

## 7.2.4 Aspectos Geológicos, Geotécnicos e Geomorfológicos

### 7.2.4.1 Definições das Áreas de Influência do Empreendimento

A delimitação da área de influência do empreendimento é resultado da espacialização territorial dos impactos diretos e indiretos decorrentes da implantação e operação do empreendimento pretendido.

As ações de cunho direto referem-se àquelas relativas ao local da obra e dos efeitos da operação do empreendimento, apresentando caráter primário e maior intensidade. É denominada de Área Diretamente Afetada (ADA) e definida como a superfície territorial a ser utilizada para a implantação do empreendimento assim como toda a sua infraestrutura necessária.

As ações de cunho indireto são menos intensas e de caráter secundário, se comparadas com as de cunho direto, que atingem locais mais distantes em relação à área de intervenção direta incluindo aquelas associadas à infraestrutura de apoio às obras ou áreas relacionadas às repercussões futuras da operação do empreendimento. São denominadas de Área de Influência Direta (AID) e Área de Influência Indireta (AII).

Considerando que AID e AII nem sempre são coincidentes nos parâmetros ambientais que atuam no processo dos meios físico, biótico e antrópico, as mesmas serão analisadas de forma individualizadas e serão adotados os seguintes parâmetros conforme a e que podem ser apreciados espacialmente na **Tabela 7.2.4.1-1**:

Aspectos Ambientais	Parâmetros Ambientais	AII	AID	ADA
MEIO FÍSICO	Geologia	Município de Piracicaba	Raio de 2 km do centro do empreendimento	Perímetro do Empreendimento
	Geomorfologia			
	Pedologia			
	Geotécnica			
	Hidrogeologia	Sub-bacia do Alto Piracicaba	Sub-bacias dos Ribeirões Cachoeira e das Palmeiras	
	Recursos Hídricos Superficiais			
	Clima e Qualidade do Ar	Município de Piracicaba	Raio de 10 km do centro do empreendimento	

**Tabela 7.2.4.1-1:** Área de abrangência de cada aspecto nas diferentes áreas e parâmetros.

#### **7.2.4.2 Geologia**

Neste item é apresentado o diagnóstico ambiental do tema geologia, elaborado com base em dados secundários e em levantamentos de campo, que tem como objetivo, além de caracterizar o substrato rochoso presente nas áreas de influência do empreendimento, caracterizar a susceptibilidade dos terrenos à ocorrência dos processos do meio físico.

##### **A) Considerações Metodológicas**

Para elaboração do diagnóstico geológico regional foram consultados os Mapas Geológicos do Estado de São Paulo: escala 1:750.000 da (CPRM, 2005) e escala 1:500.000 do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1981) além de realizados levantamentos de campo em Junho e Julho de 2014.

No aspecto local, para a caracterização da ADA, foram realizados estudos de campo fundamentados em investigações diretas na área do empreendimento e seu entorno com o objetivo de fazer levantamentos dos aspectos geológicos que auxiliassem na elaboração do diagnóstico. Tais estudos incluíram visita ao campo para descrição de afloramentos geológicos, a descrição dos solos que foram coletados durante os ensaios de SPT e a elaboração das sondagens para os poços de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas.

##### **B) Contexto Regional – Área de Influência Indireta (All)**

A Área de Influência Indireta (All) do empreendimento corresponde ao limite geográfico do Município de Piracicaba que geologicamente situa-se na borda centro-leste da Bacia Sedimentar do Paraná.

A Bacia do Paraná é uma unidade geotectônica formada por uma grande variedade de litologias que foram estabelecidas sobre a plataforma sul-americana a partir do Devoniano inferior, senão do siluriano (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1981).

Dentre as unidades da Bacia do Paraná na All do empreendimento predominam as formações sedimentares de origem clástica e os derrames basálticos da formação Serra Geral. Suas características são descritas resumidamente a seguir por ordem cronológica das unidades litoestratigráficas de acordo com o Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000. (CPRM, 2005). O mapa Geológico do Município de Piracicaba pode ser observado na Figura 7.2.4.2-1 – Mapa Geológico da All

**Figura 7.2.4.2-1 – Mapa Geológico Regional do Município de Piracicaba – Área de Influência Indireta**

### ✓ **Grupo Itararé Indiviso**

O Grupo Itararé foi definido originalmente como Série, termo utilizado por diversos autores em diversas classes de hierarquia: formação, subgrupo e, atualmente, está consolidado como grupo.

O Grupo Itararé se divide nas formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba, que corresponderiam, cada uma, a fases de sedimentação cíclicas dentro de um regime glacial, relacionadas a subidas relativas do nível do mar.

A Formação Lagoa Azul é representada em uma unidade basal arenosa e outra superior, predominantemente argilosa. Os depósitos são correlacionados a ambiente fluvial entrelaçado e de leques aluviais, na base, e depósitos de planície de lavagem em ambiente glacial e lacustrino anóxico, no topo.

Na Formação Campo Mourão predominam arenitos de origem flúvio-deltaica ou turbiditos associados à frente deltaica. Podem ocorrer folhelhos, em direção ao topo da formação, sugerindo sedimentação em ambiente marinho.

A Formação Taciba engloba grande parte das rochas aflorantes no Grupo Itararé, sendo composta por lamitos com seixos, arenitos, folhelhos e siltitos de origem relacionada a ambientes marinhos profundos e deltaicos. Estão também representados depósitos marinhos com influência de geleiras, depósitos gerados por processos de lavagem subaquosa, depósitos de fluxos de detritos, turbiditos e, provavelmente, eskers.

### ✓ **Formação Tatuí – Grupo Guatá**

Conforme (Aborraga, et al., 1986) a formação Tatuí é formada por siltitos e siltitos arenosos, cor cinza, frequente matriz carbonosa, ocasionais fragmentos e níveis de carvão, nódulos de pirita, laminação irregular ou maciço. Níveis de arenito cinza-esverdeado, médio a grosseiro, imaturo. Na porção superior é comum ocorrerem camadas de arenito fino, quartzoso, às vezes com estruturas lenticulares.

#### ✓ **Formação Irati – Grupo Passa Dois**

A unidade consiste em folhelhos e argilitos cinza escuros, folhelhos betuminosos e calcários associados, portadores de répteis mesossaurídeo. Na base, predominam os folhelhos, argilitos e siltitos cinza escuros, não betuminosos, maciços ou com laminação plano-paralela, formando camadas tabulares (Membro Taquaral). Na parte superior ocorre uma característica associação de folhelhos, folhelhos betuminosos e calcários (Membro Assistência). Nos calcários podem ocorrer estratificações cruzadas hummocky, marcas onduladas simétricas e assimétricas e laminações cruzadas cavalgantes. (Schneider, et al., 1974)

#### ✓ **Formação Corumbataí – Grupo Passa Dois**

A Formação Corumbataí é composta na sua seção inferior, de um pacote de argilitos, folhelhos e siltitos cinza-escuros e pretos, com fraturas conchoidais e concreções calcíferas, e ainda um conjunto de argilitos e folhelhos cinza-escuros, de aspecto rítmico, com ocasionais leitos de calcário silicificados, oolíticos em parte, além de níveis coquinóides. Na seção superior, ocorre uma seqüência de argilitos e arenitos finos, argilosos, regular a bem classificados, esverdeados, arroxeados e avermelhados. (Mezzarila, et al., 1981).

#### ✓ **Formação Pirambóia**

A Formação Pirambóia é constituída, em essência, por arenitos médios e finos com cores esbranquiçadas, avermelhadas e alaranjadas, com geometria lenticular bem desenvolvida. Estratificações cruzadas acanaladas de porte grande e muito grande, e laminações cruzadas transladantes subcríticas são as estruturas primárias mais frequentes.

#### ✓ **Formação Botucatu**

A Formação Botucatu é composta essencialmente por arenitos finos a grossos, de coloração avermelhada, foscas, bem arredondados e com alta esfericidade, dispostos em sets e/ou closets de estratificações cruzadas, planar ou acanaladas, de médio a grande porte. Os estratos cruzados são compostos na sua porção mais íngreme por lâminas alternadas de fluxo e queda livre de grãos que se interdigitam em direção a base com laminações transladantes cavalgantes. Apresentam alternância de lâminas de arenitos finos e médios, resultando numa bimodalidade textural característica (Scherer, 1998), (Assine, et al., 1994).

Têm sido interpretados como depósitos residuais de dunas eólicas crescentes e lineares acumuladas em extenso mar de areia (sand sea). A ausência de depósitos de interdunas úmidos permite interpretar a Formação Botucatu como um sistema eólico seco (Scherer, 1998).

Esta unidade é fonte de areias quartzosas para uso industrial e é explorada para a obtenção de lajes, utilizadas como piso ou revestimento, e blocos de alicerce para a construção civil. Os arenitos da Formação Botucatu constituem-se em excelentes aquíferos, sendo explotados em diversos estados brasileiros, fazendo parte do denominado Aquífero Guarani.

#### ✓ **Formação Serra Geral (derrames de lavas, diques e soleiras)**

A Formação Serra Geral é resultado de intenso magmatismo fissural, representado na forma de uma espessa cobertura de lavas, com cerca de 1.500 metros de espessura junto ao depocentro da bacia, associado a uma extensa rede de diques e múltiplos níveis de soleiras intrudidos na pilha sedimentar.

Os derrames assentam-se sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu, com inclinações subhorizontais de até 5° em direção ao centro da bacia. São constituídos principalmente por basaltos tholeiíticos e andesi-basaltos tholeiíticos, com augita e pigeonita, perfazendo aproximadamente 90% do volume total das rochas extrusivas. Subordinadamente ocorrem andesitos tholeiíticos, riódacitos e riólitos. (Marques, et al., 2004).

As soleiras ocorrem intrudidas nos sedimentos paleozóicos, especialmente nas formações Irati e Itararé, com espessuras que variam, normalmente, de 2 a 200 metros, tendo sido descritas seções de até 1.000 metros. Esta unidade é basicamente composta pelos equivalentes intrusivos das rochas vulcânicas, sendo representada geralmente por soleiras e diques de diabásio, podendo ocorrer, em algumas localidades, dioritos e microdioritos pórfiros, lamprófiros, andesitos, monzonitos pórfiros e traquiandesitos.

#### ✓ **Formação Teresina**

A Formação Teresina, junto com a Formação Serra Alta, são base da formação Rio do Rasto, que compõem a porção basal do Grupo Passa Dois, foram atribuídas idade Kazanian, e estão na fase regressiva da Superseqüência Gondwana I.

É constituída por argilitos, siltitos e arenitos muito finos e finos, cinza escuros a esverdeados, com geometria tabular ou lenticular muito estendida. A sedimentação distribui-

se em ciclos granocrescentes (parassequências) que iniciam com pelitos maciços ou laminados, passando, em sentido superior, para siltitos com acamadamento wavy e linsen. Na porção mais superior da unidade, as parassequências podem terminar ou serem inteiramente constituídas por arenitos com estratificação cruzada hummocky, acamadamento flaser e drape, marcas onduladas simétricas e laminação cruzada cavalgante. Em alguns locais, especialmente no Rio Grande do Sul e Paraná, pode apresentar pacotes de arenitos com estratificação cruzada hummocky amalgamados, com até 10 m de espessura, indicando deposição em ambiente influenciado por ondas de tempestade. (Mezzarila, et al., 1981).

### **C) Contexto Local – Área de Influência Direta (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA)**

Localmente, de acordo com os mapas regionais apresentados, as litologias presentes na AID (raio de 2 Km do empreendimento) são os Siltitos da formação Tatuí, sobrepostos pelos Folhelhos da formação Iratí e sobre estes os basaltos da Formação Serra Geral.

As rochas básicas do topo da coluna estratigráfica ocorrem na porção oeste e central da AID, nas porções topograficamente mais altas, enquanto as sedimentares ocorrem nas regiões baixas devido a erosão causada pelos rios Ribeirão Cachoeira e Ribeirão das Palmeiras.

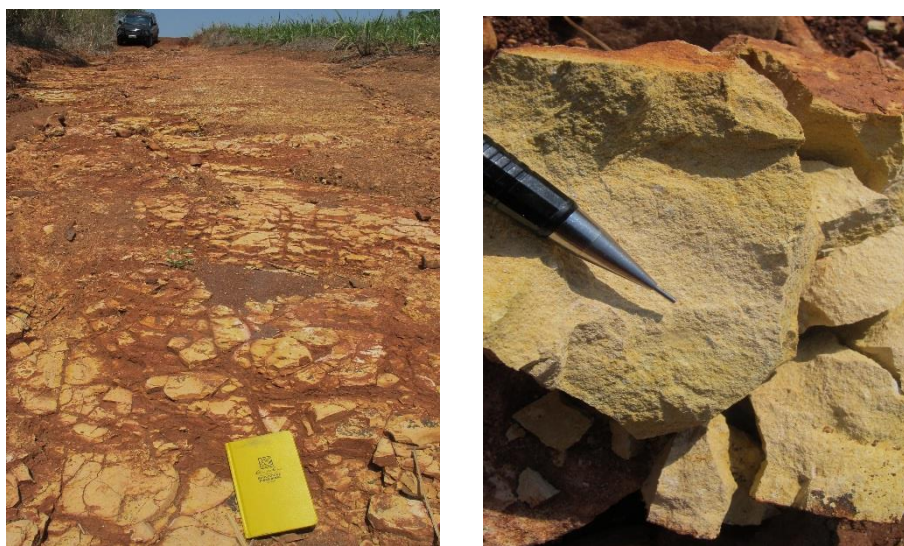
Em geral a área apresenta baixo potencial para a ocorrência de afloramentos de rocha devido ao relevo suavemente ondulado que contempla praticamente toda a AID e ADA. A **Tabela 7.2.4.2-1** indica as coordenadas e principais características dos pontos de observação geológica e a **Figura 7.2.4.2-2** mostra estes e sua localização espacial sobre o mapa geológico da AID e da ADA.

Os únicos afloramentos de rocha observados encontram-se na porção oeste da AID no vale do Ribeirão Cachoeira. Nesta região o rio é bem encaixado, apresenta um desnível de 60 metros com relação ao topo do morro e escavou o perfil do solo até o aparecimento substrato rochoso. Foi nas proximidades do Ribeirão Cachoeira que foram realizados os pontos de observação Geo1, Geo2 e Geo3 (Figura 7.2.4.2-2) e observados afloramentos de siltitos arenosos com coloração amarela clara, com pouco quartzo e acamadamento sub-horizontal da formação Tatuí (Figura 7.2.4.2-3 e 7.2.4.2-4).



Ponto	UTM 23 S - WGS 1984		Categoria	Descrição do Ponto
	UTM N	UTM E		
Geo1	7494008	237623	Geologia	Afloramento na base da estrada de siltito homogêneo, cor amarelo claro, com pouco quartzo, acamamento sub-horizontal. Formação Tatuí.
Geo2	7494477	237579	Geologia	Afloramento na margem do Ribeirão Cachoeirinha de siltito homogêneo cor amarelo clara, com pouco quartzo, acamamento sub-horizontal. Formação Tatuí.
Geo3	7494638	237609	Geologia	Afloramento de siltito homogêneo cor amarelo cinza clara, acamamento sub-horizontal. Formação Tatuí.
Geo4	7493634	239439	Geologia	Blocos residuais de sílex, quartzo e ágata proveniente dos basaltos da Fm. Serra Geral
Geo5	7494986	240166	Geologia	Latosolo e minerais magnéticos da alteração do basalto

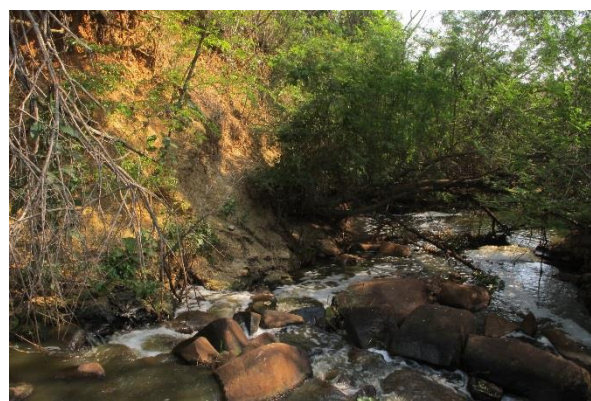
**Tabela 7.2.4.2-1:** Coordenadas e descrição dos pontos geológicos observados em terreno.



**Figura 7.2.4.2.3:** Afloramentos de siltitos da Formação Tatuí localizados no vale do Ribeirão Cachoeira, Ponto Geo1.



Figura 7.2.4.2-2 Mapa geológico da AID e ADA e Poços de Monitoramento das Águas Subterrâneas



**Figura 7.2.4.2-4:** Afloramentos de siltitos da Formação Tatuí no Ribeirão Cachoeira, Ponto Geo2.

Na porção central da AID e em toda a ADA ocorrem as rochas básicas da formação Serra Geral. Entretanto, devido a presença de espessa cobertura pedogenética e à ausência de outras drenagens encaixadas não foram observadas exposições desta rocha.



**Figura 7.2.4.2-5:** Blocos sílex com basalto e amigdalas preenchidas por quartzo. Ponto Geo4.

Apesar da ausência de afloramentos foram encontradas evidências que contribuem para corroborar a presença da Formação Serra Geral, tais como blocos rolados de sílex com basalto e amígdalas preenchidas por quartzo, feições que ocorrem nos derrames das rochas básicas (**Figura 7.2.4.2-5**) e que foram encontrados no ponto Geo4.



**Figura 7.2.4.2-6:** Minerais magnéticos e solo marrom avermelhado da alteração do basalto, Ponto Geo5

Outras evidências são a composição e granulometria silto-argilosa do solo, sua coloração avermelhada e a presença de grãos magnéticos todos provenientes da alteração das rochas básicas, observados nos em diversos locais como no Geo5. (Figura 7.2.4.2-6).

Também foram realizadas 4 sondagens na ADA visando à descrição geológica das unidades em sub-superfície e a instalação de poços de monitoramento de água subterrânea. A localização está apresentada na Tabela 7.2.4.2-2, na Figura 7.2.4.2-2 anteriormente mencionada.



Ponto	UTM 23 S - WGS 1984		Categoria	Descrição do Ponto
	UTM N	UTM E		
PM01	7494046	239226	Geologia e Hidrografia - Aguas Subterrâneas	Poço de Monitoramento de Águas Subterrâneas a jusante do empreendimento
PM02	7493566	239210	Geologia e Hidrografia - Aguas Subterrâneas	Poço de Monitoramento de Águas Subterrâneas a jusante do empreendimento
PM03	7493391	239073	Geologia e Hidrografia - Aguas Subterrâneas	Poço de Monitoramento de Águas Subterrâneas a jusante do empreendimento
PM04	7493437	238583	Geologia e Hidrografia - Aguas Subterrâneas	Poço de Monitoramento de Águas Subterrâneas a montante do empreendimento

**Tabela 7.2.4.2-2:** Coordenadas e descrição dos Poços de Monitoramento instalados.



**Figura 7.2.4.2-7:** Sondagem e instalação do PM-03

A sondagens localizadas na porção leste e topograficamente baixa da ADA, PM-01, PM-02 e PM-03, próximas ao Córrego Nova Divisa, tem profundidades finais variando de 4 a 5,15 metros, conforme pode ser observado na Figura 7.2.4.2-5: Perfis de Sondagem e Poços de Monitoramento Instalados. Os três PMs apresentam um perfil semelhante, com solo Argilo-Arenoso de granulometria fina e coloração marrom avermelhada no primeiro metro, que posteriormente muda para um solo argiloso, com pouca areia de granulometria fina e coloração variegada cinza e esbranquiçada. O Nível de Água nos três PMs está entre 2 e 3

metros de profundidade. Os furos foram finalizados poucos metros após interceptarem o NA. A Figura 7.2.4.2-7 mostra a realização e instalação do PM-03.

A sondagem localizada na porção topograficamente alta e sudoeste da ADA, próximo à entrada do futuro empreendimento (PM-04), atingiu os 26,6m de profundidade. Os primeiros 3 metros se caracterizaram por solo Argilo-Arenoso de granulometria fina e coloração marrom avermelhada, que posteriormente muda para um solo argiloso, com pouca areia de granulometria fina e coloração variegada de coloração cinza esbranquiçada dos 4 até os 26,6m. O Nível de Água foi alcançado com 24 metros de profundidade. A Foto 7.2.4.2-8 mostra a perfuração no PM-04. A sondagem foi finalizada aos 26,6 m saturada em água.



**Figura 7.2.4.2-8:** Perfuração do PM-04 na porção Topograficamente alta do empreendimento. Profundidade final 26,6m

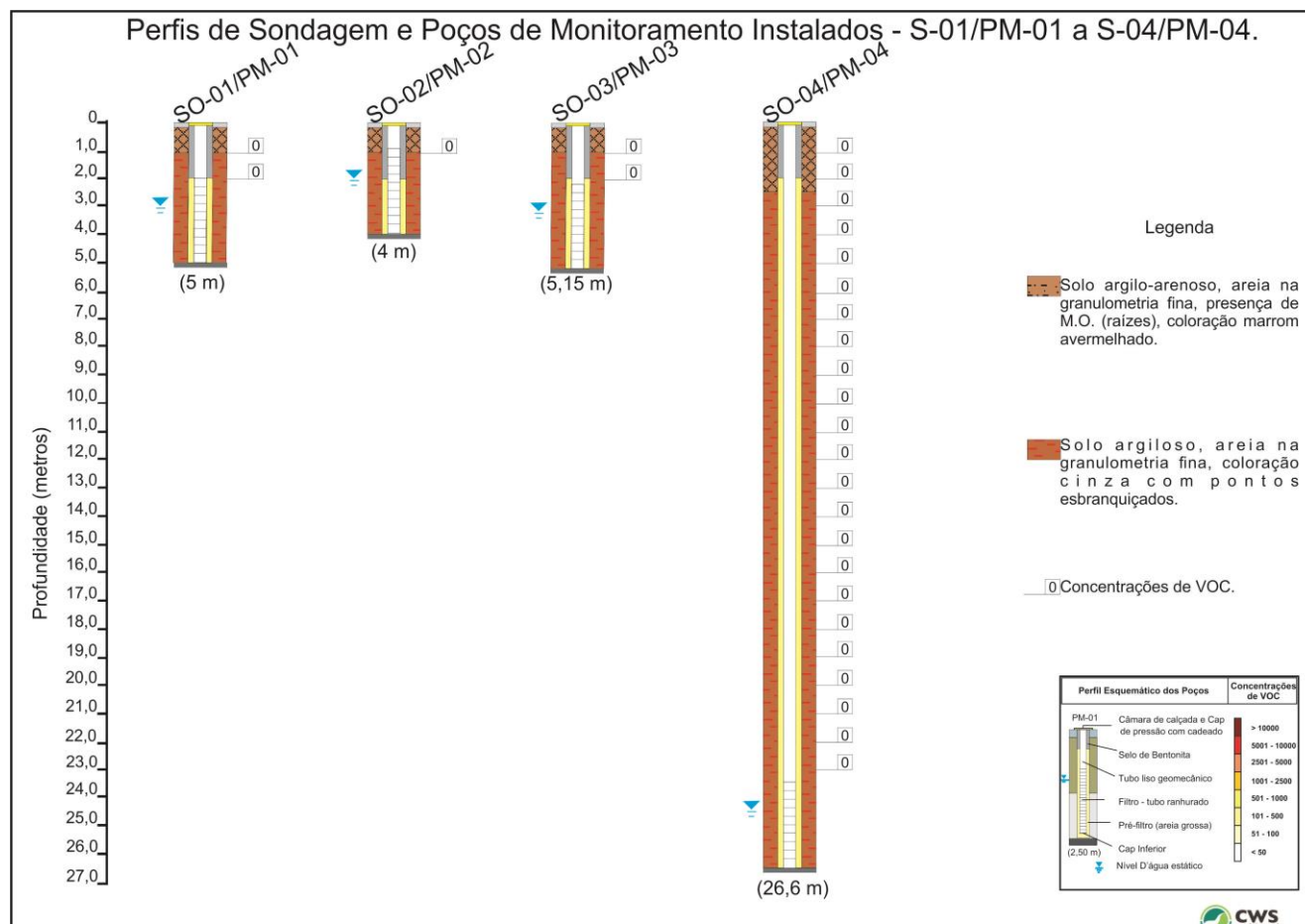


Figura 7.2.4.2-5: Perfis de Sondagem e Poços de Monitoramento Instalados

### 7.2.4.3 Geomorfologia

Esta seção tem o objetivo apresentar as principais características do relevo da área de estudo, de modo a caracterizar a geomorfologia a partir das principais formas e aspectos considerando-se os processos atuais e pretéritos responsáveis pelo modelamento do relevo.

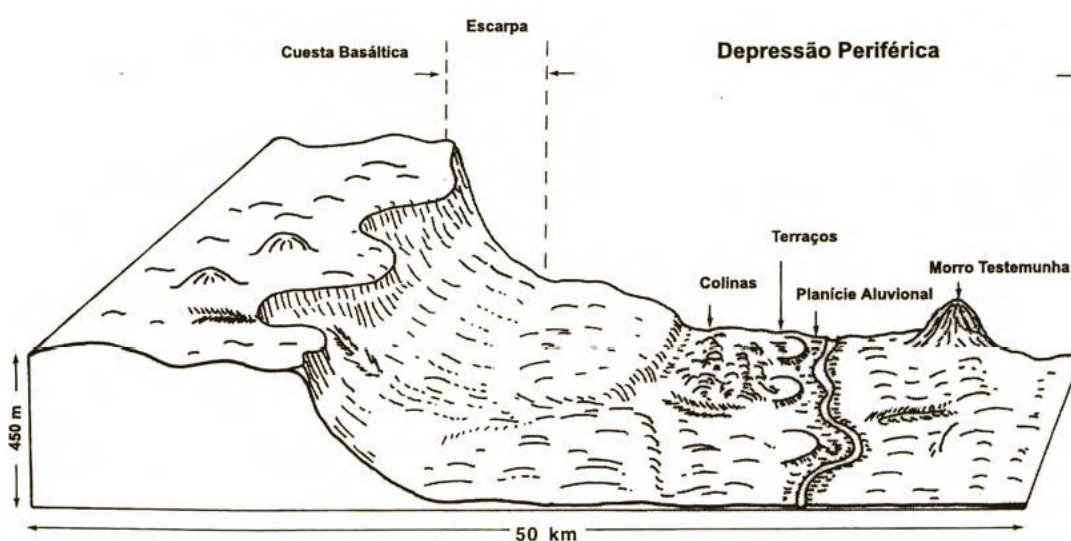
#### A) Considerações Metodológicas

Na caracterização da Área de Influência Indireta, foi considerado o Município de Piracicaba, para a Área de Influência Direta, um raio de 2 Km a partir do centro do empreendimento e para a Área Diretamente Afetada o empreendimento em si.

Os estudos foram realizados com base na compilação e análise de dados bibliográficos e cartográficos, além dos dados obtidos em campo realizado nos dias 14 e 15 de julho de 2014. As principais referências bibliográficas utilizadas foram os estudos realizados por Ross & Moroz (Ross, et al., 1997), que deram origem ao mapeamento geomorfológico do Estado de São Paulo e os estudos realizados pelo IPT.

#### B) Contexto Regional – Área de Influência Indireta (AII)

De acordo com a classificação geomorfológica de (Almeida, 1964) a região de Piracicaba localiza-se no interior da Depressão Periférica Paulista delimitada entre as zonas das Cuestas Basálticas e o Planalto Cristalino Paulista. A **Figura 7.2.4.3-1** mostra um perfil esquemático desde as Cuestas Basálticas até a Depressão Periférica.



**Figura 7.2.4.3-1:** Perfil esquemático das Cuestas até a Depressão Periférica, onde se encontra a AII.



No Domínio da Depressão Periférica e das Cuestas Basálticas predominam os relevos de colinas amplas, colinas médias, morrotes alongados paralelos, morrotes alongados/espigões. Em algumas áreas de Cuestas Basálticas constata-se a presença de pequenos platôs basálticos (mesas basálticas) que terminam em escarpas com relevos de transição do tipo encostas com cânions locais ou escarpas festonadas (Ponçano, 1981).

De acordo com classificação apresentada no Mapa da Geodiversidade do Estado de São Paulo da CPRM na região compreendida pela Área de Influência Indireta ocorrem 4 formas de relevo que podem ser observadas na figura Figura 7.2.4.3-2: Mapa Geomorfológico da AII.

R1a: Planícies fluviais ou fluviolacustres;

R2b: Planaltos e baixos platôs;

R4a1: Colinas amplas e suaves;

R4a2: Colinas dissecadas e morros baixos.

Figura 7.2.4.3-2: Mapa Geomorfológico da All

### C) Contexto Local – Área de Influência Direta (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA)

De acordo com o mapa da Geodiversidade do Estado de São Paulo (Peixoto, 2010) na Área de Influência Direta ocorrem 2 domínios geomorfológicos: o Domínio do Vulcanismo Fissural Mesozoico do Tipo Plateau (que são as rochas básicas da formação Serra Geral), e o Domínio das coberturas Sedimentares e Vulcanossedimentares Mesozóicas e Paleozóicas pouco a moderadamente consolidadas, associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise (que são as rochas sedimentares da Bacia do Paraná), estes por sua vez se classificam com uma única forma de relevo presente na AID e na ADA: Colinas Amplas e Suaves.

No campo foi constatada a forma de relevo de colinas amplas e suaves que variam topograficamente dos 515 m aos 610 m de altitude. De modo geral a AID apresenta encostas com declividade moderada a baixa sendo as máximas observadas na ordem de 15 a 17%. Os topos das colinas são extensos e aplainados, e suas vertentes apresentam perfis retilíneos a ligeiramente convexo como pode ser observado nas fotografias da **Figura 7.2.4.3-3**.



**Figura 7.2.4.3-3:** Relevo típico da AID, de colinas amplas e suaves com topos aplainados.

Cortando toda a porção oeste da AID encontra-se o vale do Ribeirão Cachoeira, que localmente é encaixado e expõe o substrato rochoso. É no seu vale onde se atingem as declividades máximas de toda a AID (17%). A Figura 7.2.4.3-4 mostra a planície de inundação do rio e a encosta inclinada que leva ao fundo do seu vale onde foram encontrados os afloramentos mencionados no capítulo de geologia.



**Figura 7.2.4.3-4:** Encosta inclinada que leva ao vale do Ribeirão Cachoeira (foto esquerda) e planície do mesmo ribeirão em local a montante da foto anterior.

Na porção sudeste da AID, bordejando o limite leste da ADA está o Córrego Nova Divisa que é um dos afluentes do Córrego das Palmeiras e na encosta de seu vale a declividade máxima é de 10%.

A Área Diretamente Afetada, local onde está proposto o empreendimento, encontra-se na encosta suave de uma colina ampla e de topo suave com declividade máxima de 11%. Na parte superior e relativamente plana da colina é onde se localiza as instalações da futura central de tratamento de resíduos e na porção inclinada da colina, estará a área de aterro e deposição final dos resíduos. Figura 7.2.4.3-5.



**Foto 7.2.4.3-5:** Colina ampla de baixa declividade com as instalações da futura central de tratamento de resíduos no topo.

#### 7.2.4.4 Pedologia

##### A) Considerações Metodológicas

Neste item serão apresentadas as principais características dos solos da Área de Estudo, considerando a contextualização pedológica da área e o reconhecimento das ordens de solos predominantes, assim como os principais fatores que influenciam na diferenciação pedogenética da região.

##### B) Contexto Regional – Área de Influência Indireta (AII)

Os solos na região de Piracicaba acompanhando o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (escala 1:500 000) do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) (Oliveira, 1999), e baseado na classificação dos solos de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS), em publicação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1999), compreendem basicamente, quatro tipos principais: os Argissolos (P) anteriormente denominados Podzólicos, os Latossolos (L) com denominação idêntica ao sistema anterior, os Neossolos (R) englobando as classes anteriormente denominadas de solos aluviais, solos litólicos, e areias quartzosas (hidromórficas ou não) e os Nitossolos (N), sendo esta nova classe de solos de terras roxas, diferindo dos Neossolos pelo fato da estruturação das terras roxas originárias a partir do basalto e intrusivas associadas. O mapa pedológico da AII pode ser observado na **Figura 7.2.4.4-1**

##### - Argissolos (P)

Compreendem solos constituídos por material mineral com argila de atividade baixa e horizonte B textural imediatamente abaixo de horizonte A ou o horizonte E e apresentando, ainda, um horizonte plântico (se presente, não está acima nem é coincidente com a parte superficial do horizonte B textural) e um horizonte glei (se presente não está acima nem é coincidente com a parte superficial do horizonte B textural).

Por conceituação, os Argissolos apresentam predominantemente argila de atividade baixa. Contudo a capacidade adsortiva desta fração, para a mesma textura, é em geral ligeiramente superior à dos Latossolos.

Os Argissolos, por apresentarem em geral textura média ou arenosa em superfície e baixa atividade da fração argila, são facilmente preparados para o plano. São solos muito profundos, isto é, não apresentam qualquer impedimento físico a penetração do sistema radicular pelo menos até 2 metros de profundidade.



O caráter álico é mais comum nos Argissolos Vermelho-amarelos do que nos Vermelhos e quando ocorre nestes últimos raramente atingem valores elevados. Os Argissolos Vermelhos apresentam maior porcentagem de óxidos de  $\text{Fe}^{2+}\text{O}^{3-}$  do que os Vermelhos-Amarelos.

#### - Latossolos (L)

Compreendem solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico, imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 2 metros da superfície do solo ou dentro de 3 metros, se o horizonte A apresenta mais de 1,5 metro de espessura.

São solos com boa drenagem interna, mesmo nos de textura argilosa. Esses solos, quando álicos, apresentam virtual ausência de alumínio ao longo do perfil o que constitui fator positivo, mas a natureza oxídica do material desses solos permite que se manifeste, a pouca profundidade, a predominância de cargas positivas sobre as negativas. Consequentemente a retenção de ânions (sulfatos, fosfatos, nitratos) é maior que a de cátions, fato que demanda práticas específicas de manejo.

Devido a sua elevada permeabilidade interna e a baixa capacidade adsorptiva, esses solos de classificam como pouco filtrantes. Tal atributo permite esperar que, apesar de sua espessura, sejam grandes as possibilidades de contaminação de aquíferos por material tóxico neles depositados.

#### - Neossolos (R)

São solos constituídos por material mineral ou orgânico com menos de 40 centímetros de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico e satisfazendo os seguintes requisitos:

Ausência de horizonte glei, exceto no caso de solos com textura areia ou areia franca, dentro de 50 centímetros da superfície do solo.

Ausência de horizonte vértico imediatamente abaixo do horizonte A Ausência de horizonte plúntico dentro de 40 centímetros Ausência de horizonte A chernozêmico conjugado a horizonte cálcio ou C carbonático.

Figura 7.2.4.4-1 – Mapa Pedológico da AII (Município de Piracicaba)



### C) Contexto Local – Área de Influência Direta (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA)

Na área do empreendimento, tanto na AID como na ADA ocorrem principalmente os Latossolos, segundo a Carta de Solos da Folha Piracicaba; escala 1:100 000, do Instituto Geográfico e Cartográfico descritos por (Oliveira, et al., 1989). Os pontos de observação Pedológica e sua localização estão na Tabela 7.2.4.4-1 e na Figura 7.2.4.4-2.

Ponto	DATUM - WGS 1984		Categoria	Descrição do Ponto
	UTM N - 23S	UTM E - 23S		
Ped1	7495352	242301	Pedologia	Corte de estrada com perfil de 4 metros de latossolo
Ped2	7494986	240166	Pedologia e Geologia	Latossolo e minerais magnéticos da alteração do basalto
Ped3	7493604	238595	Pedologia	Perfil de 1 metro de latossolo dentro da ADA
Ped4	7493572	237543	Pedologia	Latossolo
Ped5	7494527	237762	Pedologia	Latossolo
Ped6	7492091	240443	Pedologia	Perfil de 4 metros de latossolo com horizonte A de solo transportado próximo ao retorno na estrada SP-147
Ped7	7490799	238316	Pedologia	Perfil de 3,5 metros de latossolo ponte da estrada SP-147.

**Tabela 7.2.4.4-1: Pontos de observação Pedológica na AII, ADA e arredores**

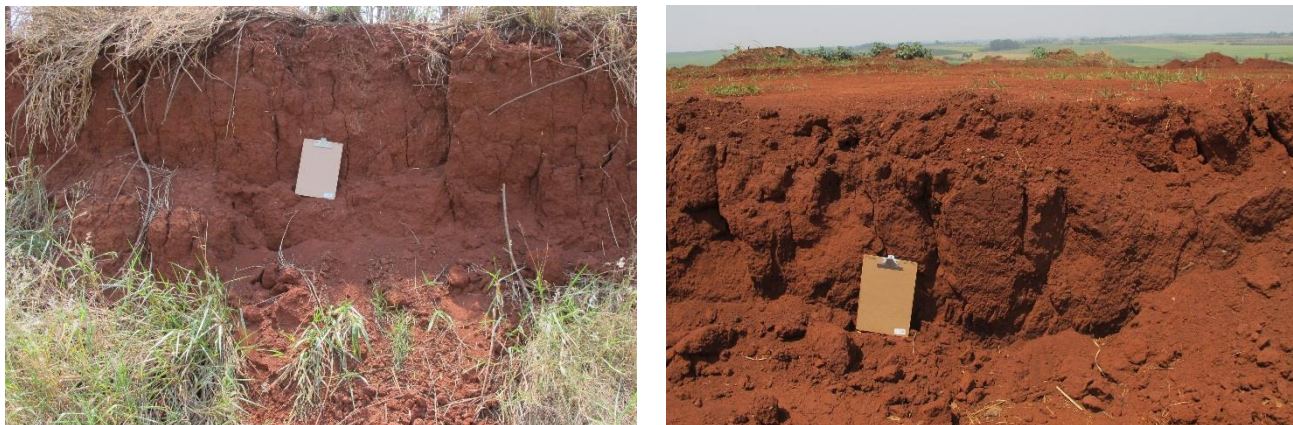
- Latossolos:

Esta classe compreende solos não hidromórficos com horizonte B latossólico de coloração vermelho-escuro-acinzentada a bruno-avermelhado-escuro precedido de qualquer tipo de horizonte A diagnóstico. Relacionam-se a conteúdos elevados de  $\text{Fe}^2\text{O}^3$  (18-40%), com forte atração magnética, índice Ki 0,20-2,0 (Camargo, et al., 1987). Tais características foram evidenciadas em perfis de solo ao lado das estradas e nos minerais residuais magnéticos carregados e concentrados naturalmente pela enxurrada nas partes topograficamente baixas. (Figura 7.2.4.4-3 e 7.2.4.4-4).

Os Latossolos da área do empreendimento possuem caráter distrófico ou álico e horizonte A moderado caracterizando a Unidade Barão Geraldo que representa 70% dos latossolos roxos da Folha de Piracicaba.

Figura 7.2.4.4-2: Mapa de Pontos de Pedologia da AID, ADA e arredores

Tais solos têm como material de origem na Depressão Periférica os “sills” de diabásio conforme observado na AII, na ADA, e em pontos da estrada que permitem a observação do perfil de solo exposto (Figura 7.2.4.4-3).



**Figura 7.2.4.4-3:** Foto esquerda, perfil de latossolo típico da AID e AII em estrada da região, ponto Ped1. Foto direita, perfil de latossolo similar dentro da ADA, Ponto Ped3.

Praticamente todos os perfis de solos observados na área são “in-situ” ou residuais, porem no ponto Ped6 foi observado um Horizonte A de solo eluvial, que é um tipo de solo transportado que se deposita sobre o Horizonte B residual os Latossolos. **Figura 7.2.4.4-4.**



**Figura 7.2.4.4-4:** Foto esquerda, Horizonte de solo transportando sobre o Horizonte B latossólico, ponto Ped6. Foto direita, minerais ferro-magnesianos pretéritos da lixiviação das rochas básicas da Formação Serra Geral e posteriormente do latossolo, ponto Ped2.

#### **7.2.4.5 Geotécnica**

Neste item é apresentado o diagnóstico do tema Geotécnica, elaborado com base nos levantamentos de campo, que tem como objetivo, além de caracterizar o substrato rochoso presente na área de influência diretamente afetada do empreendimento, caracterizar a susceptibilidade dos terrenos à ocorrência dos processos do meio físico.

##### **A) Considerações Metodológicas**

Para a caracterização geotécnica da Área de Estudo e foram realizadas visitas em campo e 23 sondagens percussivas com ensaios SPT, 6 ensaios de infiltração e 2 ensaios físicos realizados entre Novembro de 2012 e Agosto de 2014.

##### **B) Contexto Regional – Área de Influência Indireta (All)**

Os estudos geotécnicos são fundamentais para o processo construtivo e são fundamentalmente de caráter local. Desta forma os esforços neste capítulo foram concentrados na Área Diretamente afetada do empreendimento. As sondagens estão inseridas no Anexo III deste estudo.

A carta de Geotécnica do Estado de São Paulo, Escala 1:500.000 (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, 1994) classifica a área de estudo como uma área com Baixa Susceptibilidade aos Diversos Processos do Meio Físico Analisados, entre este a susceptibilidade a erosão, o que faz da área adequada para o empreendimento. A carta, pode ser apreciada na Figura 7.2.4.5-1.

##### **C) Contexto Local – Área de Influência Direta (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA)**

Os ensaios geotécnicos que auxiliam o estudo do subsolo e sua adequabilidade para receber obras de infraestrutura se localizaram principalmente sobre a Área Diretamente Afetada pelo empreendimento. Foram realizadas 23 sondagens percussivas com ensaios SPT, ensaios de infiltração em 6 locais diferentes e ensaios físicos em 2 locais (Limite de Liquidez, Índice de Plasticidade, Grau de Compactação, Ensaio de Granulometria, Teor de Umidade, Peso Específico e Ensaio de Permeabilidade).

Figura 7.2.4.5-1 – Mapa Geotécnico da All

A localização das sondagens e os ensaios realizados em cada ponto estão descritos na **Tabela 7.2.4.5-1** e podem ser observadas espacialmente na Figura 7.2.4.5-2

Ponto	DATUM - WGS 1984		Categoria	Descrição do Ponto
	UTM N/E - 23S			
Gtc1	7493614	238489	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-01 e ensaio SPT
Gtc2	7493523	238726	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-02 e ensaio SPT
Gtc3	7493498	238839	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-03 e ensaio SPT
Gtc4	7493423	239054	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-04, ensaio SPT, Ensaio de Infiltração EI-01
Gtc5	7493788	238534	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-05 e ensaio SPT
Gtc6	7493791	238646	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-06 e ensaio SPT
Gtc7	7493800	238813	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-07 e ensaio SPT
Gtc8	7493795	238996	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-08 e ensaio SPT
Gtc9	7493804	239199	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-09, ensaio SPT e Ensaio de Infiltração EI-02
Gtc10	7494051	238606	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-10 e ensaio SPT
Gtc11	7494119	238832	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-11 e ensaio SPT
Gtc12	7494076	239004	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-12 e ensaio SPT
Gtc13	7494005	239199	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-13, ensaio SPT e Ensaio de Infiltração EI-03
Gtc14	7493549	238673	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-15 e ensaio SPT-15
Gtc15	7493480	238862	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-16, ensaio SPT-16, Ensaio de Infiltração e Ensaios Físicos
Gtc16	7493688	238767	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-17 e ensaio SPT-17
Gtc17	7493628	238965	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-18 e ensaio SPT-18
Gtc18	7493576	239151	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-19 e ensaio SPT-19
Gtc19	7493868	238795	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-20, ensaio SPT-20 e Ensaio de Infiltração
Gtc20	7493834	239004	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-21 e ensaio SPT-21
Gtc21	7493832	239166	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-22 e ensaio SPT-22
Gtc22	7494070	238808	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-23 e ensaio SPT-23
Gtc23	7494023	238975	Geotécnica	Sondagem Percussiva SP-24, ensaio SPT-24 e Ensaio de Infiltração e Ensaios Físicos

**Tabela 7.2.4.5-1:** Pontos de ensaios Geotécnicos.

Figura 7.2.4.5-2 – Localização dos Ensaios Geotécnicos



### ✓ Sondagens

As sondagens executadas na Área Diretamente Afetada foram realizadas em duas etapas: Em dezembro de 2012 foram realizadas 13 sondagens SPT identificadas como SP 01 a SP 13, num total de 264,27 metros perfurados.

Em Julho de 2014 foram realizadas adicionalmente 10 sondagens SPT identificadas como SPT 15 a SPT 24, num total de 200,5 metros perfurados.

Os resultados dos ensaios SPTs – Ensaios SPT - SP01 a SP24 podem ser observados no **Anexo III**.

A partir dos dados obtidos com as sondagens foram elaborados perfis geotécnicos conforme apresentados na Figura 7.2.4.5-3.

A camada superficial dos solos presentes na área investigada corresponde a um solo de granulometria essencialmente argilosa (argila silto arenosa), com consistência muito mole a mole, espessuras variando entre 2 a 10 metros e espessura média de 6m.

Na camada seguinte, sub superficial, predominam solos argilosos, identificados como argila silto arenosa, com consistência mole a média, com espessura variável, atingindo profundidade de até 15 metros, espessura entre 2 a 10 metros e espessura média de 6m.

Em seguida a camada sub superficial predominam solos siltosos, identificados como siltes argiloso arenoso, com consistência média a dura, espessura entre 6 e 23 metros resultando em espessura média de 14,5m.

As sondagens SP 01, SP 05 e SP 10 resultaram em impenetráveis em profundidades de 15 à 21 metros, indicando presença de fragmentos de rocha, blocos ou matacão.

Figura 7.2.4.5-3 – Perfis Geotécnicos

### ✓ Ensaios de Permeabilidade in Situ

Na campanha realizada em dezembro de 2012 foram realizados ensaios de permeabilidade in situ nos furos de sondagem SP 04, SP 09 e SP 13, utilizando-se como referência o procedimento recomendado por Boletim nº 04 – 1996, ABGE, Ensaios de permeabilidade em solos – Orientações para sua execução no campo. Um resumo dos resultados está apresentado na **Tabela 7.2.4.5-2** e os Laudos no **Anexo IV** do presente estudo.

ID	Intervalo (profundidade) do ensaio (m)	Intervalo Cota (m)	Material ensaiado	Coefficiente de permeabilidade (cm/s)
SP 04	2,00 à 4,00 acima do N.A.	560,50 à 558,50	Argila silto arenosa	$9,48 \times 10^{-6}$
SP 09	2,00 à 4,00 acima do N.A.	560,60 à 558,60	Argila silto arenosa	$9,79 \times 10^{-6}$
SP 13	2,00 à 4,00 acima do N.A.	559,40 à 557,40	Argila silto arenosa	$9,06 \times 10^{-7}$

**Tabela 7.2.4.5-2** - Resultados do ensaio de Permeabilidade *in Situ*

### ✓ Ensaios de caracterização, compactação e permeabilidade

Foram enviadas ao laboratório 02 (duas) amostras deformadas e realizados ensaios conforme apresentado na tabela a seguir: O relatório de ensaios realizados é apresentado no Anexo IV - Ensaios Físicos - no SP-16 e SP-24 e um sumário na Tabela 7.2.4.5-3 – Ensaios Realizados.

Sondagem (nº)	Identificação	Profundidade (m)	Classificação Expedita	Ensaios Realizados
SP 16	01-SP16	2,00 à 4,00	Argila siltosa pouco arenosa, cor avermelhada	LL, LP, $\delta$ , GPS, PN, Kcv
SP 24	02-SP14	2,00 à 4,00	Argila siltosa pouco arenosa, cor avermelhada	LL, LP, $\delta$ , GPS, PN, Kcv

**Tabela 7.2.4.5-3** - Ensaios realizados

Onde:

- LL – limite de liquidez;
- LP – limite de plasticidade;
- $\delta$  – densidade real dos grãos;
- GPS – granulometria por peneiramento e sedimentação;
- PN – compactação Proctor normal;
- Kcv - permeabilidade a carga variável

✓ **Limites de Atterberg (LL e LP)**

Os ensaios de limites de Atterberg foram realizados segundo as normas ABNT 6459/84 Limite de Liquidez e ABNT 7180/84 Limite de Plasticidade. Os resultados são apresentados na Tabela 7.2.4.5-4 a seguir.

ID	LL(%)	LP(%)	IP(%)
01-SP16	52,2	31,9	20,3
02-SP24	53,0	31,1	21,9

**Tabela 7.2.4.5-4** – Resultados do ensaio de limites de Atterberg

✓ **Granulometria com sedimentação**

Foram realizados os ensaios de granulometria conjunta, peneiramento e sedimentação, segundo a norma ABNT 7181/84 Análise Granulométrica, conforme mostra a Tabela 7.2.4.5-5 a seguir:

Amostra	Argila	Silte	Areia			Pedregulho
			Fina	Média	Grossa	
01-SP16	61,02	23,63	9,54	5,68	0,08	0,05
02-SP24	60,82	22,49	10,46	5,77	0,27	0,19

**Tabela 7.2.4.5-5:** Resultados da Análise Granulométrica (%)

O material foi caracterizado como argila siltosa pouco arenosa de cor avermelhada.

### ✓ Ensaio de compactação

Os ensaios de compactação, utilizando como referência a energia Normal, foram realizados segundo a Norma ABNT 7182/84 Ensaio de Compactação, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 7.2.4.5-6 a seguir.

ID	Umidade Ótima (%)	Densidade seca máxima (g/cm³)
01-SP16	26,4	1,562
02-SP24	28,3	1,497

**Tabela 7.2.4.5-6** – Resultados do ensaio de compactação (energia normal)

### ✓ Permeabilidade sob carga variável

Os ensaios de Permeabilidade sob carga variável foram realizados em laboratório segundo as premissas da NBR – 14545/00. Para a realização dos ensaios foram moldados os corpos de prova nas condições ótimas de umidade e utilizados grau de compactação de 95% e 98% do Proctor Normal. Os resultados estão apresentados na Tabela 7.2.4.5-7.

ID	Intervalo (profundidade) do ensaio (m)	Intervalo Cota (m)	Material ensaiado	Coeficiente de permeabilidade (cm/s)	Grau de compactação do Proctor Normal (%)
SP 16	2,00 à 4,00 acima do N.A.	575,60 à 573,60	Argila siltosa pouco arenosa	$3,70 \times 10^{-7}$	95,0
SP 16	2,00 à 4,00 acima do N.A.	575,60 à 573,60	Argila siltosa pouco arenosa	$5,30 \times 10^{-8}$	98,0
SP 24	2,00 à 4,00 acima do N.A.	558,75 à 556,75	Argila siltosa pouco arenosa	$5,70 \times 10^{-7}$	95,0
SP 24	2,00 à 4,00 acima do N.A.	558,75 à 556,75	Argila siltosa pouco arenosa	$4,10 \times 10^{-8}$	98,0

**Tabela 7.2.4.5-7:** Resultados do ensaio de permeabilidade

Além dos ensaios, nas visitas de campo não foi verificada a ocorrência de processos erosivos, situação que pode ser relacionada às baixas declividades que diminuem a susceptibilidade à ocorrência desses processos, como pode ser observado na **Figura 7.2.4.5-4**.



**Figura 7.2.4.5-4:** Não foram identificados processos erosivos nos latossolos da ADA.