

## **4. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO**

### **4.1. GEOLOGIA: Aspectos Geológicos, Geotécnicos e Geomorfológicos**

#### **4.1.1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS**

O conhecimento do substrato de áreas que serão objeto de intervenções é essencial para se garantir o sucesso do empreendimento e minimizar custos futuros com a correção de problemas geológico-geotécnicos. Dessa maneira, pretende-se aqui diagnosticar os terrenos suscetíveis a processos do meio físico através da caracterização dos aspectos geológico-geotécnicos e geomorfológicos no âmbito da Operação Urbana Consorciada Porto Maravilha, para depois serem avaliados os impactos positivos e negativos e propostas algumas medidas preventivas e mitigadoras.

#### **4.1.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Para a determinação dos terrenos suscetíveis aos processos do meio físico (erosão, assoreamento, inundação, escorregamentos, etc.) foram realizadas as seguintes etapas:

- Levantamento bibliográfico e cartográfico acerca dos aspectos geológico-geotécnicos, geomorfológicos e histórico de uso e ocupação do solo do Município do Rio de Janeiro e da área da Operação Urbana Consorciada.
- Identificação de unidades geoambientais ou terrenos, suas características e fragilidades, a partir de uma análise integrada das informações levantadas anteriormente, e elaboração de diagnóstico sintético da área do empreendimento;
- Identificação das principais ações passíveis de causar impactos potenciais no ambiente geológico-geotécnico ou componente geoambiental da área de estudo e proposição de medidas preventivas e mitigadoras.

#### **4.1.3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA DA REGIÃO**

##### **4.1.3.1 Aspectos Geológicos**

Para a caracterização do substrato rochoso do município do Rio de Janeiro foram consultados o Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro, na escala 1:500.000 (CPRM, 2000a) e seu correspondente texto explicativo (SILVA; CUNHA, 2001).

O município do Rio de Janeiro é constituído de forma geral por rochas pré-Cambrianas pertencentes ao Domínio Tectono-magmático da Serra do Mar, bem como por coberturas sedimentares fanerozóicas e cenozóicas (CPRM, 2000a; SILVA; CUNHA, 2001).

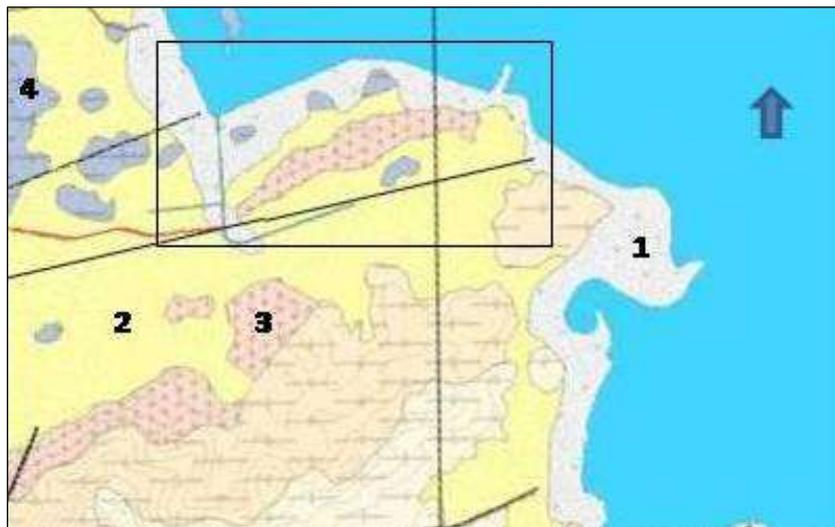
Mais especificamente na área do empreendimento, as rochas pré-Cambrianas são representadas pela Suíte Rio de Janeiro de idade neoproterozóica e Complexo Rio Negro. As unidades litoestratigráficas sedimentares correspondem principalmente a Depósitos Alúvio-coluvionares, além de aterros compostos por materiais diversos lançados sobre mangues, praias e solos residuais.

Na **Tabela 1**, a seguir, são apresentadas as características principais destas unidades geológicas com relação às litologias predominantes e seu comportamento geotécnico, e na **Figura 1** são ilustradas suas distribuições na área do empreendimento.

**Tabela 1.** Unidades litoestratigráficas de ocorrência na área de estudo

<b>Unidades Litoestratigráficas</b>	<b>Litologias</b>	<b>Unidades Geotécnicas</b>
Aterros (1)	Materiais diversos lançados sobre mangues, praias e solos residuais	Terrenos altamente heterogêneos constituídos por entulhos e materiais naturais lançados sobre corpos d'água, lagunas, mangues, alagadiços, restingas e solos residuais. Escavabilidade, espessuras e capacidade de suporte variáveis, dependendo do tipo de material e técnicas de aterro empregadas.
Depósitos Alúvio-Coluvionar (2)	Areias, argilas, cascalhos, restos de matéria orgânica e blocos de rochas.	Sedimentos arenosos e/ou argilosos com cascalheiras e solos orgânicos/turfeiras localizados. Inclui colúvios e depósitos de tálus interdigitados a sedimentos aluviais. Capacidade de suporte variável – muito baixa em camadas argilosas e orgânicas e média a alta nas demais. Escavabilidade é variável de fácil a moderada, com possibilidade de dificuldades devido à baixa coesão e nível d'água raso, além de possibilidade de recalques diferenciais.
Suíte Rio de Janeiro (3)	Biotita granito megaporfírico folheado a milonítico, predominantemente peraluminoso caracterizados como de derivação crustal	Possuem horizontes de solo residual de espessura variável com predomínio de solo saprolítico e de rocha alterada (< 3m). Escavabilidade no horizonte de solo é fácil a moderada e nas rochas muito difícil, detonável, determinando alta capacidade de suporte. Comum a presença de blocos e matacões.
Complexo Rio Negro (4)	Anfibolito, ortognaisse, metadiorito, metagabro, gnaisse granulítico	Possuem horizontes de solo residual de espessura variável com predomínio de solo saprolítico e de rocha alterada, recobertos por colúvios com espessura variável. Escavabilidade no horizonte de solo é fácil a moderada e na rocha é difícil, escarificável e/ou detonável. Capacidade de suporte alta a média em função do elevado grau de fraturamento e foliação.

Fonte: Adaptado de CPRM (2000), SILVA; CUNHA (2001), CPRM (2010a).



**Figura 1.** Geologia da área da Operação Urbana Consorciada Porto Maravilha, destacada no Mapa  
(Adaptado de CPRM, 2010a, apresentação sem escala).

As rochas da Suíte Rio de Janeiro constituem granitóides com texturas e estruturas magmáticas bem preservadas, porém mostram evidências de superposição de deformação que imprimiram estruturas microbandadas e gnáissicas (SILVA; CUNHA, 2001). Na área do empreendimento estas rochas distribuem-se principalmente ao longo dos Morros do Pinto, Providência e da Conceição, alongados na direção NE-SW.

As litologias do Complexo Rio Negro, por sua vez, distribuem-se em áreas dos Morros da Gamboa e da Saúde, em altitudes inferiores àqueles com exposição de rochas granitóides da Suíte Rio de Janeiro, entremeadas em área de planície.

Os Depósitos Alúvio-coluvionares constituem depósitos que apresentam fácies proximais com cascalhos, areias e lamias; constituindo rampas de colúvio e depósitos de tálus, localizados junto à base e à meia-encosta dos morros. Resultam da ação de fluxos aluviais e gravitacionais de transporte de materiais de alteração das vertentes e são constituídos por material de espessura, extensão e granulometria variada, que envolve desde argila até blocos de rocha e matações provenientes do embasamento. Já as fases mais distais ocorrem como sedimentos arenosos e lamosos, eventualmente com cascalheiras, distribuídos em regiões de baixa declividade e ao longo das drenagens (SILVA; CUNHA, 2001).

Destaca-se que parte destes depósitos, notadamente os terrenos localizados na Região do Porto, mais especificamente na Avenida Rodrigues Alves, sofreram aterramento em direção as águas da Baía de Guanabara, conforme o histórico apresentado na Seção 4.1.4. A

descrição da origem dos materiais constituintes destes aterros aponta que em parte são constituídos por material de alteração de rochas granitóides-gnáissicas de morros desmontados e, em parte referem-se a sedimentos arenosos provenientes da Baía da Guanabara.

De fato, dados de poços de monitoramento, implantados ao longo da orla, indicam a existência de material de aterro com pedregulhos de até 1,8 m de diâmetro, situados a cerca de 2 metros de profundidade. Estes são recobertos por camadas de areia de granulação variada com presença de pedregulhos na base e de predominância de textura fina, micácea a pouco micácea sobreposta.

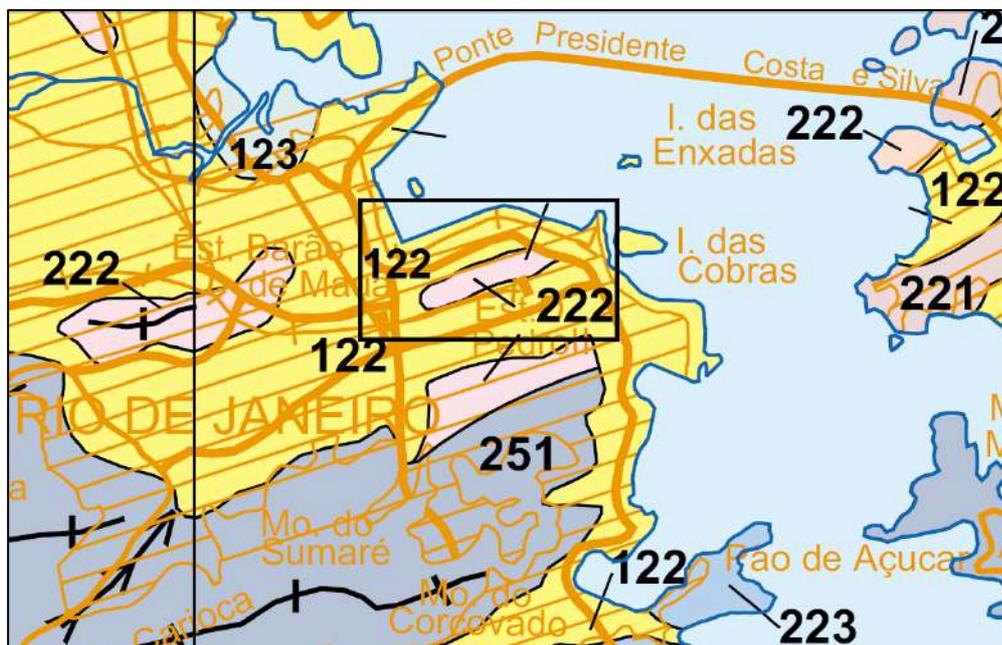
#### **4.1.3.2 Geomorfologia**

Os estudos geomorfológicos foram realizados com base na compilação e análise de dados bibliográficos e cartográficos, interpretação de material cartográfico e análise de registro fotográfico realizado durante visitas à área de estudo. Para a caracterização geomorfológica da área de estudo foram consultadas a Carta Geomorfológica da Folha Rio de Janeiro (SF. 23-Z-B), na escala 1:250.000 (CPRM, 2000b) e bibliografias complementares.

O Município do Rio de Janeiro apresenta três importantes grupos montanhosos e alguns conjuntos de serras menores e morros isolados em meio a planícies circundadas por esses maciços principais (STORINO, 2002).

Os maciços montanhosos são representados pelos maciços costeiros da Pedra Branca e da Tijuca, situados em sua porção central e em seu extremo sudeste, respectivamente, além do maciço alcalino intrusivo do Mendanha, localizado a norte do município. As áreas de planície, localizadas no município do Rio de Janeiro, correspondem à Baixada da Baía de Guanabara, a norte-nordeste e Baixada de Jacarepaguá, a sul-sudoeste (CPRM, 2000b).

A área abrangida pela região da Operação Urbana Consorciada está inserida na unidade de relevo Baixada de Guanabara e, conforme destacado, em meio às áreas planas desta unidade de relevo, destacam-se conjuntos de serras menores e morros isolados. Dessa forma, na área do empreendimento foram descritas as formas de relevo do tipo Planície Colúvio-alúvio-marinha (122), constituída por agradação litorânea, e do tipo Morrotes e Morros Baixos Isolados (222), formados por processos de degradação, conforme CPRM (2000b) e apresentação da **Figura 2**. Na **Tabela 2** são apresentadas as características principais das formas de relevo que constituem a Unidade de Relevo Baixada da Baía da Guanabara, na área do empreendimento em estudo.



**Figura 2.** Geomorfologia da área da Operação Urbana Consorciada Porto Maravilha, destacada no Mapa (Adaptação: CPRM, 2000b.)

**Tabela 2.** Características das formas de relevo que compõem a Unidade de Relevo Baixada da Baía da Guanabara na área do empreendimento

Região Geomorfológica/ Unidade de Relevo	Formas de Relevo	Características
Planície Flúvio-marinha/ Baixada da Baía de Guanabara	Planícies-Colúvio-Alúvio-Marinhas	Constituem terrenos Argilo-Arenosos das Baixadas. Superfícies subhorizontais, com gradientes extremamente suaves e convergentes à linha de costa, de interface com os Sistemas Depositionais Continentais (processos fluviais e de encosta) e Marinhas. Terrenos mal drenados com padrão de canais meandrante e divagante. Presença de superfícies de aplainamento e pequenas colinas ajustadas ao nível de base das Baixadas.
	Morrotes e Morros Baixos Isolados	Formas de relevo residuais, com vertentes convexas a retilíneas e topos aguçados ou arredondados, com sedimentação de colúvios, remanescentes do afogamento generalizado do relevo produzido pela sedimentação flúvio-marinha, que caracteriza as baixadas litorâneas. Drenagem imperfeita dos fundos de vales afogados. Predomínio de amplitudes topográficas entre 100 e 200m e gradientes suaves a médios.

Fonte: Adaptado de CPRM (2000b)

Na área do empreendimento o tipo de relevo Morrotes e Morros Baixos Isolados é representado notadamente pelos Morros do Pinto, da Providência e da Conceição, os quais são constituídos por rochas granitóides e seus materiais de alteração, bem como por depósitos e rampas coluviais. Os relevos colinosos, entremeados na planície, representados

por porções dos Morros da Gamboa e da Saúde, são constituídos por rochas metabásicas gnáissico-granulíticas. No restante da área distingue-se o tipo de relevo Planície-colúvio-alúvio-marinha desenvolvido sobre sedimentos de transição entre o ambiente marinho e continental de origem fluvial e/ou lagunar.

#### 4.1.4 HISTÓRICO GEOLÓGICO DA ÁREA DA OPERAÇÃO URBANA

Segundo Bento (2006), as áreas costeiras sofrem intensa ocupação humana mesmo apresentando ambientes deposicionais dinamicamente instáveis e ecossistemas frágeis. Desta forma, essas áreas costumam receber todo o tipo de obras e intervenções de engenharia com potencial para alterar ou mesmo extinguir o equilíbrio natural destas regiões. Na região portuária abrangida pela Operação Urbana, o histórico do processo de ocupação e de intervenções não foi diferente – mesmo tratando-se de um ambiente geologicamente instável (não só região costeira, mas também tratando-se das regiões montanhosas), a área sofreu profundos impactos resultantes do processo de ocupação urbana.

Do ponto de vista histórico, pode-se afirmar que os terrenos localizados na Região do Porto, mais especificamente na Avenida Rodrigues Alves, foram constituídos por aterro sobre as águas da Baía de Guanabara. Este aterro estende-se a partir do Mangal de São Diogo, Praia Formosa (ambos nos atuais Bairros de Santo Cristo e São Cristóvão), até a então denominada “Prainha” (atual Praça Mauá), junto ao Morro de São Bento. No sentido oposto, o aterro estendeu-se das diversas praias e pequenos “piers” com trapiches, juntos aos morros que circundam os atuais Bairros do Santo Cristo, Gamboa e Saúde, até a muralha estabelecida como Cais de acostamento do novo Porto do Rio de Janeiro (1903-1910) (C/SUBPC/CCPE, 2009).



**Figura 3.** São Cristóvão visto da Praia Formosa. As águas da Baía mostram uma mistura de lodo com material de aterro (1905) (IN: C/SUBPC/CCPE, 2009).



**Figura 4.** O Morro do Pinto e a Igreja de Santo Cristo dos Milagres, à esquerda, antes do aterro para construção do Cais do Porto. A foto, datada de 1905, mostra a cercania da atual Av. Prof. Pereira Reis (IN: C/SUBPC/CCPE, 2009).

O material que compõe o aterro é proveniente, principalmente, do Morro do Senado (C/SUBPC/CCPE, 2009). Segundo Pinheiro e Rabha (2004), com o aterro, surgiu uma ampla área entre o novo alinhamento do Cais e o antigo litoral. Sua realização estava garantida pelo aproveitamento das terras provenientes do arrasamento do Morro do Senado e do depósito das areias recolhidas da Baía de Guanabara, oriundas da dragagem de bancos de areia de até 10m de profundidade em marés médias. Os desmontes do Morro do Senado (total) e do Castelo (parcial) forneceriam material necessário para o aterro, além do arrasamento das Ilhas dos Melões e das Moças. Também foi utilizado material de pequenas elevações situadas nas proximidades da área central da cidade. De acordo com Braga e Marques, os morros da área central, como os do Senado, Castelo e Santo Antônio, hoje arrasados, eram constituídos de biotita-gnaise, facilmente erodíveis e apresentavam-se já decompostos, fato este que contribuiu para facilitar seu desmonte (C/SUBPC/CCPE, 2009).



**Figura 5.** Uma das ilhas desaparecidas no Saco de Alferes, já em processo de desmonte e início do aterro do cais (1905) (IN: C/SUBPC/CCPE, 2009).



**Figura 6.** A delimitação da área aterrada, com parte da linha inicial do cais. Ao fundo, o maquinário empregado nas fundações da muralha do cais (1910) (IN: C/SUBPC/CCPE, 2009).



**Figura 7.** Desmonte do Morro do Castelo em 1922 (A. MALTA IN: DIDONET, 2001).

#### 4.1.5 DIAGNÓSTICO ATUAL

A caracterização dos materiais geológicos, aliado ao levantamento dos aspectos geomorfológicos da área de estudo, permitem estabelecer, de forma geral, a existência de dois tipos principais de unidades geoambientais, as quais possuem diferentes características e fragilidades do ponto de vista da suscetibilidade geoambiental a diferentes interferências.

A composição dos materiais geológicos, suas estruturas e coberturas detríticas, aliado à identificação dos atributos dos terrenos, notadamente forma e inclinação das vertentes, permitem inferir vários problemas de comportamento e de estabilidade de acordo com os usos atuais e futuros. Na **Tabela 3** é apresentada uma síntese dos dois tipos de unidades geoambientais identificadas na área de estudo, a partir das características geológicas, geotécnicas e geomorfológicas levantadas, e apresentadas as principais características da dinâmica superficial e fragilidades.

**Tabela 3.** Características das unidades geoambientais identificadas na área do empreendimento

<b>Unidade Geoambiental</b>	<b>Dinâmica Superficial e Fragilidades</b>
<b>Morros e Morrotes Graníticos-gnáissicos</b>	Erosão em sulcos nos cortes e aterros, sendo mais intensa nos cortes devido à constituição do solo de alteração, Queda de blocos, rastejos e escorregamentos nas vertentes de maior inclinação ou com encostas rochosas Escorregamento em taludes de corte na transição solo/rocha, comumente associado a surgências de água; Instabilidade e queda de blocos por descalçamento em taludes de corte e em superfícies de encosta; Dificuldade de escavação, cravação de estacas e de terraplanagem devido à presença de matacões; Possibilidade de recalques diferenciais de fundações de estruturas devido à implantação sobre matacões.
<b>Planícies colúvio-aluvionares e aterros</b>	Inundações localizadas devido à baixa inclinação desses terrenos e dificuldade de escoamento superficial; Potencial de desenvolvimento de processos erosivos devido à erodibilidade dos solos arenosos com baixa coesão e friabilidade dos materiais de aterro; Risco de desestabilização de paredes de escavação, recalque de fundações e de redes subterrâneas em locais de sedimentos moles com baixa capacidade de suporte; Possibilidade de contaminação devido à elevada permeabilidade em sedimentos arenosos e lençol freático raso. Risco de assoreamento das áreas próximas às interferências; Dificuldades de escavação devido à abrasão e alta resistência em locais com pedregosidade, notadamente em áreas de aterros

Os terrenos Morros e Morrotes Granito-Gnáissicos são constituídos por rochas graníticas e gnáissico-granulíticas e seus materiais de alteração, bem como depósitos coluvionares. Estão representados na área principalmente pelos Morros do Pinto, Providência (Figuras 8 e 9) e Conceição, constituídos por rochas granitóides, além dos Morros da Gamboa e da Saúde, formados por rochas metabásicas gnáissico-granulíticas.

Moldados sobre rochas graníticas suas encostas apresentam maiores declividades que as observadas em áreas compostas por metabásicas, o que aliado a solos rasos, estruturações das rochas e presença de matacões no solo, propiciam a ocorrência de processos de movimentos de massa do tipo rastejos, escorregamentos e queda de blocos, além de processos erosivos. A ocupação desordenada e a implantação de cortes e aterros de forma improvisada potencializam a ocorrência desses processos do meio físico. Por outro lado, estes terrenos quando moldados sobre as rochas metabásicas gnáissico-granulíticas apresentam maiores espessuras de solos coluvionares e maior fraturamento da rocha, o que conferem menor estabilidade a processos erosivos e relativa menor capacidade de suporte.

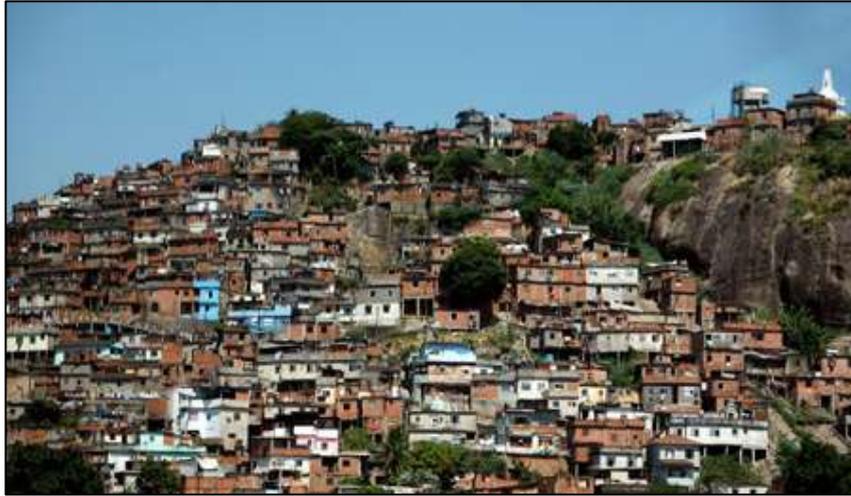
Nesses terrenos devem ser avaliadas a possibilidade de ocorrências de matacões e a irregularidade do topo rochoso para a implantação de obras civis. Além disso, os taludes de corte e as áreas de solos expostos devem ser protegidos e implementados sistemas de drenagem e cobertura vegetal logo após a sua exposição.

Nas áreas de planícies colúvio-aluvionares as características variadas dos materiais constituintes dificultam o estabelecimento de modelo único de comportamento. No entanto, é possível fazer uma previsão dos problemas esperados em execução de obras, conforme suas variações gerais. Da mesma forma, os materiais constituintes dos aterros são variados e apresentam heterogeneidades, neste caso devido tanto à variedade de fontes de seus materiais, bem como em função dos procedimentos técnicos de implantação destes aterros.

Em porções dos terrenos de Planícies Colúvio-aluvionares, devido à baixa inclinação e dificuldades de escoamento superficial, podem ocorrer inundações localizadas. Já a presença eventual de lençol d'água raso possibilita a contaminação devido à permeabilidade dos materiais arenosos sedimentares e de aterro. A baixa coesão dos materiais arenosos e baixa capacidade de suporte também condicionam a desestabilização de paredes de escavação e o desenvolvimento de processos erosivos, notadamente em locais de confluência de fluxos d'água pluviais, os quais, por sua vez, podem conduzir ao assoreamento de áreas próximas às interferências.

Ainda em locais de ocorrência de solos moles podem ocorrer recalques de fundações e de redes subterrâneas. Assim, devem ser adotadas medidas que propiciem a estabilização dos recalques e melhorem as condições de suporte e resistência dos substratos no caso de aterros e evitem danificações em tubulações e outras obras subterrâneas. A implantação de

sistemas de drenagem superficial e subterrânea também são indicadas a fim de se evitar a saturação do subleito viário e contaminação do lençol d'água superficial.



**Figura 8.** Morro da Providência, onde o risco de escorregamentos é maior devido à declividade do local.  
(Fonte: [http://www.chicobruno.com.br/newsimage/antes\\_2.jpg](http://www.chicobruno.com.br/newsimage/antes_2.jpg)).



**Figura 9.** Processos de movimento de massa no Morro da Providência, onde há exposição do solo (Fonte: [noticias.cancaonova.com/noticia.php?id=247832](http://noticias.cancaonova.com/noticia.php?id=247832)).

Destaca-se que o presente diagnóstico traça um modelo geológico-geomecânico conceitual dos terrenos da área do empreendimento. Este foi elaborado com o intuito de facilitar a análise seguinte, visto que a delimitação destes modelos do terreno, quando associadas aos tipos de obras previstas para o empreendimento, permitem identificar cenários de impactos potenciais e possíveis medidas mitigadoras.

No entanto, considera-se imprescindível a realização de investigações geológico-geotécnicas mais detalhadas, a serem realizadas nas etapas seguintes ao desenvolvimento do empreendimento, a fim de alcançar a elaboração de modelos geológicos-geomecânicos mais evoluídos, bem como reduzir as incertezas e, conseqüentemente os riscos de natureza geológica durante a implantação das obras.

#### **4.1.6 INTERVENÇÕES PROPOSTAS PELA OUC DO PORTO DO RIO ASSOCIADAS À GEOLOGIA**

Diversas intervenções propostas pela OUC do Porto do Rio de Janeiro poderão afetar os terrenos da região, em especial no que diz respeito às obras civis. Destacam-se as investigações preliminares para planejamento das obras como realização de tradagens e sondagens; a utilização de explosivos para abertura de túneis, realização de fundações para implantação de ensacadeiras e outras obras de arte, bem como todas as operações de movimentações de terras para a implantação de sistemas de infraestrutura subterrâneos (esgotamento sanitário, distribuição de água, alimentação elétrica, de telecomunicações e distribuição de gás), superficiais (drenagem urbana) e implantação de vias e túneis. Estas movimentações de terras incluem as escavações, dragagens, terraplenagens (cortes e aterros), disposição de depósitos de excedentes e retiradas de material de empréstimo.

Além disso, a construção, alteração e demolição de imóveis e implantação de áreas verdes constituem ações que podem impactar de maneira positiva ou negativa a estabilidade dos terrenos e a hidrodinâmica local. O plantio de árvores, por exemplo, previsto na região poderá atenuar os processos erosivos e de assoreamento do local, bem como aumentar as áreas permeáveis.

Cabe lembrar que, apesar de haver o aumento de áreas verdes, também haverá um aumento nas construções em algumas áreas que hoje são ocupadas por terrenos baldios e, portanto, são permeáveis. Desta forma, em algumas áreas, poderá ocorrer a diminuição da permeabilidade do solo.

Os serviços preliminares em áreas de implantação de corpo estradal, tais como retirada da vegetação, destocamento e limpeza também tem potencial de causar impactos nos terrenos devido às movimentações de terras, exposição de solos e indução a processos erosivos e assoreamento. Além disso, incluem-se também a implantação de caminhos de serviços e áreas de apoio.

Além dos impactos ambientais, sobretudo relacionados às movimentações de terras associadas à implantação das áreas de apoio, existe também o risco de contaminação do solo e águas superficiais e subterrâneas no caso de lançamentos inadequados e vazamentos de efluentes provenientes destas áreas.

O impacto de alteração no risco de contaminação de solo e águas subterrâneas também tem o potencial de ocorrência durante a movimentação das máquinas durante toda a fase de implantação dos empreendimentos, notadamente por óleos e graxas. Além disso, este impacto potencial também pode ocorrer durante a escavação de eventuais áreas contaminadas e disposição em condições distintas da situação pretérita. Alguns compostos, como por exemplo metálicos, em contato com ar, oxidam e liberam seus contaminantes em formas mais biodisponíveis. A disposição inadequada destes materiais escavados e contaminados também podem resultar em contaminação de novas áreas, tanto do solo superficial, como, eventualmente das águas subsuperficiais e mesmo superficiais.

Ressalta-se que a severidade dos impactos provocados está relacionada às medidas de planejamento e cuidados previstos e a serem adotados nos projetos de intervenções da Operação, notadamente durante as obras quando se concentram a maioria dos impactos nos terrenos da área.

#### **4.1.7 IMPACTOS PREVISTOS – SITUAÇÃO FUTURA**

Abaixo, estão listados os possíveis impactos relacionados aos terrenos ou unidades geoambientais encontradas na área da Operação Urbana:

##### **4.1.7.1 Indução de Processos Erosivos, Movimentos de Massa e de Assoreamento – Fase de Instalação**

Entre os possíveis impactos ocasionados durante a fase de instalação e de operação do empreendimento estão a indução a processos erosivos e de assoreamento resultantes principalmente das movimentações de terras e exposição dos solos durante as ações de limpeza dos terrenos, terraplenagem, abertura de túneis, implantação de fundações para colocação de ensacadeiras e obras de arte, abertura de trincheiras para colocação dos sistemas de infraestrutura subterrâneos e superficiais e preparação do terreno para implantação de áreas de apoio às obras e novas construções.

Dessa forma, a movimentação e exposição dos solos durante as obras aumentarão a suscetibilidade aos processos de erosão linear e a movimentos de massa na Área

Diretamente Afetada pela OUC. As áreas a serem aterradas ficarão expostas a ação das águas pluviais. Além disso, o impacto das chuvas no solo desprotegido e o estabelecimento de escoamentos superficiais intermitentes mobilizarão as partículas arenosas e siltosas inconsolidadas, podendo provocar o aparecimento de formas erosivas lineares, do tipo sulcos e ravinas.

Estes processos poderão levar ao transporte em suspensão de solos e sedimentos e a sua deposição em ambiente marinho, podendo contribuir para o aumento da turbidez e para o assoreamento das águas.

Ressalta-se que o risco de ocorrência de processos erosivos laminares e lineares é maior nas áreas de terreno do tipo Morros e Morrotes granítico-gnáissicos, notadamente nas encostas de maior declividade e ocupação desordenada. Da mesma forma, possíveis movimentações de terras nestes terrenos podem desencadear a ocorrência de movimentos de massa, além de queda de blocos, principalmente em períodos de ocorrência de maiores índices pluviométricos. No caso de implantação de túneis em áreas destes terrenos, ou em suas proximidades, como na travessia em túnel no Morro da Saúde e no realce do túnel da RFFSA no Morro da Previdência, a utilização de explosivos ou outras formas de desmonte podem desencadear movimento de massa e queda de blocos, principalmente nos locais de corpos de tálus presentes nos emboques ou próximos a estes.

Nas áreas de distribuição dos terrenos do tipo Planícies colúvio-aluvionares e Aterros a indução a processos erosivos é relativamente menor em função dos menores valores de declividade aí encontrados. No entanto, em locais que ocorrem a concentração de fluxos d água superficiais, existe o risco potencial de ocorrência principalmente devido à ocorrência de solos friáveis e baixa capacidade de suporte.

Com relação à possibilidade de implantação de processo de assoreamento, as áreas mais suscetíveis correspondem àquelas situadas próximas à Baía da Guanabara onde serão implantadas as escavações em túnel no Morro da Saúde e as galerias viárias subterrâneas da Via Expressa e Via Binária, bem como demais obras ao longo da orla. No entanto, a previsão em projeto de colocação de ensecadeiras especiais ao longo do cais existente, constitui método construtivo que permitirá a execução dos trabalhos em área seca, sem necessidade de trabalhos em ambiente subaquático, os quais poderiam potencializar a ocorrência do assoreamento das águas da baía.

Outra área passível de sofrer os impactos do assoreamento corresponde ao Canal do Mangue onde serão conduzidas várias ações de reurbanização e melhoria no sistema de qualidade de suas águas.

#### **4.1.7.2 Alteração da Permeabilidade do Solo, Capacidade de Suporte e Dinâmica das Águas Subterrâneas – Fase de Instalação e Fase de Operação**

Com a implantação da Operação Urbana, pode ocorrer a diminuição da permeabilidade do solo em consequência da implantação de novos empreendimentos e vias em terrenos atualmente permeáveis. A diminuição da permeabilidade pode dificultar a recarga de possíveis formações aquíferas que eventualmente existam na área de estudo e prejudicar possíveis áreas de cobertura vegetal que necessitam de água no solo, notadamente em épocas de menor pluviosidade. Ressalta-se que a impermeabilização do solo ainda tem como potencial impacto resultante o aumento das velocidades e volumes dos deflúvios que alcançam os canais de drenagem superficiais, podendo resultar em elevados picos de enchente em períodos de maior pluviosidade e concentração de volumes. Apesar do potencial impacto da diminuição de áreas de recargas de eventuais formações aquíferas, e possível reflexo em poços de água subterrânea, em consulta ao Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS do Serviço Geológico do Brasil (CPRM,2010b), não foram localizados poços cadastrados na área do empreendimento.

Por outro lado, a previsão do plantio de árvores em áreas do empreendimento tem como impacto potencial o aumento da permeabilidade de algumas áreas, propiciando a recarga de aquíferos subsuperficiais, a alimentação duradoura dos canais superficiais e melhor desenvolvimento de espécies vegetais.

Ainda com relação à dinâmica das águas subsuperficiais, a execução de rebaixamentos do nível d'água, devido à necessidade de bombeamentos de água em obras localizadas abaixo do nível freático, também poderia afetar os níveis d'água de poços de águas subterrâneas. No entanto, conforme destacado, não foram encontrados cadastros de poços de água subterrânea na área do empreendimento.

Todavia, a execução de rebaixamento da água subsuperficial em áreas com camadas argilosas e orgânicas pode resultar em recalques diferenciais em estruturas e colapsos dos terrenos, notadamente em área da unidade geoambiental Planície Colúvio-aluvionar e aterros.

#### **4.1.7.3 Alteração do Risco de Contaminação do Solo e Águas Subterrâneas - Fase de Instalação e Fase de Operação**

O potencial impacto de alteração do risco de contaminação do solo pode ocorrer em toda a área do empreendimento em função da movimentação de máquinas movidas a combustíveis fósseis. No caso da falta de manutenção adequada, podem ocorrer vazamentos de óleos e graxas e contaminação do solo.

Além disso, movimentações de terras em áreas potencialmente contaminadas podem resultar na exposição destes materiais, cuja disposição em novas áreas também podem causar contaminação. As áreas mais vulneráveis à ocorrência de áreas contaminadas referem-se aos antigos pátios de armazenamento de toda a área portuária, além de outros potenciais sítios contaminados, como postos de gasolina e indústrias localizadas ao longo das áreas de intervenção do empreendimento.

A ausência de um cadastro de áreas contaminadas elaborado pelos órgãos ambientais, a exemplo do cadastro e formas de gerenciamento conduzidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2010), dificulta a identificação destes locais de passivo ambiental e o seu gerenciamento, os quais deverão ser localizados e investigados, a fim de minimizar os riscos ambientais associados.

Ainda com relação à contaminação de solos, a presença de nível d'água raso em alguns locais da área do empreendimento, notadamente nos terrenos de Planície Colúvio-aluvionar, pode conduzir à contaminação das águas subsuperficiais.

#### **4.1.7.4 Recalques excessivos e diferenciais - Fase de Instalação e Fase de Operação**

Nas áreas da unidade Planície Colúvio-aluvionar e Aterros, a execução de aterros em áreas com presença de intercalações de camadas de sedimentos de baixa capacidade de suporte e muito compressíveis (solos moles), com nível d' água aflorante ou raso, pode conduzir a ocorrência de recalques excessivos e diferenciais ou mesmo escorregamentos em solos moles, mesmo que em declividades baixas.

No caso de implantação de fundações em áreas com variações de profundidade do topo rochoso, com presença de matacões, ou ainda ocorrências de face mista de escavação (solo e rocha) também podem resultar em recalques excessivos e diferenciais.

Considerando os usos urbanos consolidados em toda a extensão do empreendimento, a ocorrência de recalques excessivos e diferenciais tem sua grande importância por ter o potencial de atingir edificações lindeiras às áreas de maiores interferências, notadamente associadas a execução de grandes aterros e corte, bem como, implantação de túneis e fundações para pontes e viadutos.

#### **4.1.8 MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS**

A seguir, estão listadas as medidas mitigadoras para os possíveis impactos referentes aos componentes geoambientais, ou seja, as medidas que são capazes de prevenir, minimizar ou compensar os impactos negativos e suas gravidades.

Destaca-se que a condução de investigações geológico-geotécnicas mais detalhadas, tem o grande potencial de minimizar as incertezas e contribuir para um gerenciamento de riscos mais adequado, podendo ainda, prevenir potenciais impactos ambientais, notadamente durante a implantação do empreendimento.

##### **4.1.8.1 Processos Erosivos, Movimentos de Massa e de Assoreamento – Fase de Instalação**

Na fase de instalação deverá ser feito o controle do transporte e da deposição de sedimentos nas obras de terraplenagem e nas áreas de apoio das obras, através de medidas de prevenção e controle.

No Projeto Básico estão citadas algumas atividades que poderiam afetar a geologia da região e algumas medidas que poderiam mitigar e atenuar os impactos acarretados por essas atividades. As medidas citadas são referentes às atividades de aterramento, cortes e drenagem.

##### **▪ Aterramento**

Aterros são segmentos de via rodoviária, cuja implantação requer o depósito de materiais, quer provenientes de cortes, quer de empréstimos, no interior dos limites das seções de projeto ("off-sets"), que definem o corpo estradal. As operações de aterro compreendem a descarga, espalhamento, conveniente umedecimento ou aeração e compactação dos materiais oriundos de cortes ou empréstimos para diversos fins.

No projeto básico da OUC RJ, são propostas atividades e medidas com o intuito de diminuir processos erosivos provocados pelo aterramento. Caso sejam executadas, essas medidas

evitarão possíveis assoreamentos e demais processos erosivos. As medidas previstas são descritas abaixo.

O lançamento do material para a construção dos aterros deve ser feito em camadas sucessivas em toda a largura da seção transversal e em extensões tais que permitam seu umedecimento e compactação.

Outra medida prevista no projeto, que tem o intuito de proteger os taludes contra os efeitos da erosão, inclui a sua conveniente drenagem e proteção, mediante a plantação de gramíneas e/ou a execução de patamares, com o objetivo de diminuir o efeito erosivo da água.

Havendo a possibilidade de solapamento da saia do aterro, em épocas chuvosas, deverá ser providenciada a construção de enrocamento, no pé do aterro. Os aterros de acessos próximos dos encontros de viadutos, o enchimento de cavas de fundações e das trincheiras de bueiros, bem como todas as áreas de difícil acesso ao equipamento usual de compactação, serão compactados mediante o uso de equipamento adequado, como soquetes manuais, sapos mecânicos, etc. A execução será em camadas, nas mesmas condições de massa específica aparente seca e umidade, descritas para o corpo dos aterros.

A identificação da área a ser removida para aterros deverá ser feita em campo por técnico experiente (geólogo ou engenheiro geotécnico) através de escavações realizadas, de sondagens de investigação ou da própria vala, à medida que o solo for sendo escavado. A escavação deverá ser feita em cavas de pequeno comprimento, visando diminuir o risco de rupturas da via existente. Quando a cava apresentar-se adequada deverá ser iniciado o lançamento da areia.

#### ▪ **Cortes**

Cortes são segmentos de rodovia, cuja implantação requer escavação do material constituinte do terreno natural, ao longo do eixo e no interior dos limites das seções do projeto ("off-sets"), que definem o corpo estradal. As operações de cortes compreendem escavações dos materiais constituintes do terreno natural, transporte dos materiais escavados para aterros ou bota-foras, retirada das camadas de má qualidade. Os cortes serão efetuados em solos e rochas, sendo que a escavação é precedida dos serviços de desmatamento, destocamento e limpeza.

No projeto básico da OUC RJ, são propostas atividades e medidas com o intuito de diminuir processos erosivos provocados pelas atividades de corte. Caso sejam executadas, essas medidas evitarão possíveis assoreamentos e demais processos erosivos. As medidas previstas são descritas abaixo.

As massas excedentes do material extraída da escavação serão objeto de remoção, de modo a não constituírem ameaça à estabilidade da via, e nem prejudicarem as comunidades da região.

Os taludes dos cortes deverão apresentar, após a operação de terraplenagem, a inclinação indicada no projeto, para cuja definição foram consideradas as indicações provenientes das investigações geológicas e geotécnicas anteriores. Qualquer alteração posterior da inclinação só será efetivada caso o controle tecnológico, durante a execução, a fundamentar.

Nos cortes em que o projeto indicar, será executado o terraceamento e respectivas obras de drenagem dos patamares, bem como revestimento dos taludes, para proteção contra a erosão, em conformidade com o solicitado no projeto.

#### ▪ **Drenagem**

As medidas de drenagem citadas abaixo estão previstas no Projeto Básico do Aterro que podem contribuir com a diminuição dos processos erosivos ocasionados. Caso sejam executadas, evitarão os processos erosivos decorrentes das obras a serem executadas na OUC RJ.

A principal medida efetuada que irá evitar o processo erosivo é a construção de valetas de proteção, que constituem canalizações executadas nas cristas dos cortes, nos pés dos aterros e nas banquetas de corte e/ou aterro para captar os deflúvios e proteger as obras implantadas da ação erosiva do escoamento indisciplinado.

#### **4.1.8.2 Alteração da Permeabilidade do Solo, Capacidade de Suporte e Dinâmica das Águas Subterrâneas – Fase de Instalação e Fase de Operação**

No projeto básico do empreendimento já foram estabelecidos parâmetros de aumento da permeabilidade do solo, especialmente na exigência de manutenção de percentual de áreas permeáveis dentro dos lotes. Além disso, com a Operação, haverá um aumento de áreas verdes na região e do volume de massa arbórea pelo plantio de árvores. Estes fatores contribuirão com o aumento da permeabilidade do solo.

Da mesma forma, no detalhamento do projeto básico o dimensionamento da drenagem superficial e aporte de suas águas para os corpos d'água coletores devem considerar as condições de permeabilidade do solo previstas em função de novas impermeabilizações e decorrentes da implantação de áreas verdes, a fim de se evitar e minimizar potenciais inundações das áreas mais deprimidas durante eventos pluviométricos extremos.

Com relação à necessidade de rebaixamento do nível d'água subsuperficial para execução de obras, deverão ser investigadas a ocorrência de camadas de solos moles e realizados ensaios de dinâmica dos solos e para definição das técnicas mais adequadas para a melhoria da capacidade de suporte dos terrenos, bem como aplicadas medidas para o controle efetivo de recalques e colapsos de solos.

#### **4.1.8.3 Risco de Contaminação do Solo e Águas Subterrâneas - Fase de Instalação e Fase de Operação**

Para a prevenção e minimização do risco de contaminação do solo e águas subterrâneas deverá ser levantado um cadastro das potenciais áreas contaminadas existentes na área do empreendimento e conduzidos estudos de investigação para confirmação ou não da contaminação e seu nível de risco para o traçado das estratégias de gerenciamento destes sítios. Ao longo da obras viárias, onde serão conduzidas as maiores movimentações de terras, notadamente em locais de nível d'água raso, estes estudos deverão ser prioritariamente conduzidos.

Com relação aos potenciais riscos de contaminação do solo e águas subterrâneas a partir de vazamentos de óleos e graxas de máquinas empregadas durante a implantação das obras, deverão ser executadas manutenções periódicas nestas. Da mesma forma, deverão ser implantadas estruturas de contenção de vazamentos e de manejo de efluentes e resíduos nas áreas de apoio.

#### **4.1.8.4 Recalques excessivos e diferenciais - Fase de Instalação e Fase de Operação**

Para a minimização destes potenciais impactos, destaca-se a necessidade de investigações geológico-geotécnicas mais detalhadas. Assim, é imprescindível buscar a definição do topo rochoso e localização da presença e espessuras de corpos de tálus e matacões, para fins de fundações de pontes e viadutos e execuções dos túneis.

Da mesma forma e, conforme já exposto no projeto básico do empreendimento, os métodos de escavação de túneis deve prever equipamentos capazes de lidar com mudanças bruscas de faces rocha-solo e analisar a possibilidade de aprofundamentos dos túneis para minimizar a travessia destas faces mistas.

Medidas de melhoria e reforço para controle de recalques e aumento da capacidade de suporte dos terrenos deverão ser implementadas e, quando possível, evitadas a execução de cortes e aterros em locais de solos moles. A pressurização da frente de escavação pode ser uma medida efetiva nestas condições.

De fato, no projeto básico foi considerada a ocorrência de solos de ISC menor que o indicado no projeto, expansão maior que 2% (dois por cento), baixa capacidade de suporte ou solos orgânicos. Para tanto, foi colocada a necessidade de escavação abaixo do greide de terraplenagem, na espessura definida no projeto, procedendo-se à execução de novas camadas, constituídas de materiais selecionados, conforme definido no projeto.

#### **4.1.9 CONCLUSÕES**

De forma geral, pode-se concluir que a área do empreendimento possui os componentes geoambientais já bastante alterados, uma vez que o local sofreu diversas mudanças ao longo do processo de ocupação, dentre as quais destacam-se aterramento de áreas de mangues, brejos, alagados e pântanos, restingas e terraços; ocupação desordenada e disposição inadequadas de resíduos e contaminantes, bem como, modificações dos canais de drenagem e desmonte de morros, seja para “liberação” de espaços na cidade, seja para uso como material de empréstimo para a execução dos aterros.

O presente estudo considera que os principais impactos ambientais sobre os terrenos deve-se às intervenções de terraplenagem, abertura de túneis e execução de demais obras de arte especiais (pontes, viadutos e colocação de ensecadeiras), relacionados aos projetos estruturais. No entanto, estas intervenções estarão restritas à fase de implantação e são passíveis de aplicação de medidas mitigadoras de seus impactos ambientais. Estes impactos potenciais envolvem desde o desencadeamento de processos erosivos, de movimentos de massa, assoreamento, contaminação de solos e águas subterrâneas e recalques.

Para todos estes impactos é imprescindível o aprofundamento das investigações geológico-geotécnicas, bem como aquelas relacionadas à confirmação de sítios contaminados, a fim de minimizar as incertezas e contribuir para um gerenciamento de riscos mais adequado,

podendo ainda, prevenir os potenciais impactos ambientais, notadamente durante a implantação do empreendimento. Além disso, a aplicação das medidas de controle e supervisão ambiental, previstas de serem aplicadas durante as obras minimizarão e evitarão a ocorrências de vários impactos ambientais potenciais.

Entre os impactos negativos atuais referentes aos seus terrenos, pode-se destacar a baixa permeabilidade do solo e a instabilidade do mesmo em diversos locais, principalmente nas áreas montanhosas que possuem ocupação irregular. Os processos erosivos e de movimentos de massa, são comuns nessas áreas instáveis, especialmente nas épocas de chuva.

Com a Operação Urbana Consorciada, a permeabilidade do solo será alterada: em alguns locais ocorrerá o aumento da mesma, devido ao plantio de árvores (como está previsto nas encostas de morros); em outras áreas ocorrerá a diminuição da permeabilidade, tendo em vista que terrenos serão impermeabilizados para a construção de novos empreendimentos. De modo geral, o impacto negativo provocado pela diminuição da permeabilidade será atenuado pelo aumento desta em outras áreas, atenuando o impacto na área da Operação. Mesmo assim, recomenda-se as medidas mitigadoras mencionadas para este impacto.

Por fim, destaca-se que apesar da previsão de alguns potenciais impactos negativos durante a construção da obras, a implantação dos projetos urbanísticos e de infraestrutura resultarão em impactos positivos importantes para os componentes geoambientais da área do empreendimento. Como exemplo, podem ser citadas a implantação e operação das redes de coleta de esgotos, que permitem a minimização da contaminação dos solos e águas; e a execução de sistemas de drenagem superficial, que permitem o disciplinamento das águas superficiais e minimizam o desenvolvimento de processos erosivos em vertentes mais inclinadas e o assoreamento dos corpos d água adjacentes. Da mesma forma, a implantação de arborização e áreas permeáveis, permite maior infiltração das águas das chuvas, a estabilidade de encostas e margens de canais, também minimizando a ocorrência de processos erosivos e assoreamento.