toda a extensão da Baixada Santista. Os estudos das propriedades geológicas e geotécnicas na área coberta pela AII do Túnel Imerso Santos - Guarujá foram enfocados nos levantamentos conduzidos em Alemoa, Santos (particularmente na região da Ponta da Praia) e Ilha de Santo Amaro (Guarujá).

Segundo o autor, na área de Alemoa e Vicente de Carvalho, o subsolo demonstra características de deposição tranquila, caracterizada por uma alternância uniforme entre

camadas de areia e argila. Na região específica de Alemoa, as sondagens de perfis (**Figura 8.1.2.3-4**) mostram a existência de uma camada de argila orgânica do tipo SFL, com textura mole, até uma profundidade de cerca de 18 metros. Esta camada de SFL é separada das argilas AT por uma camada intermediária de areia fina e argilosa. A uma profundidade superior a 20 metros, encontram-se as argilas AT, intercaladas por uma camada de areia de granulometria fina a média.

Figura 8.1.2.3-4 - Perfil de sondagem SPT na área de Alemoa

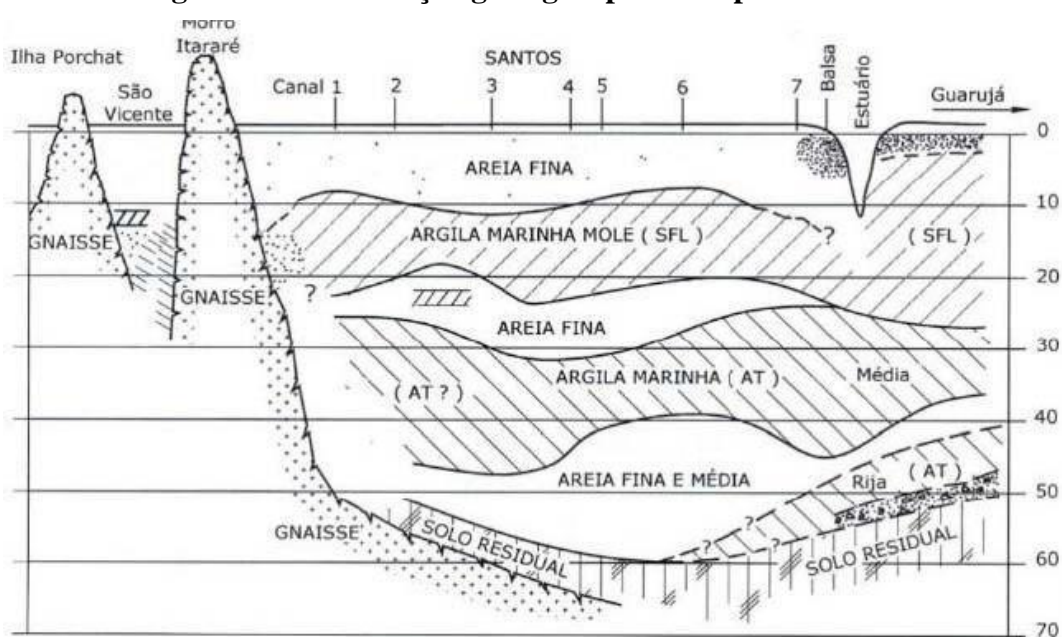


Fonte: MASSAD (2009, *apud* CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013)

A **Figura 8.1.2.3-5** apresenta uma seção geológica da orla marítima de Santos, elaborada por TEIXEIRA (1994) e adaptada por MASSAD (2009, *apud* CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013). A partir desta seção geológica, é possível observar a presença de uma camada de areia fina, com grau médio de compactação, de cor cinza escura, ocasionalmente contendo matéria orgânica e conchas. Esta camada tem uma espessura média de 10 a 12 metros, mas pode variar de 6 a 20 metros, e foi classificada por SUGUIO

e MARTIN (1978) como areias marinhas holocênicas. A camada de areia repousa sobre argilas siltosas ou arenosas, com textura mole, de cor cinza escura, também contendo conchas e matéria orgânica. Na profundidade de 20 a 35 metros, ocorrem camadas de argilas transicionais (CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013).

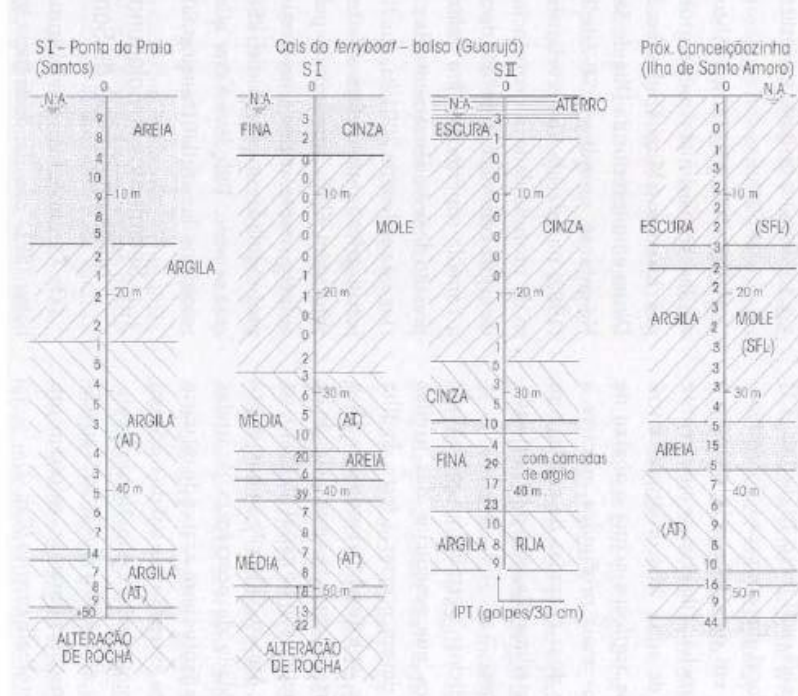
Figura 8.1.2.3-5 - Seção geológica pela orla praia de Santos



Fonte: Elaborado por TEIXEIRA (1994) e adaptado por MASSAD (2009, apud CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013).

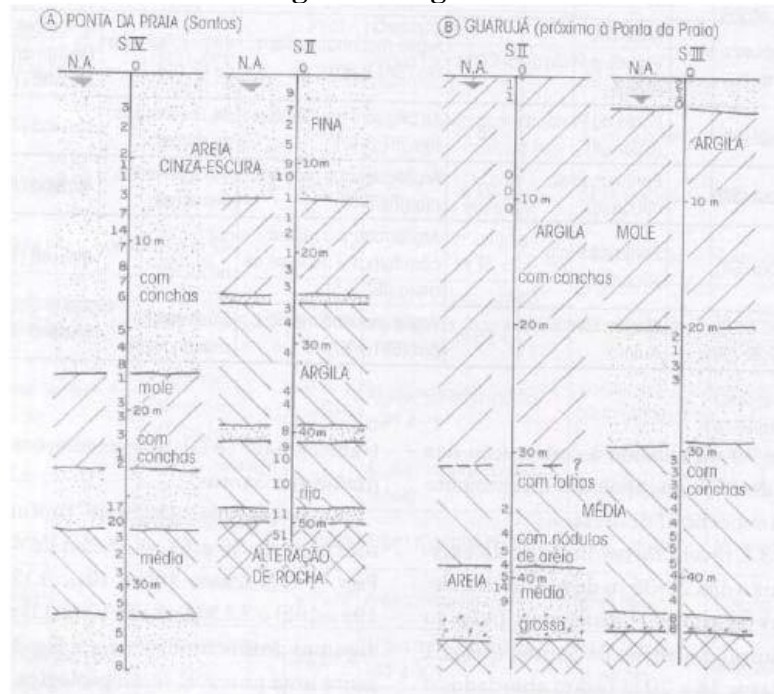
Nas **Figuras 8.1.2.3-6 e 8.1.2.3-7**, são apresentadas as sondagens realizadas nas proximidades do canal do porto de Santos, na região de Santo Amaro, no Guarujá, descritas por MASSAD (2009, apud CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013). As sondagens demonstram a ocorrência de uma camada de areia cinza de espessura menor que na orla da praia de Santos, que se encontra sobre uma cama espessa de argila marinha mole, que pode atingir valores acima de 30 m de profundidade. A camada argilosa AT média e rija ocorre em profundidade superiores a 40 metros.

Figura 8.1.2.3-6 - Perfis de sondagens na região da ilha de Santo Amaro, Guarujá



Fonte: MASSAD (2009, *apud* CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Figura 8.1.2.3-7 - Perfis de sondagens na região da ilha de Santo Amaro, Guarujá



Fonte: MASSAD (2009, *apud* CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

8.1.2.4 Características e Atributos dos Materiais

Como mencionado anteriormente, a área de estudo do empreendimento é caracterizada pelo predomínio de coberturas sedimentares, cujas principais características geológico-geotécnicas serão descritas a seguir.

Segundo MASSAD (1985 e 1986, *apud* CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013), na região da Baixada Santista ocorrem três tipos de sedimentos, cuja diferenciação é possível graças às características genéticas e geológico-geotécnicas, sendo os sedimentos de mangue, os sedimentos flúvio-lagunares (SFL) e as argilas transicionais (AT). A distinção geotécnica entre eles baseia-se, principalmente, nos valores de SPT (*Standard Penetration Test*) das argilas presentes em cada depósito.

De acordo com CONSÓRCIO PRIME-E TEL (2013) as argilas podem ser agrupadas em sedimentos anteriores aos rebaixamentos do nível do mar e posteriores a estes rebaixamentos. Quanto ao comportamento geotécnico, as distintas argilas têm comportamento bastante diferenciado, embora a análise simples de sua granulometria e seus índices físicos não mostrem, de maneira clara, diferenças significativas.

O material geológico mais antigo, conhecido como "Argilas Transicionais" (AT), é composto por materiais de origem continental e marinha depositados durante o Pleistoceno. Essas camadas são caracterizadas por um adensamento significativo resultante de processos de carga-descarga associados às variações do nível relativo do mar e ao peso das dunas. Os valores de SPT nessas camadas são superiores a 5.

Já os "Sedimentos Flúvio-Lagunares" (SFL), depositados durante o Holoceno, representam material mais recente e são caracterizados por um adensamento moderado, porém extremamente relevante para a eficiência das obras na região. Os valores de SPT nesses sedimentos variam entre zero e 4 golpes. Quando apresentam intercalações arenosas, os índices de compressão são mais baixos e as densidades naturais são mais elevadas.

Além desses, há um terceiro tipo de solo argiloso encontrado em alguns locais da superfície, ainda em fase de formação, conhecido como mangues (ou "sedimentos modernos"). Os valores de SPT nesses mangues são nulos, enquanto os mangues arenosos

apresentam valores de SPT entre 1/60 e 1/40.

As argilas dos mangues estão distribuídas ao longo das margens e fundos de canais, braços de maré e da rede de drenagem, sobrepondo-se aos sedimentos SFL. Podem ocorrer como intercalações de argilas arenosas e areias argilosas, dispostas de forma desordenada. Nesses locais, o valor de SPT é igual a zero.

Dentro dos sedimentos flúvio-lagunares, é predominante a presença de argilas moles a muito moles, formando uma espessa camada intercalada com finas e isoladas camadas arenosas de areias finas. Essa camada argilosa pode repousar sobre o embasamento rochoso ou sobre um pacote arenoso constituído por areias médias a grossas, provenientes de depósitos fluviais (SUGUIO e MARTIN, 1978 *apud* CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013). Por vezes, é recoberta por camadas superficiais de areias marinhas litorâneas. As argilas frequentemente contêm restos de conchas e podem apresentar vestígios vegetais, com uma coloração cinza-escura característica. A espessura desse pacote pode variar entre 12 e 30 metros. Os valores de SPT registrados geralmente variam entre zero e 4 golpes. Os sedimentos flúvio-lagunares apresentam valores de pressão de pré-adensamento entre 30 kPa e 200 kPa (Massad, 1986 *apud* CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013).

Já as argilas transicionais são compostas por argilas rijas de origem continental e marinha, depositadas durante o Pleistoceno. Geralmente encontradas em profundidades entre 19 e 25 metros, em sondagens realizadas na área do Ferry Boat Santos-Guarujá indicaram que essas argilas podem estar presentes em profundidades de 30 a 40 metros (MASSAD, 1994 *apud* CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013). Elas são altamente adensadas (com valores de pressão de pré-adensamento superiores a 200 kPa, podendo chegar a até 500 kPa) e apresentam índices de SPT superiores a 5 golpes (MASSAD, 1986 *apud* (CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013). A **Tabela 8.1.2.4-1** sintetiza as principais características que diferenciam as argilas de mangues, os sedimentos flúvio-lagunares e as argilas transicionais.

Tabela 8.1.2.4-1 - Síntese das profundidades de ocorrência e das propriedades diferenciadoras das argilas de mangue, SFL e ATs

| Características | Argilas Holocênicas | | Argilas Pleistocênicas |
|--------------------------------|---------------------|----------|------------------------|
| | Mangue | SFL | |
| Profundidade (m) | ≤ 5 | ≤ 50 | 20 - 45 |
| SPT | 0 | 0 - 4 | 5 - 25 |
| Pressões pré-adensamento (kPa) | < 30 | 30 - 200 | > 200 |
| Teor de matéria orgânica (%) | 4 - 6 | 4 - 6 | 25 |

Fonte: MASSAD (2009, *apud* CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

8.1.2.5 Caracterização Geológica da AID

De acordo com o estudo realizado por CONSÓRCIO PRIME-ETEL (2013), no projeto de melhoria do sistema viário da margem direita do porto de Santos - Av. Perimetral (Codesp/FIGUEIREDO FERRAZ, 2007), localizado no lado de Santos, foram efetuadas sondagens a percussão da série 700 em uma seção perpendicular ao eixo do Túnel Imerso Santos - Guarujá. Essas sondagens apresentam localização na região e proximidades do empreendimento em estudo, desde o eixo até uma distância da ordem de 500 m. Seus resultados estão apresentados em perfis individuais de sondagens. Prosseguindo por aproximadamente 700 m ao longo da Avenida Cidade de Santos, estão disponíveis as sondagens a percussão da série 300.

No lado do Guarujá localiza-se a sondagem S-11 apresentada na proposta do Consórcio de Empresas Projetistas, paralisada em solo de alteração de rocha com 30,4 5m (cota - 25,8 m), após atravessar 28 m (cota -23,4 m) de sedimentos flúvio-lagunares (SFL) (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Ainda nessa região, nos estudos do EIA-RIMA do Projeto de Dragagem de Aprofundamento do Canal de Navegação do Porto de Santos (Fundação Ricardo Franco, 2008), foram efetuadas sondagens *jet-probe* limitadas à profundidade de 0,5 a 8,0 m e também algumas sondagens a percussão limitadas a profundidades 19 a 20,5 m considerando inclusive a lâmina d'água e paralisadas nos sedimentos marinhos, além de seções sísmicas S-467, S-461, S-429, S-H, S-G, S-I (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

As sondagens SM-801 a SM-807 foram paralisadas em granito gnaisse são, estando o topo rochoso entre cotas 0,5 a - 37 m. O trecho em sedimentos que recobre o maciço

rochoso foi atravessado por lavagem e, portanto, não foi possível caracterizar os solos atravessados (CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013).

As sondagens mistas da série 500 mostraram sedimentos flúvio-lagunares (SFL) até profundidades entre 6 e 43,5 m. São caracterizados por pacotes arenosos até profundidades de 17,5 a 19 m, dispostos sobre argila siltosa pouco arenosa mole. Na SM-504 o topo rochoso é encontrado imediatamente abaixo da camada de aterro de 3 m. Esta sondagem está a aproximadamente 300 m da Pedra de Teffé (CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013).

No lado do Guarujá localiza-se a sondagem S-7, paralisada em argilas transicionais (AT) com 49,16 m, após ter atravessado 37,4 m (cota -33,9 m) de sedimentos flúvio-lagunares (SFL) (CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013).

A Pedra de Teffé localiza-se ao norte do local selecionado para a travessia, junto à margem de Santos, na altura da rua Xavier Pinheiro. As cotas mais elevadas que correspondem a esse alto do topo rochoso localizam-se entre 100 a 150 m do eixo da alternativa. A presença desses altos no topo rochoso e irregularidades na superfície do topo rochoso representam importantes condicionantes para a alternativa em túnel imerso devido a recalques diferenciais (CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013).

Para garantir o alargamento e o aprofundamento do canal portuário, no âmbito do projeto de Dragagem de Aprofundamento do Canal de Santos, foram eliminadas três interferências: as Pedras de Teffé e Itapema, e os restos do naufrágio do navio Ais Giorgis (CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013).

Em resumo, na área de Vicente de Carvalho, foram observados os seguintes aspectos geológico-geotécnicos:

- A presença de sedimentos flúvio-lagunares (SFL) é identificada até uma profundidade de 43 metros na margem de Santos e aproximadamente na cota -34 metros na margem do Guarujá. Na margem de Santos, também foram encontradas camadas arenosas no topo, variando em profundidade de 17,5 a 19 metros;
- Existem argilas transicionais (AT) com intercalações arenosas no lado do Guarujá e possivelmente abaixo do canal;

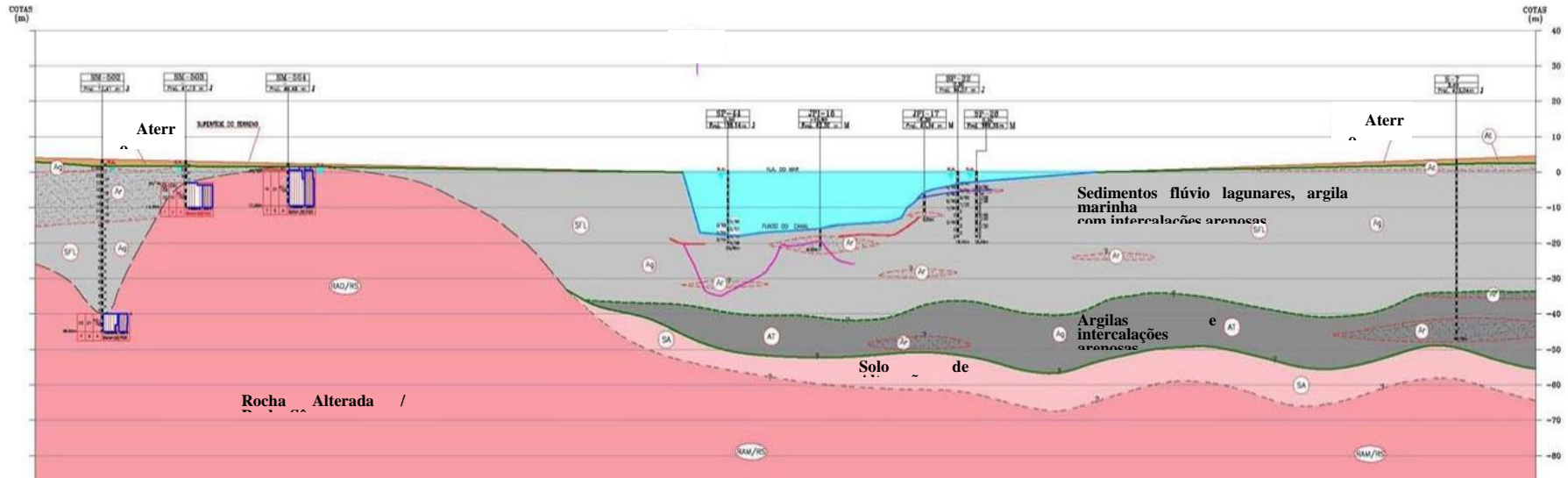
- A configuração do topo rochoso varia entre cotas/profundidades de 0,5 a -37,43 metros, com elevações notáveis representadas pela Pedra do Teffé, detectadas na margem de Santos. Por outro lado, no lado do Guarujá, o topo rochoso é encontrado em cotas que variam entre -60 e -65 metros.

Da mesma forma que na região Bagres-Barnabé, estão presentes nessa região solos de baixa resistência e alta compressibilidade (representados aqui apenas por sedimentos flúvio-lagunares - SFL) e outros solos de melhores propriedades para fundações, representados pelas argilas transicionais (AT), solos de alteração, além das rochas graníticas e gnáissicas. Quanto a recalques diferenciais, é destacada a importância das variações de espessura dos sedimentos altamente deformáveis assentados sobre o embasamento e seus produtos de alteração com módulos de deformabilidade muito mais elevados, como já observado no caso da região Barnabé-Bagres (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Na **Figura 8.1.2.5-1** é apresentada a seção geológica do Túnel Imerso Santos - Guarujá.

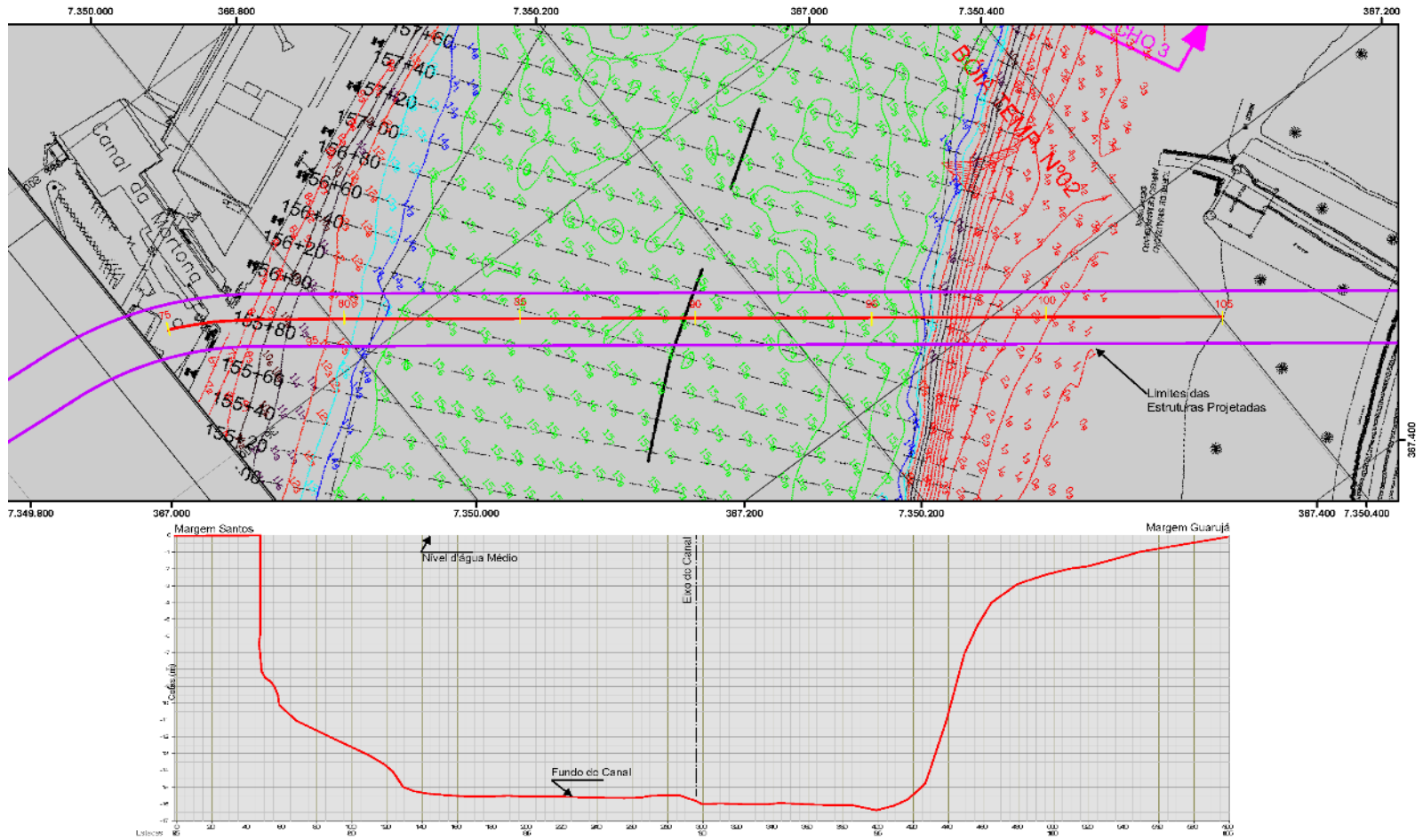
O fundo do canal de navegação apresenta cota -15 m, enquanto que, o canal junto ao cais de Outerinhos é de -12,5 m. Na **Figura 8.1.2.5-2** é apresentado o seu perfil batimétrico.

Figura 8.1.2.5-1 - Seção Geológica do Túnel Imerso Santos - Guarujá



Fonte: CONSÓRCIO PRIME-ETEL (2013).

Figura 8.1.2.5-2 - Perfil Batimétrico



Fonte: Modificado de CONSÓRCIO PRIME-E TEL (2013).

8.1.2.6 Processos Minerários

Na AII do empreendimento, segundo dados consolidados pela Agência Nacional de Mineração (ANM) e da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), existem atualmente 30 processos minerários, envolvendo a exploração de diferentes substâncias minerais. Essas substâncias incluem areia, argila, caulim, gnaiss, granito e saibro. A região em questão apresenta uma ampla variedade de minérios explorados, os quais possuem diferentes usos, tais como para brita, construção civil e industrial.

A partir dos dados obtidos junto à ANM foi elaborada a **Tabela 8.1.2.6-1**, que apresenta informações detalhadas sobre os processos minerários registrados na AII.

Conforme se observa na **Tabela 8.1.2.6-1** dos 30 processos minerários, 14 estão na fase de “Autorização de Pesquisa”, 6 em “Concessão de Lavra”, 2 em “Disponibilidade”, 2 em “Requerimento de Lavra”, 2 em “Requerimento de Licenciamento” e 4 em “Requerimento de Pesquisa”.

Os processos minerários perfazem uma área total de aproximadamente 4.832 ha, sendo que a exploração de areia corresponde a aproximadamente 1.964 ha, ou seja mais de 40% da área, a segunda substância em área é a argila com cerca de 32%, seguido por caulim com 15%, saibro com 8,3%, granito com 3,76% e gnaiss com apenas 0,47%.

Tabela 8.1.2.6 1 - Processos Minerários na Área de Influência Indireta (AII)

| Processo | Área (ha) | Fase | Titular | Substância | Uso |
|-------------|-----------|-------------------------------|-------------------------------------|------------|------------------|
| 820147/2018 | 598,34 | Autorização de Pesquisa | Allan Petterson Lopes Santos | Areia | Construção Civil |
| 820304/2017 | 49,34 | Autorização de Pesquisa | Tpb Terminal Portuário Brites Ltda. | Areia | Construção Civil |
| 820305/2017 | 35,08 | Autorização de Pesquisa | Tpb Terminal Portuário Brites Ltda. | Areia | Construção Civil |
| 820306/2017 | 48,29 | Autorização de Pesquisa | Tpb Terminal Portuário Brites Ltda. | Areia | Construção Civil |
| 820343/2018 | 104,03 | Autorização de Pesquisa | Tpb Terminal Portuário Brites Ltda. | Areia | Construção Civil |
| 820500/2017 | 29,28 | Requerimento de Licenciamento | Vetria Mineração S.A. | Areia | Construção Civil |
| 820723/2018 | 29,28 | Autorização de Pesquisa | Tpb Terminal Portuário Brites Ltda. | Areia | Construção Civil |
| 820817/2016 | 921,56 | Autorização de Pesquisa | Agrícola e Comercial Banaurea Ltda. | Areia | Construção Civil |

| Processo | Área (ha) | Fase | Titular | Substância | Uso |
|-------------|-----------|-------------------------------|--|------------|------------------|
| 820924/2016 | 49,58 | Autorização de Pesquisa | Terracom Construções Ltda. | Areia | Construção Civil |
| 820925/2009 | 49,59 | Concessão de Lavra | MSB Minerações Sustentáveis do Brasil S.A. | Areia | Construção Civil |
| 820928/2009 | 49,59 | Concessão de Lavra | MSB Minerações Sustentáveis do Brasil S.A. | Areia | Construção Civil |
| 820049/2010 | 340,18 | Autorização de Pesquisa | Fabio Cabral Silva de Oliveira Monteiro | Argila | Industrial |
| 820539/2023 | 208,97 | Autorização de Pesquisa | Astro Participações Ltda. | Argila | Industrial |
| 820889/2016 | 989,76 | Autorização de Pesquisa | Fazenda Sete Lagoas Agrícola S.A. | Argila | Industrial |
| 821264/1998 | 724 | Requerimento de Pesquisa | Miklós János Náday | Caulim | Não Informado |
| 820265/1986 | 22,74 | Concessão de Lavra | Intervales Minérios Ltda. | Gnaisse | Brita |
| 809996/1974 | 26,44 | Disponibilidade | Pedreira Guaiuba Ltda. | Granito | Brita |
| 820075/2015 | 31,7 | Autorização de Pesquisa | Fazenda Sete Lagoas Agrícola S.A. | Granito | Brita |
| 820075/2015 | 49,43 | Disponibilidade | Fazenda Sete Lagoas Agrícola S.A. | Granito | Brita |
| 820460/2006 | 1,9 | Requerimento de Pesquisa | Maxbrita Comercial Ltda. | Granito | Brita |
| 820460/2006 | 24,88 | Requerimento de Pesquisa | Maxbrita Comercial Ltda. | Granito | Brita |
| 821027/2012 | 47,37 | Autorização de Pesquisa | Maxbrita Comercial Ltda. | Granito | Brita |
| 820066/1991 | 16,51 | Concessão de Lavra | Maxbrita Comercial Ltda. | Saibro | Construção Civil |
| 820222/2004 | 0,49 | Requerimento de Lavra | Irmãos Lordello Ltda. | Saibro | Construção Civil |
| 820222/2004 | 5,91 | Requerimento de Lavra | Irmãos Lordello Ltda. | Saibro | Construção Civil |
| 820231/1990 | 212,09 | Concessão de Lavra | Intervales Minérios Ltda. | Saibro | Construção Civil |
| 820376/2003 | 5 | Requerimento de Licenciamento | Prefeitura Municipal de Guarujá | Saibro | Não Informado |
| 820705/1997 | 23,55 | Requerimento de Pesquisa | Luiz Carlos Cintra Lordello | Saibro | Não Informado |
| 821048/2010 | 109,52 | Autorização de Pesquisa | Maxbrita Comercial Ltda. | Saibro | Construção Civil |
| 821229/1996 | 28,25 | Concessão de Lavra | Irmãos Lordello Ltda. | Saibro | Construção Civil |

Fonte: <https://dados.gov.br/dataset/sistema-de-informacoes-geograficas-da-mineracao-sigmine>. Acesso em março de 2024.

A respeito dos processos minerários localizados na AID e ADA, de acordo com os bancos de dados consultados, existe apenas um processo nestas áreas, que seria o processo nº 8280817, em fase de Autorização de Pesquisa para a exploração de areia para construção civil. Na **Tabela 8.1.2.6-2** são apresentadas as principais informações do processo.

Tabela 8.1.2.6-2 - Processos Minerários na AID e ADA

| Processo | Área (ha) | Fase | Titular | Substância | Uso |
|-------------|-----------|-------------------------|-------------------------------------|------------|------------------|
| 820817/2016 | 921,16 | Autorização de Pesquisa | Agrícola e Comercial Banaurea Ltda. | Areia | Construção Civil |

Fonte: <https://dados.gov.br/dataset/sistema-de-informacoes-geograficas-da-mineracao-sigmine> . Acesso em março de 2024.

Na **Figura 8.1.2.6-1** é apresentado o mapa de localização do processo mineralógico localizado na AID e ADA.

Figura 8.1.2.6-1 - Mapa de Localização Processo Minerário na AID e ADA



Legenda

-  AID
-  ADA
-  Processo Minerário nº 820817/2016

0 0,75 1,5 km

Fonte: Agência Nacional de Mineração (ANM) e imagem Google Earth, 2024.

Elaboração: Fipe, 2024.

8.1.2.7 Potencial e Patrimônio Paleontológico

Esta Seção apresenta a avaliação do Potencial Paleontológico da área de estudo do empreendimento. As informações foram obtidas a partir de dados secundários.

Conforme apresentado na **Seção 8.1.2.1**, a área de estudo em contexto geológico está inserida no Cinturão Ribeira da Província da Mantiqueira, Domínios Costeiro e das Coberturas Sedimentares Fanerozóicas da Planícies Costeira.

A partir das informações da **Figura 8.1.2.2-2 - Mapa Geológico da AII**, foi direcionado o levantamento de dados secundários e a pesquisa na Base PALEO da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) e nas publicações realizadas pela Comissão Brasileira de Sítio Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP).

As consultas foram realizadas em abril de 2024, utilizando como critérios de busca as ocorrências por município e pela unidade litoestratigráfica. Como resultado, constatou-se que os municípios afetados pelo empreendimento não possuem nenhuma ocorrência fóssil.

Segundo TOLEDO (2021), o Potencial Paleontológico é o potencial que uma determinada unidade litoestratigráfica apresenta para revelar fósseis, sejam microfósseis ou macrofósseis (vegetais, invertebrados ou vertebrados) e para essa determinação é necessária uma revisão bibliográfica que aborde a geologia e a paleontologia da área, uma análise dos mapas geológicos disponíveis, consulta em banco de dados de ocorrências fossilíferas e consulta a coleções científicas de universidades e museus.

As unidades litoestratigráficas devem ser classificadas de acordo com seu grau de potencial paleontológico em muito alto, alto, médio, baixo e de ocorrência improvável (TOLEDO, 2021), seguindo a classificação proposta por JANSEN *et al.* (2012) para a potencialidade de ocorrência de cavernas no Brasil.

Os critérios que orientam essa classificação são balizados por atributos paleoecológicos / paleobiológicos e geológicos e os limites dessa classificação devem coincidir com a distribuição geográfica e estratigráficas das unidades (TOLEDO, 2021).

Nesse sentido, deve-se levar em consideração a distribuição e abundância dos

organismos, a paleobiodiversidade, o processo de fossilização, a importância dos fósseis presentes e o grau de preservação desses fósseis (TOLEDO, 2021).

Os dados secundários mostram a relevância dessas unidades e a possibilidade de coletas de controle em novas localidades, podem fornecer dados de paleobiogeografia e paleoecologia e informações precisas da localização, fossilização e tafonomia destas assembleias fossilíferas, sua paleoecologia e outras informações que potencialmente permitirão um avanço no conhecimento paleontológico regional, e/ou internacional.

O **Quadro 8.1.2.7-1** apresenta as unidades litoestratigráficas interceptadas pela AII do empreendimento e seus respectivos potenciais paleontológicos.

Quadro 8.1.2.7 1 - Potencial Paleontológico das Unidades Litoestratigráficas na AII

| Unidade Litoestratigráfica | Potencial Paleontológico |
|---|---------------------------------|
| Coberturas Detríticas Indiferenciadas (Qdi) | Ocorrência Improvável |
| Depósitos Litorâneos Indiferenciados (Qli) | Ocorrência Improvável |
| Granito Guarujá-Santos (G4gs) | Ocorrência Improvável |
| Unidade Gnaisse Peraluminoso | Ocorrência Improvável |
| Unidade Granito Gnáissica Migmatítica | Ocorrência Improvável |

Fonte: CPRM (2006).

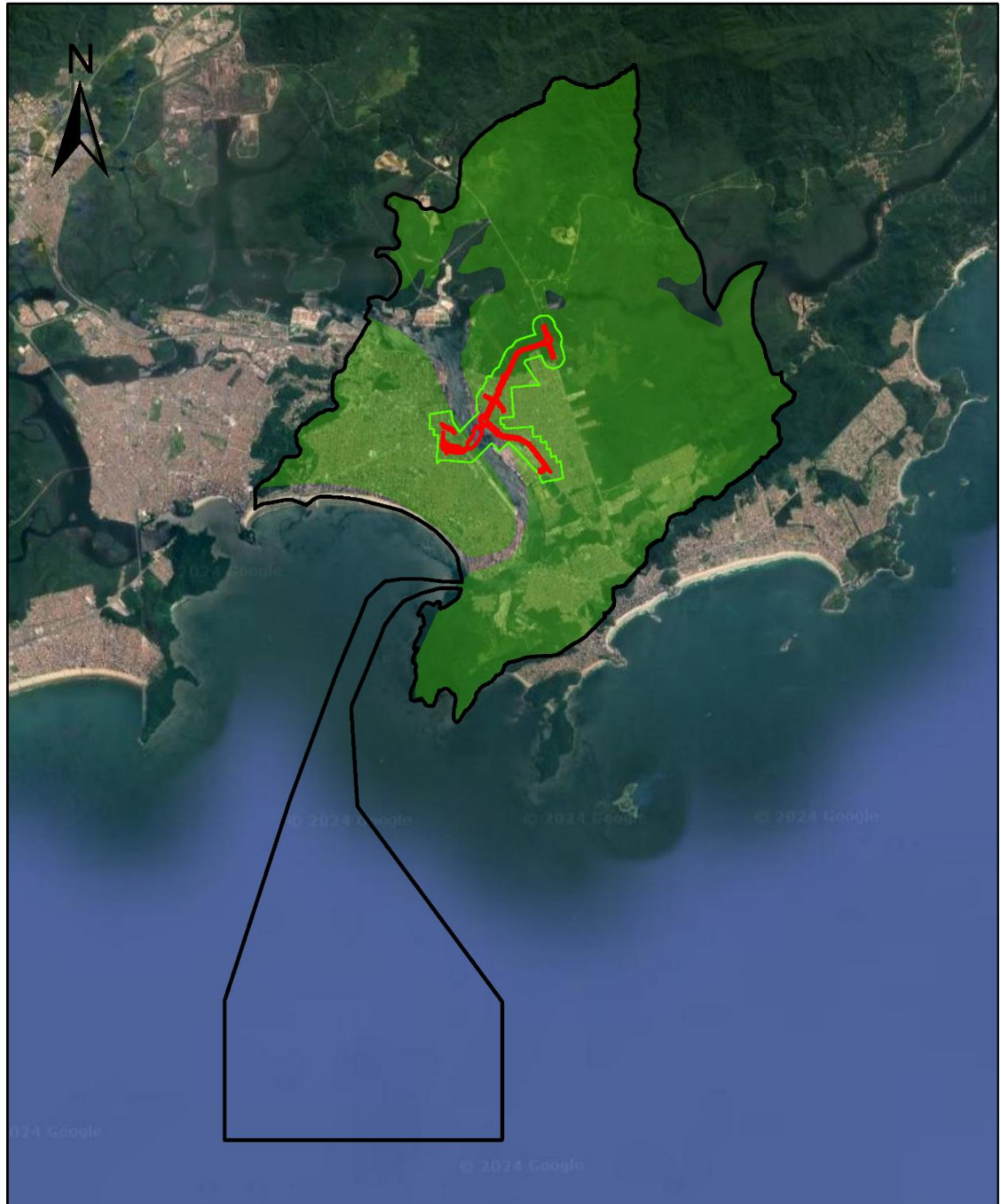
Elaboração: Fipe, 2024.

Com base no quadro acima é constatado que as unidades litoestratigráficas abrangidas pela AII possuem potencial espeleológico determinado como “Ocorrência Improvável”.

Na **Figura 8.1.2.7-1** é apresentada a distribuição do potencial paleontológico na AII.

Após a realização de uma pesquisa bibliográfica, consulta ao Banco de Dados, Informações e Produtos GEOSBG do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), e ao banco de dados da Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), não foram encontrados registros de fósseis na AII, na AID e ADA.

Figura 8.1.2.7-1 - Mapa do Potencial Paleontológico da AII



Legenda

-  AID
-  ADA

Potencial Paleontológico

-  Ocorrência Improvável

0 5 10 km

Fonte: Agência Nacional de Mineração (ANM) e imagem Google Earth, 2024.

Elaboração: Fipe, 2024.

8.1.2.8 Potencial e Patrimônio Espeleológico

Para a obtenção de um diagnóstico de potencialidade espeleológica na área de estudo, foi elaborado um mapa de potencialidade de ocorrência de cavidades especificamente para a AII, no qual foram utilizadas análise de multicritérios em ambiente SIG.

As variáveis sugeridas para avaliação de potencial na instrução de serviço supracitada são: litologia, estruturas geológicas, hidrografia, declividade e feições geomorfológicas, as quais foram adotadas na classificação deste estudo. Definidas as variáveis, foi conferida uma valoração específica para cada uma em função de seus atributos. Para tanto, considerou-se as particularidades da área de estudo, através da interpretação e do processamento de mapas e imagens orbitais.

A análise de potencial espeleológico de uma determinada área, muitas vezes, é fundamentada na litologia local, definida pelo arcabouço geológico. Neste sentido, o Cecav adota uma metodologia de classificação, conforme explicitada por JANSEN *et al.* (2012), onde o potencial espeleológico das áreas é classificado por associação das frequências de ocorrências de cavidades em cada tipo de litologia no Brasil.

Assim, as diversas litologias são agrupadas nas classes de potencial, conforme apresentado no **Quadro 8.1.2.8-1**.

Quadro 8.1.2.8-1 - Potencialidade espeleológica a partir das litologias

| Litologia | Grau de Potencialidade |
|---|------------------------|
| Calcário, Dolomito, Evaporito, Metacalcário, Formação ferrífera bandada, Itabirito e Jaspilito. | Muito Alto |
| Calcrete, Carbonatito, Mármore e Marga. | Alto |
| Arenito, Conglomerado, Filito, Folhelho, Fosforito, Grauvaca, Metaconglomerado, Metapelito, Metassilito, Micaxisto, Milonito, Quartzito, Pelito, Riolito, Ritmito, Rocha calci-silicática, Silito e Xisto. | Médio |
| Anortosito, Arcóseo, Augengnaisse, Basalto, Charnockito, Diabasio, Diamictito, Enderbitto, Gabro, Gnaisse, Granito, Granitóide, Granodiorito, Hornfels, Kinzigito, Komatito, Laterita, Metachert, Migmatito, Monzogranito, Oliva gabro, Ortoanfíbrito, Sienito, Sienogranito, Tonalito, Trondhjemito, entre outros litotipos. | Baixo |
| Aluvião, Areia, Argila, Cascalho, Lamito, Linhito, Turfa e outros sedimentos. | Ocorrência Improvável |

Fonte: Mapa de potencialidade de ocorrência de cavernas no Brasil, na escala de 1: 2.500.000, JANSEN *et al.* (2012)

Tendo essa análise como uma referência na metodologia aplicada, a variável litologia foi tomada como principal fonte de definição para a ocorrência de cavidades. A determinação dos pesos foi feita a partir da classificação do **Quadro 8.1.2.8-1**. Foram aplicados pesos de 1 a 5 para cada grau de potencialidade associado aos grupos de litologia, conforme demonstrado no **Quadro 8.1.2.8-2**.

Quadro 8.1.2.8 2 - Peso atribuído às classes de litologias de acordo com a potencialidade espeleológica

| Potencialidade espeleológica a partir dos litotipos, segundo Cecav | Peso adotado |
|--|--------------|
| Improvável | 1 |
| Baixo | 2 |
| Médio | 3 |
| Alto | 4 |
| Muito Alto | 5 |

Elaboração: Fipe, 2024.

As classificações da litologia, portanto, foram elaboradas segundo a correlação dos **Quadros 8.1.2.8-1 e 8.1.2.8-2**, tendo como fonte cartográfica o mapeamento geológico da área de estudo segundo a Mapa Geológico do Estado de São Paulo, na escala 1:750.000 (CPRM, 2006).

A variável relativa às feições geomorfológicas também é considerada de grande importância para a definição de potencial espeleológico, por isso, foram utilizados os maiores pesos (5 e 4) para salientar a presença dessas feições, não pontuando em caso de inexistência. Desta forma, foi avaliada considerando-se:

- I: presença de feições cársticas, especialmente: dolinas, uvalas, sumidouros, ressurgências, abrigos e cavernas, para as quais se atribui peso 5;
- II: a existência de afloramentos rochosos, atribuído peso 4; ou
- III: a ausência de feições destes tipos peso (0).
- IV: Quando os afloramentos são compostos por rochas carbonáticas ou com associação ferrífera, litologias muito propensas à formação de cavernas, soma-se peso 5 ao parâmetro.

Para essa avaliação, utilizou-se a interpretação de imagens de satélite e análise técnica.

Para o parâmetro das estruturas geológicas, foram consideradas a presença ou ausência daquelas feições que podem favorecer a formação de cavernas: falhas, fraturas e dobras;

sendo adotado peso 0 para ausência e peso 4 para presença; cuja fonte de informação também foi o mapa geológico da CPRM.

Igualmente, a hidrografia foi avaliada em termos de presença ou ausência, para as quais foram adotados pesos 1 e 0, respectivamente, considerando-se que corpos d'água são agentes potenciais na gênese de cavidades. Sua base de dados foi obtida através do mapeamento da rede de drenagem em escala 1:10.000 da Bacia Hidrográfica da Baixada Santista, elaborada pela Agência Metropolitana da Baixada Santista (Agem).

A variável declividade, que também compõe a análise, foi obtida através do processamento de imagem *raster* MDE, obtida no banco de dados geomorfométricos do Brasil - TOPODATA. Após a correção de algumas imperfeições nas camadas e processamento dos dados, atribui-se pesos de 0 ao 5, conforme intervalos enumerados no **Quadro 8.1.2.8-3**.

O **Quadro 8.1.2.8-3** demonstra as variáveis analisadas e a valoração atribuída a cada um dos seus atributos.

Quadro 8.1.2.8-3 - Variáveis, atributos e valoração da classificação de potencial espeleológico local

| Variável | Atributo | Valoração |
|-------------------------|---|-----------|
| Litologia | Coberturas Detríticas Indiferenciadas (Qdi) | 1 |
| | Depósitos Litorâneos Indiferenciados (Qli) | |
| | Granito Guarujá-Santos (€γ4gs) | 2 |
| | Unidade Gnaiss Peraluminoso (NPccgp) | |
| | Unidade Granito Gnáissica Migmatítica (NPccgm) | |
| Estruturas geológicas | Presença (falha, fratura, dobra) | 4 |
| | Ausência | 0 |
| Feições geomorfológicas | Presença de feições cársticas | 5 |
| | Presença de afloramentos (se rochas carbonáticas ou com associação ferrífera) | 4 (+5) |
| | Ausência de feições de interesse | |
| Hidrografia | Presença | 1 |
| | Ausência | 0 |
| Declividade | 0 a 2° | 0 |
| | 2 a 5° | 1 |
| | 5 a 10° | 2 |
| | 10 a 17° | 3 |
| | 17 a 20° | 5 |
| | 20 a 25° | 6 |
| | 25 a 30° | 7 |
| | 30 a 45° | 8 |
| | >45 | 9 |

Elaboração: Fipe, 2024.

Obtidos os dados georreferenciados de cada variável, realizou-se a soma destes resultados em ambiente SIG, através da ferramenta Álgebra de Mapas no programa de geoprocessamento “*ArcGis*”, onde todos os atributos foram convertidos em dados matriciais, conforme valoração de seu atributo.

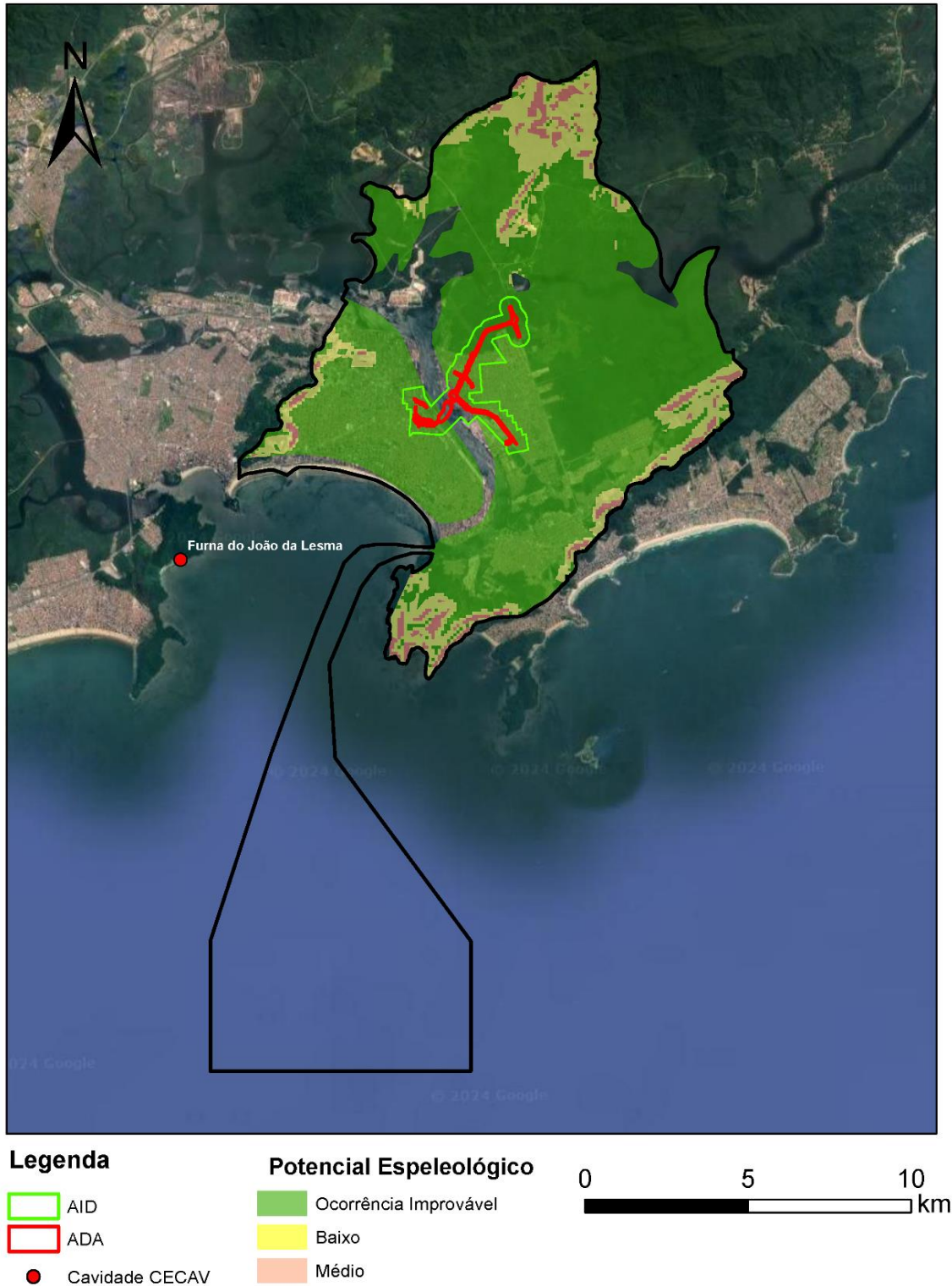
A reclassificação final é definida pelos intervalos de classe obtidos a partir da soma de todos os atributos presentes na referida área de estudo.

Na **Figura 8.1.2.8-1 - Mapa do Potencial Espeleológico** é apresentada a distribuição do potencial espeleológico da AII, obtida através da metodologia citada.

Além da elaboração do mapa de potencial espeleológico, foi realizada consulta ao banco de dados do Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE) e do Cadastro Nacional de Cavernas (CNC). A partir deste levantamento foi constatado que não existem cavidades naturais subterrâneas cadastradas ao longo das áreas de influência (AII, AID e ADA).

A cavidade natural subterrânea mais próxima do empreendimento é a Furna do João da Lesma, localizada no município de São Vicente no Parque Estadual Xixobá-Japuí a uma distância de aproximadamente 8 km do Túnel Imerso Santos - Guarujá.

Figura 8.1.2.8-1 - Mapa do Potencial Espeleológico



Fonte: Agência Nacional de Mineração (ANM) e imagem Google Earth, 2024.

Elaboração: Fipe, 2024.

8.1.3 Geomorfologia

O empreendimento em questão, Túnel Imerso Santos - Guarujá, está inserido no canal do Porto de Santos, entre as proximidades dos bairros Alemoa até Ponta da Praia na travessia da balsa, na margem direita em Santos, e entre a região da Serra do Quilombo e a travessia da balsa, na margem esquerda no Guarujá. Esta área é parte integrante do estuário de Santos (**Figura 8.1.3-1**), sendo alimentado por diversos rios como o Largo de Santa Rita, Santo Amaro, Sandi, Capiria, entre outros que serão melhor abordados na **Seção 8.1.6 - Recursos Hídricos**.

Figura 8.1.3-1 - Estuário de Santos



Fonte: CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013. Em vermelho, delimitação do limite geomorfológico do Estuário de Santos.

8.1.3.1 Caracterização do Relevo na AII

Os estudos geomorfológicos realizados na AII do empreendimento tiveram por objetivo caracterizar os tipos de relevos, quanto à morfografia, condicionantes litoestruturais, cobertura detrítica e dinâmica superficial, sendo executados com base nos critérios e dados apresentados por PONÇANO *et al.* (1981) e Pires Neto (1992 e 1996).

Para a descrição do relevo foram utilizados dados existentes no Mapa Geomorfológico

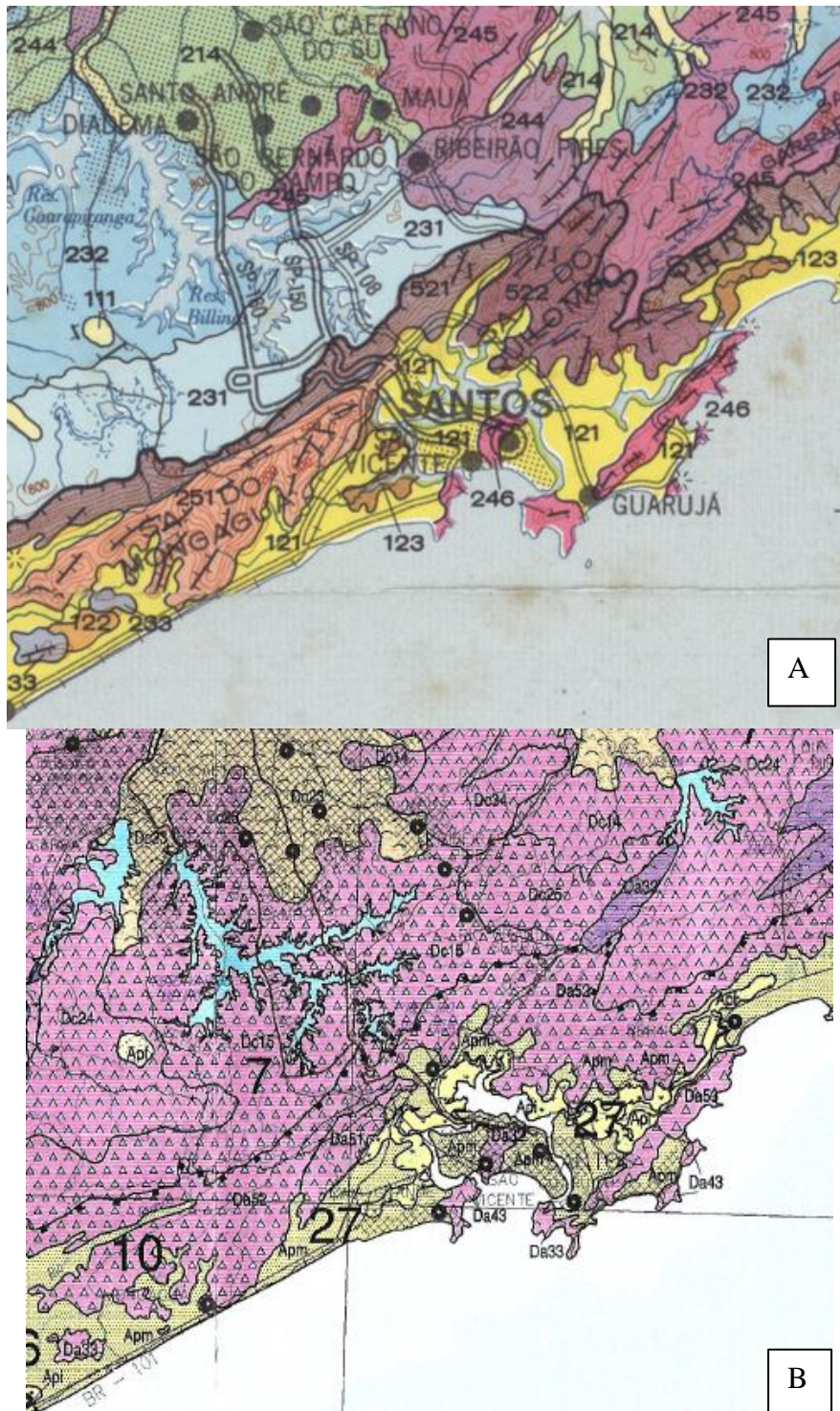
do Estado de São Paulo (PONÇANO *et al.*, 1981) e para a caracterização da dinâmica superficial foi feita análise da carta de declividade da AII, consultando-se também as cartas de susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação na AII do empreendimento.

Os estudos foram realizados com base na compilação e análise de dados bibliográficos e cartográficos, e quando necessária interpretação de imagens de sensores remotos, que permitiram reinterpretar os dados, que são apresentados neste item.

A opção pelo uso do Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (PONÇANO *et al.*, 1981) se deve à perspectiva metodológica adotada na elaboração desse mapa de tipos de relevo, que se reflete numa cartografia mais eficiente para a representação dos tipos de relevo, que são diferenciados por cores, o que permite uma leitura rápida e clara da constituição do relevo.

No mapa de 1997 (ROSS e MOROZ, 1997) a representação dos tipos de dissecados por texturas, em um fundo de cor que destaca o condicionamento morfoestrutural, acaba por dificultar a leitura, não permitindo a visualização clara do relevo, como pode ser visto na **Figura 8.1.3.1-1**.

Figura 8.1.3.1-1 - Diferença entre a cartografia dos mapas Geomorfológicos de São Paulo



Fonte: PONÇANO *et al.*, (1981) ROSS e MOROZ, (1997).

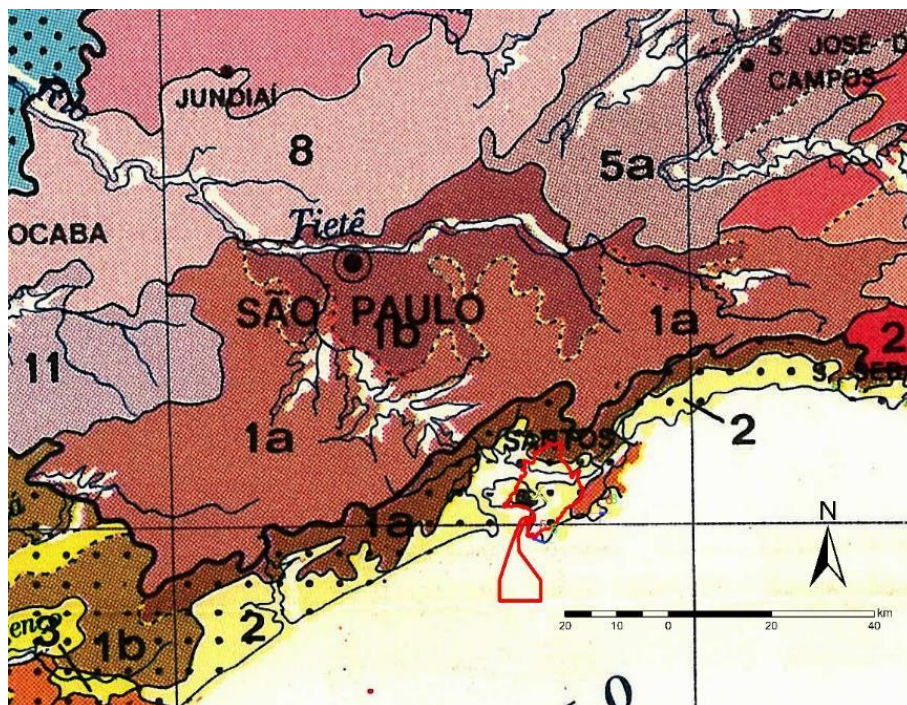
A - Recorte do Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo de 1981;

B - Recorte do Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo de 1997.

8.1.3.2 Compartimentos e Tipos de Relevo

A Área de Influência Indireta (AII) do empreendimento abrange tanto a Serra do Mar (1a) quanto às Baixadas Litorâneas da Província Costeira (2) (PONÇANO *et al.*,1981). Enquanto a presença da Serra do Mar (1a) é limitada à porção setentrional da AII e não é afetada pelo empreendimento, as Baixadas Litorâneas da Província Costeira (2) predominam na área, sendo interceptadas pelo projeto (**Figura 8.1.3.2-1**)

Figura 8.1.3.2-1 - Compartimentos de relevo do Estado de São Paulo na AII



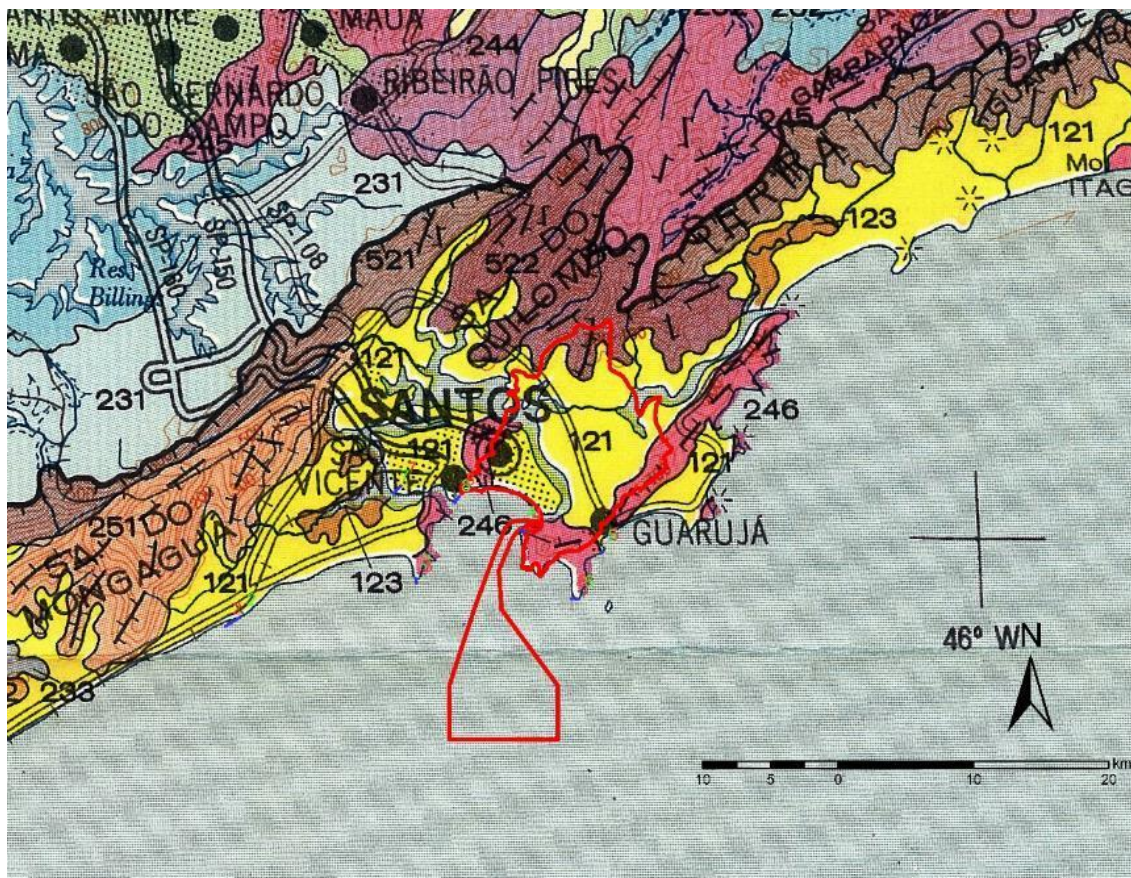
Fonte: Modificado de PONÇANO et al (1981). Em vermelho, delimitação da AII.

(1a) Serra do Mar;

(2) Baixadas Litorâneas da Província Costeira.

De acordo com PONÇANO *et al.* (1981), os tipos de relevo que ocorrem na AII do empreendimento são: (121) Planícies Costeiras, (236) Morros Isolados e (522) Escarpas com Espigões Digitados (**Figura 8.1.3.2-2**).

Figura 8.1.3.2-2 - Tipos de relevo que ocorrem na AII



Fonte: Modificado de PONÇANO et al. (1981). Em vermelho, delimitação da AII.

(121) Planícies Costeiras;

(246) Morros Isolados;

(522) Escarpas com Espigões Digitado.

No **Quadro 8.1.3.2-1** são apresentadas as características gerais dos tipos de relevo que ocorrem na AII.

Quadro 8.1.3.2-1 - Características gerais dos tipos de relevos que ocorrem na AII

| Unidade de Relevo Morfometria | Morfografia | Substrato Rochoso | Dinâmica Superficial |
|--|---|--|---|
| Planície Costeira (121) Decl: < 2 % Ampl: até 20 m | Terrenos baixos e mais ou menos planos, próximos ao nível do mar. | Silte, argila, areia e cascalho. | <ul style="list-style-type: none"> ● Entalhe lateral e vertical muito fraco, sujeito a inundações periódicas, lençol freático pouco profundo, sedimentos inconsolidados sujeitos a acomodação. |
| Morros Isolados (246) Decl: > 15% Ampl: 100 - 300 m | Topos arredondados, vertentes ravinadas de perfis convexos a retilíneos. Drenagem de média a alta densidade, padrão dendrítico, vales fechados. Ocorrem isolados nas planícies costeiras. | Biotita granito foliado, porfírico, com matriz de granulação média-grossa cinza e enclaves quartzo dioríticos frequentes. Em Santos, granito equigranular, maciço, de granulação fina a média, cor bege ou rosa e textura hipidiomórfica cortada por veios apolíticos. | <ul style="list-style-type: none"> ● Erosão laminar, em sulcos, reentalhe de canal, rastejo, queda de blocos e escorregamentos frequentes com média a alta intensidade |
| Escarpas com Espigões Digitados (522) Decl: 15 - 30% Ampl: > 100m | Espigões lineares e/ou subparalelos de topos angulosos. Vertentes com perfis retilíneos. Vales fechados. Drenagem de alta densidade e padrão paralelo-pinulado. | Granitos Peraluminosos, tipo S - biotita-muscovita granitos, granodioritos, com enclaves de gnaiss bandado (Granito. Morrão). Ortognaisse migmatítico calci-alcálico, hornblenda - biotita granitóide gnáissico porfírico e augem - gnaiss / Hornblenda-biotita gnaiss porfírico e augem gnaiss (Complexo Costeiro) | <ul style="list-style-type: none"> ● Erosão laminar, em sulcos, reentalhe de canal, rastejo, escorregamento e queda de blocos frequentes e de moderada a alta intensidade |

Fonte: Adaptado de PONÇANO *et al.* (1981) e CPRM (2006).



8.1.3.3 Caracterização do Relevo na AID

A **Figura 8.1.3.3-1** (Mapa Geomorfológico da AID) apresenta as formas de relevo que ocorrem na AID do empreendimento, e foi elaborada com base nos Mapas Geomorfológicos do Estado de São Paulo (IPT, 1981 e 1997), carta topográfica, fotointerpretação e análise de campo.

Figura 8.1.3.3-1 - Mapa Geomorfológico da AID



Fonte: Imagem Google Earth, 2024.

Elaboração: Fipe, 2024.

Conforme apresentado na **Figura 8.1.3.3-1**, na AID ocorre apenas a forma de relevo de planície costeira, sendo o terreno plano apresentando baixa amplitude e declividade, estando associado à presença de Depósitos litorâneos indiferenciados (Qli) e Coberturas detriticas indiferenciadas (Qdi).

Quadro 8.1.3.3-1 - Características gerais do relevo que ocorre na AID

| Unidade de Relevo Morfometria | Morfografia | Unidades Geológicas Associadas | Dinâmica Superficial |
|---|--|---|--|
| Planície Costeira (Pa) Dec: < 8% Amp: < 20 m | Terrenos baixos e aplainados, de baixa amplitude e declividade junto às margens dos principais corpos de água. | <ul style="list-style-type: none"> • Depósitos litorâneos indiferenciados (Qli); • Coberturas detriticas indiferenciadas (Qdi). | <ul style="list-style-type: none"> • Entalhe lateral e vertical do canal, deposição de finos por decantação, inundações periódicas. |

Fonte: Adaptado de PONÇANO *et al.* (1981) e CPRM (2006).

8.1.4 Pedologia

O objetivo geral dos estudos pedológicos foi o de fornecer as informações necessárias à composição do diagnóstico do meio físico, caracterizando a área de estudo quanto aos seus atributos pedológicos.

8.1.4.1 Caracterização dos Solos

A AII é caracterizada pela predominância de Gleissolos Sálícos (GZ), Cambissolos Háplicos (CX21) e Espodossolos Humilúvicos (EK), também ocorre de maneira isolada, na porção norte da AII, a presença de Neossolos (RL23).

Na **Figura 8.1.4.1-1** (Mapa Pedológico da AII) são apresentadas as classes de solos que ocorrem ao longo da AII do empreendimento.

8.1.4.2 Classes de Solos

Cambissolos

São solos minerais pouco desenvolvidos com horizonte B incipiente, não hidromórficos, apresentando, em seus horizontes, minerais primários não meteorizados. São moderadamente drenados e pouco profundos. A relação silte/argila é elevada, geralmente superior à dos Latossolos, devido ao seu menor grau de intemperização. Possui textura média, argilosa e muito argilosa. Tem horizonte superficial A tipo moderado ou

proeminente, com estrutura granular, e o horizonte subsuperficial B apresenta estrutura em blocos subangulares moderada.

A soma de bases, com teores baixos a médios, deve-se principalmente à presença de micas, vermiculitas e minerais primários existentes na massa do solo, que disponibilizam elementos pela sua alteração. O solo de alteração ou saprolítico tem textura variável, podendo ser areno-argiloso até argilo-arenoso, rico em grânulos e fragmentos de rocha, sendo comuns os blocos e matacões.

Os Cambissolos Háplicos ocorrem associados aos relevos Morros Isolados (246) e Escarpas com Espigões Digitados (522).

As unidades de mapeamento reconhecidas ao longo da AII são apresentadas no **Quadro 8.1.4.2-1**.

Quadro 8.1.4.2 1 - Unidades AII - CAMBISSOLO HÁPLICO

| CAMBISSOLO HÁPLICO | | |
|--------------------|---|-----------------------------|
| CX20 | Associação de CAMBISSOLO HÁPLICO típico, textura argilosa média A moderado e proeminente + ARGISOLO AMARELO / VERMELHO-AMARELO, textura média argilosa e argilosa, não rochoso e rochoso, ambos Distróficos | Forte Ondulado |
| CX21 | Associação de CAMBISSOLO HÁPLICO textura argilosa ou média, +NEOSSOLO LITÓLICO textura média, A moderado ambos Distrófico, A moderado | Forte Ondulado e Montanhoso |

Fonte: ROSSI (2017).

Uso e Aptidão Agrícola dos Cambissolos

Com base na Embrapa (2006), em áreas mais planas, os Cambissolos, principalmente os de maior fertilidade natural, argila de atividade baixa e de maior profundidade, apresentam potencial para o uso agrícola. Já em ambientes de relevos mais declivosos, os Cambissolos mais rasos apresentam fortes limitações para o uso agrícola, relacionadas à mecanização e à alta suscetibilidade aos processos erosivos. O manejo adequado dos Cambissolos implica a adoção de correção da acidez e de teores nocivos de alumínio à maioria das plantas, além de adubação de acordo com a necessidade da cultura. Para os Cambissolos das encostas, além destas, há necessidade das práticas conservacionistas devido à maior suscetibilidade aos processos erosivos.

Gleissolos

Esta classe compreende solos hidromórficos constituídos por material mineral, que apresentam horizonte glei dentro de 150 cm da superfície, imediatamente abaixo de horizontes A ou E (com ou sem gleização), ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos.

Esses solos não apresentam textura exclusivamente areia franca em todos os horizontes dentro dos primeiros 150 cm da superfície ou até um contato lítico. Tampouco apresentam horizonte vértico, ou horizonte B textural com mudança textural abrupta acima ou coincidente com horizonte glei, ou qualquer outro tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei. Horizonte plíntico, se presente, deve estar a uma profundidade superior a 200 cm da superfície.

Os solos desta classe encontram-se permanente ou periodicamente saturados por água, salvo se artificialmente drenados. A água permanece estagnada internamente, ou a saturação é por fluxo lateral no sol. Em qualquer circunstância, a água do solo pode se elevar por ascensão capilar, atingindo a superfície. Caracteriza-se pela forte gleização, em decorrência do ambiente redutor, virtualmente livre de oxigênio dissolvido, em razão da saturação por água durante o ano, ou pelo menos por um longo período, associado à demanda de oxigênio pela atividade biológica.

O processo de gleização implica na manifestação de cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, devido à redução e solubilização de ferro, permitindo a expressão das cores neutras dos minerais de argila, ou ainda a precipitação de compostos ferrosos. São solos mal ou muito mal drenados, em condições naturais. Apresentam sequência de horizontes A-Cg, A-Bi-Cg, A-Btg-Cg, A Eg-Bt-Cg, Ag-Cg, H-Cg, tendo o horizonte superficial cores desde cinzentas até pretas, espessuras entre 10 e 50 cm e teores médios a altos de carbono orgânico.

Os Gleissolos ocorrem exclusivamente nos relevos de Planícies fluviais (121), sendo a unidade de mapeamento descrita na AII, apresentada no **Quadro 8.1.4.2-2**.

Quadro 8.1.4.2-2 - Unidades AII - GLEISSOLO HÁPLICOS e SÁLICOS

| GLEISSOLO HÁPLICO | | |
|-------------------|--|-------|
| GX2 | Complexo indiscriminado de GLEISSOLO HÁPLICO ou MELÂNICO com ou sem ocorrência de ORGANOSSOLO | Plano |
| GX4 | Grupamento indiscriminado de GLEISSOLO HÁPLICO ou MELÂNICO e CAMISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico A moderado ou proeminente, textura indiscriminada, bem a imperfeitamente drenado. | Plano |
| GLEISSOLO SÁLICO | | |
| GZ | Associação de GLEISSOLO SÁLICO ou TIOMÓRFICO e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico sálico | Plano |

Fonte: ROSSI (2017).

Uso e Aptidão Agrícola dos Gleissolos

Os Gleissolos em geral apresentam baixa fertilidade natural, podendo apresentar problemas com acidez, e teores elevados de alumínio, de sódio e de enxofre.

São solos mal ou muito mal drenados, e devido ao seu hidromorfismo, oferecem sérias restrições ao uso de culturas agrícolas tradicionais como soja e milho, entretanto, são indicados para o cultivo de culturas como do arroz. O uso desses solos deve ser restringido quando estiverem próximos aos cursos d'água, por ser área de preservação das matas ciliares. Referente ao potencial de erosão, os solos classificados como Gleissolos apresentam no geral alto potencial, principalmente quando se encontram em vertentes convexas próximas aos canais de drenagem.

Neossolos Litólicos

Compreendem solos minerais pouco desenvolvidos, com profundidades de até 0,50 m. Apresentam sequência de horizontes A - R ou A - C - R, horizonte superficial A tipo moderado, textura média e argilosa e estrutura granular. O horizonte subsuperficial C possui textura média ou argilosa com estrutura refletindo o material de origem.

Solos com horizonte A ou hístico, assentados diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões) que apresentam um contato lítico típico ou fragmentário dentro de 50 cm da superfície do solo. Admite um horizonte B em início de formação, cuja espessura não satisfaz a qualquer tipo de horizonte B diagnóstico.

Os Neossolos Litólicos são encontrados em áreas de relevo bem movimentado e dissecado estando normalmente associados a Afloramentos Rochosos. Na AII esses solos ocorrem no relevo de Escarpas com Espigões Digitados (522) da Serrania Costeira.

As unidades de mapeamento que ocorrem na AII estão descritas no **Quadro 8.1.4.2-3**.

Quadro 8.1.4.2-3 - Unidades AII - NEOSSOLOS

| NEOSSOLO LITÓLICO | | |
|-------------------|--|------------------------|
| RL23 | Associação de NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico, textura média ou argilosa com o usem cascalho + Afloramentos Rochosos | Montanhoso e Escarpado |

Fonte: ROSSI (2017).

Uso e Aptidão Agrícola dos Neossolos

Com base na Embrapa (2006), os neossolos em áreas mais planas, principalmente, são os de maior fertilidade natural (eutróficos) e de maior profundidade, e apresentam potencial para o uso agrícola. Os solos de baixa fertilidade natural (distróficos) e mais ácidos são mais dependentes do uso de adubação e de calagem para correção da acidez. Os Neossolos de textura arenosa (areia) apresentam restrição causada pela baixa retenção de umidade. O uso destes solos deve ser restringido quando estiverem próximos aos cursos d'água, por ser área de preservação das matas ciliares. Em ambientes de relevos mais declivosos, os neossolos são mais rasos e apresentam fortes limitações para o uso agrícola, relacionadas à restrição à mecanização e à forte suscetibilidade aos processos erosivos.

Espodossolos

Os Espodossolos são solos ácidos, com elevados teores de alumínio e ferro, frequentemente encontrados em regiões de clima úmido a semiúmido. Estes solos apresentam características distintivas, como a presença de horizontes subsuperficiais com acúmulo de matéria orgânica, denominados de horizontes espodódicos. A formação desses horizontes resulta da interação entre os processos de intemperismo químico e ação biológica em ambientes de alta precipitação pluviométrica, onde há lixiviação intensa de bases e mobilização de alumínio e ferro para camadas mais profundas. A baixa capacidade de troca catiônica e a presença desses elementos em formas pouco disponíveis para as plantas contribuem para a baixa fertilidade natural dos Espodossolos, tornando-os desafiadores para a agricultura sem intervenções adequadas de manejo do solo.

Os Espodosolos apresentam uma sequência característica de horizontes pedogenéticos, revelando os processos de formação desses solos. No topo, encontra-se o horizonte O, composto por matéria orgânica em decomposição resultante da acumulação de resíduos vegetais. Logo abaixo, o horizonte A exibe uma mistura de matéria orgânica e minerais, com uma coloração mais escura, sendo frequentemente afetado por processos de lixiviação. Mais profundo, o horizonte B revela uma acumulação significativa de argila, ferro e alumínio, muitas vezes em formas pouco solúveis, além de características de espoliação. O horizonte C, o mais profundo, consiste em rocha ou material não alterado, podendo conter depósitos de minerais residuais. Em alguns casos mais desenvolvidos, pode-se encontrar um horizonte R, representando a rocha-mãe parcialmente alterada ou não alterada. Esses horizontes pedogenéticos refletem a complexa interação entre processos químicos, físicos e biológicos que moldam a formação dos Espodosolos.

Os Espodosolos ocorrem associados aos relevos de Planícies fluviais (121), sendo a unidade de mapeamento descrita na AII, apresentada no **Quadro 8.1.4.2-4**.

Quadro 8.1.4.2-4 - Unidades AII - ESPODOSSOLOSS

| ESPODOSSOLOS HUMILÚVICOS | | |
|--------------------------|--|----------------------------------|
| EK | ESPODOSSOLO HUMILÚVICO/FERRI-HUMILÚVICO Hidromórfico ou não hidromórfico distrófico | Relevo plano e suave ondulado |

Fonte: ROSSI (2017).

Uso e Aptidão Agrícola dos Espodosolos

Os Espodosolos apresentam desafios para a agricultura devido à sua acidez elevada, baixa fertilidade natural e tendência à espoliação de nutrientes. No entanto, com manejo adequado, incluindo a correção da acidez do solo e práticas de conservação, é possível explorar seu potencial. São mais adequados para culturas adaptadas a solos ácidos e com baixa exigência de nutrientes, como algumas frutíferas tropicais, culturas perenes (ex: seringueira) e culturas de ciclo curto (ex: mandioca, feijão). A viabilidade econômica da agricultura nesses solos pode variar, exigindo planejamento cuidadoso e práticas integradas para garantir a sustentabilidade e rentabilidade das atividades agrícolas.

8.1.4.3 Solos na AID e na ADA

Na AID do empreendimento em questão, foram identificados os seguintes tipos de solos: ESPODOSSOLO HUMILÚVICO/FERRI-HUMILÚVICO, podendo ser Hidromórfico ou não hidromórfico distrófico, com relevo plano a suave ondulado, localizados próximos à área urbana do Guarujá, tanto na região norte quanto na região sul da AID. Além disso, foram observadas associações de GLEISSOLO SÁLICO ou TIOMÓRFICO e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico sálico, também em áreas de relevo plano, no município do Guarujá, especialmente na região norte da AID.

Na porção central, leste e oeste da AID, e no município de Santos a determinação exata dos tipos de solo é dificultada devido à intensa urbanização da área.

Quanto à tipologia de solos existentes na ADA, a distribuição dos solos é semelhante à encontrada na AID. No entanto, nos municípios de Santos e na maior parte do Guarujá, a urbanização intensa limita a correta identificação dos solos. Ainda assim, nas extremidades norte e sul da ADA, no lado do Guarujá, são encontrados solos do tipo ESPODOSSOLO HUMILÚVICO/FERRI-HUMILÚVICO, podendo ser Hidromórfico ou não hidromórfico distrófico, com relevo plano a suave ondulado.

8.1.4.4 Susceptibilidade dos Solos à Erosão

A classificação da suscetibilidade à erosão dos solos descritos na AII e ao longo da ADA do Túnel foi determinada a partir da análise da interação dos fatores erodibilidade dos solos e características do relevo (DEL'ARCO *et al.*, 1992).

Nessa proposta a caracterização da suscetibilidade à erosão é baseada nas informações sobre as características dos solos em contraposição às características do relevo, o que permite estabelecer as categorias de suscetibilidade natural à erosão superficial das terras.

Os fatores declividade e comprimento de rampa foram considerados na descrição dos solos, como parte integrante de cada unidade de mapeamento, sendo diferenciadas as seguintes classes de relevo: plano (declives de 0 a 3%); suave ondulado (declives de 3 a 8%); ondulado (declives de 8 a 20%), forte ondulado (declives de 20 a 45 %) e escarpado e montanhoso (declives maiores que 45%).



Os solos foram agrupados em classes de erodibilidade distintas com base em resultados quantitativos experimentais constantes na literatura especializada e na análise de suas características intrínsecas (SARTORI, LOMBARDI NETO e GENOVEZ, 2005), sendo as classes de erodibilidade dos solos descritas no **Quadro 8.1.4.4-1**.

Quadro 8.1.4.4-1 - Classe de erodibilidade dos Solos

| Resistência à erosão | Profundidade | Permeabilidade | Textura | Erodibilidade |
|-----------------------------|---|---|---|----------------------|
| Alta | Muito profundo (>2m) Profundo (1 a 2 m) | Rápida /rápida Moderada / rápida | Média / média Muito argilosa/ Muito argilosa Argilosa / argilosa | Fraca |
| | LATOSSOLO AMARELO Distrófico A moderado, textura argilosa LATOSSOLO VERMELHO Ácrico A moderado, textura muito argilosa LATOSSOLOS VERMELHO Acriférrico textura argilosa LATOSSOLOS VERMELHO AMARELO Distrófico A moderado, textura argilosa LATOSSOLOS VERMELHO Distróférico A moderado, textura muito argilosa LATOSSOLOS VERMELHO Distrófico A moderado, textura muito argilosa LATOSSOLOS VERMELHO Eutróférico A moderado, textura muito argilosa | | | |
| Moderada | Profundo (1 a 2 m) | Rápida /rápida Rápida /moderada Moderada/moderada | Arenosa/arenosa Arenosa/ média Arenosa/argilosa Média/argilosa Argilosa/ m argilosa | Moderado |
| | ARGISOLO VERMELHO Eutrófico A moderado, textura argilosa/muito argilosa LATOSSOLO AMARELO Distrófico A proeminente textura média LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico textura média NEOSSOLO QUATZOARENICO Órtico A fraco NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico A moderado, textura média /argilosa NITOSSOLO HÁPLICO Eutróférico chernossólico textura argilosa NITOSSOLOS VERMELHO Distrófico latossólico A moderado, textura argilosa / muito argilosa NITOSSOLOS VERMELHO Eutróférico A moderado, textura muito argilosa | | | |

| Resistência à erosão | Profundidade | Permeabilidade | Textura | Erodibilidade |
|-----------------------------|--|---|---|----------------------|
| Baixa | Profundo (1 a 2 m) Moderadamente Profundo (0,5 a 1,0m) | Lenta /rápida Lenta / moderada Rápida /moderada | Arenosa/média Média/argilosa Arenosa/argilosa Arenosa/m argilosa | Forte |
| | ARGISSILO VERMELHO Eutrófico A moderado, textura média / argilosa ARGISSOLO AMARELO Distrófico A moderado, textura arenosa/média ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico A moderado, textura media /argilosa CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico latossólico textura média CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico A moderado, textura média CAMBISSOLO HUMICO Distrófico latossólico, textura média ESPODOSSOLO FERROCARBICO Hidromórfico NEOSSOLO FLUVICO | | | |
| Muito baixa | Moderadamente Profundo (0,5 a 1,0m) Raso (0,25 a 0,50m) | Rápida, moderada ou lenta / lenta | Muito variável | Muito Forte |
| | ALISSOLO CROMICO Argiluvico abruptico A moderado, textura média /muito argilosa AFLORAMENTOS DE ROCHA CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico gleico CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico A moderado, textura argilosa/média CHERNOSSOLO ARGILUVICO Férrico, textura argilosa LUVISSOLO CROMICO Pálico arênico A moderado, textura arenosa /média LUVISSOLO CROMICO Pálico planossolico A moderado, textura arenosa /média NEOSSOLO LITÔLICO Eutrófico chernossólico PLINTOSSOLO PÉTRICO Concessionário Distrófico A moderado, textura arenosa/media muito cascalhenta | | | |

Fonte: Modificado de SARTORI, LOMBARDI NETO e GENOVEZ (2005).

Para definição das classes de suscetibilidade à erosão superficial, procedeu-se à análise da interação dos fatores *erodibilidade dos solos* e *características do relevo*, conforme apresentado no **Quadro 8.1.4.4-2**, cujas características são descritas no **Quadro 8.1.4.4-3**.

Quadro 8.1.4.4-2 - Classes de suscetibilidade à erosão, obtidas pela relação entre a erodibilidade dos solos e a declividade do relevo

| Erodibilidade dos Solos | TIPOS DE RELEVO | | | | |
|-------------------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------------|----------------------|
| | Plano | Suave Ondulado | Ondulado | Forte Ondulado | Escarpado/Montanhoso |
| Fraca | Fraca | Fraca | Fraca/ Moderada | Moderada/ Forte | Forte |
| Moderada | Fraca / Moderada | Moderada | Moderada/ Forte | Forte | Forte / Muito Forte |
| Forte | Moderada | Moderada/ Forte | Forte | Forte/ Muito Forte | Muito Forte |
| Muito forte | Moderada | Moderada/ Forte | Forte | Muito Forte | Muito Forte |

Fonte: DEL'ARCO *et al.*, (1992)

Quadro 8.1.4.4 3 - Características e atributos das classes de susceptibilidade à erosão

| Suscetibilidade à erosão | Características |
|----------------------------|--|
| Fraca | Corresponde a áreas de solos caracterizados como de fraca erodibilidade, ocorrendo em condição de relevo plano e/ou suave ondulado. As terras assim caracterizadas são constituídas em sua maioria por solos de considerável permeabilidade. |
| Fraca / Moderada | Corresponde na área a terras constituídas de solos caracterizados como de moderada erodibilidade, ocorrendo em condição de relevo plano. |
| Moderada | Corresponde na área a terras constituídas de solos caracterizados como de forte e muito forte erodibilidade, ocorrendo em condição de relevo plano e solos caracterizados como de moderada erodibilidade ocorrendo em condição de relevo suave ondulado. |
| Moderada / Forte | Corresponde na área a terras constituídas de solos caracterizados como de forte e muito forte erodibilidade, ocorrendo em condição de relevo suave ondulado, e solos caracterizados como de moderada erodibilidade ocorrendo em condição de relevo ondulado. |
| Forte | Corresponde a áreas de solos caracterizados como de forte e muito forte erodibilidade, ocorrendo em áreas de relevo ondulado, e de solos caracterizados como de moderada erodibilidade, e em condição de relevo forte ondulado. |
| Forte / Muito Forte | Corresponde a áreas de solos caracterizados como de forte erodibilidade, ocorrendo em áreas de relevo forte ondulado. |
| Muito Forte | Corresponde a áreas de solos caracterizados como de muito forte erodibilidade, ocorrendo em condição de forte ondulado e áreas de solos caracterizados como de forte e muito forte erodibilidade ocorrendo em condição de relevo escarpado/montanhoso. |
| Especial | Corresponde a áreas constituídas por material não suscetível à ação de processos erosivos, como alguns tipos de terreno (Afloramentos de Rocha) e áreas de planícies de inundação e ilhas de rios, que são áreas submetidas a uma dinâmica hídrica especial, com alternância de períodos de cheia e períodos de seca, que sobrepujam em importância a vulnerabilidade natural, determinada pelas demais características do ambiente. |

Fonte: DEL'ARCO *et al.* (1992)

Para a caracterização do Grau de Susceptibilidade à Erosão dos solos ao longo AII, foi considerada a Erodibilidade do tipo de solo predominantes em cada unidade de mapeamento, que foi analisada com relação ao relevo, sendo as categorias obtidas apresentadas no **Quadro 8.1.4.4-4**.

Quadro 8.1.4.4-4 - Classes de solos e grau de susceptibilidade a erosão dos solos que ocorrem na AII

| Solo Predominante (<i>Erodibilidade</i>) | Relevo | Grau de susceptibilidade a erosão |
|---|------------------------------|-----------------------------------|
| Cambissolos - CX21, CX20 (Forte / Muito forte) | Forte ondulado Montanhoso | Muito forte |
| Neossolos - RL23 (Muito Forte) | Montanhoso Escarpado | Muito forte |
| Gleissolos - GX2, GX4 (Muito Forte) | Plano | Moderada / Forte |
| Neossolos - RY2 (Muito Forte) | Montanhoso Escarpado | Muito Forte |
| Espodossolo - EK (Forte) | Plano a Suave Ondulado | Moderada / Forte |

8.1.5 Processos de Dinâmica Superficial

8.1.5.1 Caracterização da Dinâmica Superficial na AII

Os processos da dinâmica superficial na AII foram avaliados e caracterizados com base no trabalho de NAKAZAWA *et al.* (1994) e na análise de terrenos, que permite uma visão integrada dos diferentes aspectos do meio físico analisados, os quais determinam sua dinâmica superficial e sua sensibilidade geoambiental.

Comportamento Geotécnico

Com base no trabalho de NAKAZAWA *et al.* (1994) pode-se identificar na AII cinco padrões de comportamento geotécnico, sendo estes representados pelas unidades:

- 3 e 4 - Alta susceptibilidade à erosão nos solos superficiais, induzida por movimentos de terra e Muito Alta susceptibilidade a escorregamentos (naturais e induzidos);
- 3 e 5a - Alta susceptibilidade à erosão nos solos superficiais, induzida por movimentos de terra e Alta susceptibilidade a escorregamentos (naturais e induzidos, rochas do cristalinas do embasamento);

- 11 - Muito Alta susceptibilidade a recalques por adensamento de solos moles, inundações diárias associadas às marés;
- 12 - Alta susceptibilidade a recalques por adensamento de solos moles, inundações pluviais;
- 15 - Alta susceptibilidade a inundação, recalque, assoreamento solapamento de margem de canais.

O comportamento geotécnico, conforme descrito por NAKAZAWA *et al* (1994), para a AII é apresentado no **Figura 8.1.5.1-1** (Mapa Geotécnico da AII).

Unidade 3 e 4 - Suscetibilidade à erosão nos solos superficiais, induzidos por movimentos de terra - Alta e Suscetibilidade a escorregamentos naturais e induzidos - Muito Alta

São áreas associadas a relevos de Escarpas com espigões digitados (522), sustentadas por ortognaisses e granitos gnáissicos migmatíticos do Complexo Costeiro e Granitos Peraluminosos, tipo S (Granitos Morrão). Sobre essas rochas se desenvolvem Cambissolos e Neossolos.

De modo geral os solos apresentam pequena espessura, afloramentos rochosos e susceptibilidade a erosão Muito Forte e estão associados a encostas de alta inclinação. Nessas condições comportam-se como áreas muito frágeis, onde à realização de obras de terraplanagem, que removem o solo superficial e expõem o solo de alteração, favorecem ao desenvolvimento de movimentos de massa, sulcos de erosão, ravinas e conseqüentemente o assoreamento dos canais fluviais próximos e a jusantes das áreas de intervenção.

Unidades 3 e 5a - Alta susceptibilidade à erosão nos solos superficiais, induzida por movimentos de terra e Alta susceptibilidade a escorregamentos (naturais e induzidos)

Esses terrenos correspondem aos relevos de Morros Isolados (246), sustentados por ortognaisses e granitos gnáissicos migmatíticos do Complexo Costeiro e Granitos (Granito Guarujá-Santos) que se associam a Cambissolos.

Os solos superficiais são rasos, argiloso e areno-argilosos, com grânulos e cascalho com susceptibilidade à erosão Muito forte. Os solos de alteração são argilo-siltosos, por vezes micáceos, com blocos e matações emersos na massa do solo que são rasos e com baixa

coesão.

Tais características tornam esses terrenos muito frágeis à realização de obras de terraplenagem, quando se remove o solo superficial e se expõe o solo de alteração e grande quantidade de blocos e matacões. A exposição do solo de alteração favorece o desenvolvimento de sulcos de erosão e ravinas, e, conseqüentemente, o assoreamento dos canais fluviais nas proximidades das áreas de interferência.

Os movimentos de massa mais comuns nessas áreas são o rastejo e os escorregamentos planares em solo, que tem ocorrência restrita às encostas com maiores declividades. A ocorrência desses processos é favorecida, ainda, pelas modificações inadequadas na geometria das encostas.

Unidade 11 - Muito Alta Suscetibilidade a recalques por adensamento de solos moles, inundações diárias associadas às marés

Esses terrenos correspondem às Planícies Costeiras (121), constituídas por depósitos litorâneos indiferenciados, como depósitos de areias e argila, estando associados a Espodossolos e Gleissolos. Esses sedimentos inconsolidados têm baixa capacidade de suporte, favorecendo a ocorrência de recalques. Ocorrência de inundações diárias associadas ao ciclo das marés e assoreamento dos canais dependente das condições da vegetação típica, responsável pela fixação dos sedimentos. Nestes terrenos é necessária a adoção de critérios especiais para o dimensionamento de aterros e fundações.

Unidade 12 - Alta suscetibilidade a recalques por adensamento de solos moles, inundações pluviais

Esses terrenos correspondem às Planícies Costeiras (121), constituídas por depósitos litorâneos indiferenciados, como depósitos de areias e argila, estando associados a Espodossolos e Gleissolos. Ocorrência de inundações frequentes durante período mais chuvoso, recalques localizados em fundações, aterros, infraestrutura subterrânea e pavimentos viários por adensamento de solos moles, danificação de leitos das vias devido à saturação do subleito, assoreamento do sistema de drenagem acentuando as condições de inundação e instabilidade das paredes de escavação.

Unidade 15 - Alta susceptibilidade a inundações, recalque, assoreamento e solapamento de margem de canais

Esses terrenos correspondem às Planícies Costeiras (121), constituídas por depósitos litorâneos indiferenciados, como depósitos de areias e argila, estando associados a Espodosolos e Gleissolos. Ocorrência de inundações fluviais e/ou pluviais, assoreamento dos canais da drenagem, solapamento das margens, recalques excessivos e/ou diferenciados das estruturas de fundação, degradação de pavimentos viário, dificuldades de eventuais escavações pela instabilidade das paredes.

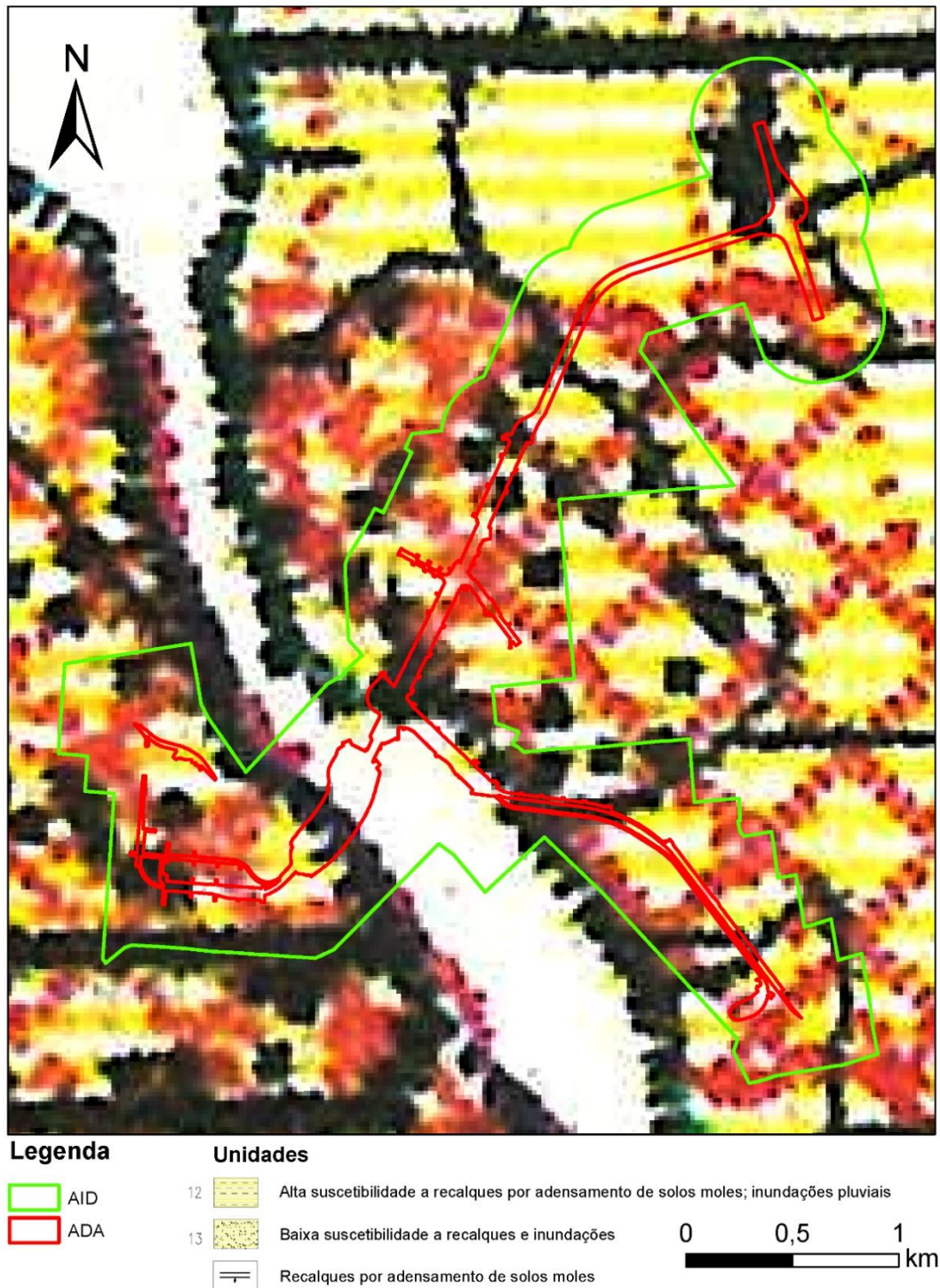
8.1.5.2 Comportamento da Fragilidade Ambiental na AID e ADA

O comportamento da fragilidade ambiental na AID e na ADA do empreendimento em questão possui características semelhantes uma vez que as áreas são compostas por elementos similares do meio físico como litologia, solos, geomorfologia e uso e ocupação do solo.

De acordo com o proposto por NAKAZAWA *et al.* (1994), na AID e na ADA, os terrenos são caracterizados da seguinte forma: na porção oeste do empreendimento, localizada no município de Santos, ocorrem terrenos da Unidade 13, com baixa susceptibilidade a recalques e inundações. Já na porção leste, no Guarujá, também existem terrenos da Unidade 13, localizados na margem do canal de Santos, e terrenos da Unidade 12, com alta susceptibilidade a recalques por adensamento de solos moles e inundações pluviais, nas porções mais distais do canal (**Figura 8.1.5.2-1**).

NAKAZAWA *et al.* (1994) também descreve a ocorrência de manifestações de recalques por adensamento de solos moles que causam danos às ocupações próximas da AID e ADA, tanto no município de Santos quanto no Guarujá.

Figura 8.1.5.2-1 - Unidades Geotécnicas na AID e ADA



Fonte: Modificado de NAKAZAWA *et al.* (1994).

Elaboração: Fipe, 2024.

No **Quadro 8.1.5.2-1** são apresentados os tipos de terrenos identificados e suas principais características na AID e ADA.

Quadro 8.1.5.2-1 - Características Geotécnicas das Unidades que ocorrem na AID e ADA

| Problemas Existentes e/ou Potenciais | | | | Aspectos Físicos de Interesse | Aspectos do uso do Solo | Recomendação para Uso do Solo | Observações |
|--------------------------------------|--|-----------------|---|---|--|---|--|
| Unidade | Processo Suscetível | Suscetibilidade | Descrição | | | | |
| 12 | Inundações, adensamento de solos moles | Alta | <ul style="list-style-type: none"> - Inundações frequentes durante os períodos chuvosos, decorrentes das dificuldades de escoamento de águas superficiais, devido à baixa declividade, obstruções ao fluxo, ausência ou deficiência do sistema de drenagem; - Recalques localizados em fundações, aterros, infraestrutura subterrânea e pavimentos viários por adensamento de solos moles; - Danificação do leito das vias devido à saturação do subleito; - Assoreamento do sistema de drenagem acentuando as condições de inundação e comprometendo, até mesmo, a qualidade das águas das praias adjacentes; - Instabilidade das paredes de escavação. | <ul style="list-style-type: none"> - Sedimentos flúvio-lagunares e de baía, constituídos por sedimentos argilosos, com intercalações arenosas, com muita matéria orgânica, conferindo-lhes, por vezes, constituição tufosa; - Terrenos baixos e com declividade inferior a 5% separados das praias por cordões litorâneos; - Os sedimentos argilosos ocorrem geralmente até a profundidade de 20 m, podendo estar aflorando na superfície; - Nível d'água próximo a superfícies ou mesmo aflorante durante boa parte do ano, estabelecendo áreas constantemente encharcadas; - Solo com baixa capacidade de suporte, apresentando SPT muito baixo (predominantemente <2). | <ul style="list-style-type: none"> - Esgotados os melhores terrenos; - A expansão urbana e industrial da Baixada Santista, tem-se dados sobre os terrenos desta unidade. | <ul style="list-style-type: none"> - Adotar obras e medidas específicas voltadas principalmente à drenagem e fundação, para a sua ocupação urbana; - Instalar obrigatoriamente rede coletora de esgoto nas áreas ocupadas, excluindo qualquer alternativa que leve à infiltração local de resíduos domésticos ou industriais; - Executar prospecção detalhada do subsolo para edificações ou obras de qualquer porte, considerando a possibilidade de recalques das obras projetadas; - Adotar, preferencialmente, nas vias urbanas, pavimentos articulados ou outros adequados a este tipo de terreno; | <p>São os terrenos mais problemáticos para a ocupação urbana na baixada litorânea, em parte já ocupados.</p> |

| Problemas Existentes e/ou Potenciais | | | | Aspectos Físicos de Interesse | Aspectos do uso do Solo | Recomendação para Uso do Solo | Observações |
|--------------------------------------|---------------------|-----------------|---|---|--|---|--|
| Unidade | Processo Suscetível | Suscetibilidade | Descrição | | | | |
| | | | | | | - Adotar medidas como escoramento/rebaixamento da água nas escavações. | |
| 13 | | Baixa | <ul style="list-style-type: none"> - Problemas eventuais de fundação ligados principalmente a recalques em edificações de maior porte devido à presença de camadas argilosas normalmente adensadas (sedimentos flúvio-lagunares), em subsuperfície; - Dificuldade no escoamento das águas superficiais e servidas principalmente nas áreas de cotas mais baixas; - Enchentes localizadas decorrentes da deficiência no sistema de captação e adução de águas servidas pluviais; - Assoreamento e poluição das drenagens e praias ligado à atividade de mineração e retificação de cursos d'água e canais; - Instabilidade de paredes de escavação na presença do N.A.; | <ul style="list-style-type: none"> - Areias marinhas e praias; - Terrenos de baixa declividade constituído essencialmente por areias pobres em argilas, com ocasionais intercalações argilosas; - Formado por terraços elevados com cotas maiores que 2 m até cerca de 13 m acima do nível do mar; antigos cordões litorâneos; depressões arenos-turfosas; praias atuais; - As depressões areno-turfosas e as porções intercordões contêm finas camadas turfáceas; - Os sedimentos arenosos sob estas camadas podem apresentar cimentação húmica, conferindo-lhes maior resistência; | <ul style="list-style-type: none"> - Os terrenos desta unidade, são mais favoráveis, foram os primeiros a serem ocupados, suportando porções mais antigas e consolidadas da Baixada Santista. | <ul style="list-style-type: none"> - Instalar sistemas adequados de captação, tratamento e adução de águas superficiais e servidas; - Adotar soluções compatíveis com a natureza das edificações, cargas impostas, e características do subsolo, visando evitar ou reduzir recalques excessivos e/ou diferenciais das fundações; - Subordinar a mineração de areia e cascalho a um estudo detalhado de impacto ambiental e à exigência de um plano de recuperação da área; - Adotar medidas como escoramento/rebaixamento da água nas escavações. | <ul style="list-style-type: none"> - Constituem os melhores terrenos para ocupação urbana na baixada litorânea. |

| Problemas Existentes e/ou Potenciais | | | | Aspectos Físicos de Interesse | Aspectos do uso do Solo | Recomendação para Uso do Solo | Observações |
|--------------------------------------|---------------------|-----------------|--|---|-------------------------|-------------------------------|-------------|
| Unidade | Processo Suscetível | Suscetibilidade | Descrição | | | | |
| | | | <p>- Poluição das praias em consequência tanto do lançamento direto de águas servidas quanto de resíduos provenientes de correntes costeiras e de marés.</p> | <p>- Em subsuperfície, podem ocorrer desde argila normalmente adensada correlata aos sedimentos flúvio-lagunares (SPT=0), até argilas pré-adensadas, argilas transicionais. Estas últimas ocorrem a profundidade maiores que 2 m, apresentando SPT entre 5 e 25, o que as diferenciam das argilas flúvio-lagunares.</p> | | | |

Fonte: Modificado de NAKAZAWA et al. (1994).

8.1.5.3 Comportamento da Suscetibilidade a Ocorrência de Processos Erosivos na AID e ADA

Em novembro de 2002, a Agência Metropolitana da Baixada Santista (Agem), elaborou o Programa Regional de Identificação e Monitoramento de Áreas Críticas de Inundações, Erosões e Deslizamentos, conhecido como Primac, para a Região Metropolitana da Baixada Santista.

De acordo com o Primac, nos municípios interceptados pelo empreendimento foram identificadas áreas críticas suscetíveis a inundações, erosões e deslizamentos. No município de Santos, foram identificadas 31 áreas sujeitas a inundações e 10 áreas sujeitas a deslizamentos. No Guarujá foram diagnosticadas 31 áreas sujeitas a inundações, 12 áreas propensas a erosões e 15 áreas de deslizamentos.

Referente ao levantamento realizado na AID e ADA do projeto em questão, não foram mapeadas áreas críticas em relação a erosões e deslizamentos; entretanto, tanto na porção localizada município de Santos/Ilha de São Vicente, quanto na de Guarujá/Ilha de Santo Amaro, são encontradas áreas sujeitas a inundações.

Na **Figura 8.1.5.3-1** são apresentadas as áreas críticas sujeitas a inundações na AID e ADA.


Figura 8.1.5.3 1 - Áreas críticas sujeitas a inundações na AID e ADA

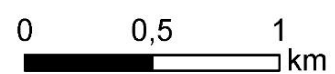


Legenda

-  AID
-  ADA

Áreas críticas

-  Áreas críticas sujeitas a inundações



Fonte: Primac (Agem, 2002) e imagem Google Earth, 2024.

Elaboração: Fipe, 2024.

Através de um mapeamento detalhado da ADA, com base na interpretação de imagens aéreas de abril de 2024 e vistoria de campo, foi possível identificar que não existem processos erosivos como ravinas, voçorocas, deslizamentos, entre outros processos de dinâmica superficial expressivos na ADA.

Referente à suscetibilidade a inundações, conforme apresentado na **Seção 8.1.3 - Geomorfologia**, a ADA está localizada em planície, terreno de baixa amplitude (< 20 m) e declividade (<8%), sendo ela suscetível a inundações, o que corrobora com o estudo do Primac apresentado acima.

8.1.5.4 Caracterização Hidrodinâmica Estuarina do Canal do Porto de Santos

O empreendimento em questão, o Túnel Imerso Santos - Guarujá, está situado no Estuário do Canal do Porto de Santos. Este estuário está posicionado entre as ilhas de São Vicente e Santo Amaro, com a sua entrada localizada a nordeste da Baía de Santos, passando pelos Largos de Santa Rita e do Canéu, e pelo Canal de Piaçaguera. Estende-se por aproximadamente 14 quilômetros e possui uma largura média de 400 metros, com uma profundidade média do canal de 12 metros.

Por definição, um estuário é um corpo d'água semifechado com uma conexão direta com o oceano aberto, estendendo-se rio acima até o ponto onde a influência da maré é perceptível, e onde as águas marinhas são significativamente diluídas pela água doce proveniente do continente (MIRANDA, CASTO e KJERFVE, 2002, *apud* ROVERSI, 2012).

De acordo com PRITCHARD (1967, *apud* ROVERSI, 2012), a circulação, os processos de mistura e a estratificação da salinidade em um estuário são influenciados pela sua geometria, pela maré local, pelas descargas fluviais, pelo gradiente de densidade da água, pela circulação costeira adjacente e pelo vento que pode atuar diretamente ou indiretamente sobre a superfície livre.

No Estuário do Canal do Porto de Santos, a maré exerce o papel predominante na circulação (HARARI e CAMARGO, 1998, *apud* ROVERSI, 2012).

O sistema estuarino da Baixada Santista pode ser classificado como “Estuário Costeiro

Plano”, no qual a circulação das águas é governada pela combinação dos efeitos de maré, do vento e da contribuição de água doce proveniente dos deflúvios dos rios contribuintes (Cetesb/Dae, 1977, *apud* CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

O estuário de Santos compreende, assim, três compartimentos distintos: as bacias hidrográficas que fornecem água doce, o estuário propriamente dito (canal de Santos, canal de São Vicente e a baía de Santos) e a faixa costeira que supre esse sistema com águas oceânicas. As principais bacias de água doce são Moji-Piaçaguera, Perequê, Quilombo, Jurubatuba, Branco (ou Buturoca), Diana, Sândi, Onça e Piaçabuçu, merecendo destaque o rio Cubatão que recebe eventualmente a contribuição da Usina Henry Borden. A maioria desses rios pertence ao lagamar do estuário, sendo que seus cursos inferiores sofrem influência das marés, compondo a região flúvio-marítima (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

São registradas na Baixada Santista marés semidiurnas, duas preamares e duas baixamars por dia, com amplitude média de 0,926 m. A intrusão das águas do mar durante a amplitude máxima da maré ocorre através de uma cunha salina, de maior densidade, que penetra pelas camadas inferiores dos rios em direção às suas nascentes. Na baixa-mar, há uma inversão do fluxo de corrente e as águas continentais tendem a chegar ao mar pela superfície (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Na maré baixa, o escoamento no sentido do mar resulta em fenômenos físicos de transporte comuns, sendo que a carga poluente tende a alcançar com maior velocidade a zona costeira. Durante a maré alta, a redução na velocidade de escoamento dos cursos d'água reduz o potencial de autodepuração das águas, de forma que os poluentes passam a se concentrar no trecho inferior dos rios (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

A menor densidade da água doce, quando comparada à água do mar, produz uma estratificação que tende a resistir à mistura vertical. As correntes das marés, que escoam sobre o fundo relativamente raso do estuário, provocam a mistura turbulenta dos deflúvios dos rios com as águas salgadas provenientes da baía. Na maior parte do tempo, pode subsistir uma camada de transição, denominada haloclina, que separa a porção superior da inferior, de diferentes salinidades (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Os canais do estuário de Santos e de São Vicente são considerados parcialmente misturados (Cetesb, 1975 *apud* CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013). A fração da água doce que chega ao canal de Santos diminui das cabeceiras (63%) para a foz do canal (21%) (CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013).

O tempo médio de renovação das águas varia entre cinco dias na foz do canal e dois dias na região de cabeceiras, sendo necessários dez ciclos de marés de sizígia para renovar essa quantidade de água. Devido às características hidrodinâmicas da circulação que retêm nutrientes e microrganismos diversos, as águas estuarinas são biologicamente mais produtivas quando comparadas a dos rios e de oceanos adjacentes (Martins, 2005 *apud* CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013).

A mistura da água doce e salina possibilita também o desenvolvimento de uma extensa zona de manguezais que recobria, originalmente, cerca de 20% de toda a Baixada Santista. Esta faixa de vegetação está hoje concentrada ao longo do rio Itapanhaú, do canal de Bertioga, nos estuários de Santos e de São Vicente, contendo ainda porções remanescentes às margens dos rios Santo Amaro, do Meio e Icanhema (CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013).

A forma e extensão do estuário de Santos estão sendo constantemente alteradas por processos erosivos e deposicionais de sedimentos oriundos da Serra do Mar, além dos efeitos relacionados ao transporte de sedimentos das marés (AFONSO, 2006 *apud* CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013).

Segundo ROVERSI (2012), a maré no Estuário do Canal do Porto de Santos é caracterizada por duas preamares e duas baixa-mares em um período de um dia lunar, o que a torna semi-diurna e mista. Durante o período de quadratura, as variações de maré são em torno de 0,4 metros, enquanto durante os períodos de sizígia, podem atingir até 1,85 metros. De acordo com a definição de DAVIES (1964, *apud* ROVERSI, 2012), o estuário é classificado como de micromaré.

Sob o ponto de vista hidráulico-salino, o Estuário do Canal do Porto de Santos foi caracterizado por ALFREDINI e ARASAKI (2009, *apud* ROVERSI, 2012) como lateralmente homogêneo, apresentando uma estratificação vertical parcialmente

misturada a moderadamente estratificada, independentemente do tipo de maré ou do valor da descarga fluvial. Essa estratificação tende a aumentar das bocas do estuário para suas cabeceiras.

Em 2008, foi conduzido um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) relacionado à dragagem para o aprofundamento do Canal do Porto de Santos (FRF, 2008). Este estudo incluiu uma análise de modelagem hidrodinâmica e de transporte de sedimentos no canal, com o objetivo de avaliar o impacto do aprofundamento planejado para uma profundidade de 15 metros através das dragagens. Os resultados desse estudo indicaram que a dragagem do canal de entrada resultaria em diversos efeitos:

- Um aumento no prisma de maré de até 10%;
- A elevação dos níveis de salinidade em até 2%;
- Alterações insignificantes na capacidade de troca de água do sistema;
- A localização do ponto nodal, conhecido como tombo de maré, situado na parte interna do canal ocidental, permaneceu inalterada após o aprofundamento;
- Houve também mudanças na dinâmica sedimentar do estuário, com um aumento aproximado de 2% no aporte de sedimentos em direção ao estuário, de forma não uniforme;
- O canal de acesso apresentou assoreamento a uma taxa mais rápida, enquanto os terraços de marés cresceram mais lentamente;
- Observou-se uma maior sedimentação na região a jusante da bacia de evolução e uma menor nas regiões a montante;
- O aumento da profundidade da seção do canal resultou em uma redução na velocidade do fluxo, levando a uma maior deposição sedimentar. Consequentemente, menos sedimentos estiveram disponíveis a montante dessa zona.

Em 2012, ROVERSI (2012) utilizou o software SisBaHia para implementar um modelo hidrodinâmico 2DH (bidimensional promediado) no Sistema Estuarino de Santos, resultando em importantes observações sobre a dinâmica do Estuário do Canal do Porto de Santos:

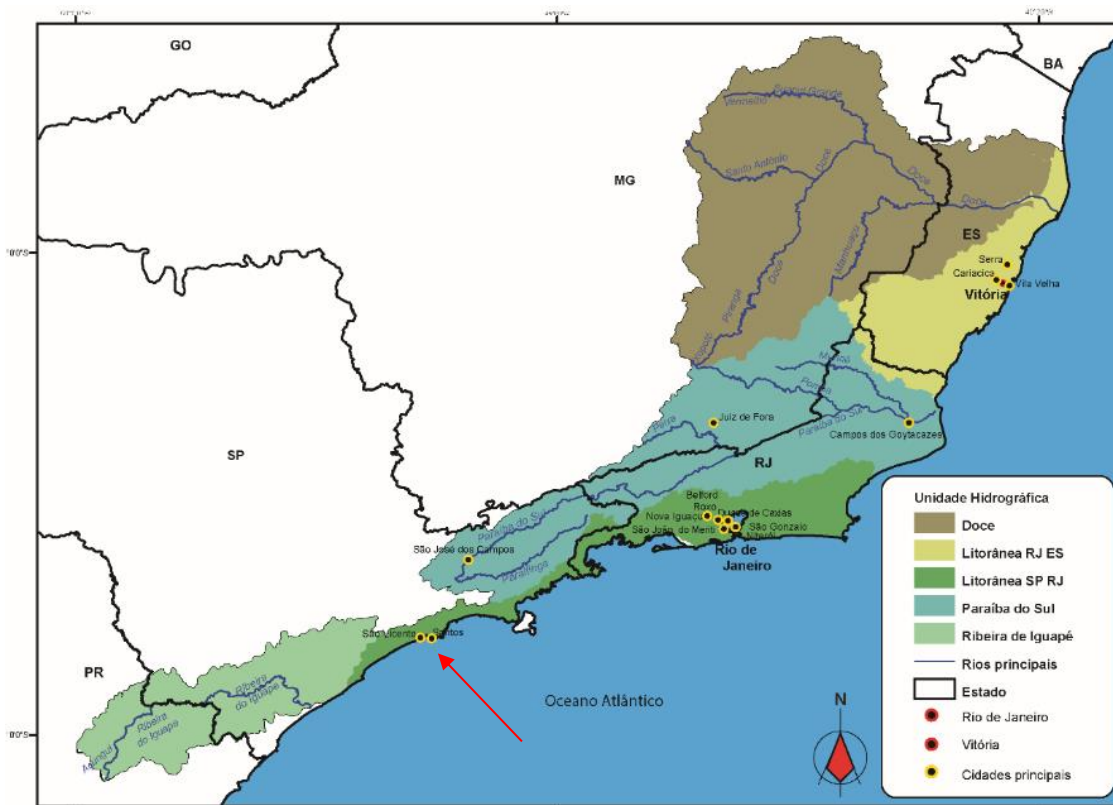
- O Canal do Porto de Santos exhibe as velocidades mais intensas em todos os momentos dentro do domínio estudado.
- No Canal do Porto de Santos, o efeito da maré resulta em uma renovação de água de até 50% após cerca de 10 dias.
- A renovação total das águas ocorre de maneira mais rápida nas regiões próximas às embocaduras do estuário do que nas áreas diretamente afetadas pelos fluxos fluviais, sugerindo a predominância do efeito de maré na renovação e troca de água no sistema.
- Ao longo do Estuário do Canal de Porto de Santos, os tempos de residência variam de 40 a 70 dias, desde a embocadura do canal até o final do Canal de Piaçaguera.

8.1.6 Recursos Hídricos

8.1.6.1 Recursos Hídricos Superficiais

Conforme classificação da Agência Nacional de Água do Ministério do Meio Ambiente (ANA) (SPR/ANA, 2015), o empreendimento está localizado na Região Hidrográfica Atlântico Sudeste (**Figura 8.1.6.1-1**), especificamente na Unidade Litorânea SP RJ.

Figura 8.1.6.1-1 - Região Hidrográfica do Paraná



Fonte: Modificado de Agência Nacional de Águas (Brasil) (ANA, 2015). Em vermelho localização da cidade as Santos

A Região Hidrográfica (RH) Atlântico Sudeste desempenha um papel crucial na gestão das águas em uma das áreas mais significativas do Brasil. Esta região, a segunda mais populosa do país, abriga mais de 28 milhões de habitantes e se destaca pela sua rica diversidade de atividades econômicas, além de possuir um parque industrial relevante, o que a coloca entre as áreas mais desenvolvidas do Brasil. Com uma extensão territorial que abrange mais de 214.000 km², esta região compreende 595 municípios distribuídos em cinco estados: Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná. Quanto à precipitação, dados do Imnet indicam uma média de 1.401 mm/ano (ANA, 2015).

A RH Atlântico Sudeste é composta por seis Unidades Hidrográficas distintas: Doce, Litorânea RJ ES, Litorânea SP RJ, Paraíba do Sul, Ribeira de Iguape e Atlântico Sudeste. Esta região é notável pela presença de inúmeros rios de pequena extensão, destacando-se os principais cursos d'água, tais como Paraíba do Sul, Doce, Ribeira do Iguape,



Manhuaçu, Piranga, Pomba, Muriaé, Suaçuí Grande, Santo Antônio, Paraitinga e Peixe (ANA, 2015).

No que se refere às demandas hídricas, estimativas da ANA (2015) indicam que, em 2010, a Região Hidrográfica Atlântico Sudeste necessitava de 104,2 m³/s para abastecimento urbano, 57,4 m³/s para irrigação, 43,1 m³/s para a indústria, 5,7 m³/s para dessedentação animal e apenas 3,2 m³/s para abastecimento rural, totalizando uma demanda hídrica global de 213,6 m³/s.

No ano de 2019, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH) do Estado de São Paulo, por meio da Deliberação N° 228, Artigo 4°, estabeleceu a divisão do território estadual em 22 unidades hidrográficas, que receberam a denominação de Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI). Neste âmbito de planejamento estadual, a AII do empreendimento encontra-se integrada a UGRHI 07 - Baixada Santista (**Figura 8.1.6.1-2**)

Figura 8.1.6.1-2 - Localização do empreendimento na UGRHI 7



Fonte: Modificado de Portal Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - SigRH. <https://sigrh.sp.gov.br/divisaohidrografica>. Acesso em março de 2024.

Caracterização das UGRHI

A Baixada Santista (UGRHI 07) engloba os municípios de Bertioga, Cubatão, Guarujá, Itanhaém, Mongaguá, Peruíbe, Praia Grande, Santos e São Vicente, formando a Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS). Com uma área de aproximadamente 2.400 km² e uma área de drenagem superior a 2.800 km², esta região abriga uma população que ultrapassava 1,8 milhão de habitantes em 2022 (SEADE, 2022). Os principais rios que atravessam a UGRHI incluem Cubatão, Mogi, Quilombo, Jurubatuba, Itapanhaú, Guaratuba, Mambú, Aguapeú, Preto, Guaraú e Branco.

A Bacia Hidrográfica da Baixada Santista (BHBS) é caracterizada pela presença de rios que abrigam uma mescla de águas doces e salobras, sendo as salobras típicas dos estuários resultantes da influência das águas costeiras na foz dos rios de água doce.

Esta bacia abrange uma extensa área que inclui o estuário de Santos, São Vicente e Cubatão, assim como as bacias do litoral norte em Guarujá e Bertioga, e também as bacias

do litoral centro sul e sul em Praia Grande, Mongaguá, Itanhaém e Peruíbe. Seus limites naturais são definidos pela Serra do Mar e pelo Oceano Atlântico.

Conforme descrito por AFONSO (2006 *apud* CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013), a análise da rede hidrográfica da Bacia Hidrográfica da Baixada Santista (BHBS) revela a presença de rios de extensão limitada, os quais têm sua origem tanto na Serra do Mar quanto na Planície Litorânea/Costeira. Estes cursos d'água deságuam não somente diretamente no oceano, mas também nos complexos estuarinos da região. Destaca-se que os estuários, como importantes áreas de transição, são influenciados de forma significativa tanto pela descarga fluvial dos rios quanto pela dinâmica das águas costeiras, evidenciando uma interação complexa entre ambos os sistemas.

Com base nas demandas da bacia, conforme indicado no Plano de Bacia Hidrográfica 2016-2017 do Comitê de Bacia Hidrográfica da Baixada Santista (VM Engenharia e Recursos Hídricos, 2013), em 2012, as necessidades eram atendidas por meio da utilização de bateria de poços (3 m³/h), captação em nascentes (158,89 m³/h), captação subterrânea (191,58 m³/h), captação superficial (135.713,10 m³/h) e lançamento superficial (34.036,29 m³/h).

A BHBS é subdividida em 21 sub-bacias, conforme apresentado na **Figura 8.1.6.1-3** (Mapa de sub-bacias na AII). A AII está localizada nas sub-bacias 11 - Ilha de São Vicente, 13 - Ilha de Santo Amaro, 14 - Rio Cabuçu e 15 - Rio Jurubatuba.

A **Tabela 8.1.6.1-1** apresenta as principais características das sub-bacias interceptadas.

Tabela 8.1.6.1-1 - Características das sub-bacias interceptadas pela AII

| Sub-bacia | Área de Drenagem (km ²) | Precip. Méd. Anual (mm) | Vazões de Referência (L/s) | | | Município |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------|------------------|----------------------|
| | | | Q _{média} | Q _{7,10} | Q _{95%} | |
| 11 - Ilha de São Vicente | 59,04 | 3.170 | 4.165,5 | 1.1017,5 | 1.545,40 | São Vicente / Santos |
| 13 - Ilha de Santo Amaro | 133,54 | 3.051 | 8.901,50 | 2.174,30 | 3.302,50 | Guarujá |
| 14 - Rio Cabuçu | 65,94 | 3.032 | 4.355,10 | 1.063,80 | 1.615,70 | Santos |
| 15 - Rio Jurubatuba | 80,15 | 3.060 | 5.363,50 | 1.310,10 | 1.989,9 | Santos |

Fonte: CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013.

Sub-Bacia 11 - Ilha de São Vicente

O canal de Santos, com entrada entre as ilhas de Santo Amaro e São Vicente, tem cerca de 14 km de extensão, com profundidade média de 12 a 14 metros (Cetesb, 2006), interligando a parte interna do estuário de Santos - São Vicente à baía de Santos (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Sub-Bacia 13 - Ilha de Santo Amaro

Os rios que drenam a sub-bacia 13 têm suas nascentes nos pontos mais elevados da ilha de Santo Amaro e fluem em direção aos canais de Bertioga, do Porto de Santos ou diretamente para o mar. Nessa sub-bacia estão inseridos os rios Icanhema, do Meio, Santo Amaro e Pouca Saúde como tributários do canal do Porto de Santos.

O sistema hidrográfico dessa sub-bacia é resultado de inúmeras intervenções antrópicas, destacando-se retificação e dragagem do leito, alteração de pequenos córregos afluentes, aterro de manguezais, assentamentos irregulares em Área de Preservação Permanente, construções de palafitas, além da ocorrência de depósitos de lixo e de entulho nas margens dos rios (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Sub-Bacia 14 - Rio Cabuçu

O rio Cabuçu nasce entre as cotas de 900 e 400 m no Parque Estadual da Serra do Mar e deságua no canal de Bertioga, formando uma bacia de drenagem de 69,65 km². O canal de Bertioga, situado na divisa das sub-bacias 13 e 14, separa a Ilha de Santo Amaro do continente, possui cerca de 24 km de extensão e largura variável entre 50 a 900 metros. Recebe o aporte de água doce do rio Itapanhaú (próximo à barra de Bertioga) e do rio Trindade oriundos da porção continental e dos rios Caipira, Crumaú e Agari que fluem pela ilha de Santo Amaro (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Apresenta padrão de circulação complexo, basicamente dominado pela ação das correntes de maré, considerada mais importante que a ação fluvial. Tais correntes são mais atuantes na extremidade norte do canal do que na extremidade sul, junto ao canal do porto. Em consequência, no trecho central do canal de Bertioga, onde ocorre o encontro das duas correntes divergentes, trecho em que se verifica uma alta sedimentação da carga em suspensão e material fino (argila e matéria orgânica), principalmente na área do largo do Candinho (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Sub-Bacia 15 - Rio Jurubatuba

O rio Jurubatuba drena uma área de 79,36 km², com nascentes entre as cotas de 1.200 e 800 m, no Parque Estadual da Serra do Mar. No médio curso, esse rio corta depósitos de tálus onde diminui sua energia de transporte até a sua foz no estuário. Junto à foz, praticamente frontal à ilha dos Bagres, é identificada deposição de sedimentos argilosos ricos em matéria orgânica intercalados a areias de granulação fina. Também fazem parte dessa sub-bacia os rios Sandi e Diana, que drenam a área continental de Santos. As águas do rio Jurubatuba constituem a única fonte de abastecimento público para o município de Guarujá (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Nos municípios contemplados pelo projeto, Santos e Guarujá, conforme dados do Atlas de Águas (ANA, 2021), a população combinada atingiu 765.386 mil habitantes em 2020, com uma demanda urbana de 3.160 litros por segundo (l/s). Os principais mananciais de abastecimento dos municípios de Santos e Guarujá, compreendem o Ribeirão Passareúva, Rio Cubatão, Rio Jurubatuba, Rio Jurubatuba Mirim, Rio Macuco e Rio Pilões.

Caracterização hidrológica

Na **Figura 8.1.6.1-4** são apresentados o Sistema Estuarino e a Hidrografia da AII.

De acordo com o Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica da Baixada Santista (CBHs, 2007), a precipitação média anual varia entre um mínimo de 2.068 mm, em Bertioga (Posto E2-125), e um máximo de 4.415 mm no mesmo município (Posto E3-042). Trata-se de uma região com elevada pluviosidade, que resulta em vazões específicas de escoamento superficial entre 46 e 56 m³/s/km², consideradas altas. A alta pluviosidade verificada na região deve-se principalmente à localização da UGRHI 07, no limite da zona tropical, que resulta em características climáticas influenciadas, alternadamente, por sistemas tropicais e polares. Além disso, a proximidade da Serra do Mar influencia diretamente a precipitação neste local, visto a orografia abrupta ali existente (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Na baixada santista, existem dois períodos de pluviosidade distintos: um chuvoso (entre novembro e março), com máximas registradas em dezembro e outro menos chuvoso (entre abril e outubro), com mínimas registradas em julho e agosto (CONSÓRCIO

PRIME-E TEL, 2013).

A vazão natural acrescenta-se um aporte proveniente do sistema Alto Tietê. Essa transferência de vazão da UGRHI 06 para a UGRHI 07 ocorre através do Canal de Fuga da usina hidrelétrica de Henry Borden, localizada na base da Serra do Mar, em Cubatão. A água é revertida a partir do reservatório Billings que, por sua vez, recebe água do rio Pinheiros, através da estação elevatória de Pedreira (CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013).

Atualmente, o sistema de reversão opera com vazão mínima de 6 m³/s, necessária para garantir o nível d'água da captação da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Sabesp no rio Cubatão, verificando-se aumentos significativos durante o controle de cheias. Desde agosto de 2007, passaram também a ocorrer bombeamentos esporádicos de 10 m³/s, em função da melhoria das águas do rio Pinheiros promovida pela aplicação de testes do sistema de flotação e de remoção de flutuantes nesse canal (CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013).

Em relação à descarga do Canal de Piaçaguera, considerando as estimativas do Plano de Bacia para as sub-bacias mais produtivas, elas correspondem ao valor mínimo de cerca de 10,687 m³/s e ao valor médio aproximado de 43,758 m³/s, conforme é apresentado na **Tabela 8.1.6.1-2** (CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013).

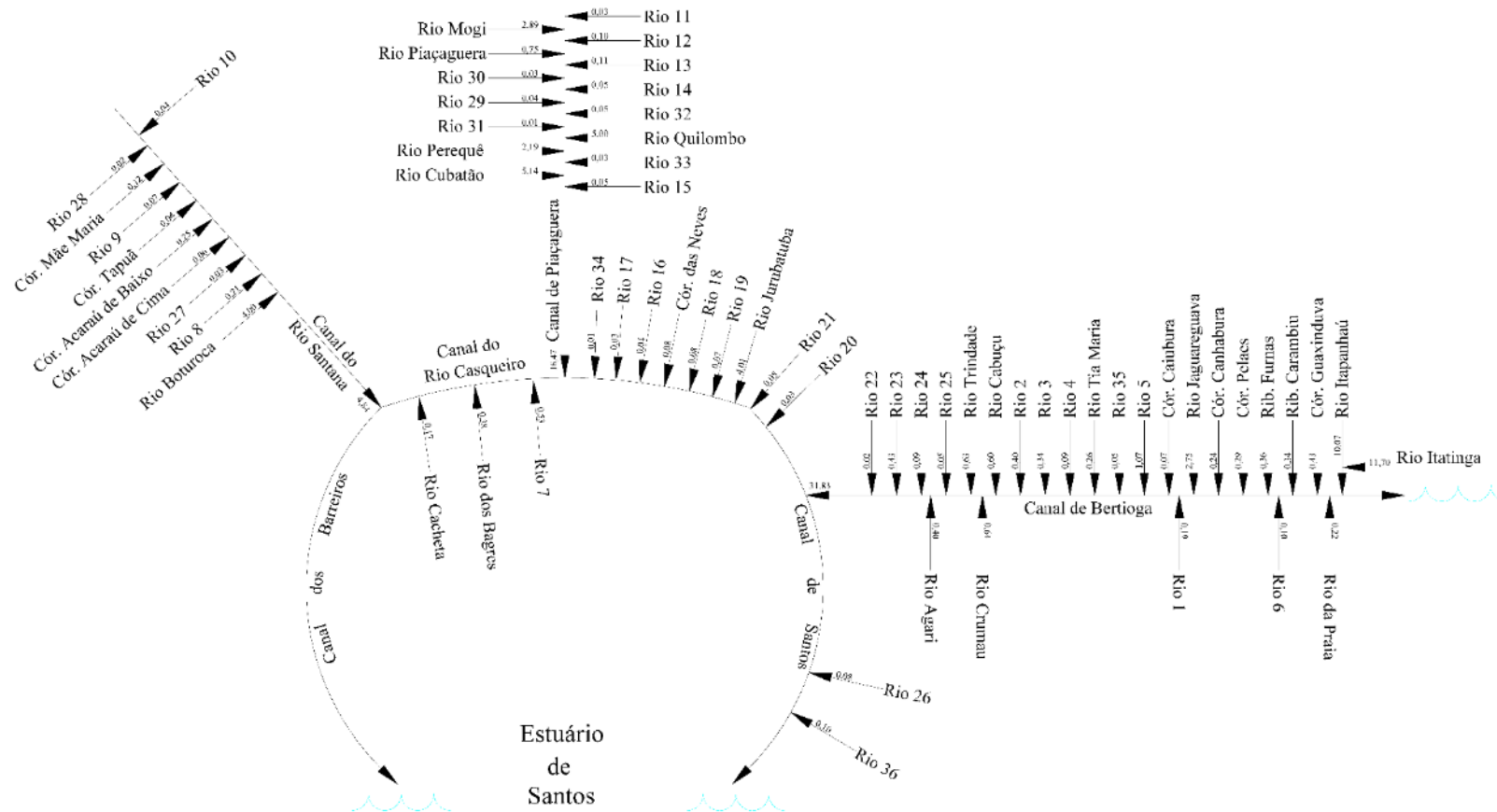
Tabela 8.1.6.1-2 - Estimativa da Vazão no Canal de Piaçaguera no ponto de cruzamento com o Túnel

| Rio | Vazões | |
|----------------------------|--------|--------|
| | Mínima | Média |
| Jurubatuba | 0,980 | 4,012 |
| Mogi | 0,706 | 2,891 |
| Quilombo | 1,220 | 4,995 |
| Perequê | 0,535 | 2,191 |
| Cubatão | 1,256 | 5,142 |
| Canal de Piaçaguera | 3,717 | 15,219 |
| Itapanhaú | 2,459 | 10,070 |
| Itatinga | 2,859 | 11,704 |
| Jaguarevava | 0,672 | 2,753 |
| Canal de Bertiooga | 5,990 | 24,527 |
| Total | 10,687 | 43,758 |

Fonte: CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013.

Na **Figura 8.1.6.1-3** é apresentado diagrama unifilar da rede hidrológica afluyente ao estuário.

Figura 8.1.6.1-3 - Diagrama unifilar da rede hidrológica afluente ao estuário



Unidade: m³/s

Fonte: FRF, 2008

Na AID, as águas doces estão enquadradas na Classe 2 em decorrência do Decreto Estadual nº 10.755/77 que estabelece como classe 2 os trechos de rios abaixo da cota 50. Esse decreto não enquadra o Canal de Piaçaguera, cujo enquadramento está contemplado na Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005 - Capítulo VI - Art. 42 - que dispõe que enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas salinas e salobras serão consideradas classe 1 (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Na **Tabela 8.1.6.1-3** são apresentados os usos preponderantes das águas salobras classe 1 e das águas doces classe 2.

Tabela 8.1.6.1-3 - Classificação das Águas Segundo os Usos Preponderantes

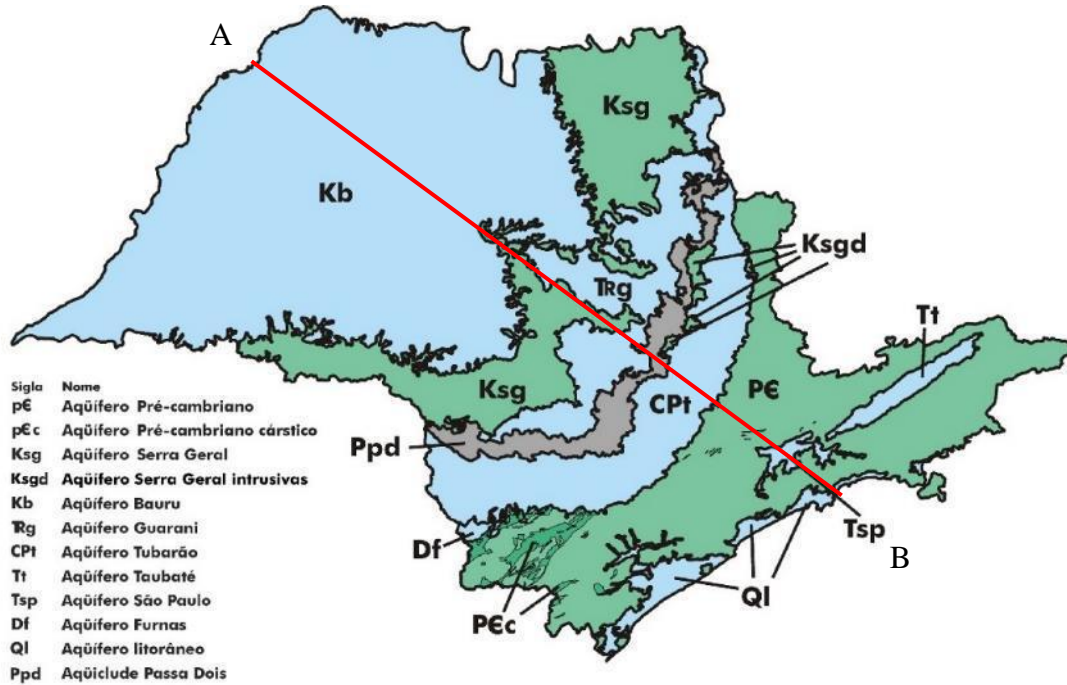
| Uso | Águas Doces - Classe 2 | Águas Salobras - Classe 1 |
|--|------------------------|---------------------------|
| Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado. | X | X |
| À proteção das comunidades aquáticas | X | X |
| À recreação de contato primário conforme Resolução Conama nº 274, de 2000. | X | X |
| À irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto. | X | |
| À irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, e à irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto. | | X |
| À aquicultura e à atividade de pesca. | X | X |

Fonte: Resolução Conama Nº 357/2005.

8.1.6.2 Recursos Hídricos Subterrâneos

De acordo com o Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo (Dae, IG, IPT e CPRM, 2005). O empreendimento em questão está inserido sobre área de ocorrência do aquífero litorâneo (QI) (**Figura 8.1.6.2-1**).

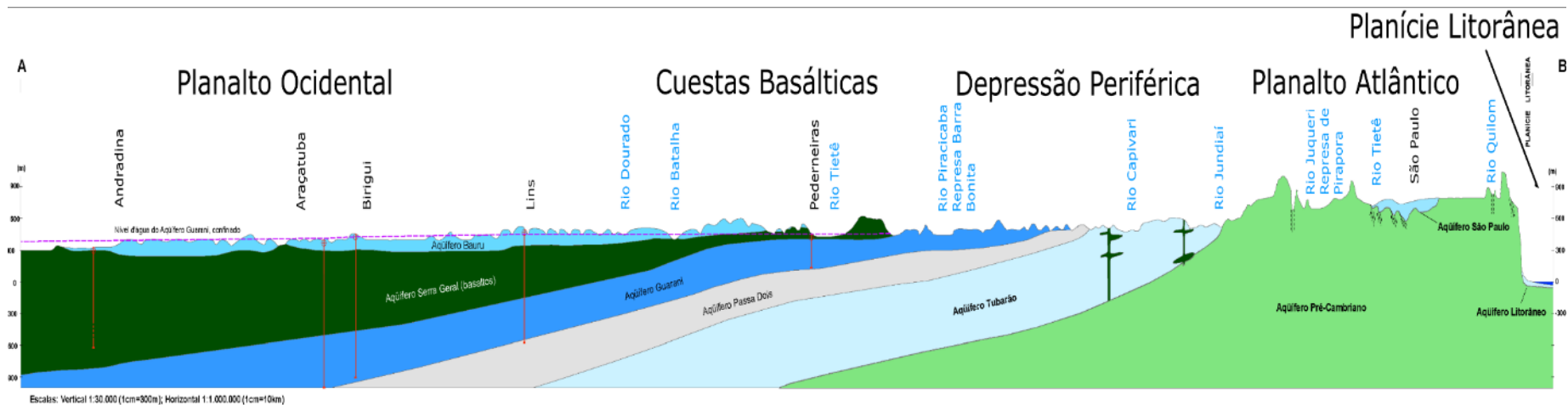
Figura 8.1.6.2-1 - Aquíferos do estado de São Paulo



Fonte: Modificado de Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo (Dae, IG, IPT e CPRM, 2005). Em vermelho o perfil esquemático dos aquíferos do estado de São Paulo (**Figura 8.1.6.2-2**).

Na **Figura 8.1.6.2-2**, é apresentado o perfil esquemático dos aquíferos do Estado de São Paulo, seção L-O.

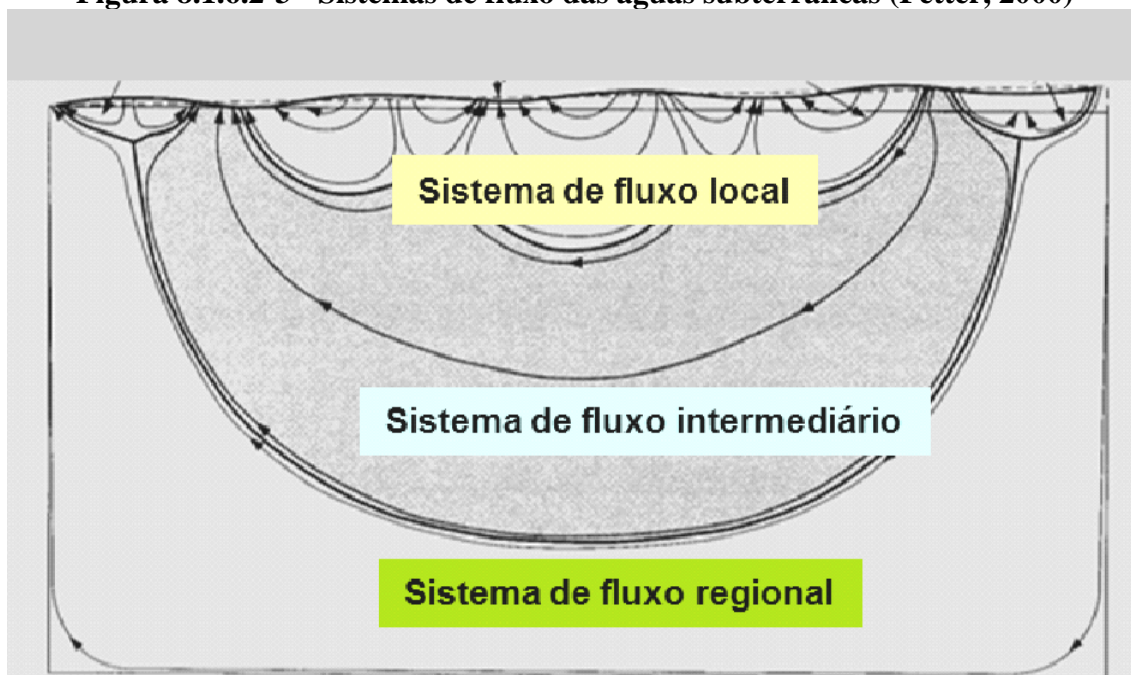
Figura 8.1.6.2-2 - Seção Hidrogeológica do Estado de São Paulo



Fonte: Modificado de Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo (Dae, IG, IPT e CPRM, 2005).

Os aquíferos e a dinâmica das águas subterrâneas apresentam três principais sistemas de fluxo, de acordo com Fetter (2000) e foram ilustrados esquematicamente na **Figura 8.1.6.2-3**.

Figura 8.1.6.2-3 - Sistemas de fluxo das águas subterrâneas (Fetter, 2000)



Fonte: Fetter, 2000.

O Sistema de Fluxo Local é caracterizado pela topografia do terreno, onde as áreas de recarga e descarga acompanham essa topografia. Essas áreas são geralmente compostas por águas provenientes de aquíferos livres e apresentam um curto tempo de residência. A recarga dessas águas é sensível às chuvas, e os limites das bacias hidrogeológicas costumam estar próximos às microbacias hidrográficas. Um exemplo é o Aquífero São Paulo.

O Sistema de Fluxo Intermediário refere-se ao fluxo de água subterrânea que possui um tempo de residência maior. Essas águas pertencem a aquíferos com características e geometria mais específicas, como camadas de arenito. As áreas de descarga dessas águas são geralmente os rios de maior porte, enquanto as áreas de recarga correspondem à bacia hidrográfica. Um exemplo é o Aquífero Cristalino.

Já o Sistema de Fluxo Regional envolve fluxos de água subterrânea que possuem um longo tempo de residência nos aquíferos. As áreas de recarga desses aquíferos são áreas

de afloramento regionais, e a descarga pode ocorrer em rios de grandes bacias hidrográficas ou no oceano. O Aquífero Tubarão é um exemplo desse sistema.

Características do Aquífero

Aquífero Litorâneo

O Aquífero Litorâneo é caracterizado por uma distribuição irregular ao longo da costa do estado de São Paulo, sendo segmentado por rochas do embasamento pré-Cambriano, desde o litoral sul, Cananéia, até o litoral norte em Caraguatatuba e Ubatuba. Composto por rochas sedimentares da Planície Litorânea, sua área de ocorrência abrange aproximadamente 4.600 km², apresentando uma configuração espacial estreita, com larguras que variam de poucos quilômetros a até 70 km.

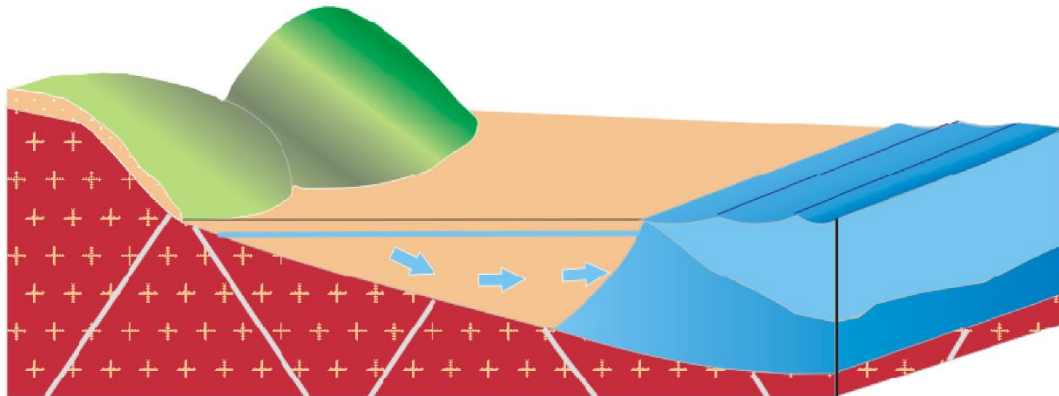
Este aquífero é predominantemente granular, caracterizado por porosidade significativa e transmissividade moderada a alta, com espessura altamente variável, oscilando de alguns metros a mais de 167 m. As camadas de areia, intercaladas por camadas argilosas e siltosas, formam aquíferos lenticulares, e cada subdivisão da Planície Litorânea apresenta regimes hidrológicos independentes. A influência oceânica é evidenciada pela presença de canais de maré e braços de mar, os quais promovem a intrusão de águas salobras ou da própria cunha salina nos aquíferos (Dae, 1979, *apud* DAAE, IG, IPT e CPRM, 2005).

O fluxo da água subterrânea geralmente segue em direção aos principais rios da região litorânea, como os rios Ribeira de Iguape, Una, Preto e Itapanhaú, assim como em direção ao oceano.

Quanto à sua produtividade, o aquífero demonstra uma vazão relativamente baixa, com médias em torno de 13 m³/h (DAAE, IG, IPT e CPRM, 2005). Apesar disso, sua importância é fundamental para o abastecimento de cidades litorâneas, como é o caso de Santos.

Na **Figura 8.1.6.2-4** é apresentado modelo hidráulico do Aquífero Litorâneo encontrado na área de estudo.

Figura 8.1.6.2-4 - Modelo Hidráulico do Aquífero Litorâneo



Fonte: Modificado de Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo (DAAE, IG, IPT e CPRM, 2005).

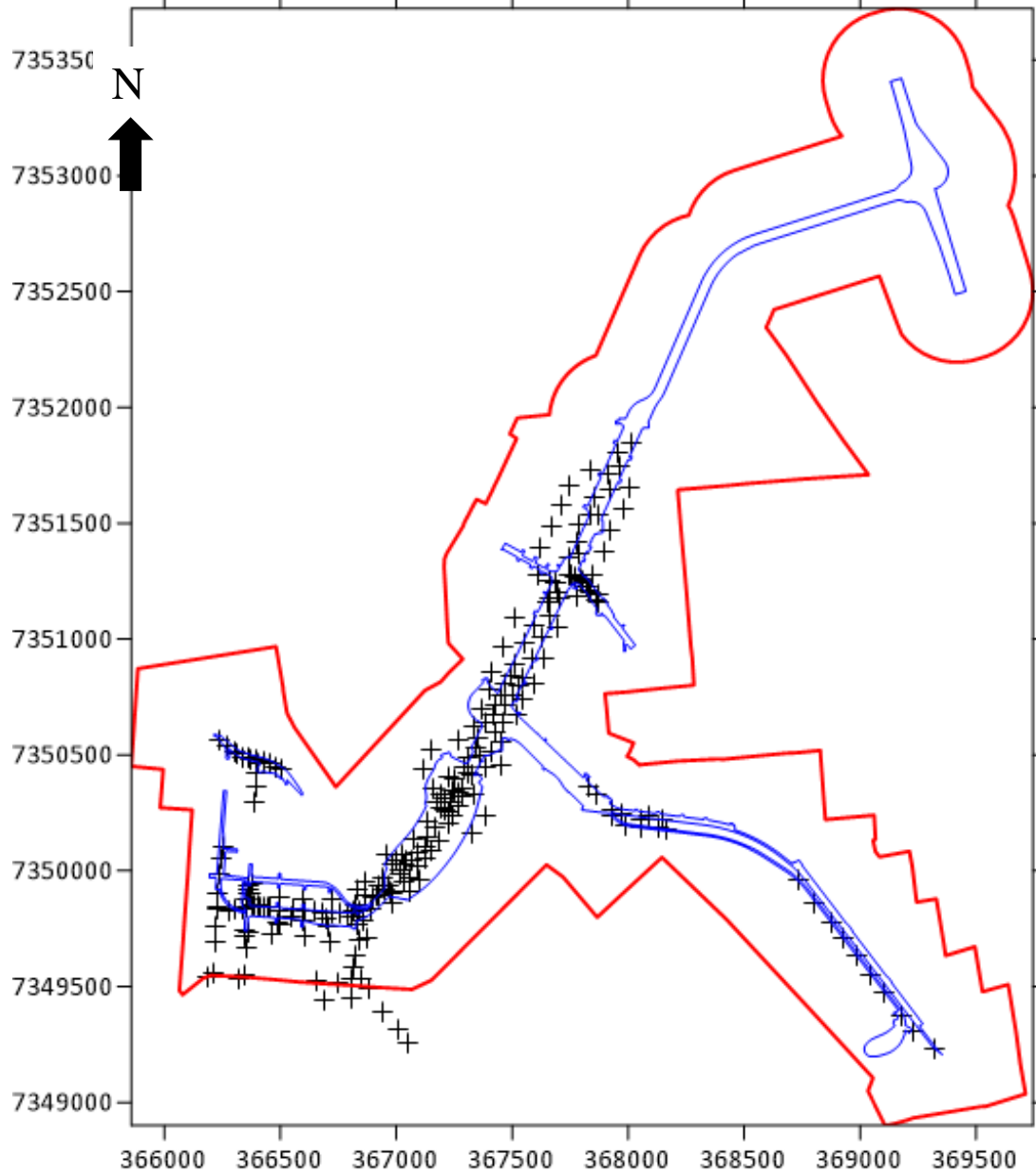
Para a caracterização da dinâmica do fluxo de águas subterrâneas, assim como para a caracterização do Aquífero Litorâneo na AID do empreendimento, foi realizada consulta ao Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo (DAAE, IG, IPT e CPRM, 2005), além da consulta aos bancos de dados oficiais da CPRM, o SIAGAS (<http://siagasweb.cprm.gov.br>), o banco de dados de outorgas do DAAE (<https://cth.daae.sp.gov.br/soe>) e o banco de dados do Comitê da Bacia Hidrográfica da Baixada Santista (CBH-BS) (<http://www.cbhbs.com.br/sigweb>), todos acessados em abril de 2024.

A consulta aos bancos de dados supracitados resultou na localização de apenas cinco poços na AII, não sendo encontrado nenhum poço na AID ou ADA. Nestes poços, não constam informações relativas à profundidade, vazão, nível dinâmico e nível estático.

Sendo assim, foram utilizados os relatórios geotécnicos de sondagem realizados pelo Consórcio Consultor ENGEVIX-PLANSERVI-THEMAG Túnel Imerso, para a DERSA, no empreendimento Ligação Viária Santos Guarujá, executados em 2015 e 2017. A partir desses relatórios, foi possível obter informações sobre a profundidade do nível de água em 210 pontos distribuídos ao longo da AII, AID e ADA.

Na **Figura 8.1.6.2-5** é apresentada a localização dos pontos de sondagem citados.

Figura 8.1.6.2-5 - Localização e Distribuição dos Pontos de Sondagem



Fonte: Consórcio Consultor ENGEVIX-PLANSERVI-THEMAG Túnel Imerso (2015, 2017).

Elaboração: Fipe, 2024.

LEGENDA:

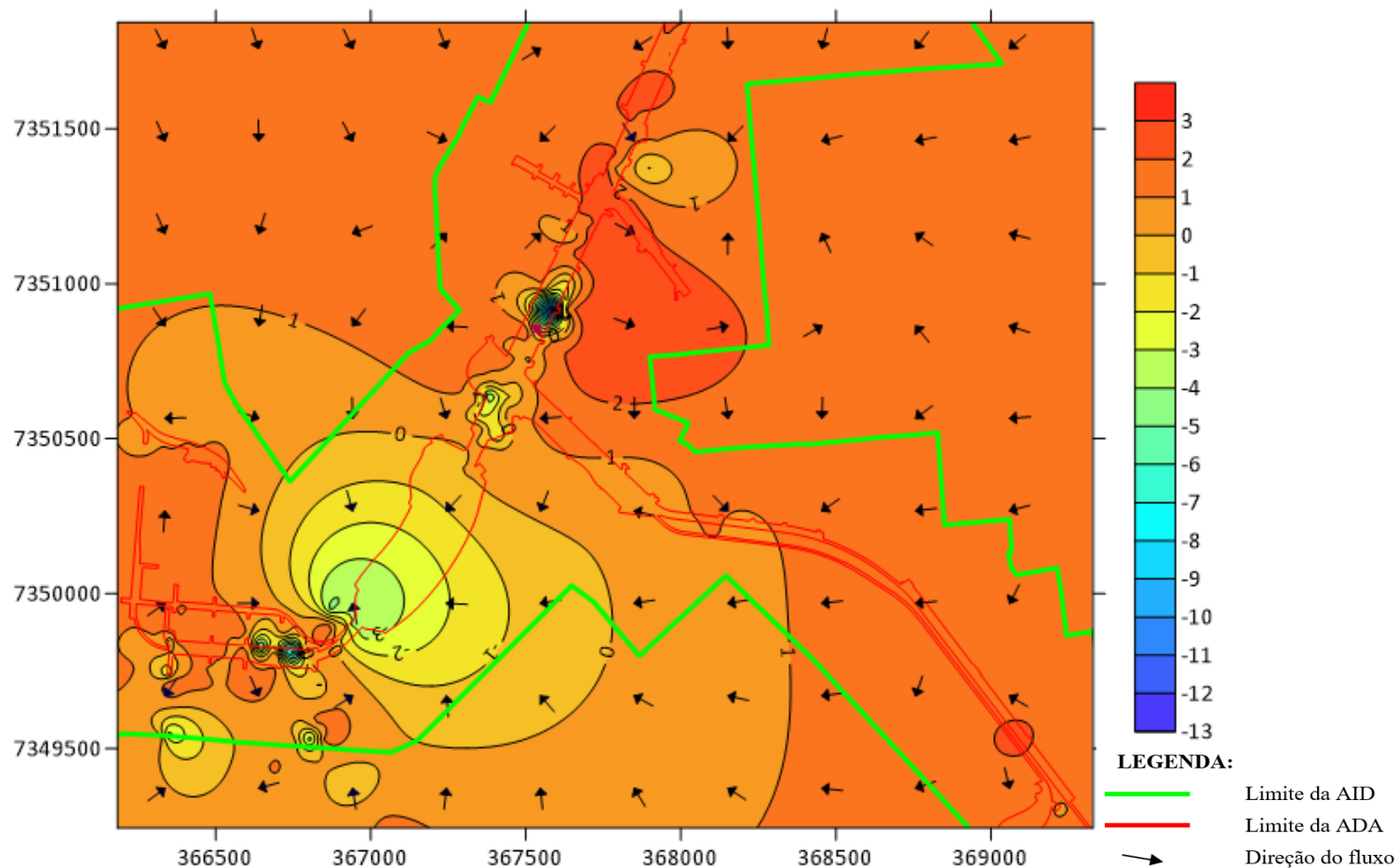
- ▭ Limite da AID
 - ▭ Limite da ADA
 - +
- Pontos de sondagem



Apesar das sondagens não abrangerem integralmente a AID e ADA, o volume de dados obtidos é suficiente para estimar com certo grau de precisão o comportamento do fluxo de água subterrânea no empreendimento.

Na **Figura 8.1.6.2-6**, é apresentado o mapa potenciométrico obtido pelos dados de sondagem dos relatórios geotécnicos realizados pelo Consórcio Consultor ENGEVIX-PLANSERVI-THEMAG Túnel Imerso (2015, 2017).

Figura 8.1.6.2-6 - Mapa Potenciométrico



Fonte: Elaborado a partir dos dados de sondagem do Consórcio Consultor ENGEVIX-PLANSERVI-THEMAG Túnel Imerso (2015, 2017).

A análise dos dados de sondagem revela uma composição diversificada do aquífero encontrado nas AID e ADA. Este aquífero é constituído por uma mescla de sedimentos flúvio-lagunares, argilas com distintas proporções de areia, argilas transicionais e sedimentos predominantemente arenosos. Esses estratos se estendem em profundidades que variam consideravelmente, desde uma camada superficial de apenas 0,20 metros até uma profundidade máxima de 16 metros.

Além da complexidade geológica, a dinâmica das águas subterrâneas nesta região apresenta padrões peculiares. Na Ilha de Santo Amaro, especialmente na porção do empreendimento situada no Guarujá, o fluxo das águas subterrâneas é direcionado de NE-SW, seguindo em direção ao oceano e ao Canal do Porto de Santos.

Por outro lado, na Ilha de São Vicente, área pertencente ao município de Santos, observa-se um fluxo preferencial de SW-NE. Essa direção do fluxo subterrâneo também conduz as águas em direção ao oceano e ao Canal do Porto de Santos. Este padrão hidrogeológico é crucial para compreender a interação entre as águas subterrâneas e o ambiente costeiro.

8.1.6.3 Usos d'água na AII

Para a caracterização dos usos d'água na AII foi realizada consulta aos bancos de dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), do Departamento de Águas e Energia Elétrica (Daee) e do Comitê da Bacia Hidrográfica da Baixada Santista (CBH-BS)

Na AII, são encontradas diversas fontes de captação de recursos hídricos, tais como por poços tubulares, poços escavados (cisternas e cacimbas) e superficial. Esses recursos hídricos são utilizados de forma diversificada, abrangendo o abastecimento público, urbano, uso doméstico, comércios e serviços, indústria, irrigação e mineração.

Os volumes anuais de captação na AII variam significativamente, variando de 57,6 m³ a 1.019.520 m³, enquanto as vazões podem atingir valores entre 0,1 e 118 m³/h. Na **Tabela 8.1.6.3-1** são apresentados os principais cadastros de usos a montante e a jusante do empreendimento na AII, fornecendo informações adicionais sobre as atividades de captação de água nessa região.

Tabela 8.1.6.3-1 - Principais captações e usos de água na AII

| ID | Município | Cadastro | Captação | Uso | Volume Anual (m ³) | Vazão (m ³ /h) | Posição em relação ao empreendimento | Coordenadas UTM | | Distância da ADA (m) |
|-----------------|-----------|--|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|-----------------|---------|----------------------|
| | | | | | | | | X | Y | |
| 20180002815-ZIR | Guarujá | Regularização | Lançamento de Efluentes | Industrial | 43.200 | 5 | *Não se aplica | 370107 | 7347812 | 1.584 |
| 20230015984-HCR | Guarujá | Regularização | Captação Superficial | Industrial | 69.120 | 8 | *Não se aplica | 366590 | 7344690 | 4.872 |
| 20180002738-ITE | Santos | Regularização | Poço Escavado (cisterna/cacimba) | Urbano | 5.760 | 1 | *Não se aplica | 366903 | 7347608 | 2.025 |
| 20180006059-EQ8 | Santos | Dispensa de Outorga | Poço Tubular | Comércio e Serviços | 2.754 | 1 | *Não se aplica | 363310 | 7350910 | 2.924 |
| 20180008887-NA3 | Santos | Dispensa de Outorga | Poço Tubular | Irrigação | 2.520 | 7 | *Não se aplica | 367133 | 7346376 | 3.275 |
| 20180008935-ZMQ | Santos | Dispensa de Outorga | Poço Escavado (cisterna/cacimba) | Comércio e Serviços | 58 | Variável 1 | *Não se aplica | 363730 | 7349306 | 2.475 |
| 20180017008-MFA | Santos | Dispensa de Outorga | Poço Escavado (cisterna/cacimba) | Comércio e Serviços | 250 | Variável 1 | Jusante | 366449 | 7350227 | 30 |
| 20190021960-D7Z | Santos | Renovação | Poço Tubular | Industrial | 14.400 | 2 | *Não se aplica | 365887 | 7356570 | 4.527 |
| 20190023818-43P | Santos | Dispensa de Outorga | Poço Escavado (cisterna/cacimba) | Comércio e Serviços | 4.590 | 2 | *Não se aplica | 364562 | 7350723 | 1.660 |
| 20190024436-CTV | Santos | Direito de Uso | Lançamento de Efluentes | Mineração | 57.600 | 20 | *Não se aplica | 370120 | 7356030 | 2.770 |
| 20190024436-EV9 | Santos | Direito de Uso | Captação Superficial | Mineração | 28.800 | 10 | *Não se aplica | 369850 | 7356290 | 2.943 |
| 20200003456-MSN | Santos | Regularização | Poço Escavado (cisterna/cacimba) | Mineração | 14.400 | 2 | *Não se aplica | 365853 | 7356790 | 4.707 |
| 20220008486-1WH | Santos | Regularização | Captação Superficial | Industrial | 1.019.520 | 118 | *Não se aplica | 371116 | 7358319 | 5.264 |
| 20230009419-K7N | Santos | Declaração de Viabilidade de Implantação | Captação Superficial | Urbano | 979.776 | 113 | *Não se aplica | 371035 | 7357098 | 4.116 |

| ID | Município | Cadastro | Captação | Uso | Volume Anual (m³) | Vazão (m³/h) | Posição em relação ao empreendimento | Coordenadas UTM | | Distância da ADA (m) |
|-----------------|-----------|---------------|-------------------------|------------|-------------------|--------------|--------------------------------------|-----------------|---------|----------------------|
| | | | | | | | | X | Y | |
| 20180002815-ZIR | Guarujá | Regularização | Lançamento de Efluentes | Industrial | 43.200 | 5 | *Não se aplica | 370107 | 7347812 | 1.584 |
| 20230015984-HCR | Guarujá | Regularização | Captação Superficial | Industrial | 69.120 | 8 | *Não se aplica | 366590 | 7344690 | 4.872 |
| 20210028128-8AT | Guarujá | Regularização | Lançamento de Efluentes | Industrial | 172.800 | 20 | *Não se aplica | 370107 | 7347812 | 1.584 |
| 20180002815-ZIR | Guarujá | Regularização | Lançamento de Efluentes | Industrial | 43200 | 5 | *Não se aplica | 370107 | 7347812 | 1.584 |

Fonte: Banco de dados Daee - <https://cth.daee.sp.gov.br/soe/>. Acesso em abril de 2024.

*Não se aplica: a classificação de montante ou jusante não se aplica a pontos de captação distantes do empreendimento, localizados em domínios de microbacias diferentes daquelas encontradas na ADA, e que não apresentam correlação hidrodinâmica relevante.

8.1.7 Qualidade das águas superficiais e do sedimento

Nesta Seção são apresentados aspectos da qualidade da água e do sedimento na AII do Túnel Imerso Santos - Guarujá, com base nos dados secundários apresentados no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) elaborado em 2013 (CONSÓRCIO PRIME-ETEL) para o projeto e nos resultados do monitoramento da qualidade das águas costeiras realizado em 2022 pela Cetesb.

Adicionalmente, para qualidade da água foram considerados os dados do EIA da Interligação entre a Via Anchieta (SP-150) e a Rodovia Cônego Domênico Rangoni (SPA-248/055) (ECOVIAS/GEOTEC, 2019).

Qualidade da água

O EIA (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013) caracterizou a qualidade da água da AII do empreendimento com base em dados compilados a partir dos monitoramentos de águas litorâneas realizados em 2011 e em 2012 pela Cetesb e de estudos ambientais referentes aos terminais portuários previstos à época para a região, a saber: Empresa Brasileira de Terminais Portuários - Embraport (2003), Brasil Terminal Portuário - BTP (2008), Companhia Docas do Estado de São Paulo - Codesp (2008), Implantação do Porto e Retroporto do Terminal Portuário do Guarujá - TPG (2009), Brasil Intermodal Terminal Santos - Brites (2010), Centro Portuário Industrial Naval Offshore de Santos (2011), Terminal Portuário Multiuso da DEICMAR - TPMD (2012).

De acordo com o EIA de 2013, no estudo da Embraport (2003) foi avaliada a qualidade das águas em quatro pontos localizados na margem esquerda do canal de Piaçaguera, no estuário de Santos, próximos aos rios Sandi, Diana e ilha Barnabé. Para o referido estudo foram avaliados “*metais pesados e compostos semivoláteis (fenólicos e HPA) e PCBs*”. O EIA de 2013 reportou que os resultados indicaram “*teores de metais pesados nas águas de fundo, o que reflete a contaminação nos sedimentos do estuário, especialmente em relação ao níquel e cromo, que extrapolaram os limites impostos pela Resolução Conama nº 357 de 2005, devido provavelmente à contribuição de efluentes industriais.*”

Em relação ao estudo da Brasil Terminal Portuário - BTP (2008), em oito pontos localizados também no Canal de Piaçaguera, o EIA destacou que os resultados mostraram

“elevada concentração dos parâmetros boro, cobre dissolvido e manganês, acima dos valores máximos permitidos pela Resolução Conama nº 357 de 2005 para águas salobras classe 01, decorrente de aporte de contaminantes industriais”. O EIA informou também que “verificou-se ainda, na maioria dos pontos amostrados, elevado teor de fósforo total, que pode ser proveniente de esgotos domésticos e também de fábricas de fertilizantes. A análise dos pesticidas organoclorados, compostos voláteis e semivoláteis resultaram em concentrações abaixo do limite de quantificação do método analítico”.

Sobre o estudo para a Dragagem de Aprofundamento do Canal de Navegação e Bacias de Evolução do Porto Organizado de Santos/SP (Codesp, 2008), o EIA resumiu os resultados das duas campanhas realizadas em nove pontos no estuário de Santos, que, em geral, indicaram: pH alcalino na maioria dos pontos, baixa concentração de Oxigênio Dissolvido em todos os pontos, desde a superfície até o fundo, concentrações de fósforo acima dos padrões legais, além de valores elevados de nitrogênio (nas formas orgânica e inorgânica), fenóis totais, cianeto e carbono orgânico total. Os resultados de bifenilas policloradas - PCBs, organoclorados, metais pesados e HPA (na maioria dos pontos) estiveram abaixo do limite de quantificação da metodologia analítica.

O EIA também resumiu os resultados do estudo para Implantação do Porto e Retroporto do Terminal Portuário do Guarujá da TPG (2009), cuja amostragem ocorreu em nove pontos amostrais, distribuídos entre o baixo curso dos rios Icanhema (pontos 1, 2 e 3) e do Meio (pontos 4, 5 e 6), o canal do estuário (pontos 7 e 8), e o rio Santo Amaro (ponto 9), sob a ponte de travessia da rodovia SPA-248/055. Os resultados resumidos no EIA (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013) estão reproduzidos a seguir:

“Pontos 1 a 3 - Rio Icanhema

As águas nesse rio apresentam características salobras e pH ligeiramente alcalino. Esse rio encontra-se sob influência do lançamento de esgotos gerado nas imediações (comunidade Pouca Farinha), porém, recebe o fluxo de águas mais limpas a montante, o que contribui para diluição das cargas poluidoras. Ainda assim, apresenta conteúdo elevado de nutrientes minerais, como nitrogênio e fósforo, e baixos teores de oxigênio dissolvido, devendo a prevalecer nos sedimentos os processos anaeróbios de decomposição, já que foi detectada a presença de sulfeto. Os elevados índices de

coliformes termotolerantes implicam potenciais problemas de saúde pública relacionados a doenças de veiculação hídrica.

Esse foi o único local da rede de amostragem que apresentou concentração de alumínio e manganês acima dos limites estabelecidos pela legislação. Tal resultado deve-se provavelmente à ressuspensão de sólidos de fundo no momento da coleta ou à presença de algum foco de erosão situado no entorno. Em síntese, com relação à Resolução Conama N° 357/2005, houve desrespeito a alguns padrões nas águas superficiais (classe 2 - doce e classe 1 - salobra), devido predominantemente ao aporte de esgotos domésticos e da composição das águas oceânicas.

Pontos 4 a 6 - Rio do Meio

As águas no rio do Meio apresentam coloração escura, com presença de detritos vegetais advindos do manguezal, porém, foi registrada baixa turbidez e transparência relativamente elevada. Elas podem receber a contribuição de despejos de embarcações que transitam nas marinas adjacentes. Como nos outros pontos de amostragem, a água é salobra e alcalina, com baixos índices de oxigênio dissolvido, sendo detectada a presença de sulfeto. Apresenta concentração elevada de compostos de nitrogênio e fósforo, basicamente em função dos esgotos domésticos e do fluxo das águas do estuário.

Não se detectaram metais pesados ou outros contaminantes nas águas, obtendo-se resultado negativo para o teste ecotoxicológico. Verificou-se teor de ferro dissolvido acima do limite estabelecido pela legislação para águas doces e salobras, provavelmente relacionado a fontes naturais.

Pontos 7 a 8 - Canal do Estuário de Santos

No canal do estuário de Santos os parâmetros que extrapolaram o padrão da Resolução Conama 357/05 foram oxigênio dissolvido, nitrato, fósforo total, polifosfato, fluoreto e sulfeto.”

Sobre a avaliação realizada pela Brasil Intermodal Terminal Santos (BRITES, 2010) em 16 pontos no estuário de Santos, o EIA destacou os resultados mais relevantes, que indicaram que “a concentração de oxigênio dissolvido esteve abaixo do valor mínimo recomendado pela Resolução Conama 357/05 (5,00 mg/L) na maioria dos pontos,

enquanto carbono orgânico dissolvido e fósforo total desrespeitaram o padrão em praticamente todas as amostras analisadas. Para metais e semimetais, foram quantificadas concentrações acima dos padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução Conama 357/05 para arsênio total, chumbo total, cobre dissolvido, zinco total e mercúrio total”. Especificamente em relação a chumbo e mercúrio, o EIA destacou que os desatendimentos observados pela Brites ocorreram nos pontos localizados dentro do canal do Porto de Santos. Destacou também que não houve desatendimentos em relação a compostos orgânicos semivoláteis, hidrocarbonetos poliaromáticos, PCBs e pesticidas, bem como em relação a coliformes termotolerantes.

O EIA (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013) também resumiu os resultados do EIA do Centro Portuário Industrial Naval Offshore de Santos (2011). Sobre esse estudo, que avaliou a qualidade da água em 11 pontos amostrais durante duas campanhas em 2010 (fevereiro e agosto), foi reportado que para a campanha de verão (fevereiro/2010) *“verificou-se aporte acentuado de sólidos transportados pelas chuvas ocorridas nesse período. Em decorrência, foram detectados níveis pronunciados de cor e de turbidez nas águas, além de matéria orgânica e de fósforo na maioria dos pontos de amostragem, ocorrendo ainda o comprometimento sanitário revelado pelos altos índices de coliformes termotolerantes. As concentrações de oxigênio dissolvido atenderam ao padrão da Resolução Conama nº 357 em toda a rede de amostragem”. Na campanha de inverno (agosto/2010), ocorreu uma sensível melhoria na qualidade da água, porém verificando-se uma elevação generalizada dos teores de boro quando comparados à primeira coleta.”*

Além disso, o EIA (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013) destacou que em dois pontos amostrados para o estudo consultado (ao sul da ilha de Bagres e no canal de Piaçaguera), foram registrados *“elevados teores de boro, a presença de metais pesados, como manganês e chumbo detectados na campanha de verão, e compostos tributilestanhos identificados apenas na campanha de inverno”.*

Em relação ao estudo ambiental do Terminal Portuário Multiuso da DEICMAR (2012), o EIA (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013) resumiu os dados abióticos do estudo, realizado julho de 2011, com amostragens em dois pontos (P1: rio Saboó e P2: canal de Piaçaguera). Foi reportado que o *“pH manteve-se na faixa entre 8,6 e 8,5, indicando água*

predominantemente alcalina, com pequena ultrapassagem desse parâmetro no rio Saboó (P01) em relação ao padrão da Resolução Conama 357/05 para águas salobras classe 1 (entre 6,5-8,5).

As concentrações de oxigênio dissolvido - OD estiveram acima do padrão da legislação vigente (5 mg/L) para a manutenção da fauna aquática, atingindo 7,9 mg/L, no rio Saboó (P01). Os resultados medidos de potencial redox oscilaram na faixa entre 144 (P01) e 206 mV (P02). O menor valor obtido no rio Saboó deve-se possivelmente ao aporte mais elevado de matéria orgânica.

Os valores de condutividade e de sólidos dissolvidos (expressos em NaCl) foram elevados, devido à influência dos íons presentes nas águas salobras, constatando-se nos Pontos P01 e P02 concentrações entre 4.340 e 4.610 μ S/cm e 2.650 a 2.810 mg/L, respectivamente. Os dados de salinidade nesses mesmos locais (28 e 29,9‰) são característicos de águas salobras, conforme Resolução Conama 357/05 (entre 0,5 e 30‰).

Essa mesma resolução determina para águas salobras classe 1 ausência de compostos que conferem turbidez aos corpos d'água, de forma que nos dois pontos analisados os valores obtidos (P1: 29,9 UNT e P2: 38 UNT) estão em desconformidade com o padrão definido por essa legislação para águas salobras classe 1”.

Com relação aos dados do monitoramento da qualidade das águas costeiras no estado de São Paulo realizado pela Cetesb, o EIA (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013) reportou os resultados publicados para os anos de 2011 e 2012. No presente documento, estes dados foram comparados com os resultados mais recentes publicados pela Cetesb, que se referem ao ano de 2022.

A rede de monitoramento da Cetesb para avaliação da qualidade das águas costeiras possui três pontos de amostragem no Canal de Santos, os quais estão indicados na **Figura 8.1.7-1** a seguir.

Figura 8.1.7-1 - Pontos monitorados pela Cetesb no Canal de Santos



Fonte: CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013.

Para avaliar a qualidade das águas, um dos recursos utilizado pela Cetesb é o Índice de Qualidade de Águas Costeiras (IQAC), desenvolvido com base na metodologia definida pelo Conselho de Meio Ambiente do Canadá (CCME, 2001). O IQAC aplicado pela Cetesb agrega dados de nove parâmetros (**Tabela 8.1.7-1**) e gera uma classificação das águas em cinco categorias: Ótima, Boa, Regular, Ruim e Péssima.

Tabela 8.1.7-1 - Parâmetros utilizados na composição do IQAC e seus respectivos valores de referência (2022)

| Parâmetros | Unidade | Água Salina | Água Salobra |
|----------------------------|-----------|-------------|--------------|
| pH | - | 6,5 a 8,5 | 6,5 a 8,5 |
| OD | mg/L | 6,0 | 5,0 |
| Fósforo total | mg/L | 0,062 | 0,124 |
| COT | mg/L | 3,0 | 3,0 |
| Nitrogênio Amoniacal | mg/L | 0,4 | 0,4 |
| Fenóis totais | mg/L | 0,06 | 0,003 |
| Clorofila a | µg/L | 2,5 | 10 |
| Enterococos | UFC/100mL | 100 | 100 |
| Coliformes Termotolerantes | UFC/100mL | 1.000 | 1.000 |

Fonte: Cetesb (2023).

Dentre os parâmetros listados acima, pH, OD, fósforo total, COT, nitrogênio amoniacal e fenóis totais são referenciados pela Resolução Conama N° 357/2005, e no Canal de Santos são considerados, para atendimento a esta Resolução, os padrões de referência para águas salobras de classe 1. Já para clorofila a, não há padrão de referência na

Resolução Conama N° 357/2005 para águas salobras. Assim, a Cetesb, em seus monitoramentos, estabeleceu para esse tipo de água o valor máximo de 10 µg/L, com base nos dados dos monitoramentos realizados entre 2004 e 2011 e considerando classificações propostas em literaturas internacionais (Cetesb, 2023). Por fim, para enterococos, o valor de referência observado nas avaliações da Cetesb é o da Resolução Conama N° 274/2000.

O EIA (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013) considerou os resultados do IQAC referentes aos anos de 2011 e 2012 para os três pontos monitorados pela Cetesb no Canal de Santos. Em média, naquele período, a classificação das águas foi *Péssima* (2011) e *Ruim* (2012). Os resultados obtidos para cada ponto e os valores médios em cada um dos períodos citados estão apresentados na **Tabela 8.1.7-2** a seguir, juntamente com as não conformidades observadas em cada ano.

Dados mais recentes, referentes aos monitoramentos de 2022 publicados pela Cetesb para os mesmos três pontos monitorados no Canal de Santos, indicam um aumento do valor médio do IQAC, mas a classificação da qualidade das águas se manteve na categoria *Ruim*, embora o valor obtido tenha ficado mais próximo ao limite entre esta categoria e a de qualidade *Regular* (**Tabela 8.1.7-2**).

Tabela 8.1.7-2 - Classificação conforme o IQAC dos pontos no Canal de Santos monitorados pela Cetesb

| Amostragem | IQAC | | | | Não Conformidades |
|------------|---------|---------|---------|-------|--|
| | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Média | |
| 2011 | 25 | 30 | 40 | 32 | OD, COT, fósforo total, N amoniacal, enterococos, coliformes termotolerantes e fenóis totais |
| 2012 | 65 | 43 | 70 | 59 | OD, COT, fósforo total, N amoniacal, enterococos e coliformes termotolerantes, fenóis totais |
| 2022 | 62 | 65 | 62 | 63 | OD, COT, fósforo total, N amoniacal, enterococos e fenóis totais |

Fonte: EIA (2013) e Cetesb (2023). IQAC < 45 Classificação Péssimo; 45 ≤ IQAC < 65 Classificação Ruim; 65 ≤ IQAC < 80 Classificação Regular.

A **Tabela 8.1.7-3** a seguir apresenta mais detalhadamente os resultados dos parâmetros listados acima, obtidos pela Cetesb nos anos de 2011 e 2012 e apresentados no EIA de 2013. Já a **Tabela 8.1.7-4** detalha os resultados mais recentes destes parâmetros, obtidos nas amostragens de 2022 realizadas pela Cetesb.

Os dados das campanhas de monitoramento da Cetesb dos anos de 2011 e 2012, apresentados no EIA (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013), indicavam não conformidades para os parâmetros oxigênio dissolvido (OD), carbono orgânico total (COT), fósforo total, nitrogênio amoniacal, coliformes termotolerantes, enterococos e fenóis totais. Além dos parâmetros considerados no IQAC, em ambos os anos, houve eventos de não conformidades em relação aos parâmetros Boro Total e Turbidez nos três pontos monitorados (**Tabela 8.1.7-3**).

Nas campanhas realizadas em 2012 os desatendimentos observados com relação aos parâmetros que compõem o IQAC corresponderam a OD, COT, turbidez, fósforo total, nitrogênio amoniacal, enterococos e fenóis totais. Neste período o parâmetro Coliformes termotolerantes não foi avaliado nos pontos monitorados. Da mesma forma, não houve avaliação de metais, incluindo Boro total, diferentemente do observado nas campanhas de 2011 e 2012 (**Tabela 8.1.7-4**).

Tabela 8.1.7-3 - Resultados do monitoramento da qualidade da água no Canal de Santos apresentados no EIA de 2013 - Campanhas realizadas pela Cetesb em 2012

| Parâmetro | | pH | OD | Turbidez | Boro | COT | Fósforo | N-NH ₄ | Fenóis | Enterococos | Coli Termo | Clorofila a | |
|---------------------------------|----|------------|------|----------------------|------|------|---------|-------------------|--------|-------------|-------------|-------------|------|
| Unidade | | | mg/L | NTU | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | (UFC/100mL) | (UFC/100mL) | µg/L | |
| VMP | | 6,5 a 8,5 | 5 | Virtualmente Ausente | 0,5 | 3 | 0,124 | 0,4 | 0,003 | 100 | 1.000 | | |
| 2011 1ª Campanha 30/03/11 | P1 | Superfície | 7,9 | 5,1 | 6,1 | 3,23 | 6,26 | 0,11 | 0,5 | <0,003 | 220.000 | 90.000 | 3,34 |
| | | Meio | 8,0 | 5,3 | 5,7 | 3,31 | 7,34 | 0,11 | 0,5 | 0,01 | 45.000 | 28.000 | 3,01 |
| | | Fundo | 8,0 | 5,5 | 8,1 | 3,56 | 6,20 | 0,08 | 0,3 | 0,01 | 6.600 | 8.000 | * |
| | P2 | Superfície | 7,8 | 5,0 | 7,6 | 2,84 | 6,32 | 0,17 | 0,3 | 0,00 | 30.000 | 46.000 | 3,82 |
| | | Meio | 7,9 | 4,7 | 11,1 | 3,16 | 6,64 | 0,14 | 0,3 | 0,01 | 8.000 | 10.300 | 2,67 |
| | | Fundo | 7,9 | 4,7 | 14,1 | 3,63 | 6,04 | 0,15 | 0,3 | <0,003 | 5.800 | 9.800 | * |
| | P3 | Superfície | 7,7 | 6,1 | 9,3 | 3,78 | 4,69 | 0,27 | 0,4 | <0,003 | 292 | 3.000 | 6,11 |
| | | Meio | 7,8 | 3,9 | 10,6 | 2,91 | 4,76 | 0,22 | 0,4 | 0,00 | 1.260 | 1.200 | 6,24 |
| | | Fundo | 7,9 | 3,9 | 16,6 | 3,69 | 3,65 | 0,13 | 0,5 | <0,003 | 400 | 236 | * |
| 2011 2ª Campanha 23/08/11 | P1 | Superfície | 7,6 | 4,4 | 2,8 | 3,34 | 4,83 | 0,2 | 0,3 | <0,003 | 2.000 | 6.300 | 1,34 |
| | | Meio | 7,8 | 4,7 | 4,1 | 3,37 | 2,78 | 0,18 | 0,3 | <0,003 | 700 | 1.760 | 1,78 |
| | | Fundo | 7,9 | 5 | 4,4 | 3,62 | 1,81 | 0,15 | 0,2 | <0,003 | 520 | 800 | * |
| | P2 | Superfície | 7,6 | 5,2 | 3,4 | 2,93 | 2,48 | 0,26 | 0,4 | <0,003 | 840 | 1760 | 2,67 |
| | | Meio | 7,7 | 4,9 | 2,7 | 3,09 | 3,00 | 0,24 | 0,3 | <0,003 | 272 | 720 | 1,26 |
| | | Fundo | 7,8 | 5,1 | 6, | 3,64 | 3,92 | 0,17 | 0,2 | 0,03 | 160 | 208 | * |
| | P3 | Superfície | 7,4 | 6,7 | 3,5 | 1,39 | 3,69 | 0,65 | 0,7 | 0,06 | 19 | 1.000 | 2,67 |
| | | Meio | 7,7 | 4,4 | 9,0 | 2,88 | 12,00 | 0,26 | 0,5 | 0,00 | 84 | 700 | 1,07 |
| | | Fundo | 7,8 | 4,5 | 9,4 | 3,64 | 2,84 | 0,17 | 0,3 | 0,00 | 53 | 148 | * |

| Parâmetro | | pH | OD | Turbidez | Boro | COT | Fósforo | N-NH ₄ | Fenóis | Enterococos | Coli Termó | Clorofila a | |
|-----------------------------------|----|------------|------|----------------------|------|------|---------|-------------------|--------|-------------|-------------|-------------|------|
| Unidade | | | mg/L | NTU | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | (UFC/100mL) | (UFC/100mL) | µg/L | |
| VMP | | 6,5 a 8,5 | 5 | Virtualmente Ausente | 0,5 | 3 | 0,124 | 0,4 | 0,003 | 100 | 1.000 | | |
| 2012 1ª Campanha 22/05/2012 | P1 | Superfície | 8,0 | 4,9 | 1,6 | 3,87 | <1 | 0,13 | 0,26 | 0,004 | 168 | 360 | 4,05 |
| | | Meio | 8,0 | 4,5 | 2,3 | 4,22 | * | 0,08 | 0,21 | <0,003 | 240 | 540 | 4,34 |
| | | Fundo | 8,0 | 3,9 | 3,9 | 4,26 | <1 | 0,06 | 0,18 | <0,003 | 460 | 1.100 | * |
| | P2 | Superfície | 7,9 | 4,9 | 2,4 | 3,70 | <1 | 0,15 | 0,28 | <0,003 | 44 | 120 | 2,08 |
| | | Meio | 7,9 | 4,4 | 1,4 | 3,79 | <1 | 0,14 | 0,27 | <0,003 | 80 | 780 | 1,67 |
| | | Fundo | 8,0 | 3,5 | 8,9 | 4,22 | <1 | 0,08 | 0,17 | <0,003 | 440 | 1.300 | * |
| | P3 | Superfície | 7,7 | 4,8 | 9,4 | 3,11 | 1,14 | 0,35 | 0,36 | <0,003 | 53 | 380 | 2,67 |
| | | Meio | 7,8 | 3,9 | 3,8 | 3,39 | 2,31 | 0,27 | 0,41 | <0,003 | 30 | 212 | 0,67 |
| | | Fundo | 7,7 | 3,8 | 3,9 | 3,54 | <1 | 0,23 | 0,31 | 0,01 | 39 | 80 | * |
| 2012 2ª Campanha 24/07/2012 | P1 | Superfície | 8,0 | 6,0 | 2,3 | * | 2,21 | 0,11 | 0,30 | <0,003 | 2.100 | 2300 | 1,41 |
| | | Meio | 8,1 | 6,1 | 1,7 | * | 2,11 | 0,09 | 0,30 | <0,003 | 128 | 284 | 1,26 |
| | | Fundo | 8,1 | 6,1 | 3,1 | * | 1,68 | 0,06 | 0,20 | <0,003 | 108 | 312 | * |
| | P2 | Superfície | 7,9 | 5,8 | 3,0 | * | 2,18 | 0,19 | 0,70 | <0,003 | 14.100 | 16.100 | 2,14 |
| | | Meio | 8,0 | 5,8 | 2,6 | * | 2,26 | 0,11 | 0,50 | <0,003 | 980 | 4.900 | 1,34 |
| | | Fundo | 8,0 | 5,8 | 2,0 | * | 2,08 | 0,11 | 0,30 | <0,003 | 160 | 460 | * |
| | P3 | Superfície | 7,8 | 5,4 | 3,2 | * | 2,34 | 0,22 | 0,30 | <0,003 | 26 | 88 | 2,20 |
| | | Meio | 7,9 | 5,2 | 17,0 | * | 2,18 | 0,15 | 0,30 | <0,003 | 43 | 380 | 1,07 |
| | | Fundo | 8,0 | 5,5 | 2,8 | * | 1,78 | 0,09 | 0,30 | <0,003 | 19 | 53 | * |

Fonte: EIA (2013). * Análise não realizada.

Obs.: VMP = Valor Máximo Permitido para águas salobras classe 1, segundo Artigo 21º da Resolução Conama nº 357/05. Valores em vermelho não atendem aos VMPs.

Tabela 8.1.7-4 - Resultados do monitoramento da qualidade da água no Canal de Santos pela Cetesb - Campanhas de 2022

| Parâmetro | pH | OD | Turbidez | Boro | COT | Fósforo | N-NH ₄ | Fenóis | Enterococos | Coli. Termo. | Clorofila a | | |
|---------------------------|-----------|------------|----------------------|------|------|---------|-------------------|--------|-------------|--------------|-------------|---|------|
| Unidade | | mg/L | NTU | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | (UFC/100mL) | (UFC/100mL) | µg/L | | |
| VMP | 6,5 a 8,5 | 5 | Virtualmente Ausente | 0,5 | 3 | 0,124 | 0,4 | 0,003 | 100 | 1.000 | 10 | | |
| 1ª Campanha 23/03/2022 | P1 | Superfície | 7,6 | 3,82 | 5,6 | * | 2,19 | * | 0,60 | <0,003 | 270 | * | 2,08 |
| | | Meio | 7,6 | 3,74 | 5,2 | * | 2,59 | * | 0,58 | <0,003 | 590 | * | 1,64 |
| | | Fundo | 7,6 | 3,75 | 5,8 | * | 2,42 | * | 0,54 | <0,003 | 230 | * | * |
| | P2 | Superfície | 7,5 | 3,91 | 4,3 | * | 2,64 | * | 0,49 | <0,003 | 160 | * | 1,92 |
| | | Meio | 7,6 | 3,85 | 4,5 | * | 2,65 | * | 0,41 | <0,003 | 29 | * | 1,97 |
| | | Fundo | 7,6 | 3,85 | 7,1 | * | 2,38 | * | 0,47 | <0,003 | 14 | * | * |
| | P3 | Superfície | 7,3 | 3,66 | 6,0 | * | 3,42 | * | 0,70 | <0,003 | 13 | * | 2,14 |
| | | Meio | 7,8 | 4,00 | 4,4 | * | 2,13 | * | 0,34 | <0,003 | 51 | * | 1,34 |
| | | Fundo | 8,0 | 4,61 | 7,0 | * | 1,31 | * | 0,22 | 0,006 | 40 | * | * |
| 2ª Campanha 13/09/2022 | P1 | Superfície | 7,6 | 5,43 | 5,9 | * | 2,90 | 0,17 | 2,41 | <0,003 | 216 | * | 2,14 |
| | | Meio | 7,6 | 5,29 | 7,3 | * | 2,80 | 0,16 | <1** | <0,003 | 248 | * | 2,67 |
| | | Fundo | 7,6 | 5,29 | 6,0 | * | 2,90 | 0,14 | <1** | <0,003 | 228 | * | * |
| | P2 | Superfície | 7,6 | 5,06 | 4,4 | * | 2,10 | 0,15 | <1** | <0,003 | 128 | * | 1,67 |
| | | Meio | 7,6 | 4,96 | 5,1 | * | 2,50 | 0,14 | <1** | <0,003 | 148 | * | 1,91 |
| | | Fundo | 7,6 | 4,95 | 6,3 | * | 2,90 | 0,31 | <1** | <0,003 | 172 | * | * |
| | P3 | Superfície | 7,4 | 4,67 | 4,1 | * | 2,20 | 0,12 | <1** | <0,003 | 108 | * | 1,19 |
| | | Meio | 7,5 | 4,54 | 5,9 | * | 2,50 | 0,11 | <1** | 0,006 | 100 | * | 1,91 |
| | | Fundo | 7,6 | 4,77 | 10,0 | * | 2,80 | 0,13 | <1** | <0,003 | 96 | * | * |

Fonte: Cetesb (2023). * Análise não realizada; ** Limite de Quantificação foi superior ao limite legal.

Obs.: VMP = Valor Máximo Permitido para águas salobras classe 1, segundo Artigo 21º da Resolução Conama nº 357/05. Valores em vermelho não atendem aos VMPs.



O EIA da Interligação entre a Via Anchieta e a Rodovia Cônego Domênico Rangoni (ECOVIAS/GEOTEC, 2019) realizou amostragens em quatro pontos, que se localizavam no rio Diana (P1), em um afluente do rio Diana (P2), no rio Sandi (P3) e no rio Lenheiros (P4). Durante o referido EIA foi realizada uma amostragem nos quatro pontos para avaliação dos parâmetros do Artigo 21º da Resolução Conama Nº 357/2005, para águas salobras classe 1. As amostragens identificaram não conformidades em relação aos 13 parâmetros indicados na **Tabela 8.1.7-5**, incluindo alguns pesticidas organoclorados e compostos orgânicos voláteis. Assim como observado nos resultados dos monitoramentos da Cetesb citados previamente, o EIA em questão também identificou desatendimentos em relação à turbidez, COT, boro total e fósforo total.

Tabela 8.1.7-5 - Parâmetros que apresentaram não conformidades no EIA da Interligação entre a Via Anchieta e a Rodovia Cônego Domênico Rangoni

| Parâmetro | Cianeto livre | Cloro Residual | COT | pH | Surfactantes | Turbidez | Boro | Fósforo | Polifosfato | Toxafeno | Benzidina | Hexaclorobenzeno | 3,3 Diclorobenzidina |
|----------------|---------------|----------------|----------|------------------|--------------|-----------------------------|------------|--------------|--------------|---------------|---------------|------------------|----------------------|
| Unidade | mg/L | mg/L | mg/L | | mg/L | NTU | mg/L | mg/L | mg/L | µg/L | µg/L | µg/L | µg/L |
| VMP | 0,001 | 0,01 | 3 | 6,5 a 8,5 | 0,2 | Virtualmente Ausente | 0,5 | 0,124 | 0,062 | 0,0002 | 0,0002 | 0,00029 | 0,028 |
| Ponto 1 | <0,002* | 0,344 | 5,65 | 7,07 | 1,55 | 6,02 | 2,26 | 0,231 | 0,072 | <0,125* | <1,00* | <0,001* | <0,03000* |
| Ponto 2 | <0,002* | 0,423 | 7,09 | 8,24 | 1,55 | 13,6 | 2,04 | 0,222 | 0,084 | <0,125* | <1,00* | <0,001* | <0,03000* |
| Ponto 3 | <0,002* | 0,360 | 7,57 | 8,60 | 1,40 | 8,38 | 1,79 | 0,335 | 0,106 | <0,125* | <1,00* | <0,001* | <0,03000* |
| Ponto 4 | <0,002* | 0,301 | 6,74 | 8,83 | 1,46 | 6,12 | 1,92 | 0,363 | 0,135 | <0,125* | <1,00* | <0,001* | <0,03000* |

Fonte: EIA da Interligação entre a Via Anchieta e a Rodovia Cônego Domênico Rangoni (2019). * Limite de Quantificação foi superior ao limite legal.

Obs.: VMP = Valor Máximo Permitido para águas salobras classe 1, segundo Artigo 21º da Resolução Conama nº 357/05. Valores em vermelho não atendem aos VMPs

Em síntese, os dados compilados referente à AII do projeto indicam a contaminação das águas do Canal de Santos, em função do uso e ocupação das bacias contribuintes, bem como da próprio Canal. Os dados de monitoramentos mais recentes publicados pela Cetesb, indicam qualidade da água ruim, com ocorrência de depleção de OD e elevados níveis de nutrientes (nitrogênio e amoniacal e fósforo total). Além disso, os dados mais recentes apontam desconformidades em relação à legislação para parâmetros como boro, surfactantes, enterococos, cloro residual e COT.

Qualidade de Sedimento

Para a caracterização da AII do empreendimento objeto deste estudo foram consideradas as informações compiladas no EIA (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013) e os dados de qualidade dos sedimentos publicados pela Cetesb para o ano de 2022, em seu Relatório de Qualidade das Águas Costeiras no Estado de São Paulo (Cetesb, 2023).

O EIA apresentou uma caracterização regional, baseada em estudos realizados no Canal de Piaçaguera entre anos de 1997 e de 2002 (*Codesp (2002), com coletas realizadas em 2002; Cetesb (2001), com coletas realizadas em 1997 e 1999; Abessa (2002), com coletas realizadas em 1998; Cetesb (1998), com coletas realizadas em 1998*). Os resultados destes estudos, apresentados resumidamente pelo CONSÓRCIO PRIME-ETEL (2013), foram comparados com os dois níveis classificatórios para água salina - salobra estabelecidos pela Resolução Conama Nº 344/2004, vigente à época dos estudos considerados no referido EIA, revogada posteriormente pela Resolução Conama Nº 454/2012, ainda em vigência. Os níveis de classificação acima citados eram:

- *Nível 1: limiar abaixo do qual se prevê baixa probabilidade de efeitos adversos à biota*
- *Nível 2: limiar acima do qual se prevê um provável efeito adverso à biota*

Os resultados resumidos no EIA (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013) baseados nos estudos citados estão reapresentados a seguir:

Bifenilas policloradas (PCB)

Os PCB totais não foram quantificados em nenhuma amostra acima do Nível 1, porém na microrregião E (TECON) a somatória destes compostos foi quantificada acima do

Nível 2 pela Codesp (2002), cuja concentração obtida foi de 289 $\mu\text{g}/\text{kg}$. As maiores concentrações estão na microrregião E, apresentando um valor médio de 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (o valor do Nível 1 para a somatória é de 22,7 $\mu\text{g}/\text{kg}$).

Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA)

Os HPA estão divididos em dois grupos na Conama 344/04, de acordo com a toxicidade dos compostos: grupo A (criseno, benzo (a) antraceno, benzo (a) pireno e dibenzo (a, h) antraceno) e grupo B (acenafteno, acenaftileno, antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, 2-metilnaftaleno e pireno).

O acenafteno e o fenantreno foram quantificados acima do Nível 1 em dois pontos de coleta por Abessa (2002). Na microrregião H (Ilha Barnabé) foram obtidas concentrações de acenafteno de 210 $\mu\text{g}/\text{kg}$ e fenantreno de 3.050 $\mu\text{g}/\text{kg}$, sendo que na microrregião J (Alemoa), foram obtidas concentrações de 40 $\mu\text{g}/\text{kg}$ para acenafteno e 590 $\mu\text{g}/\text{kg}$ para fenantreno.

O acenaftileno e o fluoranteno foram quantificados acima do Nível 2, também por Abessa (2002), nos mesmos pontos de coleta, com concentrações de 2.140 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de acenaftileno e 22.510 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de fluoranteno na microrregião H e 4.450 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de acenaftileno e 15.850 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de fluoranteno na microrregião J. A microrregião H (Alemoa) apresentou ainda fluoreno acima do Nível 2, cuja concentração obtida foi de 880 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

O antraceno foi quantificado acima do Nível 1 nas microrregiões H e J por Abessa (2002) com concentrações de 170 e 820 $\mu\text{g}/\text{kg}$ respectivamente. Na microrregião H foi quantificada, pelo mesmo autor, apenas uma amostra acima do Nível 2, com concentração 1.170 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

O 2-metilnaftaleno foi quantificado acima do Nível 1 pela Codesp (2002) nas microrregiões A, B, C, e J, sendo a maior concentração obtida na microrregião B (Barra) com 106 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

O pireno foi quantificado na microrregião I (Saboó e lixão Ilha dos Bagres) pela Codesp (2002) acima do Nível 1 com 1.500 $\mu\text{g}/\text{kg}$ e acima do Nível 2 nas microrregiões H e J, com concentrações de 5.670 e 4.300 $\mu\text{g}/\text{kg}$, respectivamente (Abessa, 2002).

O benzo (a) antraceno foi quantificado em duas amostras acima do Nível 1 na microrregião B pela Codesp (2002), sendo que a maior concentração obtida foi 105 $\mu\text{g/kg}$. O dibenzo (a,h) antraceno foi quantificado pela Codesp (2002) acima do Nível 1 nas microrregiões B, C, G, I e J sendo a maior concentração obtida de 30,9 $\mu\text{g/kg}$.

O criseno foi quantificado acima do Nível 1 nas microrregiões G, H e J e acima do Nível 2 na microrregião F, com 860 $\mu\text{g/kg}$ (Vicente de Carvalho) por Abessa (2002).

O benzo (a) pireno foi quantificado por Cetesb (2001) acima do Nível 1 nas microrregiões B, F, H, I e J e acima do Nível 2 somente na microrregião J (Alemoa), com 1.210 $\mu\text{g/kg}$.

Através da análise dos dados dos contaminantes acima citados no período entre 1997 e 2002, observa-se que o sedimento do estuário de Santos apresentava problemas de contaminação naquela década. Em estudos anteriores realizados pela Cetesb (2001) no sistema estuarino de Santos e São Vicente, além constatar níveis de concentrações elevados no sedimento para vários contaminantes, também foram apontados alguns fatores que poderiam estar contribuindo para o aporte destes contaminantes, como:

- Escoamento da água superficial;
- Lançamento de efluentes líquidos industriais, portuários e domésticos;
- Vazamentos e acidentes ambientais;
- Deposição atmosférica;
- Disposição inadequada de resíduos sólidos domésticos e industriais.

Metais

O cobre foi quantificado acima do Nível 1 nas microrregiões C, F, I e J. As maiores concentrações foram obtidas na microrregião F, localizada no distrito de Vicente de Carvalho, com um valor médio de 32,2 mg/kg de Cu, sendo que a maior concentração foi quantificada pela Codesp (2002), 101,7 mg/kg . A menor concentração obtida de Cu no sedimento foi na microrregião A (Ilha das Palmas e Ponta da Praia) por Cetesb. (2001), 1,7 mg/kg .

O zinco foi quantificado acima do Nível 1 nas microrregiões F, G, H e J. As maiores concentrações amostradas foram na microrregião J (Alemoa) com uma média de 128

mg/kg. A maior e a menor concentração foram obtidas na microrregião H (Ilha Barnabé): 284 mg/kg por Abessa (2002) e 13 mg/kg pela Codesp (2002), respectivamente.

O níquel foi quantificado acima do Nível 1 na maioria das microrregiões com exceção para A (Ilha das Palmas e Ponta da Praia) e (TECON). Cetesb (1998) quantificou Ni acima do Nível 2 em apenas uma amostra na microrregião D, localizada próximo à Dow Química, obtendo uma concentração de 100 mg/kg. Pela análise dos resultados obtidos pela Codesp (2002), as maiores concentrações foram evidenciadas nas microrregiões D (Tefer) e J (Alemoa), com valores médios de 23,9 e 23,4 mg/kg, respectivamente, e a menor concentração quantificada foi de 2,2 mg/kg na microrregião B, localizada na Ponta da Praia.

O chumbo foi quantificado acima do Nível 1 na maioria das microrregiões, com exceção das microrregiões I (Saboó e Ilha dos Bagres) e B (Ponta da Praia-Barra), sendo que esta última apresentou também um resultado acima do Nível 2 na amostra coletada pela Codesp (2002) com 2.330 mg/kg. Desconsiderando este resultado por estar muito acima da média das demais amostras, a microrregião que apresentou as maiores concentrações foi a G (Dirop) com 59,9 mg/kg. A menor concentração obtida foi de 7,8 mg/kg por Cetesb (2001).

O cromo foi quantificado na maior parte das amostras, porém apenas uma amostra da microrregião H (Ilha Barnabé) apresentou concentrações superiores ao Nível 1 (170mg/kg), em estudo realizado pela Cetesb (1998). O mercúrio foi quantificado acima do Nível 1 nas microrregiões B, F, H, I e J, e acima do Nível 2 nas microrregiões G (DIROP) e H (Ilha Barnabé). A maior concentração de Hg encontrada no sedimento foi de 0,76 mg/kg (microrregião H) e a menor 0,021 mg/kg (microrregião A - Ilha das Palmas e Ponta da Praia), sendo que ambos os resultados são provenientes de Cetesb. (2001). O cádmio foi quantificado acima do Nível 1 nas microrregiões A, E, F, I e J, sendo que a média das maiores concentrações foi obtida na microrregião E (TECON) com 1,14 mg/kg, seguido da microrregião I (Saboó e lixão Ilha dos Bagres) com 1,10 mg/kg. A maior concentração quantificada foi de 1,92 mg/kg, obtida pela Codesp (2002).”

O EIA de 2013 do Túnel Santos - Guarujá também apresentou dados do estudo de

dragagem para aprofundamento do Canal de Santos, que compreendeu 3 campanhas de coletas realizadas entre outubro de 2006 e setembro de 2007, avaliando “67 amostras de sedimento superficial, 52 de sedimento até a profundidade de 1 m e 52 de sedimento na profundidade de 1 a 2 m, totalizando assim 171 amostras de sedimento”.

Conforme resumido no EIA de 2013, “os pontos de coleta de sedimentos foram posicionados a partir da Barra, próximos a uma das 08 áreas de Fundeio (especificamente o fundeadouro 03) até o ponto entre o Largo do Casqueiro e Largo do Caneú, na região do antigo aterro sanitário da Alemoa.

A nomenclatura utilizada para o monitoramento foi PSS para Ponto Superficial de Sedimento; PSST para Ponto de Sedimento com Testemunho (ou seja, de profundidade), podendo corresponder a PSST-1 (até 1 metro) e PSST-2 (entre 1 e 2 metros) com um número de ordem referente ao ponto. As coletas foram feitas em três campanhas e em pontos de três regiões do canal e baía:

- **1ª Região Barra - Fortaleza:** 1ª Campanha - pontos PSS-01 ao PSS-04, 2ª Campanha - pontos PSS-16 ao PSS-26 e 3ª Campanha - pontos PSS-51 ao PSS-58;
- **2ª Região Fortaleza - Torre Grande:** 1ª Campanha - pontos PSS-05 ao PSS-10; 2ª Campanha - pontos PSS-27 ao PSS-33 e 3ª Campanha - pontos PSS-59 ao PSS-63;
- **3ª Região Torre Grande - Alemoa:** 1ª campanha - pontos PSS-11 ao PSS-15; 2ª Campanha - pontos PSS- 34 ao PSS-50 e 3ª Campanha - pontos PSS-64 ao PSS-67;

Na 1ª campanha para cada ponto amostrado foi coletada somente 01 amostra de sedimento superficial, sendo que esta amostra foi tomada a aproximadamente 20 cm de profundidade.

Nas 2ª e 3ª campanhas para cada ponto amostrado foram coletadas 03 amostras de sedimento: uma amostra de superfície e duas amostras em profundidade. Como anteriormente explicado, as amostras de superfície corresponderam aos sedimentos dos primeiros centímetros (aproximadamente 20 cm) e as amostras de profundidade

corresponderam às porções do testemunho de 0 a 1 metro e de 1 a 2 metros, variando de acordo com a cota do fundo e a cota pretendida com a dragagem.”

Os resultados apresentados no EIA (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013) referiam-se a análises feitas *in situ* e análises realizadas em laboratório. As medições *in situ* avaliaram pH e potencial redox para sedimentos de superfície e a duas profundidades. Com relação ao pH dos sedimentos, foi reportado que os valores variaram entre 6,0 e 8,9 e que “os resultados do pH tanto para o sedimento superficial quanto para o sedimento coletado nas profundidades apresentam-se praticamente na mesma faixa de variação para as três microrregiões estudadas.” A tabela a seguir resume esses resultados.

Tabela 8.1.7-6 - Resultados comparativos de pH para os sedimentos, tanto superficial quanto em profundidade, para as três microrregiões amostradas no estudo de dragagem para aprofundamento do Canal de Santos

| Microrregiões | pH | | | | | |
|--------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | superfície | | 1 m | | 2m | |
| | mínimo | máximo | mínimo | máximo | mínimo | máximo |
| Barra - Fortaleza | - | - | - | - | 6,2 | 8,3 |
| Fortaleza - Torre Grande | - | - | 6 | 8,3 | 6,2 | 8,2 |
| Torre Grande - Alemoa | 6 | 8,8 | 6,6 | 8,9 | 6,2 | 8,7 |

Fonte: CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013.

Sobre esses resultados de pH, foi discutido no EIA de 2013 que de um modo geral os resultados de pH indicaram ambientes ácidos e básicos. Ambientes muito ácidos podem conduzir a uma maior disponibilização de metais e outros contaminantes para a coluna d’água, os quais podem apresentar toxicidade para diversos componentes da biota aquática, no entanto, embora alguns pontos tenha apresentado valores mais baixos de pH, aproximadamente 6, este valor não chega a causar problemas de remobilização de contaminantes, sendo ainda que algumas amostras apresentaram pH mais elevado, em alguns casos acima de 8, onde é diminuída a disponibilização de metais.

O pH é um parâmetro importante pelo fato do mesmo ser controlador tanto da especiação como do equilíbrio para muitas espécies químicas, tais como sulfetos, amônia, cianetos, metais e todas aquelas que se ionizam sob influência deste parâmetro. Como exemplo, a amônia, um importante parâmetro para estabelecimento de critérios de qualidade, é dependente do pH (em pH superior a 8 pode haver a liberação deste contaminante para a coluna d’água). No entanto, especificamente para este parâmetro, para que ocorra esta

liberação, outros fatores devem estar associados ao pH, como por exemplo, a quantidade de oxigênio dissolvido no sedimento, ou seja, quanto mais anóxico, maior a produção dos elementos reduzidos da série nitrogenada, facilitando a ocorrência e conseqüente liberação de amônia à coluna d'água.

Contudo, pelos valores encontrados de pH, provavelmente os sedimentos analisados não tem características de remobilização de contaminantes para a coluna d'água.

Em relação aos resultados de potencial de redox (EH) obtidos no estudo de dragagem para aprofundamento do Canal de Santos, foi reportado que “os sedimentos se apresentam com características de anoxia, sendo que em alguns pontos este parâmetro pode alcançar valores na ordem de -400 mV.

Os dados brutos apresentam grande heterogeneidade, sendo que os valores mais baixos de EH foram obtidos na região da Alemoa. De uma maneira geral, os sedimentos ao longo de todo o canal se apresentam bastante reduzidos.

Uma das características de ambientes reduzidos, como é o caso destes sedimentos, é a possibilidade de liberação de alguns tipos de contaminantes que podem causar impacto na coluna d'água, como é o caso da amônia. No entanto, como já anteriormente citado, esta remobilização só acontece quando vários fatores atuam de uma maneira conjunta, ou seja, por si só o fato do ambiente ser reduzido não significa que ele vai ocasionar a liberação dos contaminantes à coluna d'água.

A **Tabela 8.1.7-7** mostra os resultados máximos e mínimos de potencial redox (EH) para o sedimento superficial e para o sedimento coletado em profundidade em cada uma das microrregiões consideradas no estudo de dragagem para aprofundamento do Canal de Santos.

Tabela 8.1.7-7 - Resultados comparativos de EH para os sedimentos, tanto superficial quanto em profundidade, para as três microrregiões amostradas no estudo de dragagem para aprofundamento do Canal de Santos

| Microrregiões | EH (mV) | | | | | |
|--------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | superfície | | 1 m | | 2m | |
| | mínimo | máximo | mínimo | máximo | mínimo | máximo |
| Barra- Fortaleza | - | - | - | - | -283 | 85 |
| Fortaleza - Torre Grande | - | - | -342 | -113 | -335 | -180 |
| Torre Grande - Alemoa | -370 | -119 | - 415 | - 48 | -409 | -106 |

Fonte: CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013.

Em relação às análises realizadas em laboratório para o estudo de dragagem para aprofundamento do Canal de Santos, o EIA (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013) reportou que foram amostrados, seguindo a Conama N° 344/2004, vigente à época, os seguintes parâmetros:

- Metais e semimetais (arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco);
- HPA (benzo (a) antraceno, benzo (a) pireno, criseno, dibenzo (a, h) antraceno, acenafteno, acenaftileno, antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, 2-metilnaftaleno, naftaleno, pireno);
- PCB totais (somatória das sete bifenilas);
- POC (Pesticidas Organoclorados);
- Carbono orgânico total;
- Nitrogênio Kjeldhal total;
- Fósforo total; e
- Granulometria.

Adicionalmente, foi informado que para os sedimentos superficiais foram realizados os testes de toxicidade crônica com o organismo *Lytechinus variegatus* e toxicidade aguda com o organismo *Tiburonella viscana*.

Sobre os resultados do estudo consultado, o EIA de 2013 destacou que “na época da elaboração do EIA da dragagem do canal, a Codesp já possuía licença de operação de manutenção, portanto foram caracterizadas apenas as amostras de profundidade (objetivando a Licença Prévia de dragagem do canal). No trecho compreendido entre a Barra e a Fortaleza (microrregião 1) somente foram caracterizadas as amostras de

sedimento referentes à profundidade entre 1 e 2 m (PSS 16 ao PSS 26 e PSS 51 ao PSS 58), para o trecho da Fortaleza até a Torre Grande, foram caracterizados os sedimentos das profundidades até 1 m e entre 1 e 2 m (PSS 27 ao PSS 33 e PSS 59 ao PSS 63) e, finalmente, no trecho entre a Torre Grande e a Alemoa, foram caracterizados os sedimentos referentes a todas as profundidades (PSS 11 ao PSS 15, PSS 34 ao PSS 50 e PSS 64 ao PSS 67). Cabe ressaltar que nos pontos PSS 01 ao PSS 15 (1ª Campanha) foi coletado somente sedimento superficial.

Assim sendo, na microrregião 1, foram caracterizadas 19 amostras na profundidade entre 1 e 2 m, na microrregião 2, foram caracterizadas 12 amostras na profundidade até 1 m e 12 entre 1 e 2 m e para a microrregião 3, foram 26 superficiais, 21 até 1 m e 21 entre 1 e 2 m.”

Em relação às análises laboratoriais, foram reportados somente os resultados referentes às amostras incluídas no projeto de aprofundamento do canal de Santos, tanto para o sedimento superficial quanto para as profundidades.

No que diz respeito a nutrientes, durante o estudo foram realizadas análises de carbono orgânico total (TOC - sigla em inglês para *Total Organic Carbon*), nitrogênio Kjeldhal total (TKN - sigla em inglês para *Total Kjeldhal Nitrogen*) e fósforo e os resultados resumidos no EIA de 2013 informavam que das 111 amostras coletadas nas 03 profundidades (26 de superfície, 33 até 1 m e 52 entre 1 e 2 m), 6 amostras (5 de superfície e 1 de 0 a 1 metro) apresentaram valores de TOC acima do valor de alerta estabelecido pelo Conama, e apenas 01 ponto na profundidade de 1 a 2 metros apresentou nitrogênio Kjeldahl acima do valor de alerta.

De acordo com o EIA (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013), essas desconformidades são indicativas de contaminação, oriunda principalmente de esgoto doméstico e de efluentes de algumas indústrias. Foram encontrados valores de TOC acima do Valor de Alerta para poucos pontos amostrais e, para os que foram encontrados, a maioria para os sedimentos superficiais compreendidos na região da Torre Grande até Alemoa, ou seja, a porção mais a montante do canal. A concentração de TKN foi diagnosticada somente em uma amostra de 1 a 2 m na região compreendida entre a Barra e a Fortaleza.

A **Tabela 8.1.7-8** mostra os pontos avaliados no estudo para a dragagem de aprofundamento do Canal de Santos onde as concentrações excederam os valores de referência para TOC e TKN estabelecidos na Resolução Conama N° 344/2004, vigente à época do referido estudo.

Tabela 8.1.7-8 - Pontos amostrados durante o estudo para a dragagem de aprofundamento do Canal de Santos com desconformidades em relação a TOC e TKN

| Microrregião | TOC | NKT |
|--------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Barra - Fortaleza | nd | nd |
| Fortaleza - Torre Grande | nd | nd |
| Torre Grande - Alemoa | PSST 42, PSST 43, PSST 47, PSST 50 | PSST 42, PSST 43, PSST 47, PSST 50 |

Fonte: CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013.

Ainda segundo o EIA (CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013), não foram encontradas Bifenilas policloradas (PCB) nas amostras coletadas nas seções do canal de Santos.

Em relação à HPA, foi reportado que as concentrações de dibenzo (a,h) antraceno, fluoreno, acenafteno, benzo (a) antraceno e antraceno excederam os limites do Nível 1, em diferentes pontos distribuídos nas três microrregiões avaliadas no estudo de dragagem para aprofundamento do Canal de Santos. Houve ainda em um ponto amostral na microrregião de Fortaleza - Torre Grande, na profundidade de até 1m, concentrações de criseno, fluoranteno, pireno e fenantreno acima do Nível 1. Em relação a esses resultados o EIA discutiu que segundo Cetesb (2001), as principais fontes dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos para o ambiente são a atividade microbiana, descarte de resíduos originados da incineração do lixo, produção de asfalto e óleo cresoto, queima de combustíveis fósseis e o aporte de esgotos domésticos e efluentes industriais. O canal do porto de Santos recebe, há décadas, a maioria dos esgotos oriundos da cidade de Cubatão, assim como o efluente do polo industrial e petroquímico instalado no entorno do canal. Isso corrobora o fato de ter sido encontrado concentrações de HPA em quase toda a extensão com canal.

É observado, também, um gradiente nas concentrações dos HPA, com aumento acentuado na direção de jusante para montante do canal de Santos, mais especificamente, na região da Torre Grande até Alemoa, sendo que este mesmo padrão já foi observado por outros estudos realizados no mesmo local (Abessa, 2002; Medeiros, 2000).

Em relação a Pesticidas organoclorados - POC, foi reportado que somente Dieldrin foi quantificado acima dos valores orientadores do Nível 1 em dois pontos, sendo um na microrregião Fortaleza - Torre Grande (ponto PSS 59-1) e outro na microrregião Torre Grande - Alemoa (ponto 65-2). Sobre esses resultados o EIA discutiu que a presença de Dieldrin já foi detectada nos sedimentos por Tommasi em 1979, sendo que as prováveis fontes deste composto halogenado (1979) são os aterros irregulares presentes na região, assim como os efluentes industriais (Cetesb, 2001).

A respeito das análises de metais e semimetais, os dados obtidos para o total de 35 amostras (9 de superfície, 9 até 1 m e 17 entre 1 e 2 m) foram encontradas concentrações de metais e semimetais acima do Nível 1 para arsênio em 5 amostras e o mercúrio foi encontrado acima do Nível 1 em 4 amostras. Todas as alterações observadas ocorreram na microrregião Torre Grande - Alemoa.

Sobre as análises ecotoxicológicas realizadas no estudo de dragagem para aprofundamento do Canal de Santos, o EIA (CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013) relatou que os testes foram realizados somente na fração superficial do sedimento, em 26 amostras na microrregião da Torre Grande - Alemoa, e destas, 18 apresentaram toxicidade crônica para o ensaio empregado com *Lytechinus variegatus* (69 % do total de pontos superficiais) e 22 (85 % do total de amostras) apresentaram toxicidade aguda para o ensaio empregado com *Tiburonella viscana*. Sobre esses resultados, foi destacado que pelo fato destes sedimentos serem caracterizados como reduzidos, devido aos valores de EH obtidos, uma das consequências pode ser a produção de amônia e, segundo a ABNT (2006) altos valores deste parâmetro, por si só, pode causar efeito tóxico sobre os organismos utilizados para os testes de toxicidade. Além disto, a granulometria fina característica destes sedimentos também pode interferir, ocasionando resultados falsos positivos.

Por fim, sobre os resultados de granulometria, o EIA (CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013) reportou que de uma forma geral, a área amostrada apresenta característica argilosa na maioria dos pontos amostrados. Segundo Förstner e Salomons (1980) os poluentes associam-se preferencialmente às frações finas dos sedimentos (silte e argila). Portanto, em termos de granulometria, os pontos amostrados possuem, teoricamente, capacidades

de agregar contaminantes através de processos como adsorção e complexação ocasionado pela fração fina presente. Embora exista a possibilidade de remobilização dos contaminantes agregados a fração fina do sedimento para a coluna d'água, somente eventos drásticos como, por exemplo, a diminuição do pH para valores muito baixos, poderiam promover esta remobilização.

Conforme mencionado anteriormente, a AII do empreendimento também foi caracterizada com base nos dados de 2010 a 2012 do monitoramento de qualidade das águas costeiras no estado de São Paulo, realizado pela Cetesb. No Canal de Santos a avaliação é realizada nos mesmos três pontos de amostragem de águas, os quais estão indicados na **Figura 8.1.7-1**, apresentada no item de caracterização da qualidade da água.

Conforme reportado no EIA (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013), os resultados de 2010 a 2012 obtidos pela Cetesb mostraram valores negativos de potencial redox nos três pontos amostrais, sendo o menor valor observado no Ponto 3. De acordo com os resultados reportados sobre granulometria do sedimento para o ano de 2011, enquanto os pontos 1 e 2 apresentaram maior porcentagem de areia em sua composição, o ponto 3 apresentou granulometria mais fina, composta principalmente de argila, e, por isso, segundo discutido no EIA, esse ponto apresentou menor potencial redox. Adicionalmente, foi reportado que os valores negativos registrados nos pontos amostrais indicam “*ambiente de decomposição de matéria orgânica*”.

Com relação aos nutrientes, foi relatado que os monitoramentos da Cetesb em 2011 e 2012 registraram elevados valores de fósforo total, carbono orgânico total (COT) e nitrogênio Kjeldahl total (NTK), especialmente no ponto 3, onde os resultados obtidos para esses sedimentos eram superiores aos encontrados nos demais pontos do litoral paulista.

A respeito da classificação microbiológica, o EIA reportou resultados obtidos pela Cetesb em 2012 e, de acordo com os resultados de *Clostridium perfringens* os pontos foram classificados como “Péssimos” e “Ruins” em relação à qualidade do sedimento. Já sobre os níveis de coliformes termotolerantes, os sedimentos foram classificados como “Regular” (ponto 1), “Ruim” (ponto 2) e “Bom” (ponto 3) na primeira campanha do ano (maio/2012) e como “Ruim” (pontos 1 e 2) e “Bom” (ponto 3) na segunda campanha

(julho/2012).

Com relação à classificação dos sedimentos em função das substâncias químicas, o EIA (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013) informou que os resultados obtidos pela Cetesb indicaram que os 3 pontos obtiveram, em geral, classificação “Boa”, com diversos compostos apresentando concentrações acima do efeito limiar. No ano em questão foi relatado o registro de concentrações acima do efeito limiar para antraceno, benzo (a) antraceno, dibenzo (a,h) antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, pireno, cobre total e arsênio, além da presença de criseno. Em 2011 a classificação dos pontos em geral foi na categoria “Boa”, com apenas uma avaliação (P1 - 2ª campanha) indicando classificação “Regular”. Já em 2012 todas as avaliações apontaram classificação “Ótima”.

Por fim, sobre as análises ecotoxicológicas, o EIA resumiu que em 2010, quando foram realizados apenas testes de toxicidade crônica, os resultados classificaram na primeira campanha do ano os sedimentos como “Ruim” (P3) e “Regular” (P1 e P2), e na segunda campanha como “Regular” (P2 e P3) e “Ótimo” (P1). Em 2011, os resultados de toxicidade crônica indicaram classificação “Péssima” (P1 - 1ª campanha), “Regular” (P3 - 1ª campanha) e “Ótima” (P2 - 1ª campanha; todos os pontos - 2ª campanha). Já a análise de toxicidade aguda, realizada apenas na primeira campanha daquele ano, classificou os sedimentos nas categorias “Péssima” (P1 e P3) e “Ótima” (P2). Por fim, em 2012, os resultados reportados informam que todas as avaliações de toxicidade, aguda e crônica, classificaram os sedimentos dos 3 pontos na categoria “Ótima”, ou seja, não tóxico.

Esses dados estão resumidos na **Tabela 8.1.7-9** a seguir.

Tabela 8.1.7-9 - Classificação dos Sedimentos segundo as substâncias químicas e toxicidade para os anos de 2010, 2011 e 2012

| Canal de Santos | Substâncias Químicas | | | Toxicidade Crônica ¹ | | | Toxicidade Aguda ² | | |
|-------------------|----------------------|---|---|---------------------------------|---|---|-------------------------------|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Ponto | | | | | | | | | |
| Campanha 1 - 2012 | | | | | | | | | |
| Campanha 2 - 2012 | | | | | | | | | |
| Campanha 1 - 2011 | | | | | | | | | |
| Campanha 2 - 2011 | | | | | | | | | |
| Campanha 1 - 2010 | | | | | | | | | |
| Campanha 2 - 2010 | | | | | | | | | |

| | | | | | |
|---|------------|----------|----------|-----------|---------|
| Critérios Substâncias Químicas: | Ótima | Boa | Regular | Ruim | Péssima |
| Critérios Ecotológicos: | Ótima | Boa | Regular | Ruim | Péssima |
| 1- ensaio crônico (% de larvas normais - L. variegatus) | Não Tóxico | 71 - 80% | 51 - 70% | 26 - 50% | < 25% |
| 2- ensaio agudo (% de mortalidade - L. plumulosos) | (a) | - | - | < 50% (b) | ≥ 50% |
| (a) não apresenta diferença significativa em relação ao controle | | | | | |
| (b) mortalidade inferior a 50% com diferença significativa em relação ao controle | | | | | |

Fonte: CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013.

A partir dos estudos consultados, o EIA concluiu que com relação à granulometria, os sedimentos apresentam grande predominância de silte e argila, ou seja, favorecem a adsorção e complexação de alguns tipos de contaminantes, como por exemplo, os metais. Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos foram a classe de contaminantes encontrados em maior quantidade ao longo do trecho do canal, o que indica o aporte de esgotos domésticos e industriais, oriundos tanto da cidade de Cubatão como do polo industrial petroquímico instalado no entorno do canal. Complementarmente, foi destacado que dentre os compostos orgânicos, os resultados de 2011 e 2012 da Cetesb indicaram antraceno, benzo(a) antraceno, benzo(a)pireno, dibenzo(a,h)antraceno, fluoranteno, naftaleno e pireno acima do nível 1. Dentre outros poluentes foram observados arsênio total e chumbo total. Por fim, o EIA ressalta que o monitoramento da Cetesb 2012, nas duas campanhas, registrou melhora no índice de qualidade de sedimentos nos três pontos monitorados classificando-os como de ótima qualidade referido a sua toxicidade crônica e aguda.

Os dados mais recentes publicados pela Cetesb, referem-se aos monitoramentos de 2022 e também indicam altas concentrações de nutrientes, principalmente nos pontos P2 e P3, e potencial redox negativo nos três pontos, como pode ser visualizado na **Tabela 8.1.7-10**. Em relação à granulometria, houve predomínio de areia fina nos pontos P1 e P2 e

argila no ponto P3, com maiores percentuais de concentrações mais finas nos pontos P2 e P3.

Foram observadas não conformidades em relação a diversos HPA e a presença de metais acima do limite ISQG no ponto P2. Neste ponto, a Cetesb realiza o teste de ecotoxicidade aguda, com o organismo teste *Grandidierella bonnieroides*. De acordo com a informação apresentada no relatório de monitoramento da qualidade das águas costeiras (Cetesb, 2023), em 2022 o resultado do teste indicou o sedimento como de qualidade “Ótima”, apesar dos contaminantes identificados no sedimento. Foi discutido que isso possivelmente se deve ao fato de tais contaminantes não estarem biodisponíveis para causarem efeito tóxico no organismo teste. Observa-se, entretanto, que, apesar da informação apresentada no texto do relatório, os resultados das análises informados no Apêndice E do referido relatório, reapresentados na **Tabela 8.1.7-10**, indicam que não foi realizado o teste de toxicidade nas campanhas de monitoramento de 2022.

Ainda com relação aos monitoramentos de ecotoxicidade, ressalta-se que a Cetesb não tem realizado o teste de toxicidade crônica com o organismo teste *Lytechinus variegatus*, uma vez que a espécie foi incluída na lista nacional de espécies ameaçadas de extinção publicada na Portaria do Ministério do Meio Ambiente MMA Nº 445/2014, alterada pela Portaria MMA Nº 148/2022.

Com relação às análises microbiológicas, as densidades de coliformes termotolerantes no ponto P2 foram altas, classificando o sedimento como de qualidade “Péssima” (1º semestre de 2022) e “Ruim” (2º semestre de 2022). Da mesma forma, as densidades de *Clostridium perfringens* elevadas classificaram as amostras desse ponto como “Boa” (1º semestre de 2022) e “Péssima” (2º semestre de 2022). Estes microrganismos são indicativos de contaminação fecal, o primeiro indicando contaminação recente e o segundo contaminação remota (Cetesb, 2023).

Tabela 8.1.7-10 - Resultados das amostragens realizadas em 2022 pela Cetesb no Canal de Santos

| Parâmetro | Unidade | Padrão CCME, 2002 | | 1ª Campanha - 23/03/2022 | | | 2ª Campanha - 13/09/2022 | | |
|--|---------|-------------------|------|--------------------------|---------|---------|--------------------------|---------|---------|
| | | ISQG | TEL | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 |
| pH | | | | 7,4 | 7,4 | 7 | 7,4 | 7,5 | 7,2 |
| Potencial Redox | mV | | | -136 | -183 | -176 | -107 | -144 | -63 |
| Profundidade | m | | | 3 | 5 | 15 | 1,7 | 4 | 14 |
| Fósforo Total ⁽¹⁾ | mg/kg | 700 | | 375 | 579 | 625 | 375 | 495 | 899 |
| Nitrogênio Kjeldahl Total ⁽¹⁾ | mg/kg | 1500 | | 804 | 1876 | 2166 | * | * | * |
| Sólidos Fixos | % | | | 94,2 | 91,1 | 94,4 | 95,2 | 91,4 | 73,2 |
| Sólidos Totais | % | | | 52,2 | 41,3 | 30,9 | 54,7 | 42,6 | 26,6 |
| Sólidos Voláteis Totais | % | | | 5,8 | 8,9 | 15,6 | 4,8 | 8,6 | 26,8 |
| Umidade | % | | | 47,7 | 60,9 | 69,9 | 47,1 | 59,3 | 75,5 |
| Fenóis totais | | | | * | * | * | <2,78 | <3,62 | 6,7 |
| Óleos e Graxas | mg/kg | | | <350 | 736 | 796 | * | * | * |
| Carbono Orgânico Total ⁽¹⁾ | % | 1,8 | | 1,13 | 2,07 | 2,4 | 0,97 | 2,12 | 3,03 |
| Benzeno | µg/kg | | | * | * | * | * | * | * |
| Estireno | µg/kg | | | * | * | * | * | * | * |
| Etilbenzeno | µg/kg | | | * | * | * | * | * | * |
| m,p Xileno | µg/kg | | | * | * | * | * | * | * |
| o Xileno | µg/kg | | | * | * | * | * | * | * |
| Tolueno | µg/kg | | | * | * | * | * | * | * |
| 2-Metilnaftaleno | µg/kg | 20,2 | 201 | * | <20 | <20 | <20 | <20 | <20 |
| Acenafteno | µg/kg | 6,71 | 88,9 | <6 | <6 | <6 | <6 | <6 | <6 |
| Acenaftileno | µg/kg | 5,87 | 128 | * | * | * | * | <5 | <5 |
| Antraceno | µg/kg | 46,9 | 245 | <20 | <20 | <20 | <20 | <20 | <20 |
| Benzo (a) antraceno | µg/kg | 74,8 | 693 | <20 | 88 | 31 | <20 | 162 | <20 |
| Benzo (a) Pireno | µg/kg | 88,8 | 763 | 11,3 | 219 | 85 | <10 | 212 | 28,9 |
| Benzo (b) fluoranteno | µg/kg | | | <20 | 175 | 54,7 | <20 | 207 | 25,9 |
| Benzo (g,h,i) perileno | µg/kg | | | <20 | 169 | 68,4 | <20 | 142 | 26,4 |
| Benzo (k) fluoranteno | µg/kg | | | <30 | 96,8 | 35,6 | <30 | 97,1 | <30 |
| Criseno | µg/kg | 108 | 846 | <20 | 142 | 42 | <20 | 128 | <20 |
| Dibenzo (a,h) antraceno | µg/kg | 6,22 | 135 | <6 | 22 | <6 | <6 | 26,8 | <6 |
| Fenantreno | µg/kg | 86,7 | 544 | <20 | 65,4 | 21,3 | <20 | 83,4 | <20 |
| Fluoranteno | µg/kg | 113 | 1494 | <20 | 178 | 46,9 | <20 | 161 | 29,6 |
| Fluoreno | µg/kg | 21,2 | 144 | <15 | <15 | <15 | <15 | <15 | <15 |
| Indeno (1, 2,3-cd) pireno | µg/kg | | | <20 | 27,8 | 41 | <20 | 161 | 24,4 |
| Naftaleno | µg/kg | 34,6 | 391 | <20 | <20 | <20 | <20 | <20 | <20 |
| Pireno | µg/kg | 153 | 1398 | <20 | 218 | 60,7 | <20 | 202 | 32,5 |
| Alumínio Total | mg/kg | | | 41916 | 45090 | 52044 | 31873 | 44707 | 62453 |
| Arsênio Total | mg/kg | 7,2 | 41,6 | 11,1 | 10,1 | 10,1 | 9,79 | 10,9 | 13,4 |
| Cádmio Total | mg/kg | 0,7 | 4,2 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 |
| Chumbo Total | mg/kg | 30,2 | 112 | 28,1 | 45,9 | 36,1 | 22,5 | 101 | 45 |
| Cobre Total | mg/kg | 18,7 | 108 | 7,91 | 22,8 | 16,4 | 9,06 | 24,3 | 25,6 |
| Cromo Total | mg/kg | 52,3 | 160 | 39,4 | 43,8 | 45,9 | 31,9 | 50,1 | 55,7 |
| Estanho total | mg/kg | | | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 | <5 |
| Ferro Total | mg/kg | | | 27259 | 28528 | 31119 | 21148 | 28124 | 34388 |
| Mercúrio Total | mg/kg | 0,1 | 0,7 | | | | 0,04 | 0,38 | 0,14 |
| Níquel Total | mg/kg | | | 14,8 | 16,6 | 16,7 | 11,8 | 16,7 | 21,1 |
| Zinco Total | mg/kg | 124 | 271 | 56,5 | 98,2 | 80,3 | 52,1 | 107 | 103 |

| Parâmetro | Unidade | Padrão CCME, 2002 | | 1ª Campanha - 23/03/2022 | | | 2ª Campanha - 13/09/2022 | | |
|------------------------------------|----------|-------------------|-----|--------------------------|---------|---------|--------------------------|---------|---------|
| | | ISQG | TEL | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 |
| <i>Clostridium Perfringens</i> | NMP/100g | | | * | 4900 | * | * | 1100000 | * |
| Coliformes Termotolerantes | NMP/100g | | | * | 24000 | * | * | 1700 | * |
| <i>Grandidierella bonnieroides</i> | - | | | * | * | * | * | * | * |

Fonte: Apêndice E - Relatório Qualidade das Águas Costeiras no Estado de São Paulo (Cetesb, 2023)

Nota: Em vermelho resultados acima dos valores orientadores.

(¹) Valores orientadores adotados pela Cetesb

*Análise não realizada.

Em resumo, os resultados mais recentes apresentados pela Cetesb corroboram a predominância de sedimentos mais finos e altas concentrações de nutrientes na área monitorada do Canal de Santos e também apontam desconformidades em relação a diversos HPA e presença de alguns metais (arsênio, cobre, chumbo, mercúrio) em níveis acima do ISQG, além de altas concentrações de organismos microbiológicos indicativos de contaminação fecal.

8.1.7.1 Qualidade das águas superficiais na AID

Nesta seção são apresentados aspectos da qualidade da água superficial na AID do projeto, com base em dados primários obtidos a partir da coleta de amostras, realizada em 15 de abril de 2024.

As amostras foram coletadas em três pontos localizados no Canal de Santos, nas coordenadas apresentadas na **Tabela 8.1.7.1-1**. A **Figura 8.1.7.1-1** apresenta a distribuição dos três pontos amostrados.

Tabela 8.1.7.1-1 - Pontos para caracterização da qualidade da água superficial

| Identificação do ponto | Coordenadas UTM – Zona 23 K | |
|------------------------|-----------------------------|-------------|
| | Longitude | Latitude |
| P01 | 367.044 E | 7.350.222 S |
| P02 | 367.239 E | 7.350.057 S |
| P03 | 367.302 E | 7.350.008 S |

Elaboração: Fipe, 2024.

A coleta e a análise de amostras foram realizadas pelo laboratório Econsult Estudos Ambientais, acreditado junto ao InmetRO pela NBR ISO/IEC 17025. Os procedimentos aplicados para a amostragem e as análises foram realizados segundo os métodos padronizados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017). O **Anexo 3** apresenta o registro fotográfico das atividades de coleta.

Os parâmetros avaliados são os mesmos que compõem o escopo do monitoramento da qualidade das águas costeiras realizado pela Cetesb, coincidentes, portanto, com os apresentados no EIA de 2013 do Túnel Imerso Santos - Guarujá (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

A lista de parâmetros avaliados para qualidade da água está apresentada na **Tabela 8.1.7.1-2** a seguir.

Tabela 8.1.7.1-2 - Lista de parâmetros para caracterização da qualidade da água superficial

| Parâmetros | Detalhamento |
|-----------------|--|
| Físicos | Oxigênio Dissolvido, ORP, DBO, Temperatura da Água, Transparência, Turbidez, Condutividade, Salinidade, Sólido Suspenso Total, Sólido Total e Sólido Dissolvido Total |
| Químicos | <i>Inorgânicos</i> : Fósforo Total, Série de Nitrogênio, Fosfato e Cianeto Livre |
| | <i>Metais</i> : Alumínio, Boro Total, Cádmio Total, Chumbo Total, Cromo Total, Cromo Hexavalente, Cobre Dissolvido, Estanho Total, Ferro dissolvido, Níquel Total e Zinco Total |
| | <i>Orgânicos</i> : Fenóis Totais, Carbono Orgânico Total (COT) Compostos Orgânicos Voláteis (COV), Benfenilas Policloradas (PCBs), Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA) e Pesticidas Organoclorados |
| | <i>Outros</i> : pH, Salinidade e Óleos e Graxas |
| Microbiológicos | Enterococos e Coliformes Termotolerantes |
| Hidrobiológicos | Clorofila <i>a</i> e Feofitina |

Elaboração: Fipe, 2024.

Em cada ponto foram coletadas amostras de água em três profundidades da coluna d'água (superfície, meio e fundo) para análise dos parâmetros informados na **Tabela 8.1.7.1-2**, com exceção dos metais, COV, PCBs, HPA e pesticidas organoclorados, que foram avaliados apenas nas amostras de superfície da coluna d'água. Os resultados foram confrontados com os valores de referência da Resolução Conama N° 357/2005 (Artigo 21° - águas salobras Classe 1) para verificação de conformidade. Para o parâmetro Clorofila *a*, que não está referenciado no Artigo 21° da referida Resolução, foi considerado o limiar para ambientes estuarinos estabelecido pela Cetesb (10 µg/L), com

base em monitoramentos anteriores (Cetesb, 2023). Os relatórios de ensaio emitidos pelo laboratório estão apresentados no **Anexo 4**.

Os resultados de qualidade da água obtidos na presente amostragem foram comparados com aqueles apresentados no EIA de 2013 do Túnel Imerso Santos - Guarujá (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013) e com resultados obtidos pela Cetesb em 2022 no Ponto 2 da sua malha de monitoramento no Canal de Santos, que se localiza próximo aos limites da AID do empreendimento.

Ressalta-se que o EIA anterior (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013) realizou a avaliação da qualidade da água na AID do empreendimento com base nos dados do monitoramento de águas costeiras realizado pela Cetesb e do estudo ambiental realizado pela Codesp (atual Autoridade Portuária de Santos) para a dragagem de aprofundamento do Canal de Santos. Destes estudos, o EIA de 2013 considerou os dados de pontos que se localizavam dentro da AID delimitada para o empreendimento, a saber: o Ponto 2 de monitoramento da Cetesb e o Ponto C-05 da malha de caracterização da qualidade da água feita pela Codesp.

A **Tabela 8.1.7.1-3**, apresenta os resultados obtidos para os parâmetros avaliados pelo laboratório Econsult. As análises *in situ* indicaram desconformidades com os padrões preconizados no Artigo 21º da Resolução Conama Nº 357/2005 para os parâmetros *turbidez* e *oxigênio dissolvido* (OD). A turbidez, que segundo a legislação vigente deve ser virtualmente ausente, ocorreu em todos os pontos e estratos de profundidade avaliados, porém em níveis baixos. As alterações em relação a OD também foram identificadas nos três pontos amostrais para as amostras de meio e de fundo da coluna d'água.

Os resultados reportados pelo CONSÓRCIO PRIME-E TEL (2013), referentes aos anos de 2011 e 2012 para o Ponto 2 da malha amostral da Cetesb e referentes aos anos de 2007 e 2008 para o ponto C-05 do estudo realizado pela Codesp para a dragagem de aprofundamento do Canal de Santos, também apontaram desconformidades em relação a OD, tanto em amostras de superfície quanto em amostras de meio e de fundo da coluna d'água (**Tabela 8.1.7.1-4** e **Tabela 8.1.7.1-5**). Da mesma forma, os dados mais recentes da Cetesb, referentes ao ano de 2022, indicaram baixas concentrações de OD no ponto 2 de sua malha amostral no Canal de Santos (**Tabela 8.1.7.1-4**).

Em relação às análises realizadas em laboratório para a amostragem de abril de 2024, foram identificados desatendimentos à Resolução Conama N° 357/2005 para os parâmetros fósforo total (P1 superfície e fundo; P2 superfície e fundo), nitrogênio amoniacal (P2 superfície) e boro (P1, P2 e P3) (**Tabela 8.1.7.1-3**). Além destes, observou-se desconformidade na amostra de superfície do P2 para o parâmetro clorofila *a*, que superou o valor de referência adotado pela Cetesb para águas salobras (10 µg/L) em seus monitoramentos da qualidade das águas costeiras no Estado de São Paulo (Cetesb, 2023).

Tabela 8.1.7.1-3 - Resultados das análises de Qualidade da Água - 15/04/2024

| Parâmetro | Unidade | VMP | LQ | P01 | | | P02 | | | P03 | | |
|---|-----------|-----------|--------|------------|--------|---------|------------|--------|--------|------------|--------|--------|
| | | | | Superfície | Meio | Fundo | Superfície | Meio | Fundo | Superfície | Meio | Fundo |
| Análises in situ | | | | | | | | | | | | |
| ORP | mV | - | 1 | 257 | 221 | 210 | 207 | 178 | 206 | 138 | 156 | 158 |
| Temperatura | °C | - | 0 a 50 | 25,5 | 25,2 | 25,4 | 25,0 | 25,4 | 24,8 | 26,3 | 25,5 | 24,3 |
| pH | - | 6,5 a 8,5 | 2 a 12 | 6,8 | 7,5 | 7,8 | 7,8 | 7,9 | 7,9 | 8,1 | 8,0 | 8,0 |
| Condutividade | µS/cm | - | 1 | 38,9 | 43,4 | 46,6 | 39,8 | 43 | 44,1 | 39,9 | 43,2 | 47,7 |
| Turbidez | UNT | V.A | 1 | 3,1 | 5,0 | 3,9 | 7,4 | 4,9 | 5,3 | 6,3 | 5,8 | 5,9 |
| OD | mg/L | 5,0 | 0,2 | 5,23 | 4,98 | 4,89 | 5,75 | 4,83 | 4,71 | 5,55 | 4,27 | 4,48 |
| Salinidade | ‰ | - | 0,1 | 24,8 | 27,9 | 29,9 | 25,4 | 27,7 | 28,4 | 24,5 | 27,8 | 30,5 |
| Transp. | m | - | 0,01 | 1,8 | N.A. | N.A. | 1,6 | N.A. | N.A. | 1,6 | N.A. | N.A. |
| Análises em laboratório | | | | | | | | | | | | |
| DBO | mg/L | - | 2,0 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ |
| Sólidos Suspensos Totais | mg/L | - | 5 | 179 | 254 | 311 | 247 | 239 | 307 | 220 | 177 | 320 |
| Sólidos Totais | mg/L | - | 100 | 29.340 | 34.900 | 237.050 | 31.600 | 32.700 | 34.060 | 30.180 | 29.700 | 38.340 |
| Sólidos Dissolvidos Totais | mg/L | - | 100 | 27.160 | 32.520 | 35.200 | 28.660 | 30.200 | 31.580 | 27.160 | 29.420 | 34.760 |
| Óleos e Graxas | mg/L | - | 5 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ |
| Enterococos | NMP/100ml | - | 1 | 488 | 687 | 1.046 | 2.419 | 488 | 1.733 | 1.986 | 770 | 613 |
| Coliformes Termotolerantes (<i>E. Coli</i>) | NMP/100ml | 1.000 | 10 | 121 | 110 | 134 | 6.130 | 134 | 146 | 95 | 441 | 175 |
| Clorofila a | µg/L | 10* | 1 | 6,6 | 5,5 | 8,1 | 14 | 8,9 | 16 | 5,9 | 10 | 4,7 |
| Feofitina a | µg/L | - | 1 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | 1,4 | <LQ | 1,5 | 1,5 | <LQ |
| Fósforo Total | mg/L | 0,124 | 0,02 | 0,13 | 0,11 | 0,08 | 0,14 | 0,11 | 0,08 | 0,11 | 0,08 | 0,09 |
| Nitrogênio Amoniacal | mg/L | 0,40 | 0,1 | 0,257 | 0,234 | 0,168 | 0,426 | 0,171 | 0,146 | 0,212 | 0,170 | 0,140 |
| Nitrogênio Orgânico | mg/L | - | 0,4 | 0,59 | 0,58 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | 0,59 | 0,41 | <LQ |
| Nitrogênio Total Kjeldahl | mg/L | - | 0,4 | 0,85 | 0,81 | 0,25 | 0,78 | 0,45 | 0,53 | 0,80 | 0,58 | <LQ |
| Nitrogênio Total | mg/L | - | 0,5 | 0,89 | 0,85 | <LQ | 0,82 | <LQ | 0,57 | 0,84 | 0,62 | <LQ |
| Nitrato (como N) | mg/L | 0,40 | 0,2 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ |
| Nitrito (como N) | mg/L | 0,07 | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | <LQ | 0,04 | <LQ | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Fosfato (como P) | mg/L | - | 0,01 | 0,11 | 0,07 | 0,04 | 0,10 | 0,07 | 0,06 | 0,09 | 0,07 | 0,04 |
| Cianeto Livre | mg/L | 0,001 | 0,001 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ |
| Fenóis Totais | mg/L | - | 0,001 | 0,002 | 0,003 | 0,001 | 0,002 | 0,03 | 0,002 | 0,002 | 0,02 | 0,003 |
| Carbono Orgânico Total | mg/L | 3,0 | 2,5 | 3,0 | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | <LQ | 2,5 | <LQ | <LQ |
| Alumínio | mg/L | - | 0,005 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |

| Parâmetro | Unidade | VMP | LQ | P01 | | | P02 | | | P03 | | |
|----------------------------------|---------|--------|----------|------------|------|-------|------------|------|-------|------------|------|-------|
| | | | | Superfície | Meio | Fundo | Superfície | Meio | Fundo | Superfície | Meio | Fundo |
| Boro | mg/L | 0,5 | 0,005 | 1,21 | | | 1,70 | | | 1,40 | | |
| Cádmio | mg/L | 0,005 | 0,0025 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Chumbo | mg/L | 0,01 | 0,0025 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Cromo | mg/L | 0,05 | 0,0025 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Cromo Hexavalente | mg/L | - | 0,01 | <0,01 | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Cobre Dissolvido | mg/L | 0,005 | 0,00125 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Estanho | mg/L | - | 0,005 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Ferro Dissolvido | mg/L | 0,3 | 0,005 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Níquel | mg/L | 0,025 | 0,005 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Zinco | mg/L | 0,09 | 0,005 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Aldrin + Dieldrin | µg/L | 0,0019 | 0,002 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Benzeno | µg/L | 700 | 0,5 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Carbaril | µg/L | 0,31 | 0,005 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Clordano | µg/L | 0,04 | 0,002 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| 2,4-D | µg/L | 10 | 0,005 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| DDT (p,p'-DDT+p,p'-DDT+p,p'-DDE) | µg/L | 0,001 | 0,001 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Demeton (Demeton-O e Demeton-S) | µg/L | 0,1 | 0,01 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Dodecacloropentaciclodecano | µg/L | 0,001 | 0,001 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Endrin | µg/L | 0,004 | 0,001 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Endossulfan (a, b e sulfato) | µg/L | 0,01 | 0,003 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Etilbenzeno | µg/L | 25 | 1 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Gution (Azinfos Metil) | µg/L | 0,01 | 0,004 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Heptacloro e Heptacloro Epóxido | µg/L | 0,001 | 0,002 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Lindano (g-HCH) | µg/L | 0,004 | 0,001 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Melationa | µg/L | 0,1 | 0,005 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Metoxicloro | µg/L | 0,03 | 0,001 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Monocloreobenzeno | µg/L | 25 | 0,3 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Parationa Etfílica | µg/L | 0,04 | 0,005 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Pentaclorofenol | mg/L | 0,0079 | 0,000005 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| PCB's – Benfenilas Policlorados | µg/L | 0,03 | 0,001 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| 2,4,5-T | µg/L | 10 | 0,005 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Tolueno | µg/L | 215 | 1 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Toxafeno | µg/L | 0,0002 | 0,01 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |

| Parâmetro | Unidade | VMP | LQ | P01 | | | P02 | | | P03 | | |
|------------------------|---------|------|-------|------------|------|-------|------------|------|-------|------------|------|-------|
| | | | | Superfície | Meio | Fundo | Superfície | Meio | Fundo | Superfície | Meio | Fundo |
| 2,4,5-TP | µg/L | 10 | 0,005 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Tributilestanho | µg/L | 0,01 | 0,005 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Triclorobenzenos | µg/L | 80 | 3 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Benzo(a)pireno | µg/L | - | 0,001 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Benzo(b)fluoranteno | µg/L | - | 0,001 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Benzo(k)fluoranteno | µg/L | - | 0,001 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Criseno | µg/L | - | 0,001 | 0,012 | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Acenafteno | µg/L | - | 0,001 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Acenaftileno | µg/L | - | 0,001 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Fluoreno | µg/L | - | 0,001 | 0,0031 | | | 0,0019 | | | <LQ | | |
| Antraceno | µg/L | - | 0,001 | 0,0016 | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Benzo(g,h,i)perileno | µg/L | - | 0,001 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Pireno | µg/L | - | 0,001 | 0,0029 | | | 0,0022 | | | <LQ | | |
| Fenantreno | µg/L | - | 0,001 | 0,0085 | | | 0,0027 | | | <LQ | | |
| Dibenzo(a,h)antraceno | µg/L | - | 0,001 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Indeno(1,2,3,cd)pireno | µg/L | - | 0,001 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Fluoranteno | µg/L | - | 0,001 | 0,0037 | | | 0,0025 | | | <LQ | | |
| Naftaleno | µg/L | - | 0,001 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Benzo(a)antraceno | µg/L | - | 0,001 | <LQ | | | <LQ | | | <LQ | | |
| Total de PAHs | µg/L | - | 0,016 | 0,024 | | | <LQ | | | <LQ | | |

Fonte: Laboratório Econsult Estudos Ambientais.

Nota: VMP: Valor Máximo Permitido pelo Artigo 21º da Resolução Conama nº 357/05; * Valor de referência estabelecido pela Cetesb para água salobra; LQ: Limite de Quantificação do método de análise; ORP: Potencial de Oxidoredução; V.A: Virtualmente Ausente; N.A: Não Aplicável. Valores em vermelho encontram-se fora dos padrões de referência estabelecidos pela Resolução Conama nº 357/05 (Atrigo 21º).

Desconformidades como as observadas na presente amostragem já foram registradas anteriormente na área do projeto, conforme os dados apresentados no EIA (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013). No referido EIA, os resultados reportados para o ponto 2 de monitoramento da Cetesb indicavam, para o ano de 2010, altas concentrações de clorofila *a*, além de elevados valores de coliformes termotolerantes e enterococos, o que não se observou na atual avaliação. Nos dois anos seguintes, em 2011 e 2012, foram observados no mesmo ponto desatendimentos à Resolução Conama Nº 357/2005 para água salobra Classe 1 em relação aos parâmetros boro e fósforo total, além de coliformes termotolerantes, enterococos e Carbono Orgânico Total – COT (**Tabela 8.1.7.1-4**). Dados mais recentes do ponto 2 de monitoramento da Cetesb são referentes às campanhas de 2022 e também apontaram desatendimentos em relação fósforo total e nitrogênio amoniacal, além de coliformes termotolerantes e enterococos (**Tabela 8.1.7.1-4**).

Os resultados do estudo da Codesp apresentados no EIA de 2013 (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013) indicaram, para o ano de 2008, valores de nitrogênio amoniacal, nitrato, cianetos e fósforo superiores aos padrões preconizados para águas salobras Classe 1 na Resolução Conama Nº 357/2005 tanto nas amostras de superfície, quanto nas de fundo do ponto C-05. Neste período observou-se também desatendimentos em relação ao parâmetro COT na amostra de fundo do referido ponto amostral (**Tabela 8.1.7.1-5**).

Os desatendimentos observados na área do projeto são indicativos de contaminação por esgotos domésticos e efluentes industriais, evidenciando a grande influência das atividades antrópicas existentes na região.

Tabela 8.1.7.1-4 - Resultados de qualidade da água no Ponto 2 de monitoramento da Cetesb no Canal de Santos - Campanhas de 2010, 2011, 2012 e 2022

| Parâmetro | pH | OD | Fósforo | N- NH4 | Enterococos | Coliformes Termotolerantes | Clorofila a ** | Boro | COT | Fenóis | Turbidez | |
|--|------------|------|---------|--------|-------------|----------------------------|----------------|-------|------|--------|----------|-----|
| Unidade | | mg/L | mg/L | mg/L | (UFC/100mL) | (UFC/100mL) | ug/L | mg/L | mg/L | mg/L | NTU | |
| VMP | 6,5 a 8,5 | 5 | 0,124 | 0,4 | 100 | 1 | 10 | 0,5 | 3 | 0,003 | V.A | |
| 1ª Campanha 10/03/2010 ¹ | Superfície | 8,3 | 8,9 | 0,09 | <0,10 | 6 | 580 | 25,25 | | | | |
| | Meio | 8 | 6 | 0,09 | 0,34 | 188 | 2,8 | 17,71 | | | | |
| | Fundo | 8 | 5,4 | 0,06 | <0,10 | 86 | 1,44 | * | | | | |
| 2ª Campanha 15/09/2010 ¹ | Superfície | 8,1 | 6,5 | 0,07 | 0,34 | 92 | 980 | 8,55 | | | | |
| | Meio | 8,1 | 6,4 | 0,07 | 0,3 | 120 | 1,64 | 8,61 | | | | |
| | Fundo | 8,1 | 5,9 | 0,07 | 0,32 | 7 | 640 | * | | | | |
| 1ª Campanha 30/03/2011 ¹ | Superfície | 7,8 | 5 | 0,17 | 0,3 | 30 | 46 | 3,82 | 2,84 | 6,32 | 0 | |
| | Meio | 7,9 | 4,7 | 0,14 | 0,3 | 8 | 10,3 | 2,67 | 3,16 | 6,64 | 0,01 | |
| | Fundo | 7,9 | 4,7 | 0,15 | 0,3 | 5,8 | 9,8 | * | 3,63 | 6,04 | <0,003 | |
| 2ª Campanha 23/08/2011 ¹ | Superfície | 7,6 | 5,2 | 0,26 | 0,4 | 840 | 1,76 | 2,67 | 2,93 | 2,48 | <0,003 | |
| | Meio | 7,7 | 4,9 | 0,24 | 0,3 | 272 | 720 | 1,26 | 3,09 | 3 | <0,003 | |
| | Fundo | 7,8 | 5,1 | 0,17 | 0,2 | 160 | 208 | * | 3,64 | 3,92 | 0,03 | |
| 1ª Campanha 22/05/2012 ¹ | Superfície | 7,9 | 4,9 | 0,15 | 0,28 | 44 | 120 | 2,08 | 3,7 | < 1 | < 0,003 | |
| | Meio | 7,9 | 4,4 | 0,14 | 0,27 | 80 | 780 | 1,67 | 3,79 | < 1 | < 0,003 | |
| | Fundo | 8 | 3,5 | 0,08 | 0,17 | 440 | 1,3 | | 4,22 | < 1 | < 0,003 | |
| 2ª Campanha 24/07/2012 ¹ | Superfície | 7,9 | 5,8 | 0,19 | 0,7 | 14,1 | 16,1 | 2,14 | | 2,18 | < 0,003 | |
| | Meio | 8 | 5,8 | 0,11 | 0,5 | 980 | 4,9 | 1,34 | | 2,26 | < 0,003 | |
| | Fundo | 8 | 5,8 | 0,11 | 0,3 | 160 | 460 | | | 2,08 | < 0,003 | |
| 1ª Campanha 23/03/2022 ² | Superfície | 7,5 | 3,91 | * | 0,49 | 160 | * | 1,92 | * | 2,64 | <0,003 | 4,3 |
| | Meio | 7,6 | 3,85 | * | 0,41 | 29 | * | 1,97 | * | 2,65 | <0,003 | 4,5 |
| | Fundo | 7,6 | 3,85 | * | 0,47 | 14 | * | * | * | 2,38 | <0,003 | 7,1 |
| 2ª Campanha 13/09/2022 ² | Superfície | 7,6 | 5,06 | 0,15 | <1** | 128 | * | 1,67 | * | 2,1 | <0,003 | 4,4 |
| | Meio | 7,6 | 4,96 | 0,14 | <1** | 148 | * | 1,91 | * | 2,5 | <0,003 | 5,1 |
| | Fundo | 7,6 | 4,95 | 0,31 | <1** | 172 | * | * | * | 2,9 | <0,003 | 6,3 |

Fontes: 1: EIA Túnel Santos Guarujá (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013); 2: Cetesb (2023).

Nota: VMP: Valor Máximo Permitido pelo Artigo 21º da Resolução Conama nº 357/05; V.A: Virtualmente Ausente; N.A: Não Aplicável; * Análise não realizada; ** Valor de referência estabelecido pela Cetesb para água salobra. Valores em vermelho encontram-se fora dos padrões de referência.

Tabela 8.1.7.1-5 - Resultados de qualidade da água no ponto C-05 do EIA para dragagem de aprofundamento do Canal de Santos – Campanha de 2008

| Parâmetros | Unidade | VMP | Superfície | Fundo |
|---------------------------|---------|-----------|------------|-------|
| pH | UpH | 6,5 a 8,5 | 7,13 | 7,62 |
| Temperatura da Amostra | °C | | 29 | 28,3 |
| Condutividade | mS/cm | | 42,37 | 43,91 |
| Oxigênio Dissolvido | mg/L- | 5 | 3,71 | 3,89 |
| DBO | mg/L-O2 | | 2 | 5 |
| Carbono Orgânico Total | mg/L- | 3 | 1,5 | 4,5 |
| Sólidos Suspensos Totais | mg/L | | 10 | 68 |
| Sólidos Totais | mg/L | | 47480 | 35702 |
| Nitrogênio Amoniacal | mg/L | 0,4 | 0,76 | 0,87 |
| Nitrogênio Kjeldahl Total | mg/L | | <0,01 | <0,01 |
| Nitrato | mg/L | 0,4 | 1,12 | 0,99 |
| Nítrito | mg/L | 0,07 | 0,015 | 0,012 |
| Cianetos | mg/L | 0,001 | 0,007 | 0,005 |
| Fenois Totais | mg/L | 0,003 | 0,013 | 0,005 |
| Fosfato | mg/L | | 0,49 | 0,89 |
| Fósforo total | mg/L | 0,124 | 0,157 | 0,294 |

Fonte: EIA Túnel Santos Guarujá (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Nota: VMP: Valor Máximo Permitido pelo Artigo 21º da Resolução Conama nº 357/2005.

8.1.7.2 Qualidade do sedimento na AID

A coleta de sedimentos foi realizada também no dia 15 de abril de 2024, nos mesmos três pontos amostrados para avaliação da qualidade da água, informados na seção anterior (**Tabela 8.1.7.1-1; Figura 8.1.7.1-1**). O **Anexo 3** apresenta o registro fotográfico das atividades de coleta.

Na avaliação dos sedimentos foi realizada a caracterização de parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e ecotoxicológico, conforme **Tabela 8.1.7.2-1** a seguir. Estes parâmetros são os mesmos que compõem o escopo do monitoramento da qualidade das águas costeiras realizado pela Cetesb, e coincidem com os apresentados na versão de 2013 do EIA do Túnel Imerso Santos - Guarujá (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Tabela 8.1.7.2-1 - Variáveis determinadas nos sedimentos

| Variáveis | Descrição | |
|-------------------------|--|---|
| Físicas | Granulometria, Umidade, Sólidos. | |
| Químicos | Nutrientes | Fósforo Total, Nitrogênio Kjeldahl Total |
| | Metais | Alumínio Total, Arsênio Total, Cádmio Total, Chumbo Total, Cobre Total, Cromo Total, Estanho Total, Ferro Total, Níquel Total, Zinco Total |
| | Orgânicos | Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAPs), Compostos Orgânicos Voláteis Aromáticos (COVar), Óleos e Graxas, Fenóis Totais e Carbono Orgânico Total (COT) |
| | Outros | pH, Potencial Redox (EH) |
| Microbiológicos | Coliformes Termotolerantes | |
| Ecotoxicológicos | Teste de Toxicidade Aguda com <i>Grandidierella bonnieroides</i> | |

Fonte: Relatórios de Monitoramento Cetesb.

Os resultados de metais e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) foram comparados com os critérios de qualidade estabelecidos pela Legislação Canadense (CCME, 2002), uma vez que a legislação brasileira não estabelece padrões de qualidade para sedimentos. Esse guia canadense estabelece dois tipos de valores limites para substâncias tóxicas, sendo um para o efeito limiar (ISQG ou TEL – *Threshold Effect Level*) e outro, acima do qual, são observados efeitos severos (PEL – *Probable Effect Level*). Os relatórios de ensaio emitidos pelo laboratório estão apresentados no **Anexo 5**.

Para os resultados dos nutrientes, foram considerados os valores adotados pela Cetesb no seu programa de monitoramento de qualidade das águas costeiras do Estado de São Paulo (**Tabela 8.1.7.2-2**).

Tabela 8.1.7.2-2 - Valores orientadores para Carbono Orgânico Total (COT) e nutrientes

| Parâmetros/Valor de referência | Águas salinas | Águas salobras |
|-----------------------------------|---------------|----------------|
| Carbono Orgânico Total (COT) (%) | 1,3 | 1,8 |
| Nitrogênio Kjeldahl Total (mg/Kg) | 1.000 | 1.500 |
| Fósforo Total (mg/Kg) | 500 | 700 |

Fonte: Cetesb (2023).

Os resultados obtidos na presente amostragem foram comparados com aqueles apresentados pelo CONSÓRSIO PRIME-ETEL (2013) e com resultados obtidos pela Cetesb em 2022 no Ponto 2 da sua malha de monitoramento no Canal de Santos, que se localiza próximo aos limites da AID do empreendimento.

Adicionalmente, foram considerados os resultados disponíveis no Relatório Anual de

outubro de 2023 do Programa de Monitoramento da Qualidade dos Sedimentos do Porto Organizado de Santos (MCA, 2023). Esse monitoramento realiza a caracterização dos sedimentos dos Berços de Atracação, suas Áreas de Acesso e Canal de Navegação do Porto Organizado de Santos. Dentre as estações avaliadas pelo Programa, quatro (B31, B33, C16 e C17) estão localizadas na AID e uma (B32) na ADA do atual projeto do Túnel Santos - Guarujá. Os dados obtidos nestes cinco pontos foram considerados a fim de comparação no presente estudo.

A caracterização apresentada no EIA de 2013 (CONSÓRSIO PRIME-ETEL, 2013) baseou-se nos dados do monitoramento da Cetesb e do estudo ambiental realizado pela Codesp para dragagem de aprofundamento do Canal de Santos. Destes estudos, o EIA de 2013 considerou os dados de pontos que se localizavam dentro da AID delimitada para o empreendimento, a saber: o Ponto 2 de monitoramento da Cetesb e os pontos PSS-09, PSS-10, PSS-31, PSS-32, PSS- 33 e PSS-63 de caracterização de sedimentos da malha amostral da Codesp.

As avaliações realizadas em campo para o atual estudo indicaram pH próximo à neutralidade (P1: 6,9; P2: 7,0; P3: 7,1) e potencial redox negativo nos três pontos amostrais (P1: -171 mV; P2: -156 mV; P3: -179 mV) (**Tabela 8.1.7.2-3**). Os resultados reportados no EIA de 2013 para pontos de caracterização de sedimentos do estudo da Codesp indicaram, para os anos de 2006 e 2007, pH variando de ácido (6,10) a alcalino (8,30) e também apontaram valores de potencial redox negativos, entre -171 e -287 mV (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013). Já os resultados informados no EIA de 2013 para o ponto 2 da malha amostral da Cetesb no Canal de Santos indicavam, para os anos de 2010, 2011 e 2012, valores de pH com tendência alcalina (entre 7,2 e 7,4), enquanto o potencial redox também foi negativo, com valores variando entre -69,8 e -184 mV ao longo destes três anos (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013).

Os dados mais recentes para este ponto, referentes ao monitoramento realizado em 2022 pela Cetesb e apresentados detalhadamente no Apêndice E do Relatório de Monitoramento da Qualidade das Águas Costeiras no Estado de São Paulo (Cetesb, 2023), reforçam esses resultados, indicando valores de pH de 7,4 e potencial redox negativo, igual a -183 mV. Por fim, os resultados obtidos em 2023 nos cinco pontos

considerados do Programa de Monitoramento da Qualidade dos Sedimentos no Porto de Santos (MCA, 2023) também indicaram pH com tendência alcalina, entre 7,38 (estação B-33) e 7,62 (estação B-32), e potencial redox negativo, entre - 136 mV (estação B-31) e -73 mV (estação C-16).

Nota-se que os resultados obtidos na atual avaliação estão dentro das faixas de valores já registradas anteriormente na área de estudo, inclusive em anos recentes. Os resultados de potencial redox, com valores negativos, são indicativos de ambiente com alta atividade de decomposição de matéria orgânica, conforme discutido no EIA de 2013 (CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013).

Em relação às análises realizadas em laboratório para a presente caracterização, os resultados indicaram granulometria predominantemente fina, com maior volume de silte (**Tabela 8.1.7.2-3**). Foram também registrados altos valores dos nutrientes fósforo total, nitrogênio Kjeldahl total e carbono orgânico total (COT) (**Tabela 8.1.7.2-3**). Este último, nos pontos P1 (1,85 %p/p) e P3 (1,86 %p/p), esteve acima do padrão de referência utilizado pela Cetesb em seus monitoramentos da qualidade das águas costeiras do Estado de São Paulo (1,8 % p/p) (**Tabela 8.1.7.2-3**).

Altas concentrações desses nutrientes no Canal de Santos também foram observados nos estudos da Codesp e da Cetesb considerados no EIA de 2013 (CONSÓRCIO PRIME-E TEL, 2013). Da mesma forma, os dados de 2022 para o ponto 2 da malha amostral da Cetesb apontaram altas concentrações destes nutrientes, com desatendimentos aos valores de referência adotados para nitrogênio Kjeldahl total e COT, conforme detalhado no Apêndice E do Relatório de Monitoramento da Qualidade das Águas Costeiras no Estado de São Paulo (Cetesb, 2023). Os resultados de 2023 obtidos no âmbito do Programa de Monitoramento da Qualidade dos Sedimentos no Porto Organizado de Santos (MCA, 2023) também indicaram elevados valores de nitrogênio Kjeldahl, fósforo total e COT para os pontos considerados para comparação no presente estudo. Dentre esses três parâmetros, os valores de COT (de 3,84 a 7,54 %p/p), foram superiores ao padrão de referência adotado pela Cetesb e aos valores registrados no atual diagnóstico.

Esses teores mais elevados de COT são indicativos de maior aporte de matéria orgânica no sedimento, que pode ter origem natural, mas também pode ser resultante de atividades

antrópicas, como lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais, indicando poluição do corpo hídrico (PARIZOTTO, 2021; Cetesb, 2023).

Em geral, os sedimentos com maior percentual de partículas finas (silte e argila), como observado na área de estudo, tendem a apresentar teores mais altos de COT, uma vez que a argila e o silte apresentam forte correlação com material orgânico (MATER et al., 2004 *apud* ALEXANDRE et al., 2006).

Em relação a metais e semimetais, os resultados da atual amostragem apontaram valores entre o limite de efeito limiar (ISQG) e o limite de efeito severo (PEL) estabelecidos pela legislação canadense (CCME, 2002) para os parâmetros arsênio (P2 e P3), cromo (P1) e mercúrio (P1 e P3) (**Tabela 8.1.7.2-3**). Os dados reportados no EIA de 2013 referentes ao ponto 2 da malha amostral da Cetesb também apontaram valores de arsênio entre ISQG e PEL para os anos de 2010 a 2012 (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013). Eventos de desconformidades em relação ao ISQG para arsênio total, cromo e mercúrio também foram observados mais recentemente, em 2022, neste mesmo ponto da malha amostral da Cetesb (Cetesb, 2023). Já os resultados de 2023 do monitoramento da qualidade dos sedimentos no Porto Organizado de Santos (MCA, 2023) indicaram conformidade para esses metais e somente o parâmetro cobre apresentou valores acima do ISQG da legislação canadense (18,7 mg/L) em duas das cinco estações consideradas para comparativo no presente estudo (B-32: 24,6 mg/L; B-33: 22,3 mg/L). Nenhum parâmetro de metal ou semimetal avaliado, tanto na presente amostragem, quanto nos estudos consultados para comparação, ultrapassou o limite PEL, acima do qual são observados efeitos severos.

No que diz respeito aos Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA), na presente amostragem todos os parâmetros apresentaram valores inferiores ao limite de quantificação (LQ) do método de análise (**Tabela 8.1.7.2-3**), não sendo, portanto, identificada a presença dos mesmos nos três pontos avaliados. Esse resultado difere daqueles reportados no EIA de 2013 referentes aos estudos da Codesp, em 2006 e 2007, e da Cetesb entre 2010 e 2012, que identificaram HPAs presentes nos pontos avaliados, alguns com eventos de desatendimento ao ISQG da legislação canadense (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013). Este foi o caso de acenaftileno, acenafteno, antraceno, dibenzeno

(a h) antraceno e 2-metilnaftaleno em pontos avaliados pela Codesp e fluoranteno e benzo (a) pireno nos monitoramentos da Cetesb considerados no EIA de 2013.

Da mesma forma, as amostragens de 2022 realizadas pela Cetesb no ponto 2 da sua malha amostral no Canal de Santos, registraram desatendimentos ao ISQG para vários HPAs, conforme detalhado no Apêndice E do Relatório de Monitoramento da Qualidade das Águas Costeiras no Estado de São Paulo (Cetesb, 2023). Já os resultados obtidos em 2023 no âmbito do monitoramento da qualidade dos sedimentos no Porto Organizado de Santos (MCA, 2023) não indicaram desconformidades em relação a HPAs nos cinco pontos considerados para comparação no presente estudo.

Sobre os parâmetros microbiológicos, a atual avaliação registrou valores de Coliformes Termotolerantes inferiores ao LQ do método de análise nos três pontos amostrais (**Tabela 8.1.7.2-3**), o que indica ausência de poluição fecal recente. Esses resultados diferem daqueles dos estudos utilizados no EIA de 2013 e dos resultados obtidos em 2022 pela Cetesb em seu ponto 2 de monitoramento no Canal de Santos, que registraram eventos de elevadas concentrações destes microrganismos (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013; Cetesb, 2023). No que diz respeito a *Clostridium perfringens*, os valores atuais variaram de 24.000 NMP/100 mL (P2) e 92.000 NMP/100 mL (P1), indicando concentrações menores do que as observadas entre 2010 e 2012 no ponto 2 de amostragem da Cetesb, conforme reportado no EIA de 2013 (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013), e dentro da faixa registrada neste mesmo ponto pela Cetesb durante as duas campanhas de 2022 (Cetesb, 2023 – Apêndice E). A presença desse microrganismo no sedimento dos pontos avaliados é indicativa de poluição fecal remota (Cetesb, 2023).

Tabela 8.1.7.2-3 - Resultados das análises de qualidade do sedimento – 15/04/2024

| Parâmetro | Unidade | LQ | Padrão CCME, 2002 | | Resultados | | |
|----------------------------------|------------|--------------|-------------------|-----|------------|---------|---------|
| | | | ISQG | TEL | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 |
| Avaliações in situ | | | | | | | |
| pH | | 2 a 12 | | | 6,9 | 7,0 | 7,1 |
| Temperatura | °C | 0 a 50 | | | 24,2 | 24,4 | 24,3 |
| Potencial Redox | mV | -2000 a 2000 | | | -171 | -156 | -179 |
| Avaliações em laboratório | | | | | | | |
| <i>Clostridium perfringens</i> | NMP/100 mL | 1,80 | | | 92.000 | 24.000 | 35.000 |

| Parâmetro | Unidade | LQ | Padrão CCME, 2002 | | Resultados | | |
|---|---------|--------|-------------------|-------|------------|---------|---------|
| | | | ISQG | TEL | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 |
| Coliformes Termotolerantes (<i>E. coli</i>) | NMP/gST | 7,1 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Areia muito grossa (2 a 1 mm) | g/kg | 0-1000 | | | 0 | 0 | 0 |
| Areia grossa (1 a 0,5 mm) | g/kg | 0-1000 | | | 0 | 0 | 0 |
| Areia média (0,5 a 0,25 mm) | g/kg | 0-1000 | | | 0 | 0 | 0 |
| Areia fina (0,25 a 0,125 mm) | g/kg | 0-1000 | | | 88 | 80 | 8 |
| Areia muito fina (0,125 a 0,062 mm) | g/kg | 0-1000 | | | 125 | 153 | 76 |
| Silte (0,062 a 0,00394 mm) | g/kg | 0-1000 | | | 655 | 645 | 781 |
| Argila (0,00394 a 0,0002 mm) | g/kg | 0-1000 | | | 132 | 122 | 135 |
| Porcentagem de sólidos | %p/p | 0,05 | | | 49,8 | 51,8 | 35,2 |
| Fósforo Total ⁽¹⁾ | mg/kg | 1 | 700 | | 652 | 390 | 590 |
| Nitrogênio Kjeldahl Total ⁽¹⁾ | mg/kg | 38 | 1.500 | | 951 | 964 | 519 |
| Carbono Orgânico Total ⁽¹⁾ | % p/p | 0,05 | 1,8 | | 1,85 | 1,43 | 1,86 |
| Umidade | % | 0,05 | | | 50,2 | 48,2 | 64,8 |
| Óleos e Graxas | mg/kg | 0,095 | | | 0,34 | 0,25 | 0,14 |
| Alumínio Total | mg/kg | 2.500 | | | 32.000 | 36.100 | 47.400 |
| Arsênio Total | mg/kg | 1 | 7,2 | 41,6 | 5,33 | 7,39 | 8,78 |
| Cádmio Total | mg/kg | 0,1 | 0,7 | 4,2 | <LQ | <LQ | <LQ |
| Chumbo Total | mg/kg | 1 | 30,2 | 112 | 12,7 | 11,5 | 14,4 |
| Cobre Total | mg/kg | 0,5 | 18,7 | 108 | 11,1 | 9,89 | 13 |
| Cromo Total | mg/kg | 1 | 52,3 | 160 | 81 | 31,1 | 40,6 |
| Estanho total | mg/kg | 1 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Ferro Total | mg/kg | 2.500 | | | 17.8000 | 18.400 | 23.600 |
| Mercúrio Total | mg/kg | 0,05 | 0,1 | 0,7 | 0,153 | 0,0581 | 0,104 |
| Níquel Total | mg/kg | 1 | | | 9,88 | 10,6 | 14,1 |
| Zinco Total | mg/kg | 1 | 124 | 271 | 42,7 | 38,6 | 48,3 |
| Benzo (a) antraceno | µg/kg | 0,71 | 74,8 | 693 | <LQ | <LQ | <LQ |
| Benzo (a) Pireno | µg/kg | 0,71 | 88,8 | 763 | <LQ | <LQ | <LQ |
| Criseno | µg/kg | 0,71 | 108 | 846 | <LQ | <LQ | <LQ |
| Dibenzo (a,h) antraceno | µg/kg | 0,71 | 6,22 | 135 | <LQ | <LQ | <LQ |
| Acenafteno | µg/kg | 0,71 | 6,71 | 88,9 | <LQ | <LQ | <LQ |
| Acenaftileno | µg/kg | 0,71 | 5,87 | 128 | <LQ | <LQ | <LQ |
| Antraceno | µg/kg | 0,71 | 46,9 | 245 | <LQ | <LQ | <LQ |
| Fenantreno | µg/kg | 0,71 | 86,7 | 544 | <LQ | <LQ | <LQ |
| Fluoranteno | µg/kg | 0,71 | 113 | 1.494 | <LQ | <LQ | <LQ |
| Fluoreno | µg/kg | 0,71 | 21,2 | 144 | <LQ | <LQ | <LQ |
| 2-Metilnaftaleno | µg/kg | 0,71 | 20,2 | 201 | <LQ | <LQ | <LQ |
| Naftaleno | µg/kg | 0,71 | 34,6 | 391 | 1,43 | <LQ | <LQ |
| Pireno | µg/kg | 0,71 | 153 | 1.398 | <LQ | <LQ | <LQ |
| Somatória de HPA | µg/kg | 12 | | | <LQ | <LQ | <LQ |

| Parâmetro | Unidade | LQ | Padrão CCME, 2002 | | Resultados | | |
|--------------------------|---------|--------|-------------------|-----|------------|---------|---------|
| | | | ISQG | TEL | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 |
| 1,1,1-Tricloroetano | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 1,1,2- Tricloroetano | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 1,1,2,2-Tetracloroetano | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 1,1-Dicloroetano | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 1,1-Dicloroeteno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 1,1-Dicloropropeno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 1,2,3-Triclorobenzeno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 1,2,4-Triclorobenzeno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 1,2-Dicloroetano | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 1,2-Dicloropropano | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 1,3-Diclorobenzeno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 2,2-Dicloropropano | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Benzeno | mg/kg | 0,0057 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Bromobenzeno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Bromodiclorometano | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Cis-1,2-Dicloroeteno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Cis-1,3-Dicloropropeno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Diclorometano | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Clorobenzeno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Cloroetano | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Clorofórmio | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Clorometano | mg/kg | 0,028 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Dibromoclorometano | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Estireno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Etilbenzeno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| m,p Xileno | mg/kg | 0,023 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| o Xileno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Tetracloroeteno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Tetracloroeto de carbono | mg/kg | 0,0057 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Tolueno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Trans-1,2-Dicloroeteno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Tricloroeteno | mg/kg | 0,0057 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 1,1,1,2-Tetracloroeteno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 1,2,3-Tetracloropropano | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 1,3,5-Trimetilebenzeno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 1,2,4-Trimetilbenzeno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 1,2-Dibromoetano | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 1,2-Diclorobenzeno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 2-Clorotolueno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Dibromometano | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 4-Clorotolueno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Trans-1,3-Dicloropropeno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Isopropilbenzeno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |

| Parâmetro | Unidade | LQ | Padrão CCME, 2002 | | Resultados | | |
|------------------------------------|---------|-------|-------------------|-----|------------|------------|------------|
| | | | ISQG | TEL | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 |
| 1,4-Diclorobenzeno | mg/kg | 0,01 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 1,3,5-Triclorobenzeno | mg/kg | 0,011 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| 1,3-Dicloropropano | mg/kg | 0,028 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Bromoclorometano | mg/kg | 0,028 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Xilenos | mg/kg | 0,034 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Índice Fenóis | mg/kg | 0,56 | | | <LQ | <LQ | <LQ |
| Ecotoxicidade | | | | | | | |
| <i>Grandidierella bonnieroides</i> | - | - | | | Não tóxico | Não tóxico | Não tóxico |

Nota: ⁽¹⁾ valores orientadores adotados pela Cetesb (Cetesb, 2023). Valores em vermelho encontram-se fora dos padrões de referência estabelecidos pela Resolução CCME (2002) ou não atendem a valores orientadores adotados pela Cetesb.

Dentre as análises realizadas em laboratório nas amostras de sedimento, consta o teste de toxicidade aguda com *Grandidierella bonnieroides*, que indicou efeito não tóxico nos três pontos amostrais. As análises ecotoxicológicas realizadas nos estudos da Codesp e da Cetesb, reportados na versão de 2013 do EIA do Túnel Imerso Santos - Guarujá (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013), assim como aqueles obtidos em 2022 pela Cetesb para o ponto 2 de sua malha amostral no Canal de Santos (Cetesb, 2023) e em 2023 pelo Programa de Monitoramento da Qualidade de Sedimentos do Porto de Santos (MCA, 2023), também indicaram ausência de toxicidade nas áreas avaliadas.

Os resultados obtidos a partir da atual amostragem (abril/2024) mostraram potencial redox negativo e altas concentrações de nutrientes, indicativos da presença de elevado teor de matéria orgânica no sedimento dos pontos avaliados. Esses resultados, associados à presença de metais e semimetais em alguns pontos avaliados, são indicativos da influência de atividades antrópicas na região, como lançamentos de esgotos domésticos e efluentes industriais. Entretanto, os parâmetros analisados, incluindo metais e semimetais, apresentaram concentrações abaixo do nível de efeitos severos preconizados pela legislação considerada (CCME, 2002) e as análises ecotoxicológicas indicaram ausência de toxicidade nas amostras de sedimento superficial avaliadas.

8.1.8 Áreas Contaminadas

A presente Seção contempla um estudo preliminar sobre a ocorrência de áreas potencialmente contaminadas que ocorrem na Área Diretamente Afetada (ADA) e no entorno do Túnel Imerso Santos - Guarujá. O estudo partiu da análise de documentações

e estudos existentes para a área do empreendimento.

São apresentados os pontos de interesse e seu posicionamento em relação ao empreendimento, contemplando: Áreas com Potencial de Contaminação (AP), Áreas com Suspeita de Contaminação (AS) e Áreas Contaminadas (ACI, ACRi, ACR_e e ACR_u), além de Áreas em Monitoramento para Encerramento (AME) e Áreas Reabilitadas (AR), do cadastro da Cetesb.

A partir de consulta ao banco de dados da Cetesb, SIACR - Áreas Contaminadas e Reabilitadas, foi possível identificar a ocorrência de 10 áreas classificadas como contaminadas e reabilitadas.

Na **Tabela 8.1.8-1** é apresentada as áreas contaminadas e reabilitadas no entorno do empreendimento e na ADA, de acordo com o SIACR da Cetesb.

Tabela 8.1.8-1 - Áreas Contaminadas no entorno do empreendimento cadastradas na Cetesb

| ID | Município | Endereço | Nome | Classificação | Fonte de Contaminação | Meios impactados | Medidas de Remediação | Distância ADA (m) |
|-----------|------------------|---|--|---|------------------------------|---|---|--------------------------|
| 153293 | Santos | Av. Perimetral, S/N | CIA Docas do Estado de SP (Codesp) | Área em Processo de Monitoramento para Encerramento (AME) | Armazenagem / Infiltração | Solo Superficial/Águas Subterrâneas (DENTRO) | Remoção de Solo/Resíduo | 100 |
| 73435 | Santos | Rua Senador Dantas, n° 75 | Posto Santo Antônio LTDA | Área Contaminada em Processo de Remediação (ACRe) | Armazenagem / Infiltração | Solo Superficial/Águas Subterrâneas (DENTRO)/Subsolo (DENTRO) | Bombeamento e Tratamento/Extração Multifásica/Remoção de Solo / Resíduo / Recuperação de Fase Livre | 280 |
| 152419 | Santos | Cais do Armazém XXVIII, do Porto de Santos, S/N | CIA Docas do Estado de SP (Codesp) | Área Contaminada em Processo de Remediação (ACRe) | Armazenagem | Águas Subterrâneas/Subsolo (DENTRO) | Bombeamento e Tratamento/Recuperação de Fase Livre | 100 |
| 97046 | Guarujá | Av. Santos Dumont, n° 399 | Auto Posto Dilas LTDA. | Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR) | Armazenagem | Águas Subterrâneas | Bombeamento e Tratamento | 140 |
| 68103 | Guarujá | Rua Presidente Vargas, n° 632 | Auto Posto Aracaú LTDA. | Área Contaminada em Processo de Remediação (ACRe) | Armazenagem | Águas Subterrâneas | Bombeamento e Tratamento | 480 |
| 71236 | Guarujá | Rua Via de Acesso Rodoviário ao TECON, S/N | Localfrio S.A Armazéns Gerais Frigoríficos | Área em Processo de Monitoramento para Encerramento (AME) | Produção | Águas Subterrâneas | Sem Medidas de Remediação | 280 |

| ID | Município | Endereço | Nome | Classificação | Fonte de Contaminação | Meios impactados | Medidas de Remediação | Distância ADA (m) |
|--------|-----------|-----------------------------|--|---|-----------------------|-------------------------------------|---|-------------------|
| 72397 | Guarujá | Av. Santos Dumont, S/N | Santos Brasil Participações S/A - Áreas Contaminadas | Área em Processo de Monitoramento para Encerramento (AME) | Armazenagem | Águas Subterrâneas | Bombeamento e Tratamento/Air Sparging/Biosparging | 345 |
| 73544 | Guarujá | Av. Santos Dumont, n° 3945 | Auto Posto Porto Guarujá LTDA. EPP | Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR) | Armazenagem | Águas Subterrâneas | Sem Medidas de Remediação | 46 |
| 152953 | Guarujá | Rod. Santos Dumont, n° 3445 | Auto Posto Estuário LTDA. | Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR) | Armazenagem | Águas Subterrâneas/Subsolo (DENTRO) | Extração Multifásica/Recuperação de Fase Livre | 380 |
| 89582 | Guarujá | Rod. Santos Dumont, n° 3215 | Auto Posto Falcão do Terminal LTDA. | Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR) | Armazenagem | Águas Subterrâneas | Sem Medidas de Remediação | 328 |

Fonte: SIACR, Cetesb (<https://mapas.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/>, Acesso em abril de 2024).

Com base nos dados da **Tabela 8.1.8-1**, no entorno do empreendimento há 9 (nove) áreas cadastradas, distribuídas da seguinte forma: 3 (três) Áreas Contaminadas em Processo de Remediação (ACRe), 3 (três) Áreas em Processo de Monitoramento para Encerramento (AME) e 3 (três) Áreas Reabilitadas para o Uso Declarado (AR). Todas estas áreas estão fora da ADA e não apresentam risco significativo de interferência na execução da obra.

8.1.9 Qualidade do Ar

A presente Seção foi elaborada com base em estudos e relatórios técnicos existentes que versam sobre a qualidade do ar na área em estudo.

A Resolução Conama Nº 491/2018 estabelece os padrões de qualidade do ar, e define como poluente atmosférico “*qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade*”.

Em relação à sua origem, os poluentes podem ser classificados em primários e secundários. Os primários são aqueles poluentes lançados diretamente na atmosfera por fontes de emissão, tais como: dióxido de enxofre (SO₂), os óxidos de nitrogênio (NO_x), o monóxido de carbono (CO) e alguns particulados, como a poeira. Os secundários são aqueles poluentes formados por meio de reações que ocorrem em razão da presença de determinadas substâncias químicas em condições atmosféricas particulares. Dentre os poluentes secundários, destacam-se o SO₃ (formado pelo SO₂ e O₂ no ar), que reage com o vapor d’água produzindo o ácido sulfúrico (H₂SO₄), importante componente da chamada chuva ácida, e o Ozônio (O₃), poluente prejudicial à saúde e à vegetação, formado pelas reações entre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, na presença de luz solar.

Desta forma, é importante observar que a concentração de poluentes no ar não depende somente da quantidade de poluentes emitidos pelas fontes primárias. Mesmo quando mantidas as emissões primárias em uma localidade, os níveis de poluição poderão sofrer alterações decorrentes do comportamento atmosférico, que determina as situações de

diluição, transporte e interações químicas entre poluentes e atmosfera.

A Cetesb monitora a qualidade do ar no Estado, fornecendo dados para a ativação de ações de controle quando os níveis de poluentes na atmosfera puderem apresentar riscos à saúde humana e à integridade do meio ambiente em geral. Os parâmetros monitorados seguem de perto as especificações da agência norte americana de proteção ambiental - *Environmental Protection Agency (EPA)* - (BRAGA *et al.*, 2005), e estão em consonância com os padrões de qualidade do ar (PQAr) indicados pela Organização Mundial de Saúde (OMS).

Os principais parâmetros regulamentados pela referida norma são *Partículas Inaláveis e Fumaça, Partículas Totais em Suspensão, Dióxido de Enxofre, Dióxido de Nitrogênio, Monóxido de Carbono e Ozônio*. No **Quadro 8.1.9-1**, estão sistematizadas as características e as fontes de cada um desses parâmetros.

Quadro 8.1.9-1 - Parâmetros e caracterização dos poluentes regulamentados pela Resolução Conama N° 491/208

| Poluente | Características | Fontes | Efeitos Gerais |
|--|---|---|--|
| Partículas Inaláveis Finas (MP2,5) | Partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc, que podem permanecer no ar e percorrer longas distâncias. Faixa de tamanho < 2,5 micra. | Processos de combustão (industrial, veículos automotores), aerossol secundário, como sulfato e nitrato, entre outros. | Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e água |
| Partículas Inaláveis (MP10) e Fumaça | Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, etc. Tamanho < 10 micra | Processos de combustão (indústria e veículos automotores), poeira ressuspensa, aerossol secundário (formado na atmosfera). | Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e água |
| Partículas Totais em Suspensão (PTS) | Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 50 micra. | Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol marinho e solo. | Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e água |
| Dióxido de Enxofre (SO ₂) | Gás incolor, com forte odor. Pode ser transformado a SO ₃ , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ . É um importante precursor dos sulfatos, que são componentes das partículas inaláveis. | Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, produção de polpa de celulose e papel, fertilizantes. | Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas. |
| Dióxido de Nitrogênio (NO ₂) | Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos e compostos orgânicos tóxicos. | Processos de combustão de veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas, incinerações. | Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita. |

| Poluente | Características | Fontes | Efeitos Gerais |
|--------------------------|--|--|---|
| Monóxido de Carbono (CO) | Gás incolor, inodoro e insípido. | Combustão incompleta em veículos automotores. | - |
| Ozônio (O ₃) | Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica. | Não é emitido diretamente para a atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis. | Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; às plantas ornamentais |

Fonte: Cetesb, 2023.

Padrões e índices de qualidade do ar

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), os padrões de qualidade do ar devem ser adotados considerando as especificidades geográficas, econômicas e sociais, a fim de garantir a capacidade institucional de um país em garantir a formulação e aplicabilidade de políticas públicas de qualidade do ar.

A Resolução Conama Nº 491/2018 estabeleceu os padrões de qualidade do ar divididos em padrões intermediários (PI) e padrões finais (PF). Os padrões intermediários referem-se àqueles estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas, a saber: PI-1 a PI-3. Já os padrões finais relacionam-se aos valores guia definidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 2005.

A **Tabela 8.1.9-1** apresenta os padrões de qualidade do ar que devem ser tomados como base de referência.

Tabela 8.1.9-1 - Padrões de qualidade do ar

| Poluente | Período | PI-1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | PI-2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | PI-3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | PF | |
|---|----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|-----|
| | | | | | ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | ppm |
| Material Particulado MP ₋₁₀ | 24 Horas | 120 | 100 | 75 | 50 | - |
| | Anual ¹ | 40 | 35 | 30 | 20 | - |
| Material Particulado MP _{-2,5} | 24 Horas | 60 | 50 | 37 | 25 | - |
| | Anual ¹ | 20 | 17 | 15 | 10 | - |
| Dióxido de Enxofre - SO ₂ | 24 Horas | 125 | 50 | 30 | 20 | - |
| | Anual ¹ | 40 | 30 | 20 | - | - |
| Dióxido de Nitrogênio - NO ₂ | 1 Hora ² | 260 | 240 | 220 | 200 | - |
| | Anual ¹ | 60 | 50 | 45 | 40 | - |
| Ozônio - O ₃ | 8 Horas ³ | 140 | 130 | 120 | 100 | - |
| Fumaça | 24 horas | 120 | 100 | 75 | 50 | - |
| | Anual ¹ | 40 | 35 | 30 | 20 | - |
| Monóxido de Carbono - CO | 8 Horas ³ | - | - | - | - | 9 |
| Partículas Totais em suspensão - PTS | 24 horas | - | - | - | 240 | - |
| | Anual ⁴ | - | - | - | 80 | - |
| Chumbo - Pb ⁵ | Anual ¹ | - | - | - | 0,5 | - |

Fonte: Resolução Conama Nº 491/2018.

- 1 - Média aritmética anual
- 2 - Média horária
- 3 - Máxima média móvel obtida no dia
- 4 - Média geométrica anual
- 5 - Medido nas partículas totais em suspensão

No estado de São Paulo, em 2008, foi iniciado um processo de revisão dos padrões de qualidade do ar, baseando-se nas diretrizes estabelecidas pela OMS, com participação de representantes de diversos setores da sociedade. Este processo culminou na publicação do Decreto Estadual Nº 59.113/2013, estabelecendo novos padrões de qualidade do ar, por intermédio de um conjunto de metas gradativas e progressivas para que a poluição atmosférica seja reduzida a níveis desejáveis ao longo do tempo.

Conforme definido no Decreto Estadual Nº 59.113/2013, as Metas Intermediárias (MI) foram estabelecidas como valores a serem cumpridos em etapas, visando à melhoria gradativa da qualidade do ar no estado, baseada na busca pela redução das emissões de fontes fixas e móveis. Os Padrões Finais (PF) foram determinados pelo melhor conhecimento científico para que a saúde da população seja preservada ao máximo em relação aos danos causados pela poluição atmosférica.

Os padrões estaduais de qualidade do ar fixados pelo Decreto Estadual Nº 59.113/2013 estão apresentados na **Tabela 8.1.9-2**, a seguir.

Tabela 8.1.9-2 - Padrões Estaduais de Qualidade do Ar - Decreto Estadual N° 59.113/2013

| Poluente | Tempo de Amostragem | MI1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | MI2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | MI3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | PF ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|---|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Partículas Inaláveis (MP ₁₀) | 24 horas | 120 | 100 | 75 | 50 |
| | MAA ¹ | 40 | 35 | 30 | 20 |
| Partículas Inaláveis Finas (MP _{2,5}) | 24 horas | 60 | 50 | 37 | 25 |
| | MAA ¹ | 20 | 17 | 15 | 10 |
| Dióxido de enxofre | 24 horas | 60 | 40 | 30 | 20 |
| | MAA ¹ | 40 | 30 | 20 | - |
| Dióxido de nitrogênio | 1 hora | 260 | 240 | 220 | 200 |
| | MAA ¹ | 60 | 50 | 45 | 40 |
| Ozônio | 8 horas | 140 | 130 | 120 | 100 |
| Monóxido de carbono | 8 horas | - | - | - | 9 ppm |
| Fumaça (FMC) | 24 horas | 120 | 100 | 75 | 50 |
| | MAA ¹ | 40 | 35 | 30 | 20 |
| Partículas totais em Suspensão (PTS) | 24 horas | - | - | - | 240 |
| | MGA ² | - | - | - | 80 |
| Chumbo (Pb) | MAA ¹ | - | - | - | 0,5 |

Fonte: Cetesb, 2023

Nota: Padrões vigentes estão assinalados em vermelho;

¹ Média aritmética anual;

² Média geométrica anual;

MI1: Meta Intermediária Etapa 1 - Padrões que devem ser respeitados a partir de 24/04/2013;

MI2: Meta Intermediária Etapa 2 - Padrões que devem ser respeitados subsequentemente à MI1, que entrarão em vigor após avaliações realizadas na Etapa 1, reveladas por estudos técnicos apresentados pelo órgão ambiental estadual, convalidados pelo CONSEMA;

MI3: Meta Intermediária Etapa 3 - Padrões que devem ser respeitados nos anos subsequentes à MI2, sendo que o início de sua vigência e seu prazo de duração serão definidos pelo CONSEMA, com base nas avaliações realizadas na Etapa 2.

O mesmo diploma legal estabelece ainda os critérios para os episódios críticos de poluição do ar, os quais estão apresentados na **Tabela 8.1.9-3**. Cabe ressaltar, no entanto, que além dos níveis de concentração de poluentes, são consideradas as previsões meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes quando avaliados os estados de Atenção, Alerta e Emergência.

Tabela 8.1.9-3 - Critérios para Episódios Agudos de Poluição do Ar - Decreto Estadual N° 59.113/2013

| Parâmetros | Atenção | Alerta | Emergência |
|--|---------|--------|------------|
| Partículas inaláveis finas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h | 125 | 210 | 250 |
| Partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h | 250 | 420 | 500 |
| Dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h | 800 | 1.600 | 2.100 |
| Dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1 h | 1.130 | 2.260 | 3.000 |
| Monóxido de carbono (ppm) - 8h | 15 | 30 | 40 |
| Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1 h | 200 | 400 | 600 |

Fonte: Cetesb, 2023.

Visando simplificar o processo de divulgação da qualidade do ar, a Cetesb utiliza o Índice de Qualidade do Ar, desenvolvido nos Estados Unidos. Este índice é obtido dividindo-se a concentração de um determinado poluente pelo seu padrão de qualidade (PQAr) e multiplicando-se o resultado por 100 para que seja obtido um valor percentual.

O Índice de Qualidade do Ar então é apresentado com base no poluente que apresentou o maior resultado, isto é, embora a qualidade do ar de uma estação seja avaliada para todos os poluentes monitorados, a sua classificação é determinada pelo poluente com pior índice (pior caso).

Na **Tabela 8.1.9-4** é apresentado o Índice de Qualidade do Ar para cada poluente, assim como os riscos potenciais à saúde humana e integridade do meio ambiente.

Tabela 8.1.9-4 - Estrutura dos Índices de Qualidade do Ar

| Qualidade | Índice | MP ₁₀ (µg/m ³) 24 hrs | MP _{2,5} (µg/m ³) 24 hrs | O ₃ (µg/m ³) 8 hrs | CO (ppm) 8 hrs | NO ₂ (µg/m ³) 1 hr | SO ₂ (µg/m ³) 24 hrs |
|------------|---------|---|--|--|-------------------|--|--|
| Boa | 0-40 | 0-50 | 0-25 | 0-100 | 0-9 | 0-200 | 0-20 |
| Moderada | 41-80 | > 50-100 | > 25-50 | > 100-130 | > 9-11 | > 200-240 | > 20-40 |
| Ruim | 81-120 | > 100-150 | > 50-75 | > 130-160 | > 11-13 | > 240-320 | > 40-365 |
| Muito Ruim | 121-200 | > 150-250 | > 75-125 | > 160-200 | > 13-15 | > 320-1130 | > 365-800 |
| Péssima | >200 | > 250 | > 125 | > 200 | > 15 | > 1130 | > 800 |

Fonte: Cetesb, 2023.

Esta qualificação do ar está associada aos efeitos à saúde, portanto, independe do padrão de qualidade em vigor, e será sempre classificada conforme descrito a seguir:

- **Boa:** Praticamente não há riscos à saúde. Quando a qualidade do ar é classificada como BOA, estão sendo atendidos os valores-guia para exposição de curto prazo, estabelecidos pela OMS, correspondentes aos Padrões Finais (PF) do Decreto Estadual N° 59.113/2013;
- **Moderada:** Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada;
- **Ruim:** Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças cardíacas), podem apresentar efeitos mais sérios na saúde;
- **Muito Ruim:** Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como

tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas);

- **Péssima:** Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

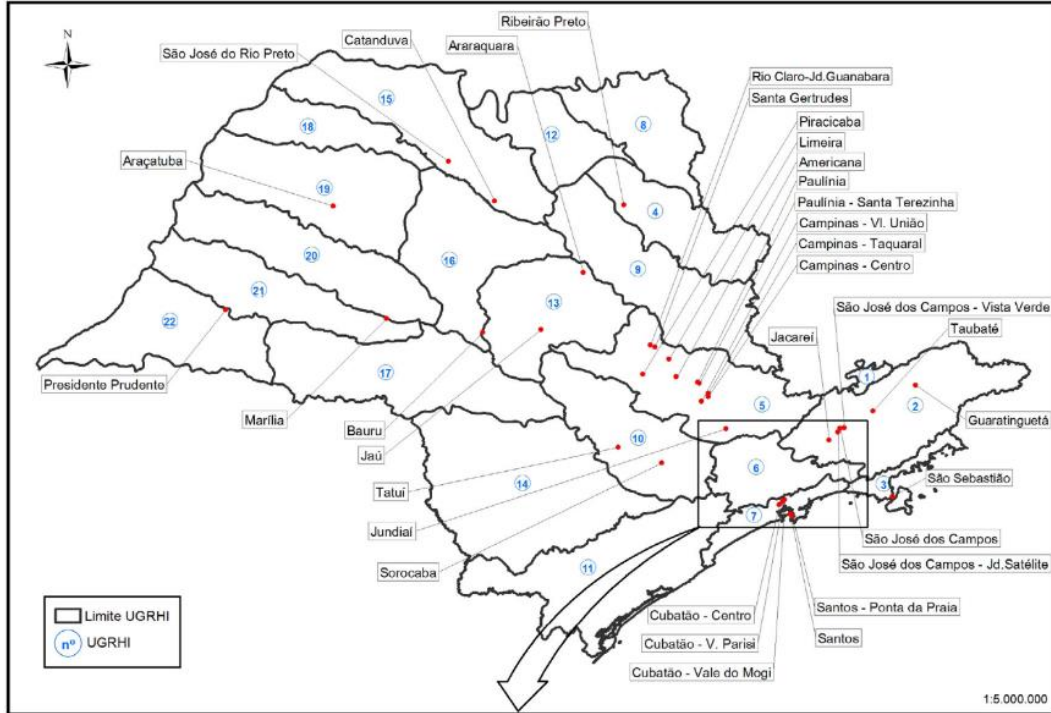
8.1.9.1 Qualidade do Ar na Área de Estudo

Desde 2008 a Cetesb ampliou sua rede de monitoramento com a inauguração de novas estações automáticas fixas no interior do estado, passando a contar, em 2022, com 86 estações, manuais e automáticas, distribuídas nas 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI (Cetesb, 2023).

A escolha dos municípios onde estão localizadas as estações de monitoramento depende de diversos aspectos, dentre os quais se destacam: número de habitantes, frota veicular, tipo de atividade agrícola (especialmente aquelas ligadas ao setor sucroalcooleiro), distribuição geográfica no estado, além da existência ou não de fontes industriais de poluição do ar consideradas significativas.

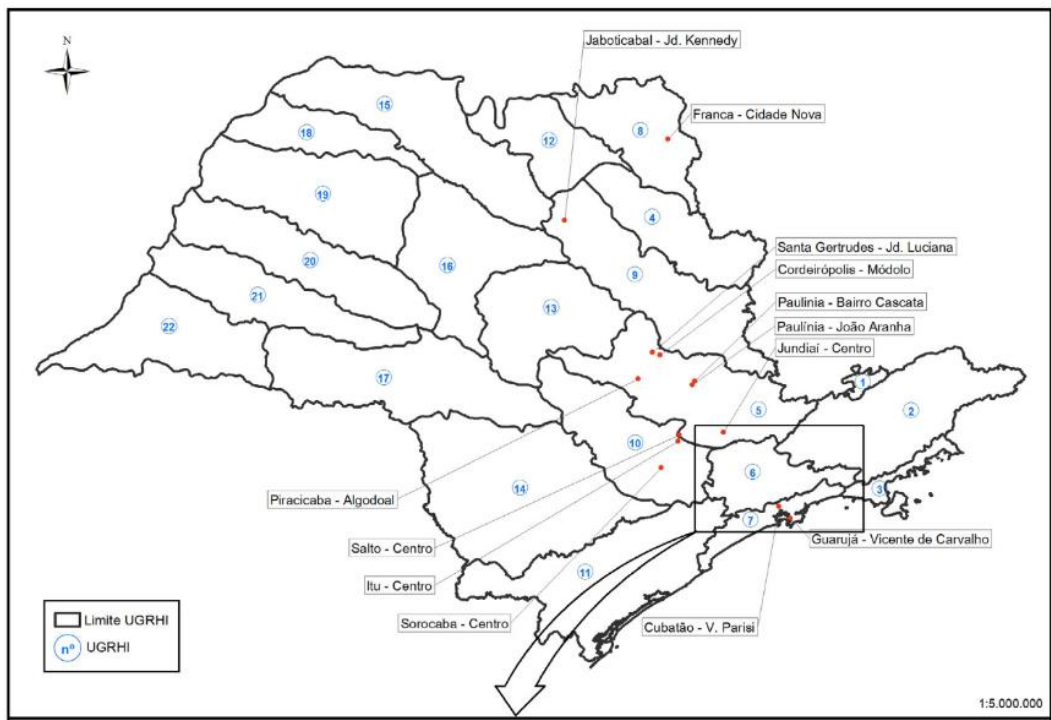
As **Figuras 8.1.9.1-1 e 8.1.9.1-2** apresentam a localização das estações de monitoramento da Rede Automática e Manual, respectivamente, no estado de São Paulo de acordo com as divisões das UGRHI.

Figura 8.1.9.1-1 - Localização das Estações de Monitoramento da Rede Automática nas UGRHI do Estado de São Paulo



Fonte: Adaptado de Cetesb, 2023

Figura 8.1.9.1 2 - Localização das Estações de Monitoramento da Rede Manual nas UGRHI do Estado de São Paulo



Fonte: Adaptado de Cetesb, 2023.

Nas imediações do empreendimento há três estações de monitoramento: duas situadas na AII, no município de Santos, e uma na AID, no Guarujá. As estações em Santos são automatizadas, enquanto a do Guarujá é operada manualmente. As estações de monitoramento de qualidade do ar mencionadas estão listadas na **Tabela 8.1.9.1-1**.

Tabela 8.1.9.1-1 - Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar próximas do empreendimento

| UGRHI | Estação | Endereço | Coordenadas UTM 23K | Tipo | Parâmetros Analisados | Distância Aprox. Empreendimento |
|-------|-------------------------------|---|---------------------|------------|---|---------------------------------|
| 7 | Santos | Rua Dr. Oswaldo Cruz, 197 Boqueirão - Santos Hospital Guilherme Álvaro | 365576 7349234 | Automática | MP ₁₀ , O ₃ | 700 m |
| 7 | Santos - Ponta Praia | Praça Eng. José Rebouças, s/nº Ponta da Praia - Santos | 367697 7347234 | Automática | MP ₁₀ , MP _{2,5} , NO ₂ , O ₃ , SO ₂ | 2.380 m |
| 7 | Guarujá - Vicente de Carvalho | Rua Capitão Alberto Mendes Júnior, 225 Jd. Boa Esperança - Vicente de Carvalho Guarujá | 369301 7349674 | Manual | MP ₁₀ | 240 m |

Fonte: Adaptado de Cetesb, 2023.

Na **Figura 8.1.9.1-3** é apresentado o mapa de localização das estações de monitoramento da qualidade do ar próximas ao empreendimento.

Figura 8.1.9.1-3 - Localização das Estações de Monitoramento de Ar Próximas ao Empreendimento



Legenda

- AID
- ADA

- Estação Manual
- Estações Automáticas



Fonte: Imagem Google Earth, 2024.

Elaboração: Fipe, 2024.

A qualidade do ar no estado de São Paulo é a que apresenta os maiores índices de poluição país, decorrente principalmente das emissões provenientes de fontes móveis (veículos) e de fontes fixas, como indústrias. A frota de veículos é responsável por aproximadamente 97% das emissões de CO, 97% de HC, 96% NO_x, 40% de MP e 35% de SO_x (Cetesb, 2006).

Os padrões de qualidade do ar são violados, principalmente, pelos gases provenientes dos veículos, motivo pelo qual tem se dado grande ênfase ao controle das emissões veiculares.

O Proconve - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, principal programa de controle das emissões veiculares e responsável por significativa redução do impacto ambiental, notadamente por monóxido de carbono, passa a ter, mesmo com os novos limites de emissão, resultados mais modestos. Espera-se ainda, ganhos ambientais com o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares - Promot. A tendência dos efeitos do programa é a redução dos padrões de emissões de fontes móveis em termos de emissões/km/veículo. O padrão total de emissões por fontes móveis dependerá da evolução da frota de veículos.

Na **Tabela 8.1.9.1-2**, são apresentadas as estimativas de população, frota e emissão de fontes de poluição no município de Santos (Cetesb, 2023).

Tabela 8.1.9.1-2 - Estimativa de população, frota e emissão das fontes de poluição do ar

| Município | População | Frota | Fontes | Emissão (1000 t/ano) | | | | |
|-----------|-----------|---------|----------------------|----------------------|------|-----------------|------|-----------------|
| | | | | CO | HC | NO _x | MP | SO _x |
| Santos | 414.029 | 154.484 | Fixa (n° indústrias) | - | - | - | - | - |
| | | | Móvel | 2,04 | 0,43 | 1,47 | 0,04 | 0,02 |

Fonte: Cetesb, 2023.

Nota 1: 1 - Prévia da população com base nos dados do censo demográfico de 2022 coletados até o dia 25/12/2022, adaptado de (IBGE, 2022).

2 - Estimativa de frota: 2021, adaptado de (Cetesb, 2022a).

3 - Ano de referência do levantamento: 2009. Os empreendimentos participantes deste levantamento foram selecionados utilizando a metodologia top-down, baseado nas informações da Agência Nacional do Petróleo (ANP) sobre entregas de combustíveis do ano de 2009.

4 - Ano de referência do inventário de fontes fixas: 2008.

5 - Ano de referência do inventário de fontes fixas: 2008. Estimativa de emissão baseada no PREFE 2014.

Nota 2: Ano de referência do inventário de fontes móveis: 2021 Cetesb (2022a).

Na **Tabela 8.1.9.1-3** são apresentadas as concentrações de poluentes nas estações de monitoramento da qualidade de ar próximas do empreendimento.

Tabela 8.1.9.1-3 - Concentração de Poluentes nas Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar Próximas do Empreendimento

| UGRHI | Estação | Parâmetros Analisados | Classificação Predominante | Concentrações Médias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|-------|-------------------------------|-----------------------|----------------------------|---|
| 7 | Santos | MP ₁₀ | Boa | 22 |
| | | O ₃ | Boa | 98 |
| 7 | Santos - Ponta Praia | MP ₁₀ | Boa | 24 |
| | | MP _{2,5} | Boa | 12 |
| | | NO ₂ | Boa | 32 |
| | | O ₃ | Moderada | 101 |
| | | SO ₂ | Boa | 2 |
| 7 | Guarujá - Vicente de Carvalho | MP ₁₀ | Boa | 31 |

Fonte: Cetesb (2023)

MP₁₀: Concentrações em 24 hrs
 MP_{2,5}: Concentrações em 24 hrs
 O₃: Concentrações em 8 hrs
 NO₂: Concentrações em 1 hr
 SO₂: Concentrações em 24 hrs

Com base nas informações apresentadas na **Tabela 8.1.9.1-3**, conclui-se que a qualidade do ar nas três estações é classificada de Moderada a Boa para os parâmetros monitorados. A qualidade pode ser considerada predominantemente Boa, sendo Moderada apenas para o quesito de O₃ na estação de Santos - Ponta Praia.

Nos municípios interceptados pelo empreendimento, com destaque para Santos, observa-se uma dualidade como destino turístico e centro comercial. Durante os fins de semana, especialmente nos meses mais quentes, atraindo-se uma quantidade significativa de visitantes, em busca da beleza dos seus recursos naturais e pelas diversas opções de lazer disponíveis na região. Além disso, é reconhecida por abrigar o maior porto do país, que desempenha um papel crucial na movimentação diária de mercadorias tanto para exportação quanto importação.

A qualidade do ar nos municípios de Santos e Guarujá é severamente afetada por atividades humanas, como a emissão de gases tóxicos industriais, a fumaça de veículos automotores e as operações portuárias.

Segundo dados obtidos no site oficial do Ministério dos Transportes, a frota de veículos nessas cidades ultrapassava 445 mil unidades em dezembro de 2023, incluindo 207 mil automóveis e mais de 14 mil caminhões. Esses números refletem uma densidade veicular considerável, que contribui de forma significativa para a emissão de poluentes atmosféricos na região.

Além disso, o intenso tráfego de embarcações nos portos de Santos e Guarujá desempenha um papel crucial na degradação da qualidade do ar, liberando óxidos de enxofre e outros poluentes na atmosfera. Esses fatores, aliados às emissões industriais locais, tornam a qualidade do ar uma preocupação ambiental de extrema importância para a saúde e o bem-estar da população local, bem como para a sustentabilidade desses municípios costeiros.

Na AID e na ADA do empreendimento, já se observa um tráfego intenso de veículos nas principais avenidas, sendo esta a principal fonte de emissões. Portanto, trata-se de uma região capaz de absorver novas fontes de emissão atmosférica, como os veículos automotores, sem grande potencial de causar episódios críticos.

8.1.10 Ruído e Vibrações

Conforme descrito nos **Capítulos 2 e 6** do presente EIA, o Túnel Imerso Santos - Guarujá será executado através de uma Parceria Público-Privada (PPP) e a futura Concessionária poderá promover ajustes no projeto, sem, entretanto, alterar sua concepção geral.

Nesse sentido, as medições dos níveis de ruído no entorno do empreendimento serão realizadas após o detalhamento do projeto de engenharia pela Concessionária, quando será possível a definição dos receptores potencialmente críticos. As medições deverão ser realizadas previamente à implantação do empreendimento, para estabelecimento da Linha Base de ruído.

Com relação às vibrações, serão considerados como receptores críticos os bens tombados e os edifícios lindeiros ao empreendimento.

A seguir é apresentada a caracterização das áreas, de acordo com os resultados e análises das campanhas de medição realizadas em 2013 para o EIA elaborado pelo CONSÓRCIO PRIME-ETEL.

Para elaboração do diagnóstico de ruído do EIA foram realizadas medições em 10 pontos (28/06/2013). Em razão de alguns ajustes no projeto de engenharia após o protocolo do EIA, foi realizada uma campanha complementar em outros 5 pontos (17/12/2013).

Os pontos de medição de ruído são apresentados na **Tabela 8.1.10-1** e na **Figura 8.1.10-1**.

Tabela 8.1.10-1 - Pontos de medição de ruído

| Ponto | Coordenadas UTM fuso 23k | | Endereço | Tipo de Ocupação segundo a NBR 10.151 | Tipo de Ocupação segundo a Decisão de Diretoria Cetesb Nº 389/2010/P | Padrão para período diurno, de acordo com a NBR 10.151 | Fonte sonora predominante | Nível de ruído equivalente (LAeq) (Campanha realizada em 2013) |
|-------|--------------------------|---------------|--|---|--|--|---|--|
| | Latitude (S) | Longitude (E) | | | | | | |
| 1 | 7349503 | 366570 | Av. Siqueira Campos x R. Santos Dumont - Santos | Área mista predominantemente residencial | II - Residências, Comércio e serviços Locais | 55 dB | Tráfego de veículos | 67,4 dB |
| 2 | 7349543 | 366075 | R. Dr. Nilo Costa x R. Vinte Oito de Setembro - Santos | | | | Tráfego de veículos | 62,5 dB |
| 3 | 7349154 | 367122 | R. José André do Sacramento, 30 - Santos | | | | Tráfego de veículos e ruído de fábrica | 66,8 dB |
| 4 | 7348748 | 367290 | R. Marambaia, 23 - Santos | | | | Tráfego de veículos | 65,8 dB |
| 5 | 7348824 | 366868 | Av. Afonso Pena, 380 - Santos | Área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativa | | 60 dB | Tráfego de veículos | 70,7 dB |
| 6 | 7350216 | 368358 | R. Independência x R. Dona Joana de Menezes Faro - Guarujá | Área mista predominantemente residencial | | 55 dB | Tráfego de veículos e pessoas conversando | 51,9 dB |
| 7 | 7350349 | 367936 | R. Santo Amaro, 556 - Guarujá | Área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativa | | 60 dB | Tráfego de veículos e pessoas conversando | 62,5 dB |
| 8 | 7350806 | 367544 | R. Dr. Guilherme Guinle, 1251 - Guarujá | Área mista predominantemente residencial | | 55 dB | Tráfego de veículos | 58,5 dB |
| 9 | 7351275 | 367691 | R. Mato Grosso, 734 - Guarujá | Área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativa | | 60 dB | Tráfego de veículos e música nos comércios próximos | 62,1 dB |
| 10 | 7351729 | 367977 | Av. Dr. Guilherme Guinle, 46 - Guarujá | Área mista predominantemente residencial | | 55 dB | Tráfego de veículos local e na rua São Paulo | 57,9 dB |
| 11 | 7349807 | 366080 | Av. 28 de Setembro, 230 - Centro universitário Lusíada - Santos | Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas | III - Instituições de Ensino; Escolas; Faculdades; Centros Universitários; Universidades; Atividades Equivalentes; e Cultos Religiosos | 50 dB | Tráfego de veículos | 62,4 dB |
| 12 | 7349887 | 366121 | R. Dr. Gervásio Bonavires, s/n - E. M. Padre Waldemar Valle Martins - Santos | | | | Tráfego de veículos | 61,1 dB |
| 13 | 7349969 | 366426 | Av. Conselheiro Rodrigues Alves, 120 - Casa da Criança - Santos | | | | Tráfego de veículos | 70,9 dB |
| 14 | 7349836 | 366545 | R. José do Patrocínio, 112 - ONG Desafio Jovem - Santos | | | | Tráfego de veículos | 64,1 dB |
| 15 | 7349782 | 366594 | R. Santos Dumont, 48 - Santos | Área mista predominantemente residencial | II - Residências, Comércio e serviços Locais | 55 dB | Tráfego de veículos | 62,2 dB |

Figura 8.1.10-1 - Pontos de medição de ruído



Elaboração: Fipe, 2024.

LEGENDA:

- Implantação / Melhorias das Vias
- Interligação com a SPA-248/055
- Limite da AID
- Faixa de 150 metros ao redor da ADA
- Pontos de ruído



É possível verificar na **Tabela 8.1.10-1** que todos os pontos medidos apresentaram nível de ruído acima do padrão recomendado pela NBR 10.151, exceto o ponto P6, onde o resultado da medição foi de 51,9 dB, sendo que o valor recomendado para o respectivo tipo de área é de 55 dB.

De acordo com o diagnóstico do EIA (CONSÓRCIO PRIME-ETEL, 2013), *a principal fonte sonora em todos os pontos foi o tráfego de veículos local e/ou em ruas vizinhas, portanto, trata-se de região já degradada acusticamente, o que significa que eventuais novas fontes sonoras podem representar limitado potencial de incômodo, pois este só se caracteriza em caso de novas fontes acima do ruído ambiente atual.*