

2 HISTÓRICO LOCAL

2.1 Descrição da obra

O local em estudo refere-se a um Centro Comercial de Serviços, com cerca de 30.000 m² de área, situado à Av. Ayrton Senna, Barra da Tijuca. Na Figura 22 encontra-se uma vista atual do empreendimento, onde se vê a presença de edificações e uma área utilizada como estacionamento. Na Figura 18 já se procurou identificar esta área, próxima à Terra Encantada. O terreno à esquerda da área de estudo encontra-se intacto e o da direita contempla um grande subsolo em substituição à camada argilosa de baixa capacidade de suporte.

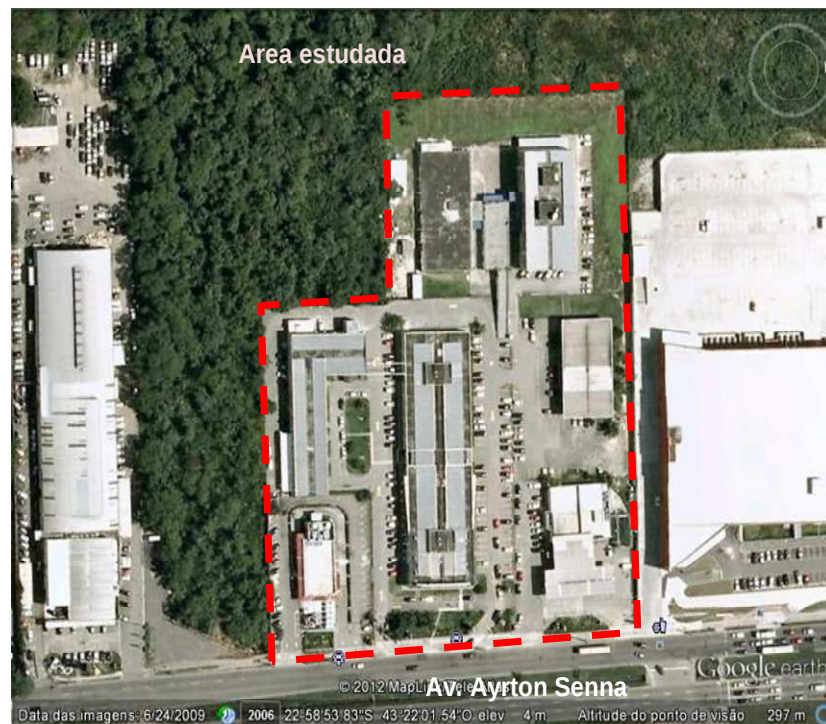


Figura 22 – Localização do terreno do empreendimento (2012).

O solo de fundação é constituído de camada de argila mole com espessura bastante variável. Os prédios localizados na área em estudo foram assentes em estacas metálicas e na área de estacionamento foi lançado um aterro de areia média limpa, diretamente sobre o solo natural.

2.2 Investigações geotécnicas realizadas na fase de implantação do empreendimento

As investigações geotécnicas, realizadas na fase de ante-projeto envolveram apenas a execução de sondagens. Por ocasião do projeto, foram realizadas sondagens complementares, ensaios de palheta e retirada de amostras indeformadas para realização de ensaios de adensamento e triaxial UU. A Figura 23 mostra a localização dos furos de sondagens a percussão (SP-i) e os locais de realização dos ensaios de palheta de campo (V-i). Nesta figura também estão mostradas as posições das placas de recalque (PL-i) e inclinômetros (I-i). Cabe destacar que os valores indicados ao lado de cada uma das verticais de ensaio explicita a espessura de argila mole registrada naquela vertical.

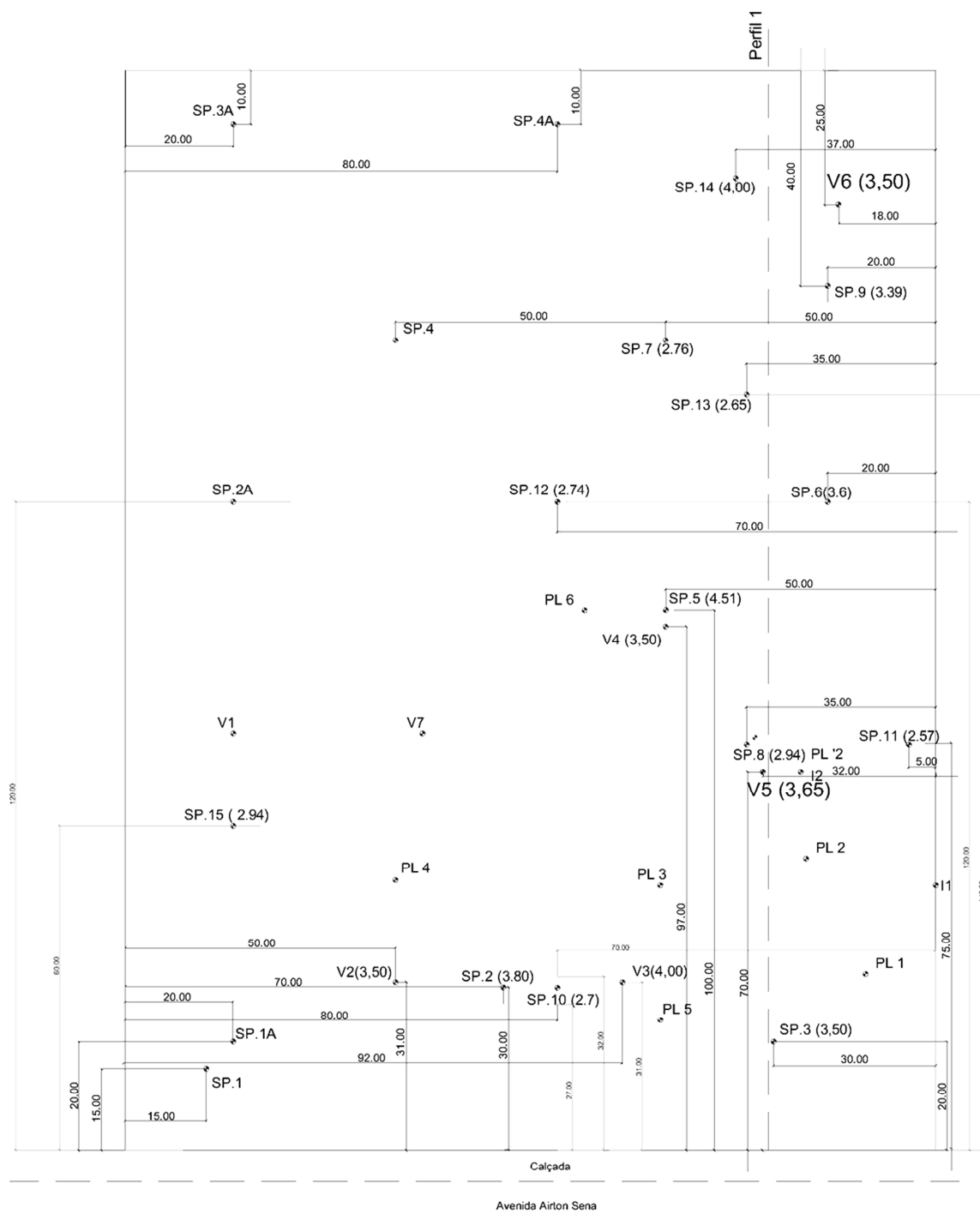


Figura 23 - Locação dos furos de sondagem e verticais dos ensaios Vane Test.

Foram realizados 02 furos para extração de amostras indeformadas, posicionados a 1,50 m dos ensaios Vane V-5 e V-6, respectivamente. Foi empregado amostrador de pistão estacionário de 4" para obtenção de amostras nas profundidades de 0,5 m, 1,5 m, 2,5 m, 3,5 m, e 1,0 m, 2,0 m, 3,0 m e 4,0 m.

Com base nos boletins de sondagens, foram traçados os perfis geotécnicos do terreno. A Figura 24 mostra um perfil típico (Perfil 1, indicado na Figura 23) onde se observa que os primeiros 3 a 4 metros do perfil do subsolo são constituídos por camadas de solos moles sobrejacentes a um solo arenoso.

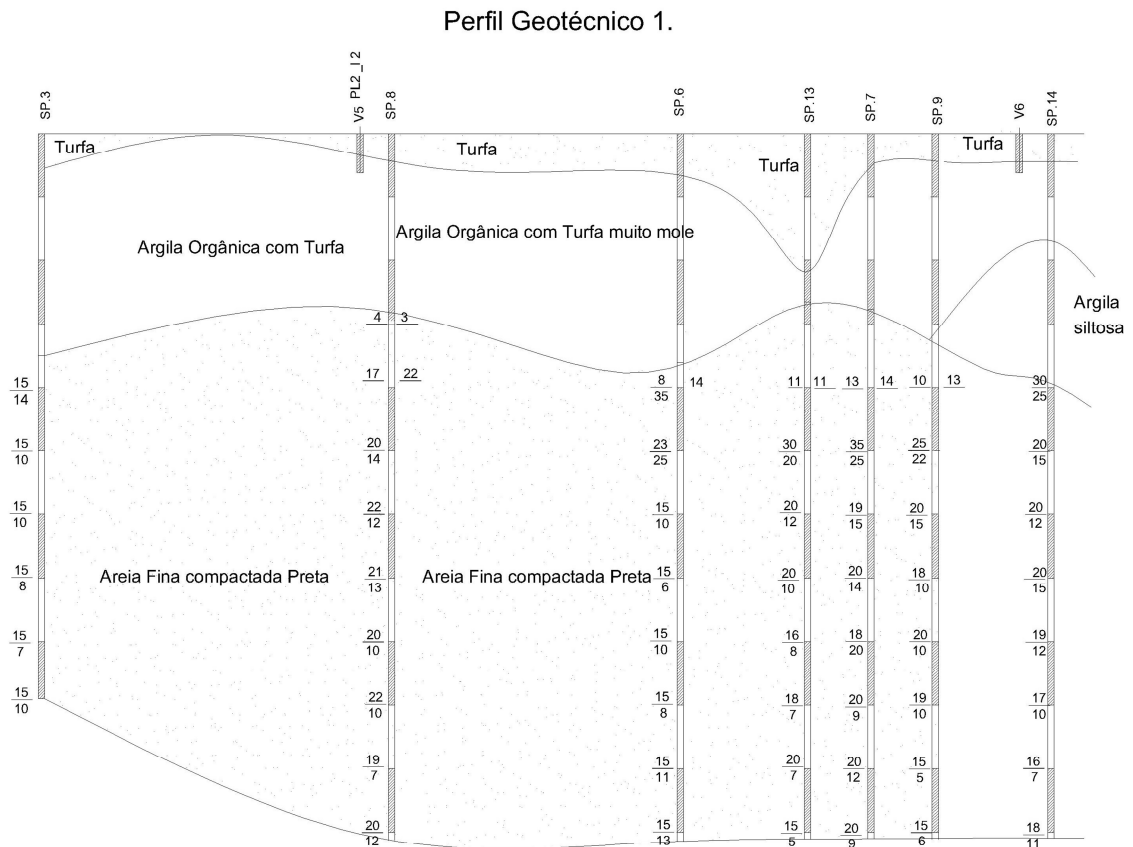


Figura 24 – Perfil geotécnico - Seção 1.

Com base nas informações obtidas nos diversos furos de sondagem, procurou-se traçar as curvas de iso-profundidade da camada de argila mole,

reproduzida na Figura 25, onde se observa uma espessura média da ordem de 3,5m com alguns poucos pontos atingindo cerca de 4m.

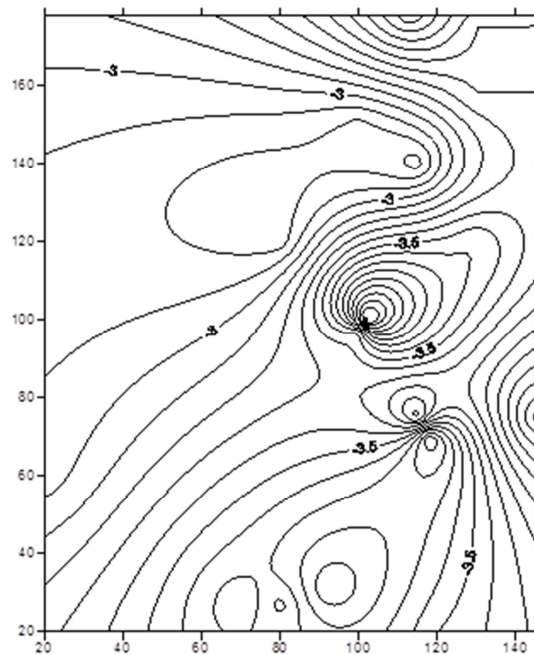


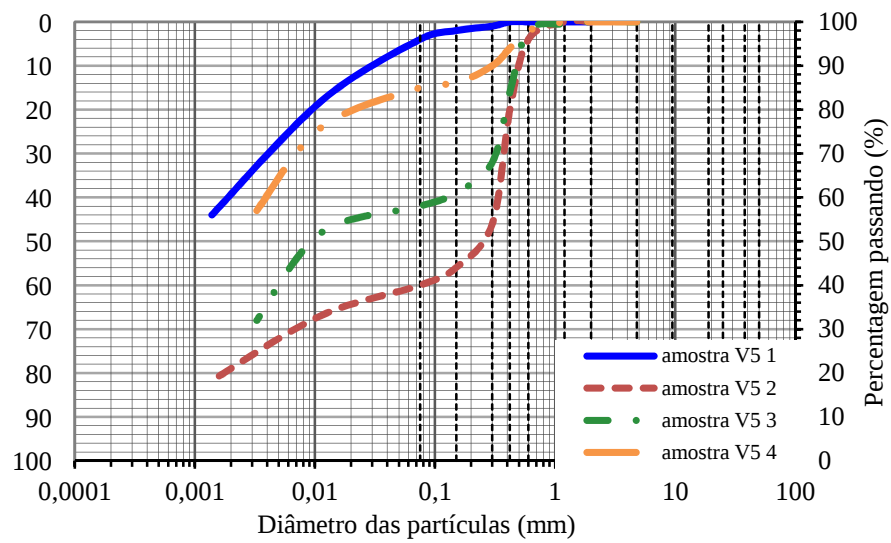
Figura 25 – Curvas de iso-profundidades da camada de argila mole no terreno.

Todas as informações relativas às investigações geotécnicas foram disponibilizadas para a presente pesquisa.

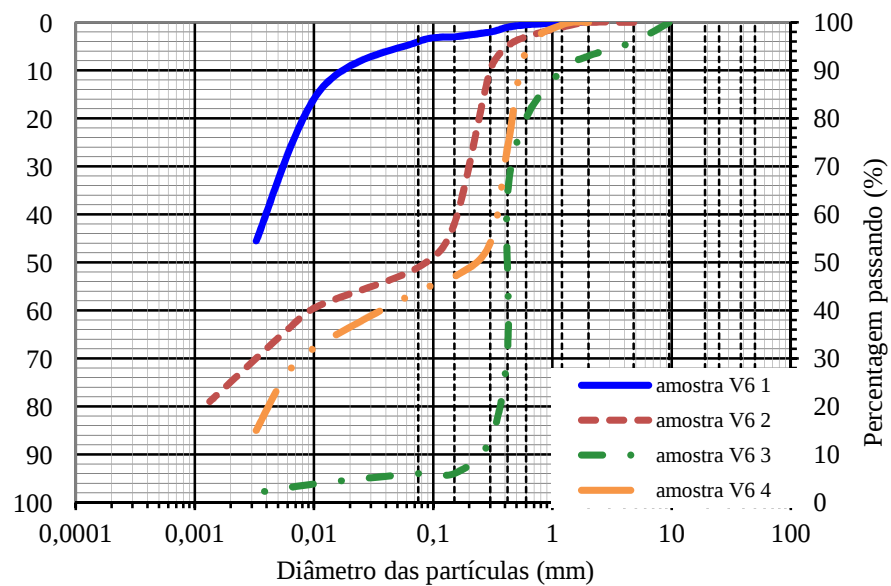
2.2.1 Caracterização antes do aterro

Foram realizados ensaios de caracterização seguindo as determinações da Norma Brasileira, com exceção da determinação dos limites de consistência que foi feita sem secagem prévia, diferentemente do que preconizam as normas.

As curvas granulométricas estão indicadas na Figura 26, onde se observa, na vertical V5, uma tendência de redução da porcentagem de argila com o aumento da profundidade (a numeração das amostras está em ordem crescente de profundidade). Já a vertical V6 mostra uma porcentagem de argila inferior à vertical V5, além da presença de um veio arenoso (amostra V6-3).



(a) Vertical V5



(b) Vertical V6

Figura 26 – Curvas granulométricas verticais V5 e V6.

Os percentuais de areia e argila, referentes a cada vertical, estão mostrados na Tabela 7 e caracterizam a vertical V6 como um solo com grande quantidade de areia.

Tabela 7 – Resultados dos ensaios de caracterização percentual retido na peneira #200.

AMOSTRA	PROF. (m)	%<0,002	%>#200
V5 01	0,58	62,00%	4,00%
V5 02	1,58	24,00%	58,00%
V5 03	2,58	38,00%	42,00%
V5 04	3,58	62,00%	15,00%
V6 01	0,58	66,00%	4,00%
V6 02	1,58	22,00%	51,00%
V6 03	2,58	3,00%	94,00%
V6 04	3,58	18,00%	56,00%

Os ensaios de caracterização (Figura 27 e Tabela 8) registraram um material com umidade de cerca de 500% na superfície até 1,00 m de profundidade, reduzindo para 200% de 1,00 a 3,00 m, e voltando a valores elevados nas profundidades de 3,00 a 4,00 m. Os valores de limite de liquidez variaram de 460 a 796%, limite de plasticidade de 103 a 181%, e o peso específico natural apresentou valores próximos e inferiores a 12 kN/m³, valor este reduzido quando comparado a outros depósitos de argila mole já documentados. Os índices de vazios apresentaram valores extremamente elevados, variando de 6 a 13.

Tabela 8 - Ensaio de caracterização – Fase de projeto.

AMOSTRA	PROF. (m)	γ_{nat} (kN/m ³)	G	e_0	w ^{nat} (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
V5 am 01	0,58	10,52	1,89	11,77	503,10	671,00	150,00	521,00
V5 am 02	1,58	11,71	2,40	12,82	255,60	460,00	132,00	328,00
V5 am 03	2,58	12,39	2,55	6,87	188,20	96,00	31,00	65,00
V5 am 04	3,58	11,12	2,06	11,48	494,40	653,00	181,00	472,00
V6 am 01	0,58	10,69	1,88	9,61	513,40	796,00	141,00	655,00
V6 am 02	1,58	11,97	2,38	11,06	228,00	610,00	156,00	454,00
V6 am 03	2,58	-	2,65	-	-	n plástico	n plástico	n plástico
V6 am 04	3,58	10,59	2,31	10,07	418,20	473,00	103,00	370,00

Cabe destacar a similaridade dos resultados dos ensaios de caracterização com os casos de obra resumidos no capítulo 1, referentes à Baixada de Jacarepaguá.

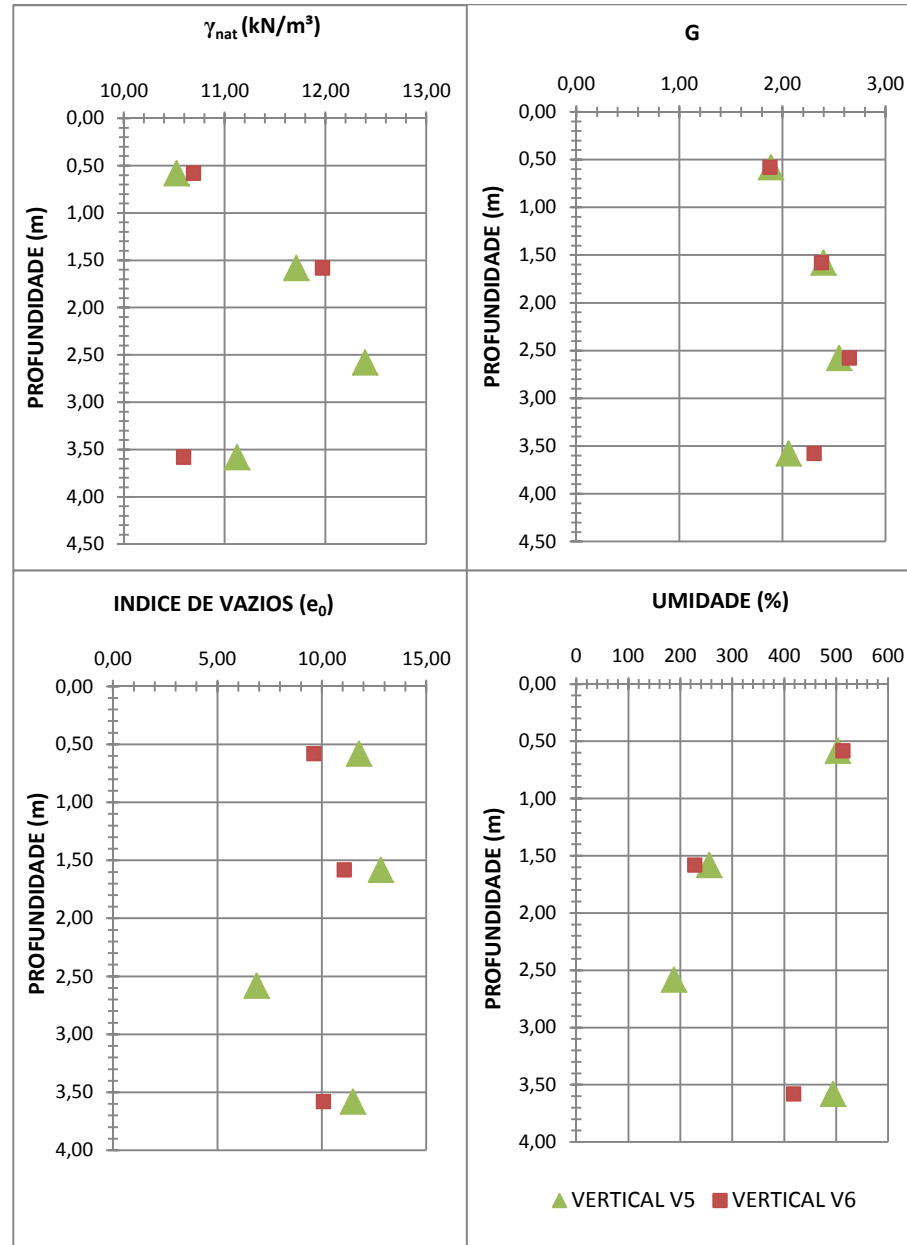


Figura 27 – Resultados dos ensaios de caracterização.

2.2.2 Parâmetros de Compressibilidade

A Figura 28 e Figura 29 mostram as curvas de compressibilidade $e/e_0 \times \log \sigma'_v$ obtidas nos ensaios, para os dois perfis de extração de amostras. Cabe ressaltar que todos os resultados aqui apresentados foram construídos a partir das planilhas

de ensaio (Relatório Geotécnica 2500/97, 1997), também disponibilizadas para o presente estudo.

Considerando-se todos os critérios apresentados para classificação da qualidade das amostras, observou-se, a partir dos resultados mostrados na Tabela 9, que a maioria dos corpos de prova apresentou boa qualidade. Apesar do critério de Lunne et al. (1997) ser aplicado a OCRs inferiores a 4, esta limitação foi desconsiderada no presente trabalho, tendo em vista que a forma da curva mostra características de um corpo de prova de boa qualidade: (i) não achatamento da curva; (ii) a não linearidade do trecho virgem.

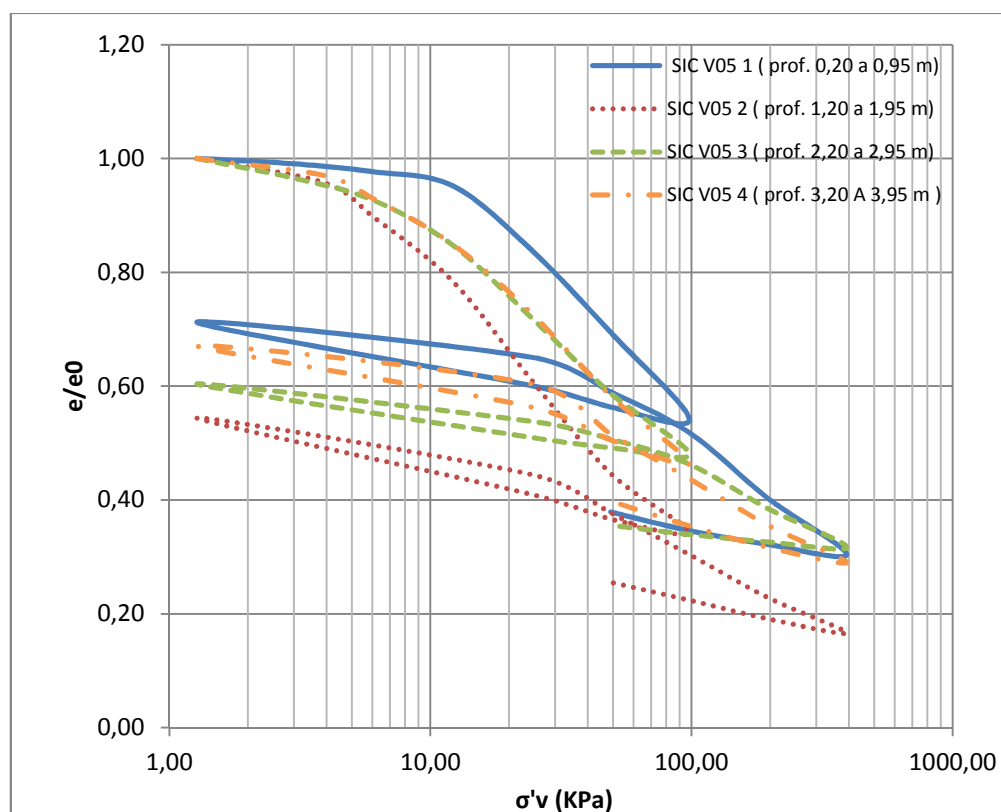


Figura 28 – Gráfico $e/e_0 \times \sigma'_v$ obtido na reinterpretação dos ensaios SIC da vertical V5.

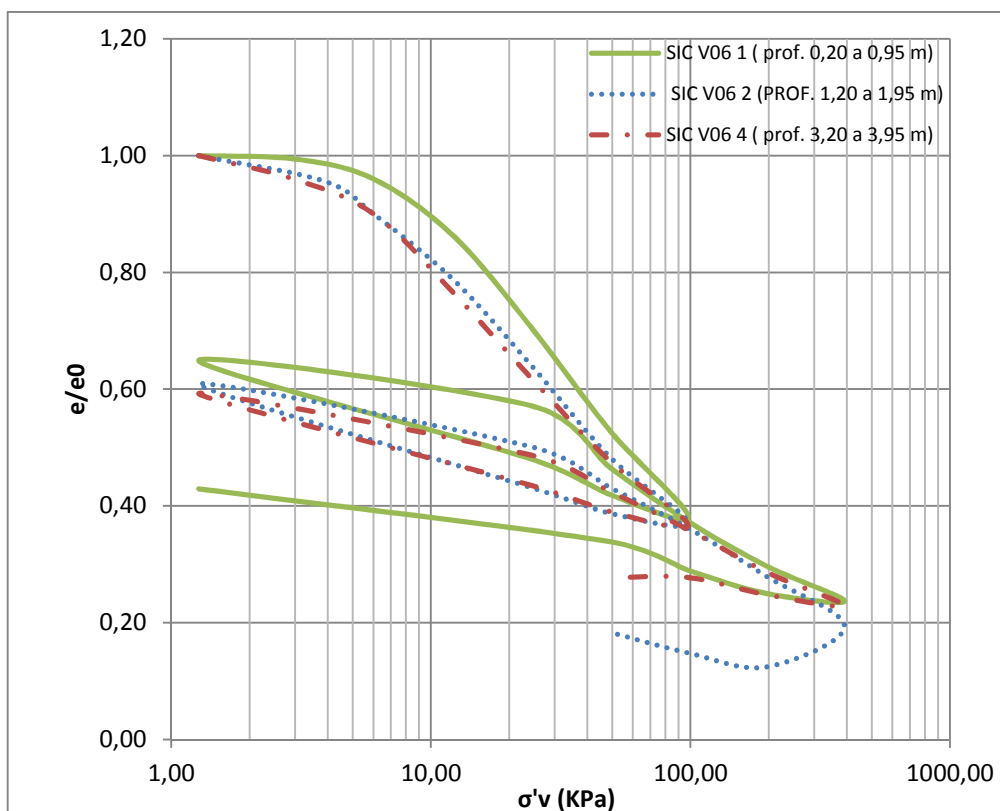


Figura 29 - Gráfico $e/e_0 \times \sigma'_v$ obtido na reinterpretação dos ensaios SIC da vertical V6.

Tabela 9 – Qualidade dos corpos de prova das verticais V5 e V6 antes da construção do aterro, considerando os critérios propostos na Tabela 5.

AMOSTRA	σ'_{vm} (kPa)	σ'_{v0} (kPa)	OCR	e_0	$e(\sigma'_{v0})$	$\Delta e/e_0$	Classificação
V5 1	15	0,30	50,0	11,77	11,65	0,01	Excelente a Muito Boa
V5 2	7	1,51	4,6	12,82	12,56	0,02	Excelente a Muito Boa
V5 3	7	3,61	1,9	6,87	6,60	0,04	Boa a Aceitável
V5 4	9	5,27	1,7	11,48	10,91	0,05	Boa a Aceitável
V6 1	9	0,30	30,0	9,61	9,51	0,01	Excelente a Muito Boa
V6 2	7	1,51	4,6	11,06	10,84	0,02	Excelente a Muito Boa
V6 3	-	-	-	-	-	-	Veio Solo Arenoso-
V6 4	6	5,27	1,1	10,07	9,26	0,08	Ruim

A Figura 30 mostra a variação do coeficiente de adensamento com a tensão efetiva. De uma maneira geral, os ensaios forneceram padrões de curva compatíveis com o que seria esperado; isto é, no trecho de pré-adensamento observam-se valores mais elevados de c_v .

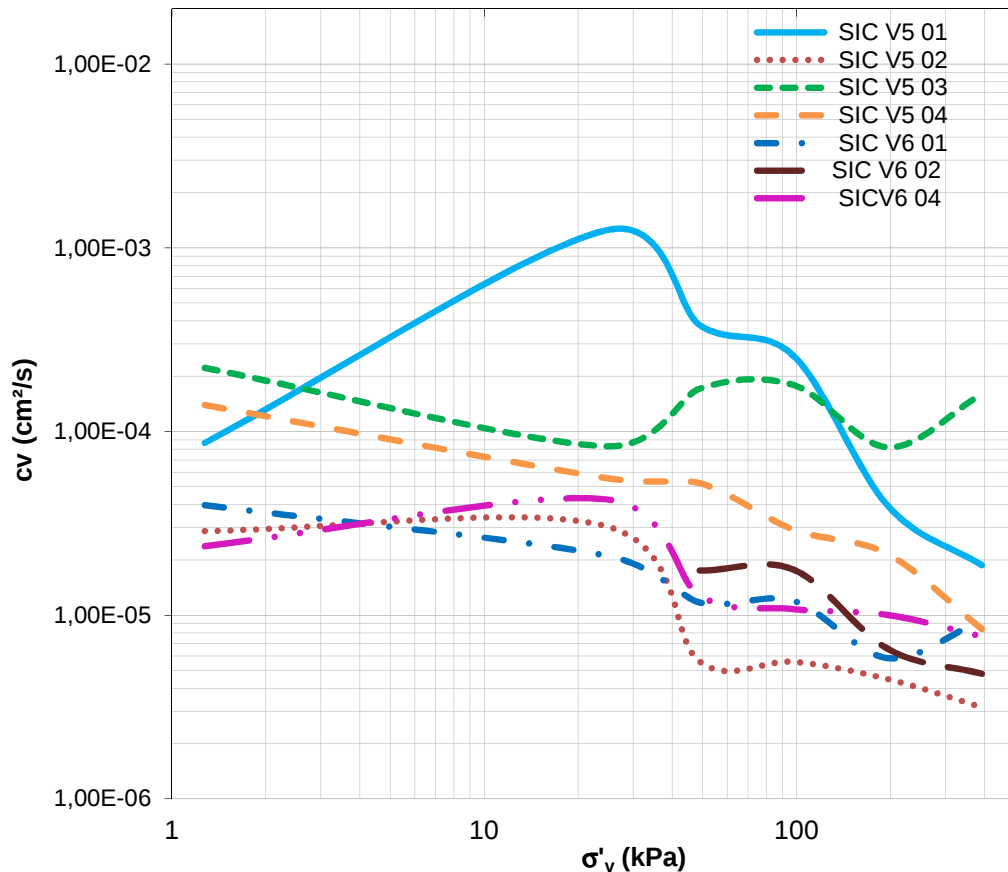


Figura 30 – Variação do coeficiente de adensamento em função da tensão efetiva vertical.

Os valores do coeficiente de variação volumétrica (m_v) em função da tensão efetiva estão mostrados na Figura 31. Desprezando-se o primeiro estágio de carga, as curvas mostram a tendência de redução da compressibilidade com o aumento da tensão efetiva, a uma taxa relativamente comum em todos os ensaios.

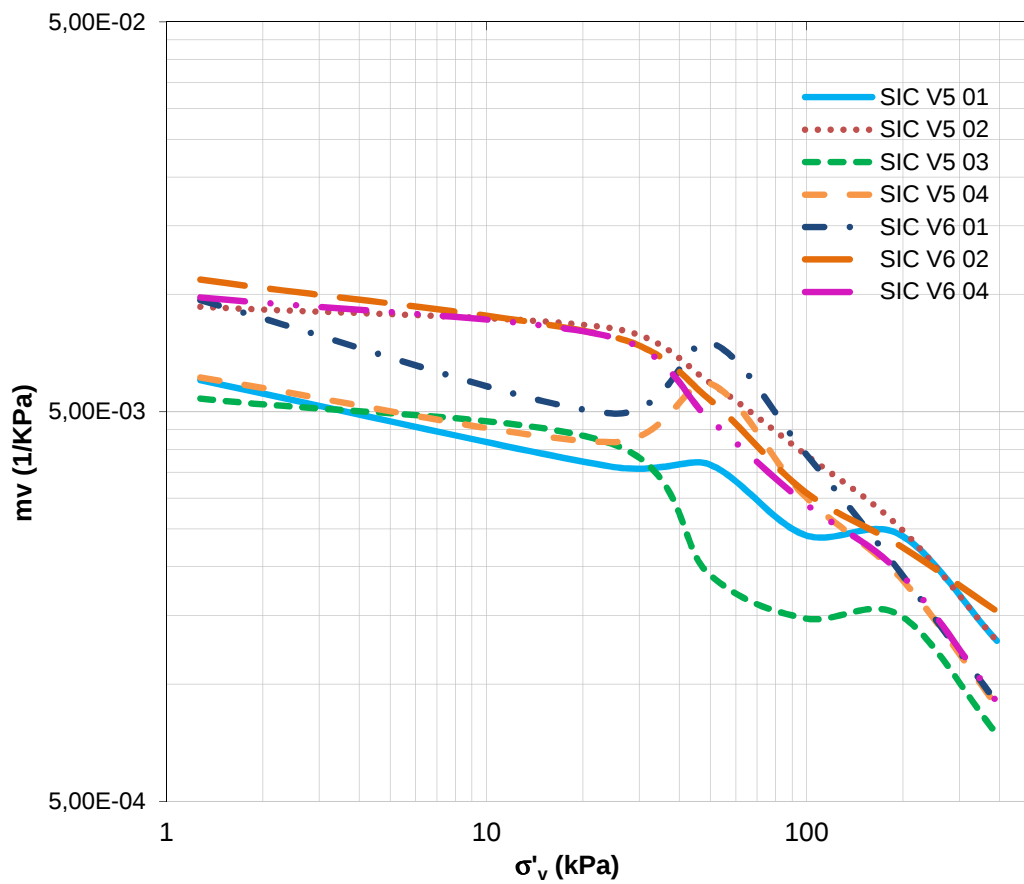


Figura 31 – Valores do coeficiente de variação volumétrica m_v dos ensaios SIC da vertical V5 e V6.

A Tabela 10 resume os valores médios dos parâmetros de compressibilidade e de adensamento, fornecidos pelos ensaios, ao longo da profundidade como mostra a Figura 32. As tensões de pré-adensamento situam-se na faixa de 6 a 10 kPa, resultando na identificação de uma crosta superficial com OCR superior a 4,6, e chegando a 1, na base da camada mole.

Tabela 10 – Parâmetros obtidos nos ensaios antes do aterro.

AMOSTRA	σ'_{vm} (kPa)	c_c	C_r	$C_c/(1+e_0)$	$C_r/(1+e_0)$
V5 01	15	5,88	0,40	0,46	0,03
V5 02	7	7,10	1,20	0,51	0,08
V5 03	7	2,78	0,43	0,35	0,05
V5 04	9	5,12	1,25	0,41	0,10
V6 01	9	5,13	1,40	0,49	0,13
V6 02	7	5,52	1,48	0,46	0,12
V6 03	–	–	–	–	–
V6 04	6	4,93	1,25	0,45	0,11

O coeficiente de adensamento médio na vertical V5 está na faixa próxima a 1×10^{-4} cm²/seg. Já, na vertical V6, a dispersão foi menor e o c_v médio foi de 2×10^{-5} cm²/seg. Curiosamente, na vertical V6, foi observada uma maior porcentagem de areia e, neste caso, seriam esperados maiores valores de c_v . Com isso, a autora atribui este comportamento atípico à dispersão natural no valor de c_v e não a um determinado padrão de comportamento (Figura 30).

Os valores médios dos coeficientes de compressibilidade C_c e C_r foram da ordem de 5 e 1, respectivamente, e não se observou redução na dispersão dos resultados quando os valores foram normalizados por $(1+e_0)$, Figura 32.

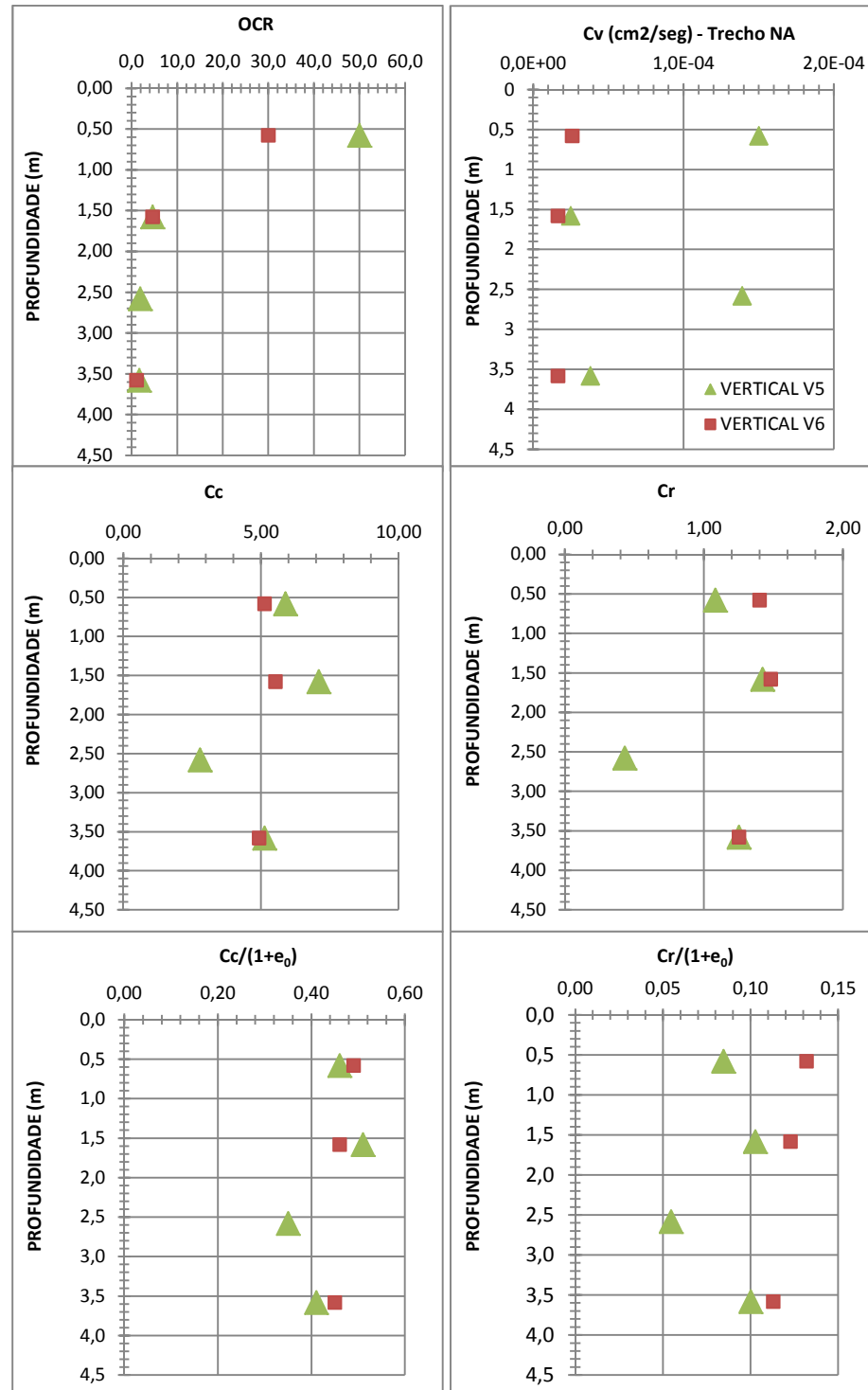


Figura 32 - Parâmetros obtidos nos ensaios de adensamento

2.2.2.1 Resistência não drenada

Ensaio de palheta foram executados com equipamento tipo SGI, com sapata protetora, segundo a MB 3122/89. Alguns dos locais de ensaio foram posicionados próximos às verticais de amostragem para possibilitar aferição das informações. Os resultados obtidos nos ensaios apresentados na Figura 33 mostram a tendência de crescimento de S_u com a profundidade, sendo a taxa de crescimento aproximadamente constante para as condições indeformada e amolgada.

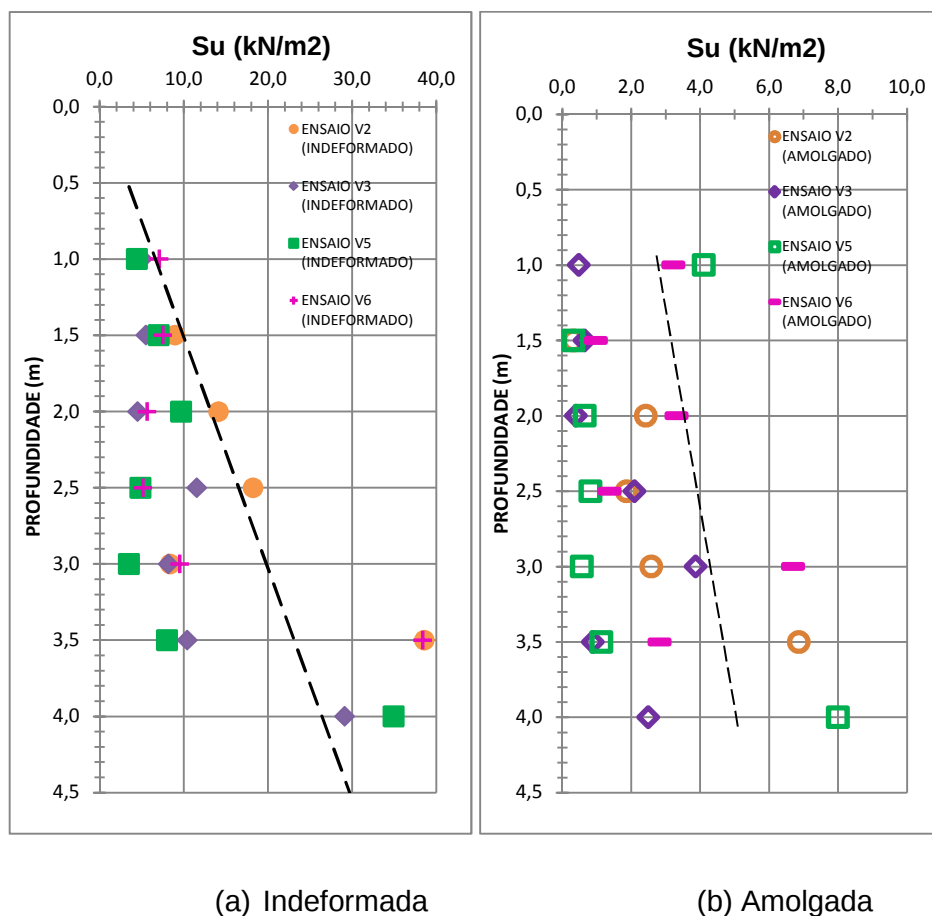


Figura 33 – Resistência não drenada obtidos nos ensaios de palheta.

A sensibilidade do solo é de grande importância para se avaliar os efeitos de amolgamento ocasionados pela amostragem. Quanto mais sensível for o corpo de prova, mais acentuada será a redução da resistência ao cisalhamento com o amolgamento. Os ensaios de palheta forneceram valores de sensibilidade entre 1,07

e 21,94 (Tabela 11), sendo o solo, portanto, classificado como sendo majoritariamente sensível.

Tabela 11 - Sensibilidade das argilas das amostras das verticais V5 e V6 antes da construção do aterro.

PROFUNDIDADE (m)	Vertical V5		Vertical V6	
	Sensibilidade	Classificação	Sensibilidade	Classificação
0,50	-	-	-	-
1,00	1,07	pouco sensível	2,20	medianamente sensível
1,50	21,94	muito sensível	7,73	sensível
2,00	14,89	muito sensível	1,70	pouco sensível
2,50	5,98	sensível	3,77	medianamente sensível
3,00	6,20	sensível	1,42	pouco sensível
3,50	7,07	sensível	13,62	muito sensível
4,00	4,37	sensível	-	-

A Figura 34 mostra os resultados dos ensaios triaxiais UU em conjunto com os ensaios de palheta próximos aos locais de extração das amostras. Curiosamente, ao contrário da tendência global, a resistência não drenada mostrou-se aproximadamente constante, da ordem de 8kPa.

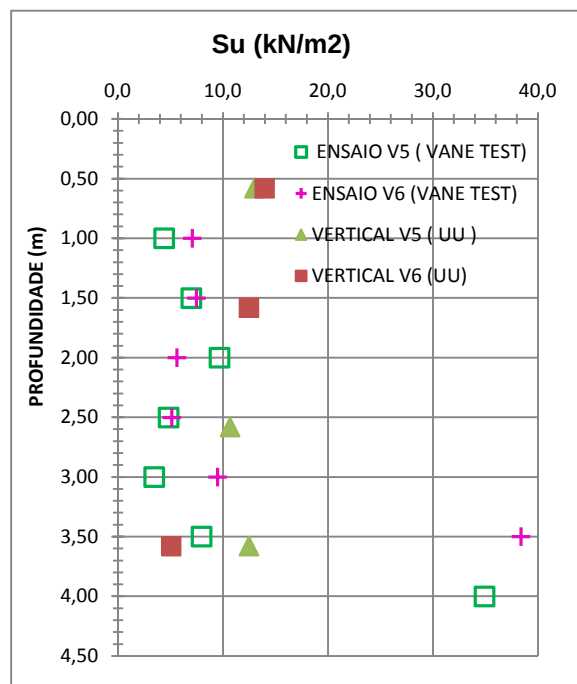


Figura 34 – Resistência não drenada obtidos nos ensaios de palheta.

2.3 Projeto do Aterro

Nos estudos de implantação do aterro foram traçados perfis geotécnicos do terreno com base em informações obtidas nos relatórios de sondagens à percussão e ensaios de laboratório. Nestes perfis foi observado que a camada de argila mole apresentava espessura variável, com trechos considerados mais críticos que chegavam a cerca de 4,0 m de espessura. Logo, a altura inicialmente prevista para execução deste aterro foi de 1,7 m, com talude projetado de 10 m na horizontal. Uma camada de geotêxtil OP 30 foi instalada na base do aterro, originalmente projetado na região com espessura de argila mole superior a 2 m, objetivando a uniformização do recalque e a redução dos riscos de rupturas localizadas. Porém, por ocasião da obra, o cliente optou por estender a camada de geotêxtil em toda a área aterrada.

Para os trechos em que a camada mole atingia cerca de 4,0m foram feitos os cálculos iniciais para previsão dos recalques por adensamento primário. Estes recalques variaram de 1,20 m, considerando a submersão do aterro, a 1,35 m sem a consideração da submersão. Ambos os cálculos consideravam a divisão da camada mole em 4 subcamadas, correspondentes às informações que se obteve na campanha inicial de ensaios.

A Figura 35 ilustra a seção transversal do projeto original junto ao terreno vizinho, onde se previra, originalmente, um reforço com geogrelha na região do talude do aterro, numa extensão de 17 m, adentrando 7 m além da crista do talude. No entanto, face ao custo elevado do reforço naquela ocasião, este reforço foi substituído por uma malha de aço TELCON, cujo comportamento se mostrou adequado.

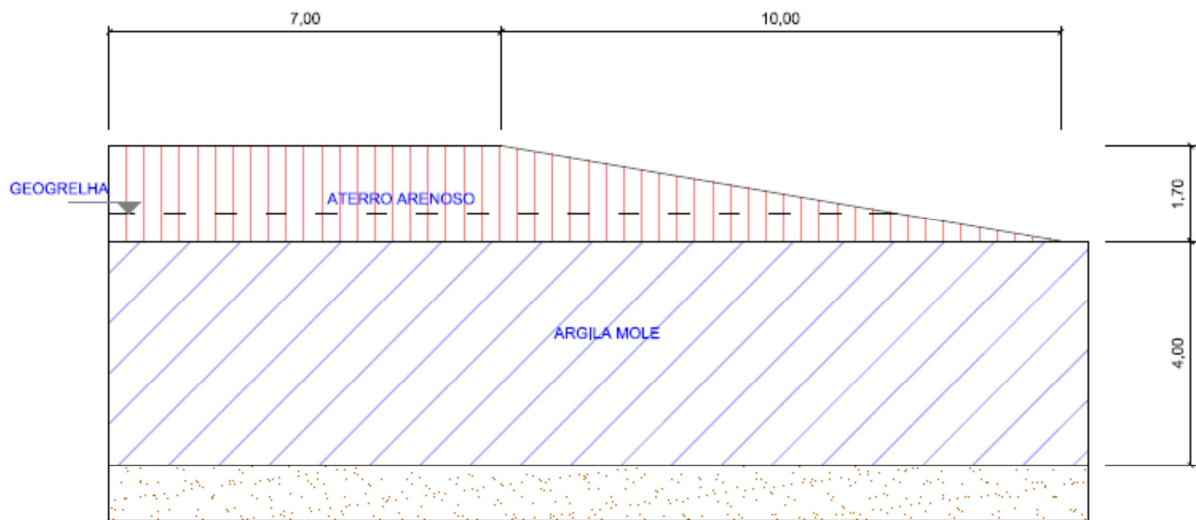


Figura 35 – Esquema da previsão da construção do aterro junto ao terreno vizinho.

O alteamento do aterro foi executado em etapas não superiores a 50 cm. O desempenho de cada etapa, bem como o desenvolvimento dos recalques com o tempo, foi verificado por meio de instrumentação que incluiu 6 placas de recalque e o acompanhamento de duas verticais de inclinômetro. A instrumentação foi acompanhada por um período de 12 anos, e os dados muito bem documentados.

Vale salientar que a previsão inicial para tal solução era de ocorrência de recalques significativos após a conclusão da obra. Ressaltou-se também, a influência dos recalques do aterro sobre as fundações profundas, promovendo a ação do atrito negativo e do efeito Tschebotariof. Este foi o motivo de ter se optado por estacas metálicas como fundação da estrutura, com resistência considerável à flexão.