

# Caracterização Geológico-Geotécnica de Depósito de Argila Mole no Município de Itajaí-SC

Ana Karine Santos Dantas

Engenheira Civil, TPF Engenharia, Florianópolis, Brasil, ana.dantas@tpfe.com.br

Lucas Rodrigues Heckrath

Engenheiro Civil, Nova Engevix Engenharia, Florianópolis, Brasil, lucas.heckrath@novaengevix.com.br

Gisele Marilha Pereira Reginatto

Engenheira Civil, Nova Engevix Engenharia, Florianópolis, Brasil, gisele.reginatto@novaengevix.com.br

Luís Fernando Farias

Engenheira Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, luizfrnfarias@gmail.com

**RESUMO:** O presente trabalho apresenta a investigação geológico-geotécnica de um terreno localizado em Itajaí-SC, onde será ampliada uma Estação de Tratamento de Esgoto. Geologicamente, o terreno encontra-se sobre depósitos marinho praias e depósitos aluviais. A investigação compreendeu, inicialmente, a realização de 21 sondagens a percussão-SPT. O perfil apresenta uma camada inicial de 3 metros de aterro assente em uma camada argilosa mole com cerca de 10 metros de espessura. Esta argila está sobre uma camada de areia com cerca de 12 metros, que esta sotoposta a uma segunda camada de argila de baixa consistência bastante espessa, esta com aproximadamente 20 metros. Aos 45 metros de profundidade, identificou-se uma areia compacta impenetrável ao trépano. Para investigação complementar das camadas de argila mole, realizou-se a coleta de 3 amostras deformadas e indeformadas para ensaios de laboratório de caracterização completa e adensamento. Realizou-se ainda ensaios de palheta (Vane Test) para definição de parâmetros de resistência nas duas camadas de argila. Através da investigação, foi possível comparar as duas camadas de argila mole e verificar diferenças devido, principalmente, ao estado de tensões. Ao final, sugere-se o tratamento do solo previamente à ampliação e utilização de fundação profunda para as estruturas da ETE.

**PALAVRAS-CHAVE:** SPT, CPT, Adensamento, Ensaio de Palheta, Argila Mole.

**ABSTRACT:** This work presents the geological-geotechnical investigation of a land located in Itajaí-SC, where a Sewage Treatment Station will be expanded. Geologically, the land lies on marine beach deposits and alluvial deposits. The investigation initially included carrying out 21 SPT. The profile presents an initial layer of 3 meters of fill based on a soft clayey layer approximately 10 meters thick. This clay is under a layer of sand measuring approximately 12 meters, which is on top of a second layer of very thick, low-consistency clay, measuring approximately 20 meters. At a depth of 45 meters, compact sand was identified that was impenetrable to the trepane. For additional investigation of the soft clay layers, 3 deformed and undeformed samples were collected for laboratory tests of complete characterization, densification and shear. Vane tests were also carried out to define resistance parameters in the two clay layers. Through investigation, it was possible to compare the two layers of soft clay and verify differences due mainly to the state of stress. Finally, it is suggested to treat the soil prior to expansion and use of a deep foundation for the ETE structures.

**KEYWORDS:** SPT, CPT, Consolidation Test, Vane Test, Clay Soils.

## 1 INTRODUÇÃO

Projetar estruturas sobre depósitos de argilas moles é um desafio que requer uma atenção especial no que se refere à etapa de investigação geológico-geotécnica. Solos moles caracterizam-se por ter baixa capacidade de suporte e alta compressibilidade, necessitando de uma caracterização geotécnica que dê o respaldo necessário para previsão comportamento deste solo após a imposição do carregamento. Identificar a

espessura, disposição espacial, definir parâmetros de compressibilidade e resistência, especialmente da camada de solo mole, são algumas das questões a serem esclarecidas a fim de evitar recalques excessivos ou ruptura da fundação.

Conforme preconizado por Schnaid e Odebrecht (2012), investimentos suficientes na caracterização do solo, considerando o tipo de estrutura e a complexidade geológica e geotécnica local, buscando conciliar seu custo com os riscos envolvidos, evidenciam a boa prática da engenharia.

A região litorânea de Santa Catarina, mais precisamente à margens do Rio Itajaí-Açu, é caracterizada pela presença de espessos depósitos de argila mole, onde, através de campanhas de ensaios de campo, constataram-se espessuras iguais ou superiores a 10 metros. Às margens deste rio, será realizada a ampliação de uma Estação de Tratamento de Esgoto que requer investigações de subsolo para subsidiar os estudos de fundação e escavação para a construção das estruturas.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 Localização

A área de estudo deste trabalho trata-se da região onde será ampliada uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) localizada em Itajaí, município situado no litoral norte de Santa Catarina, a cerca de 100 km da capital Florianópolis. Itajaí possui 264.054 habitantes distribuídos em 289,215 km<sup>2</sup> de área territorial e faz divisa com os municípios de Camboriú e Balneário Camboriú, ao sul, Brusque, a sudoeste, Gaspar e Ilhota, a oeste, e Navegantes, ao norte, conforme apresentado na Figura 1. A cidade foi erguida no encontro do rio Itajaí-Açu com o mar e abriga um dos maiores complexos portuários do Brasil. Quanto à A ETE, esta situa-se às margens do canal antigo do rio Itajaí-Mirim, rio afluente do Itajaí-Açu.

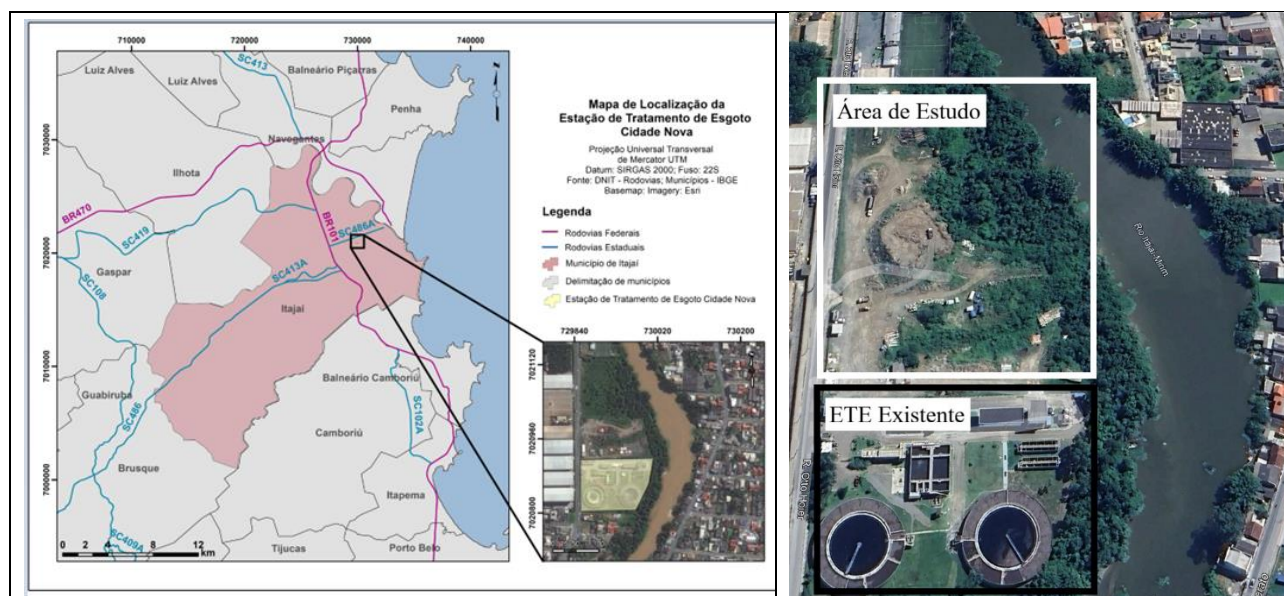


Figura 1. Localização de Itajaí, com destaque para a área de estudo.

### 2.2 Geologia

O município de Itajaí situa-se na interface entre o embasamento cristalino e a planície costeira. O embasamento cristalino é representado por rochas plutônicas e metamórficas, as quais são responsáveis pelas serras do leste catarinense. Já a planície costeira consiste na deposição sedimentar ocorrida nos últimos milhares de anos por meio das regressões e transgressões marinhas. Conforme apresentado no mapa geológico da Figura 2, elaborado pelo Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro de Santa Catarina (GERCO, 2010), a ETE encontra-se sobre depósitos aluviais e marinho praias, como também depósitos eólicos.

Os depósitos de praia são compostos por areia quartzosa fina e bem selecionada de ambiente dominado por ondas. Os depósitos aluvionares são classificados como depósitos fluviais constituídos por areias e cascalhos das barras fluviais e sedimentos mais finos nas planícies de inundação. Além disso, os depósitos eólicos são constituídos por areia quartzosa muito fina a fina, bem arredondada e selecionada com rara laminação plano-paralela ou cruzada (GERCO, 2010).

Os depósitos aluvionares, caracterizados por areias e lamas e eventualmente cascalheiras, costumam apresentar estratificação evidente, refletindo disposição a partir de fluxos torrenciais canalizados e não canalizados; formam depósitos de grande extensão e espessura, com expressiva presença de matéria orgânica. Ocorre, frequentemente, o seu interdigitamento com depósitos marinhos praias. O ambiente deposicional associado ao rio Itajaí-Açu encontra-se dividido em diversos sub-ambientes (depósitos de fundo de canal, de meandro, de planície de inundação e de rompimento de diques marginais), com alguns estando eventualmente saturados pelas inundações fluviais, correspondentes aos períodos de cheias das drenagens (GERCO, 2010).

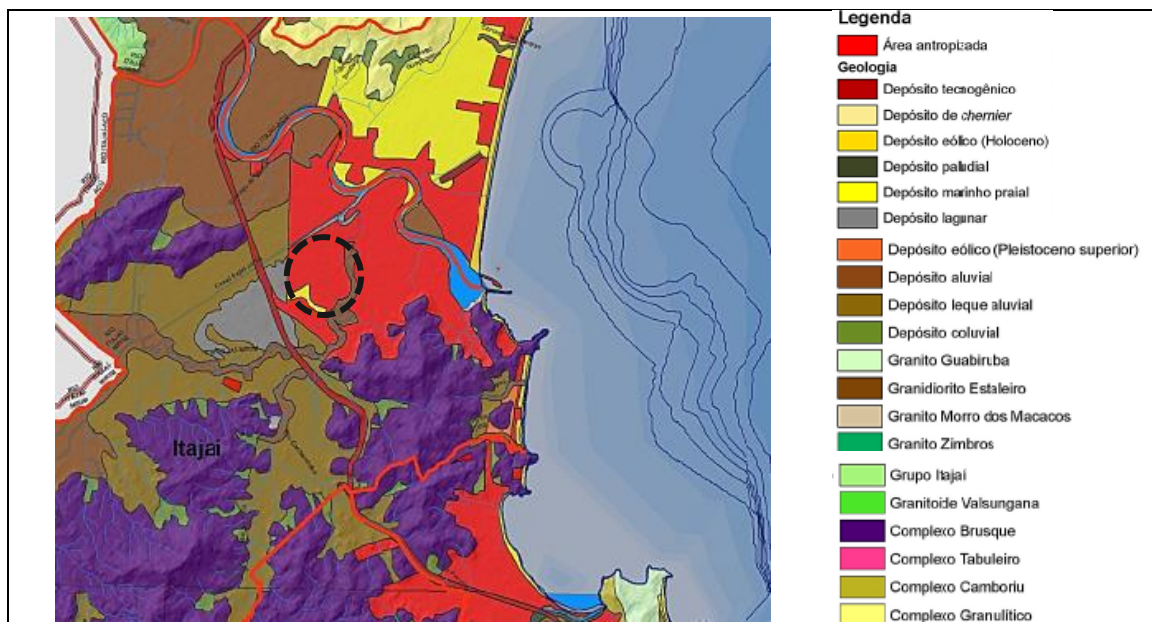


Figura 2. Mapa Geológico (Folha SD-22-Z-B-V-4), modificado de GERCO (2010).

### 3 PROGRAMA DE INVESTIGAÇÃO

A definição do programa de investigação preliminar da área de ampliação da ETE teve como ponto de partida a verificação de seis ensaios CPTs realizados no terreno no ano de 2008. A partir dos resultados desses ensaios, identificou-se, com clareza, uma camada de argila mole seguida por uma camada de areia. Esta camada de areia começa a reduzir a resistência a partir dos 18 m de profundidade. A partir dos 26 m de profundidade, nota-se o início uma nova camada de argila e os ensaios se encerram aos 30 m. A investigação preliminar buscou abranger a totalidade das futuras estruturas do empreendimento e identificar melhor esta segunda camada de argila, consistindo então em 21 sondagens SPT, executadas conforme a NBR 6484 (ABNT, 2001). A partir destes ensaios, observou-se as características do perfil do solo e um definiu-se um programa de investigação complementar.

Através da identificação de duas camadas de argila mole no perfil, evidenciou-se a necessidade de investigar de forma mais específica cada uma dessas camadas. Desse modo, solicitou-se a coleta de 3 amostras deformadas para realização de ensaios de laboratório de caracterização física completa e 3 indeformadas para realização de ensaios de adensamento e cisalhamento, definindo assim parâmetros de resistência e compressibilidade. Ademais, solicitou-se a execução de Ensaios de Palheta (Vane Test) para obtenção da resistência não drenada ( $S_u$ ) em dois pontos onde estão previsto a construção de estruturas com os maiores carregamentos. Em cada ponto, realizou-se um ensaio na camada superior de argila e um ensaio na camada mais profunda de argila, totalizando quatro ensaios. A locação dessas investigações executadas é apresentada na Figura 3, suas coordenadas e profundidades estão apresentadas na Tabela 1.



Figura 3. Localização da coleta de amostras e ensaios de palheta.

Tabela 1. Coordenadas e profundidades dos ensaios de palheta e amostragem.

PONTOS	COORDENADAS SIRGAS 2000		PROFUNDIDADE (m)	
	X (m)	Y (m)	A	B
VT-01	729912,3226	7021061,8128	6,5	32
VT-02	729914,5853	7020978,9199	6,5	32
AD/AI-01	729907,5603	7021068,1597	3,5	-
AD/AI-02	729909,9570	7020956,3618	3,5	-
AD/AI-03	729971,1773	7020956,1003	6,5	-

As amostras deformadas foram obtidas a partir da abertura de poços de inspeção, já as amostras indeformadas foram coletadas com amostrador do tipo Shelby. A Tabela 2 apresenta os ensaios realizados:

Tabela 2. Local e quantidade dos ensaios de campo.

ENSAIO	LOCAL	Nº DE ENSAIOS
Ensaio de Palheta	VT-01 e VT-02	4
Ensaio de Adensamento		3
Granulometria e Sedimentação		3
Limite de Liquidez	AD/AI-01, AD/AI-02 e	3
Limite de Plasticidade	AD/AI-03	3
Massa Específica Real de Grãos		3
Massa Específica Natural		3

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Conde Penetration Test (CPT)

Os seis ensaios CPTs realizados no terreno no ano de 2008 foram disponibilizados pelo cliente e utilizados para conhecimento prévio das características do solo. Identificou-se, com clareza, uma camada de argila mole de aproximadamente 10 m de espessura, caracterizada pelos baixos valores de resistência de ponta e atrito lateral, seguida por uma camada de areia que ocorre até os 25 m. Esta camada de areia, identificada pelos valores de resistência ( $q_c$ ) elevados (10 a 20 MPa), começa a reduzir a resistência a partir dos 18 m (8MPa) de profundidade. A partir dos 26 m de profundidade, nota-se o início uma nova camada de argila e os ensaios se encerram aos 30 m de profundidade.

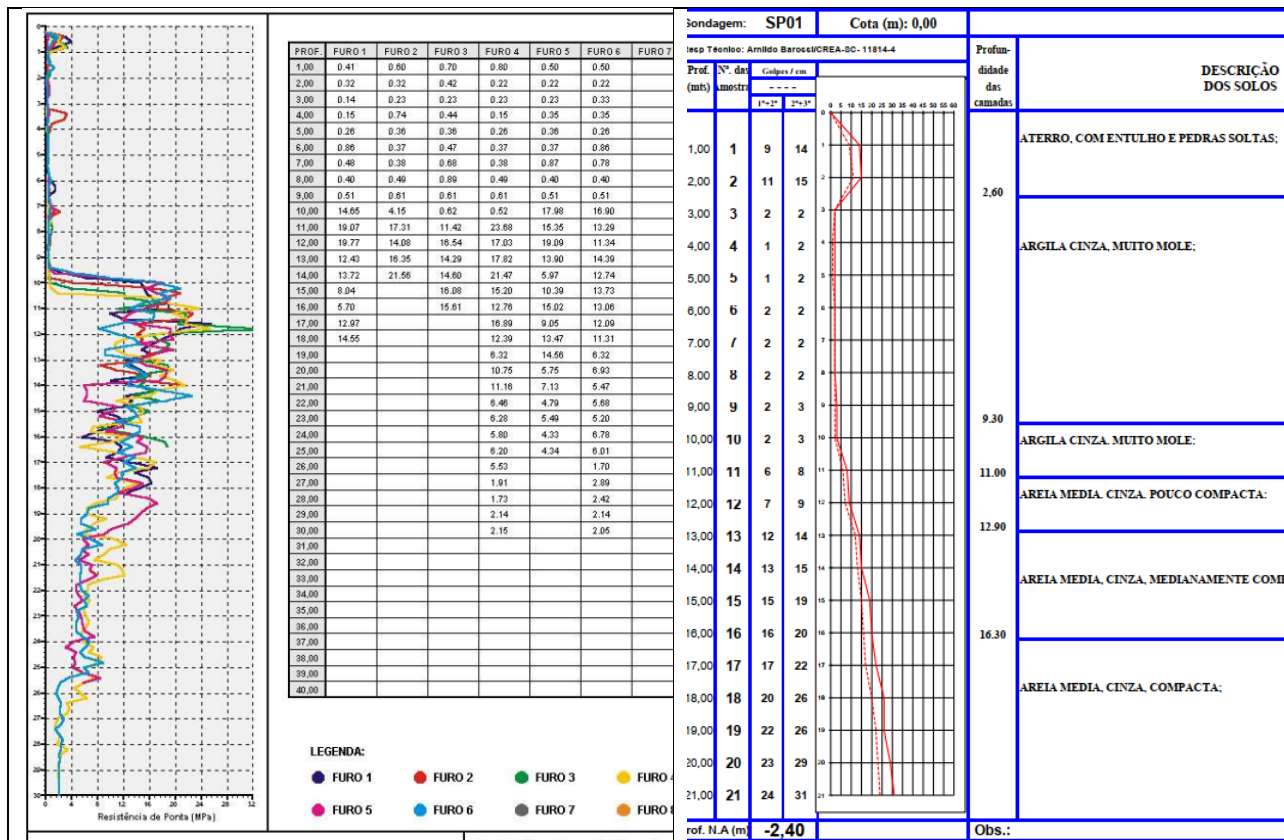


Figura 4. Resultados dos ensaios CPTs e SP-01.

#### 4.2 Sondagens (SPT)

As investigações realizadas foram compiladas e avaliadas com o objetivo de caracterizar o perfil geológico-geotécnico da área, sendo possível perceber uma estratigrafia bem definida nas sondagens (SP01 na Figura 4). A área vem sendo utilizado como local de descarte de material proveniente de obras (bota-fora), contendo assim uma camada superficial com pedregulhos e entulhos. Dessa forma, o perfil dos solos apresenta uma camada de material de aterro que varia até 2 ou 3 metros. Nos pontos de sondagem SP-15, SP-16, SP-17, SP-18 e SP-20, ocorre uma camada mais espessa do material de aterro com entulhos e pedras.

Somente em torno de 3 metros de profundidade que chegamos à primeira camada de argila mole ( $2 < N_{spt} < 4$ ) observada no CPT, com aproximadamente 10 metros de espessura. Na sequência, ocorre uma camada de areia ( $15 < N_{spt} < 30$ ) de até 12 metros e novamente uma camada argilosa de baixa consistência ( $2 < N_{spt} < 4$ ) de aproximadamente 19 metros de espessura. Em seguida, aproximadamente aos 45 metros de profundidade, há uma camada de areia compacta ( $N_{spt} > 35$ ) e material impenetrável ao trépano. Essas camadas de solo têm origem nos processos geomorfológicos de formação de solos sedimentares, característicos de regiões próximas a corpos hídricos. Um dos perfis do solo gerado é apresentado na Figura 5.

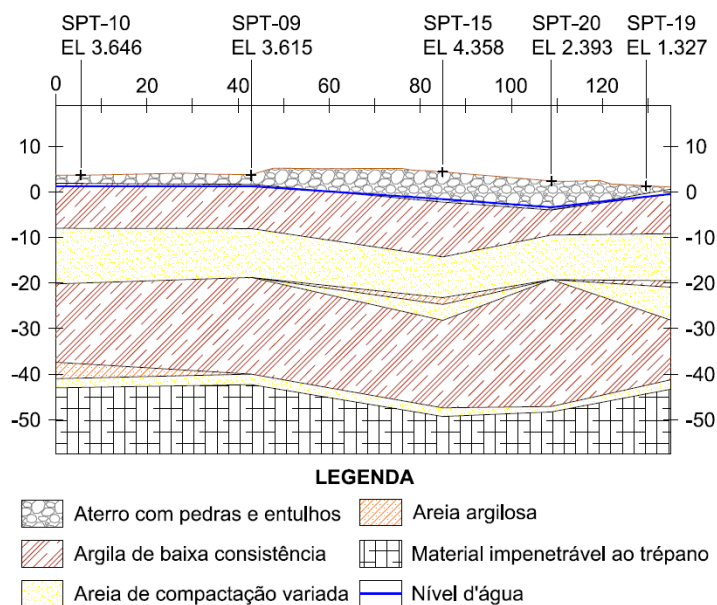


Figura 5. Perfil geológico-geotécnico do terreno.

Ressalta-se que esta caracterização foi realizada em 2021, 13 anos depois dos ensaios CPTs mencionados, e que o material que vem sendo lançado sobre a primeira camada de argila ocasiona o seu processo de adensamento, fazendo com que, com o tempo, a argila ganhe resistência. O ideal, em termos de conhecimento, seria a realização de novos ensaios CPTs para verificação do ganho de resistência nesse período.

## 4.2 Caracterização Física

Para a caracterização física, foram realizados ensaios de granulometria com peneiramento e sedimentação (ABNT, 2016b), Limite de Liquidez (LL) (ABNT, 2016c), Limite de Plasticidade (LP) (ABNT, 2016d), massa específica real dos grãos ( $\rho$ ) e umidade natural ( $w$ ), cujo resumo dos resultados está apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados dos ensaios de caracterização física.

Descrição	Profundidade de coleta (m)	% passante # 200	w (%)	LL	LP	IP	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
AD-01	3,5	60	50,9	-	NP		2,84
AD-02	6,5	67	48,2	45,84	19,69	26,15	2,82
AD-03	6,5	82	58,8	45,62	26,29	19,33	2,91

Na amostra AD-1 foi identificado um percentual considerável de material arenoso, sendo portanto, classificado como não plástico (NP). Nas demais amostras (AD-2 e AD-3) os ensaios atestaram a ocorrência de um solo com granulometria predominantemente fina (argilosa), altamente plástico e com umidade natural alta, características esperadas para um solo mole, cuja ocorrência foi identificada nos perfis das sondagens à percussão.

## 4.3 Ensaio de Adensamento

O ensaio de adensamento foi realizado conforme a NBR 16853 (ABNT, 2020). A tensão de pré-adensamento ( $\sigma'_{vm}$ ) foi determinada pelo método de Pacheco Silva, os índices de compressibilidade ( $C_r$  e  $C_c$ ),

deformações volumétricas máximas e coeficiente de adensamento ( $C_v$  – método de Taylor) estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados obtidos no ensaio de adensamento.

Amostra	$\sigma'_{vm}$ (kPa)	$e_{vm}$	$C_c$	$C_r$	$C_v$ (cm <sup>2</sup> /s) 25 kPa	$C_v$ (cm <sup>2</sup> /S) 400 kPa	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> ):
AI-01	125	0,6	0,08	0,02	1,38 x 10 <sup>-2</sup>	1,30 x 10 <sup>-2</sup>	2,038
AI-02	39	2,58	1,09	0,38	3,19 x 10 <sup>-3</sup>	2,19 x 10 <sup>-4</sup>	1,450
AI-03	78	1,39	0,55	0,11	6,19 x 10 <sup>-3</sup>	1,20 x 10 <sup>-3</sup>	1,645

#### 4.4 Ensaio de Palheta (*Vane Test*)

Método que determina a resistência não drenada ( $S_u$ ) do solo *in situ*, aplicado para solos argilosos moles a rijos, saturados, permitindo a determinação da resistência em condições de drenagem restrita. O método utilizado para este ensaio foi do tipo B com a perfuração prévia, realizados conforme a NBR 10905 (ABNT, 1989). Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Ensaio de Palheta.

Posição	Prof. (m)	$S_u$ (pico) (kPa)	$S_u$ (amol.) (kPa)	Sensibilidade
VT-01-6,5	6,5	20,7	4,7	Média
VT-01-32	32	65,5	33,7	Baixa
VT-02-6,5	6,5	17,5	15,4	Baixa
VT-02-32	32	50,8	25,2	Baixa
Médios	$S_u$ (06,5m)=	19,1	10,1	
	$S_u$ (32,0m)=	58,1	29,4	

Ressalta-se que os resultados alcançados devem passar por correção. Conforme proposto por Bjerrum (1973 apud Schnaid e Odebretch, 2012), o valor do  $S_u$  deve ser multiplicado pelo fator de correção  $\mu$ , cujo valor médio situa-se em torno de 0,65. Terzaghi & Peck (1967) definem como “argila muito mole” aquela que tem uma resistência não drenada inferior a 25 kPa e “argila mole” o solo que possui o mesmo parâmetro, variando entre 25 e 50 kPa. Observa-se a partir dos resultados que a resistência ao cisalhamento não drenada aumenta com a profundidade. Para determinar a sensibilidade ( $St$ ), calculou-se a razão entre a resistência não drenada do solo no estado indeformado e a resistência do solo no estado amolgado, segundo a classificação de Skempton & Northey (1952). A sensibilidade tende a ficar constante em profundidade.

## 5 CONCLUSÕES

A caracterização geológico-geotécnica do solo permitiu conhecer suas características físicas e propriedades mecânicas. O perfil apresenta uma camada inicial de 3 metros de aterro assente em uma camada argilosa mole com cerca de 10 metros de espessura. Esta argila está sobre uma camada de areia com cerca de 12 metros, que esta sotoposta a uma segunda camada de argila de baixa consistência bastante espessa, esta com aproximadamente 20 metros. Aos 45 metros de profundidade, identificou-se uma areia compacta impenetrável ao trépano. Os ensaios atestaram a ocorrência de um solo com granulometria predominantemente fina (argilosa), altamente plástico e com umidade natural alta, características esperadas para um solo mole, cuja ocorrência foi identificada nos perfis das sondagens à percussão. Os resultados de adensamento identificaram a tensão de pré adensamento primeira camada de solo mole, sendo o valor médio de 58,5 kPa, e o  $C_v$  da ordem de  $10^{-3}$ . A partir dos resultados do Ensaio de Palheta, verificou-se que a resistência ao cisalhamento não drenada aumenta com a profundidade, apresentando um valor de 19,1 MPa e de 58,1 MPa para a primeira e segunda camada de argila mole, respectivamente. Conclui-se que para a ampliação da ETE, motivação dessa caracterização, necessita, inicialmente, de um tratamento do solo mole para que não ocorram

recalques excessivos das tubulações e o estado limite de serviço seja garantido; quanto às estruturas, estas devem estar apoiadas em fundação profunda.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1989). NBR 10905. *Solo – Ensaio de palheta in situ*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001). NBR 6484. *Solo – Sondagens de simples reconhecimentos com SPT – Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- American Society for Testing and Materials (2007). ASTM D2166. *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*. West Conshohocken.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 16853. *Solo – Ensaio de adensamento unidimensional*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016a). NBR 9604. *Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas – Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016b). NBR 7181. *Solo – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016c). NBR 6459. *Solo – Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016d). NBR 7180. *Solo – Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.
- Schnaid, F. & Odebrecht, E. (2012) *Ensaio de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações*, 2ª Edição, Editora Oficina de Textos, São Paulo/SP, 223p.
- Terzaghi, K., Peck, R.B. (1987) *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd ed., McGraw Hill, New York, NY, USA, 685 p.