



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

**Patologia das Fundações
Profundas: Um Caso Geotécnico
Forense na Barra da Tijuca**

**Anna Clara Jubé
Mariana Gioia**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CENTRO TÉCNICO CIENTÍFICO - CTC

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

CIVIL E AMBIENTAL

Graduação em Engenharia Civil

Rio de Janeiro, novembro de 2023.

**Anna Clara Jubé
Mariana Gioia**

**Patologia das Fundações Profundas: Um
Caso Geotécnico Forense na Barra da Tijuca**

Trabalho de Conclusão de Curso

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao programa de graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio como requisito parcial para a obtenção do título de graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Dcs. Alessandro Cirone

Rio de Janeiro
Novembro de 2023.

“Muitas das coisas mais importantes do mundo foram conseguidas por pessoas que continuaram tentando quando parecia não haver mais nenhuma esperança de sucesso”.

- Dale Carnegie

Agradecimentos

Anna Clara Jubé

Em primeiro lugar agradeço à Deus por ter me ajudado a alcançar meus objetivos, por me proteger e honrar. À Ti toda honra e toda glória sempre.

Aos meus pais, meus alicerces, Anna Stephanie e José Carlos Jubé, que sempre me incentivaram nos momentos mais difíceis, me deram amor, carinho, colo e nunca deixaram nada me faltar. Sem vocês nada disso seria possível. Essa conquista é nossa.

Ao meu irmão, João Pedro Jubé, que esteve comigo ao longo da minha jornada, pelo companheirismo.

Aos meus demais familiares, principalmente, minha tia Elizabeth Jubé, Claudia Sande e meus padrinhos, Aparecida e Sergio Lucas, que tanto me ajudaram, apoiaram e incentivaram.

À minha dupla, Mariana Gioia, por ter embarcado nesse projeto comigo, pela amizade, carinho e dedicação. Foi um prazer inenarrável compartilhar a minha última lembrança da graduação contigo, nunca esquecerei. Obrigada por tudo.

Aos meus amigos e amigas que vibraram com as minhas conquistas e me apoiaram nos momentos de dificuldade, em especial, Stefanie Sampaio, Natalia Almada, Edna Santos, Ana Julia Amorim, Julia Fionda, Rebeca Accioly, Isabella Monteiro e Camilla Moraes que compartilharam toda essa trajetória e sem dúvidas foram essenciais na minha caminhada.

Ao professor Alessandro Cirone, por ter sido nosso orientador e ter ajudado com tanto carinho e dedicação a realização do nosso projeto.

Aos meus colegas de profissão com quem convivi ao longo desses anos de curso, que me ajudaram, impulsionaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

À instituição de ensino PUC-Rio e seu corpo docente, essenciais no meu processo de formação profissional.

Mariana Gioia

Inicialmente, expresso minha gratidão ao Universo por conceder-me clareza e serenidade durante a elaboração deste trabalho.

Aos meus pais, Ana Paula Aragão e Marcello Gioia, meu profundo agradecimento por terem sido pilares essenciais em minha jornada, auxiliando-me a alcançar meus objetivos e celebrar esta conquista. Sem a presença de vocês, nada disso teria sido possível.

Às duas figuras que estiveram presentes desde o meu primeiro dia na graduação, mesmo em outro plano, Vera Lucia

Allonso e Mario Gioia, compartilho esta vitória conosco. Esta conquista é fruto do nosso vínculo especial.

Ao Professor Alessandro Cirone, expresso minha sincera gratidão pela orientação dedicada e clara neste trabalho. Seu conhecimento, afeto e apoio foram elementos fundamentais nessa trajetória, e não há palavras que possam expressar plenamente meus agradecimentos.

À minha parceira de equipe, Anna Clara Jubé, este trabalho não teria sido possível sem seu suporte, amizade, inteligência e companheirismo. Trabalhar com você foi um prazer imenso, e a nossa parceria foi verdadeiramente maravilhosa. Agradeço pela trajetória compartilhada.

Aos amigos e colegas de profissão, agradeço pelas ricas trocas ao longo desses anos. As discussões e conclusões sobre uma variedade de temas foram fundamentais para o meu crescimento pessoal e profissional.

À PUC-Rio, expresso minha gratidão por abraçar-me ao longo deste percurso, proporcionando desafios e oportunidades que contribuíram significativamente para o meu crescimento profissional. As experiências vividas nessa instituição jamais serão esquecidas.

Resumo

JUBÉ, Anna Clara. GIOIA, Mariana. Patologia das Fundações Profundas: Um Caso Geotécnico Forense na Barra da Tijuca. Rio de Janeiro, 2023. 36 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho objetiva investigar e analisar um caso geotécnico em um empreendimento na Barra da Tijuca, no Rio de Janeiro, abordando as possíveis causas que ocasionaram o mau desempenho das estruturas de fundação. O presente documento discorre a temática da pesquisa geotécnica forense e das patologias das fundações profundas. O estudo identificou que a causa da patologia se deve a um erro de projeto no dimensionamento das estacas.

Palavras-chave: Fundações, Fundações Profundas, Patologia, Investigação Forense, Caso Geotécnico

Abstract

JUBÉ, Anna Clara. GIOIA, Mariana. Pathology of Deep Foundations: A Forensic Geotechnical Case in Barra da Tijuca. Rio de Janeiro, 2023. 36 p. Bachelor's Thesis – Department of Civil and Environmental Engineering. Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro.

This paper aims to investigate and analyze a geotechnical case in a construction in Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, addressing the possible causes that led to the poor performance of foundation structures. The present document discusses the topic of forensic geotechnical research and deep foundation pathologies. The study identified that the cause of the pathology is due to a design error in the sizing of the piles.

Key-words: Foundations, Deep Foundations, Pathology, Forensic Investigation, Geotechnical Case.

Sumário

1. Introdução.....	8
2. Descrição do Empreendimento	11
2.1. Localização	11
2.2. Contexto Geológico, Geomorfológico e Geotécnico	11
2.3. Tipologia das Fundações.....	13
2.4. Perfil Geotécnico do Solo	14
3. Estudos Geotécnicos Realizados.....	21
3.1. Análise das Campanhas SPT.....	21
3.2. Ensaio de Integridade de Estacas (PIT).....	22
3.3. Prova de Carga Estática (PCE).....	23
3.4. Prova de Carga Dinâmica (PDA)	26
3.5. Capacidade de carga admissível e comprimentos adotados no projeto.....	26
4. Comentários Finais	30
Referências Bibliográficas	31
Anexos	33

1. Introdução

As pesquisas forenses geotécnicas são de extrema importância para a engenharia civil pois ajudam a compreender melhor as causas de acidentes. São grandes aliadas para elevar a segurança de obras geotécnicas e são extremamente eficazes, também, para auxiliar tomadas de decisões. Na maioria das vezes, pesquisas forenses são conduzidas em casos que promovem litígios, buscando detectar as causas das falhas e os eventuais responsáveis.

O presente documento objetiva investigar e analisar um caso geotécnico forense em um empreendimento na Barra da Tijuca, no Rio de Janeiro, abordando as possíveis causas que ocasionaram o mau desempenho das estruturas de fundação, de modo a entender a problemática e realizar os procedimentos para a resolução do caso. O estudo foi conduzido por meio de avaliação técnica de projeto, alinhado com uma robusta bibliografia de patologias e investigações forenses geotécnicas, além de pesquisas e laudos de campo.

Os problemas que podem surgir em uma edificação durante e depois de concluída, com maior custo de reparo, estão relacionados às fundações (ALONSO, 2019). Por esse motivo, se faz necessário determinar as principais fontes desses inconvenientes (MILITITSKY et al., 2015). Dentre as principais questões que compõem a patologia das fundações, encontram-se fissuras, deslocamentos, assentamentos e rotações que têm o potencial de impactar adversamente a integridade estrutural da edificação (ALONSO, 2020).

“Uma fundação é o resultado da necessidade de transmissão de cargas ao solo pela construção de uma estrutura. Seu comportamento a longo prazo pode ser afetado por inúmeros fatores, iniciando por aqueles decorrentes do projeto propriamente dito, que envolve o conhecimento do solo, passando pelos procedimentos construtivos e finalizando por efeitos de acontecimentos pós-implantação, incluindo sua possível degradação.” (Jarbas Milititsky, 2015, p.9).

As patologias em obras civis têm sido reportadas e observadas de forma frequente, tanto no Brasil como no mundo. Foi feito um levantamento estatístico, por Silva (1993), de 318 eventos estudados, no Rio Grande do Sul, para explicitar a abrangência dos casos patológicos em obras de pequeno porte. Ao fim do seu estudo, foi desenhado um gráfico que descreve a origem dos problemas em fundações correntes:

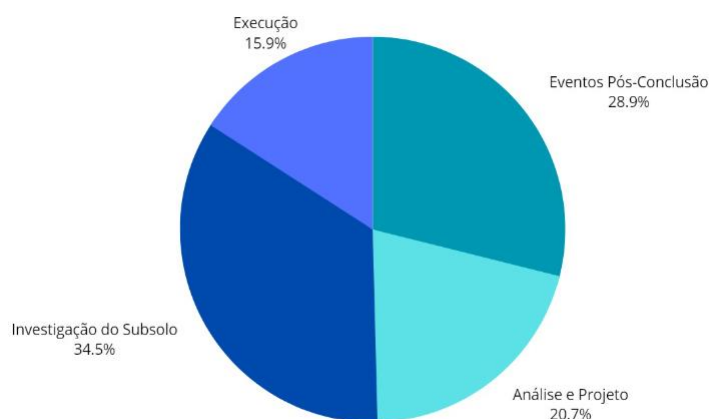


Figura 1 – Casos Patológicos em obras de pequeno porte (SILVA,1993)

Neste Trabalho de Conclusão de Curso, as temáticas das patologias de fundações e da investigação geotécnica forense serão discutidas. Ao longo do documento, são apresentados ensaios, análises, gráficos, argumentações e conclusões embasadas em evidências e dados concretos para compreensão do ocorrido nesse empreendimento em questão e possíveis soluções para contorná-lo. A importância deste caso reside na sua capacidade de ilustrar como contratempos durante a fase de execução da fundação e deficiência de projeto, podem resultar em impactos financeiros negativos, atrasos de cronograma, retrabalhos de construção e periculosidades para a população.

No caso em estudo, o impacto financeiro foi substancial, alcançando a marca de aproximadamente 11 (onze) milhões de reais. O seguro de obras foi acionado pela construtora após as patologias de fundações terem se manifestado na forma de recalques significativos, da ordem de 4,0 a 10,0 cm, na estrutura do empreendimento. A patologia foi identificada após a finalização da concretagem da 4ª laje do bloco 3.

Os engenheiros de obra perceberam que a problemática poderia ter sido causada por parte da fundação, e assim iniciou-se o processo de investigação para a identificação do real motivo da patologia. O tipo de fundação adotada para esse tipo de solo foi a estaca tipo hélice contínua. O prédio foi macaqueado para realização do reforço das fundações.

Para facilitar a compreensão do contexto descrito acima, esta monografia está estruturada da seguinte forma:

1. Contextualização inicial: Nessa seção, fornecemos informações detalhadas sobre o empreendimento, incluindo sua localização, características geotécnicas e geológicas do solo, perfil geológico e resultados das sondagens.

2. Estudos realizados e testes apresentados: Na segunda parte, abordamos os estudos realizados e apresentamos os testes que foram conduzidos, juntamente com os instrumentos utilizados para conduzir esses estudos.
3. Discussão das anomalias e análise dos resultados: A próxima seção inclui uma análise aprofundada das anomalias identificadas e uma análise minuciosa dos resultados obtidos por meio dos testes realizados.
4. Considerações finais e sugestões: Finalmente, na última etapa, apresentamos as considerações finais deste estudo, destacando as razões das falhas encontradas durante a pesquisa e oferecendo possíveis soluções para esses desafios.

2. Descrição do Empreendimento

2.1. Localização

O caso em estudo consiste em um empreendimento residencial com três torres com térreo e subsolo comuns, 6 pavimentos de apartamentos e cobertura. Está localizado na Avenida Lucio Costa, em frente à praia da Barra da Tijuca, no Rio de Janeiro.

Para uma divisão mais clara do empreendimento que possui cerca de 900m², o projeto estrutural dividiu o empreendimento em 9 trechos: três torres (blocos) e seis periferias contemplando todo o embasamento da obra, conforme a Figura 2.

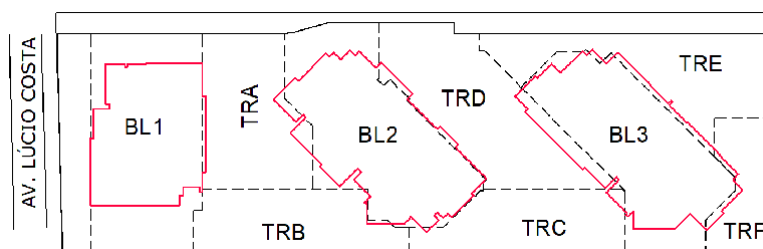


Figura 2 - Croqui do Empreendimento

2.2. Contexto Geológico, Geomorfológico e Geotécnico

O empreendimento fica situado em uma faixa da Baixada de Jacarépagua que, de acordo com Roncarati & Neves (1976), é uma região que possui um embasamento cristalino composto por rochas ígneas e metamórficas.

A composição geológica presente na região da baixada estudada é categorizada com “Qhml”, o trecho onde o objeto de estudo está localizado está sinalizado por um retângulo vermelho como mostra o mapa abaixo.



QUATERNÁRIO	Qhml	Depósito Praias Eólicas, Marinhas e/ou Lagunares Areias quartzosas esbranquiçadas, finas a médias, bem selecionadas, recobertas por areia eólicas na forma de depósitos eólicos Mantiformes ou dunas transgressivas. Estratificações cruzadas de pequeno e grande porte nas fácies eólicas
	Qhfl	Depósito Flúvio-Lagunares Areias e lamas sobrejacentes a camadas de areias biotriticas e/ou sedimentos lamosos de fundo lagunar, e ocorrências de turfas. Nos depósitos associados ao canal fluvial (depósitos residuais de canais) ocorrem areias e cascalhos.
CAMBIANO	εγ5	Granitóides pós-tectônicos (Hornblenda)-biotita granitóides do tipo-I, de granulação fina a média, textura equigranular a porfírica localmente com foliação de fluxo magmático preservada. Ocorrem como corpos tabulares, diques, e pequenos batólitos cortando as rochas regionais. Ocorrem também como plútons homogêneos, algumas vezes com evidências de magma e . Fases aplíticas tardias são abundantes. Maciço Pedra Branca (5), Granito Favela (8)
	εβ5	Plútons pós-tectônicos máficos toleíticos Gabro Tijuca: gabro alterado, piroxênio tonalito, diorito, quartzo diorito e tonalito (5t);
NEO PROTEROZOÍCO	Ny2r	Suíte Rio de Janeiro Granito Corcovado: Granito tipo-S com granada, muscovita e biotita, textura megaporfírica (augen) com superposição de foliação tangencial em estado sólido. Xenólitos e restitos de paragneisse são abundantes bem como intrusões de diques aplíticos tardios de leucogranito tipo S (co) Granito Pão de Açúcar: Fácies metaluminosa do Granito Corcovado com hornblenda e biotita como minerais acessórios; localmente com bolsões em manchas de granada-ortopiroxênio charnockito (pa).
	Ny1r	Complexo Rio Negro Unidade Rio Negro: Ortogneisse bandado, TTG, de granulação grossa, texturas porfíricas recristalizadas e augen, com forte foliação tangencial. Intercalações de metagabro e metadiorito deformados (anfibolito) ocorrem localizadamente. Intrusões de granada leucogranitos tipo-S e de apófises de granitóides do Batólito Serra dos Órgãos ocorrem regionalmente.
PROTERO-ZÓICO	MNps	Complexo Paraíba do Sul Unidade São Fidélis: Granada-biotita-sillimanita gnaiss quartzo-feldspático (metagrauvaca), com bolsões e veios anatéticos ou injetados de composição granítica. Intercalações de gnaiss calcissilicático e quartzito frequentes. Variedades com cordierita e sillimanita (kinzigito) com contatos transicionais com o granada biotita gnaiss. Horizontes de xistos grafitosos são comuns. Também ocorrem rocha calcissilicática, metacarbonática (ca) e quartzito (qz). Em raros domínios com baixas taxa de estruturas turbidíticas são preservadas.

Figura 3 - Contexto Geológica da Barra da Tijuca

Fonte: SILVA, L. C. da.; CUNHA, H. C. da S. (Organizadores).
Geologia do Estado do Rio de Janeiro. Brasília, 2001.

A paisagem da Barra da Tijuca é definida pela presença de cordões arenosos e sistemas fluviolagunares. Os cordões arenosos que se formaram isolaram extensos corpos lagunares, que passaram por um processo progressivo de aterramento durante o período de regressão recente. É possível identificar o contexto geomorfológico na Figura 4 abaixo, onde a localização aproximada do empreendimento analisado está em vermelho e categorizado com a numeração 121, que indica “Litorâneos”.

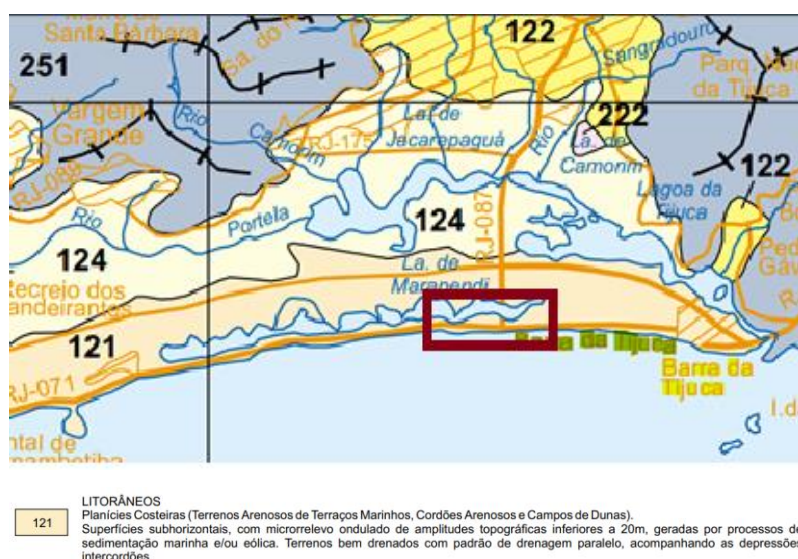


Figura 4 - Contexto Geomorfológico da Barra da Tijuca

Fonte: GEOMORFOLOGIA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, Marcelo Eduardo Dantas, 2000

A expansão urbana na área resultou na criação de aterros e canais, o que tem implicações significativas em termos de geotecnia, principalmente no que se refere à processos de recalques em aterros sobre solos moles. Questões geotécnicas de risco, como afundamentos, erosão costeira, deslizamentos e problemas relacionados à construção civil, surgem como desafios urgentes que requerem atenção e monitoramento constante.

2.3. Tipologia das Fundações

Foram utilizadas estacas hélice contínua monitoradas como base para as fundações, apresentando diâmetro que varia de Ø40cm a Ø70cm. Considerando as características geológicas e geotécnicas do solo identificadas nas sondagens, juntamente com a magnitude dos esforços, as condições de acesso e outros fatores relevantes, pode-se afirmar que a escolha da fundação em hélice contínua é apropriada para o projeto, desde que dimensionada de maneira adequada.

Algumas sondagens indicaram camadas descontínuas de argila mole com espessura de até 70cm, e pouca relevância para o estaqueamento em hélice contínua.

2.4. Perfil Geotécnico do Solo

Por meio da planta de locação de sondagens, foram traçados 5 eixos para avaliar o perfil do solo onde o empreendimento foi construído. Os eixos A-A', B-B' e C-C' se referem a primeira campanha de sondagem executada, enquanto os eixos D-D' e E-E' a segunda campanha.

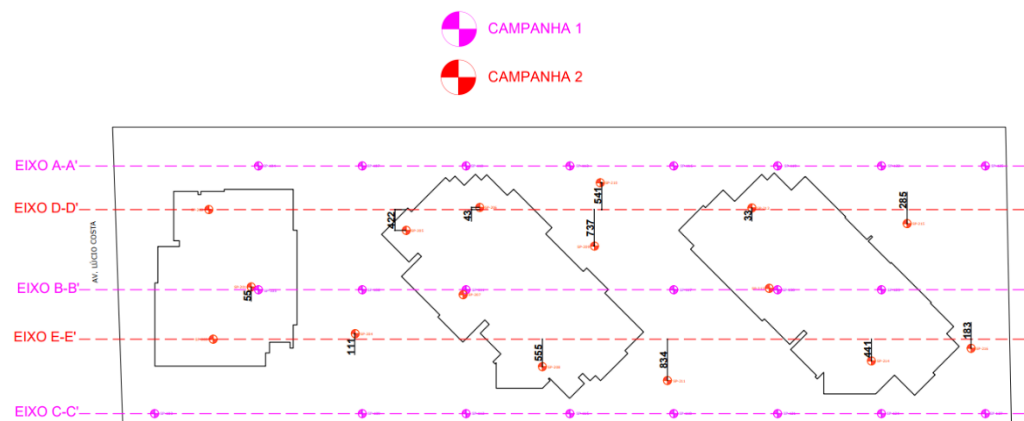


Figura 5 - Eixos traçados para estudo do solo

Tendo em mãos os boletins de sondagem SPT disponibilizados, foram feitas as ilustrações do perfil de cada eixo por meio do Civil 3D para melhor observação das propriedades do solo.

As Figuras 6, 7 e 8 representam os estudos da Campanha 1.

EIXO A-A'

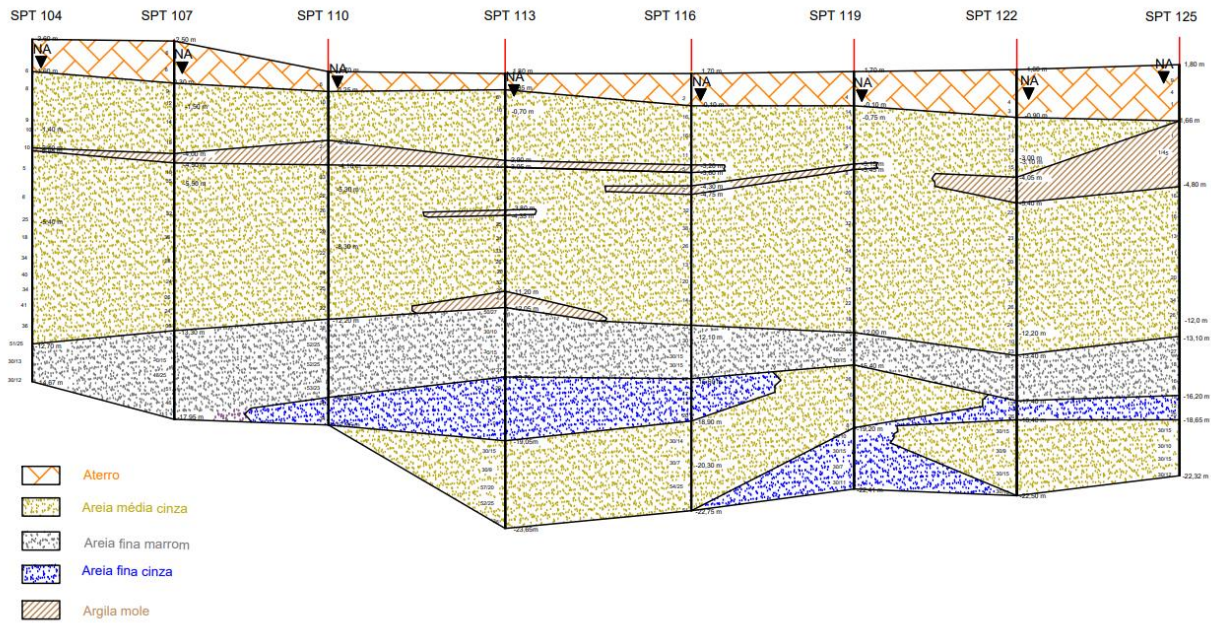


Figura 6 - Eixo A-A'

EIXO B-B'

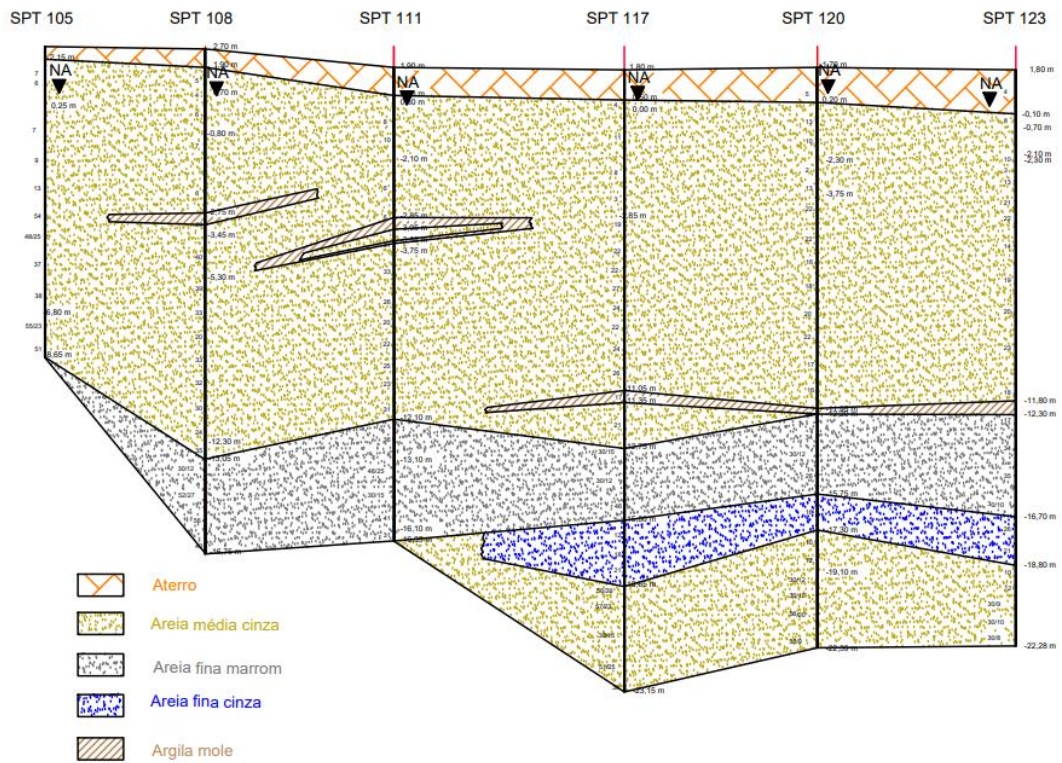


Figura 7 - Eixo B-B'

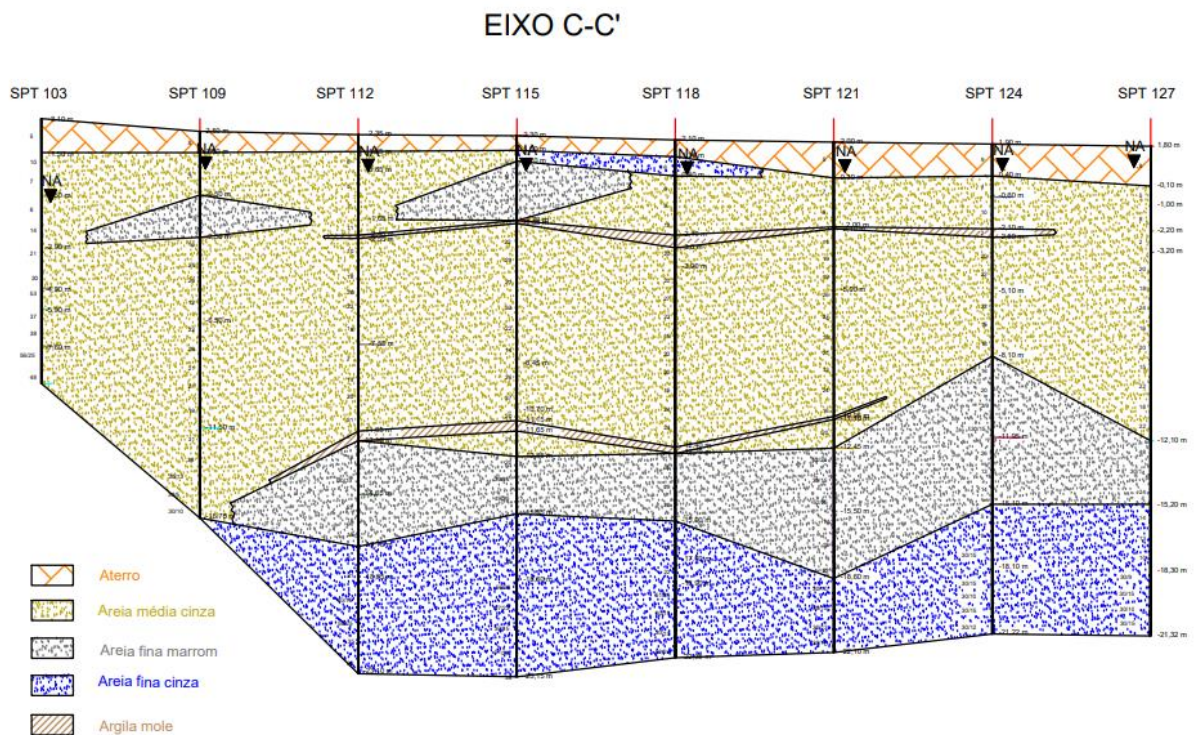


Figura 8 - Eixo C-C'

A campanha 1 apresenta um perfil de solo composto por uma camada superficial de aterro com uma espessura média de 3,4 metros e índice de NSPT entre 1 e 9; lentes de argila com espessura média de 1,5 metros e índice de NSPT entre 2 e 10; uma camada de areia média cinza com espessura de cerca de 12 metros e índice de NSPT entre 2 e 51; uma camada de areia fina marrom com espessura de cerca de 4 metros e índice de NSPT entre 14 e 56; uma camada de areia fina cinza com espessura de cerca de 6,5 metros e índice de NSPT entre 9/30 e 52/24. Os níveis do terreno variam entre +1,60 (nos fundos do terreno) e +3,10 (próximo à avenida) e o nível freático aproximadamente em uma profundidade de 1,60 m.

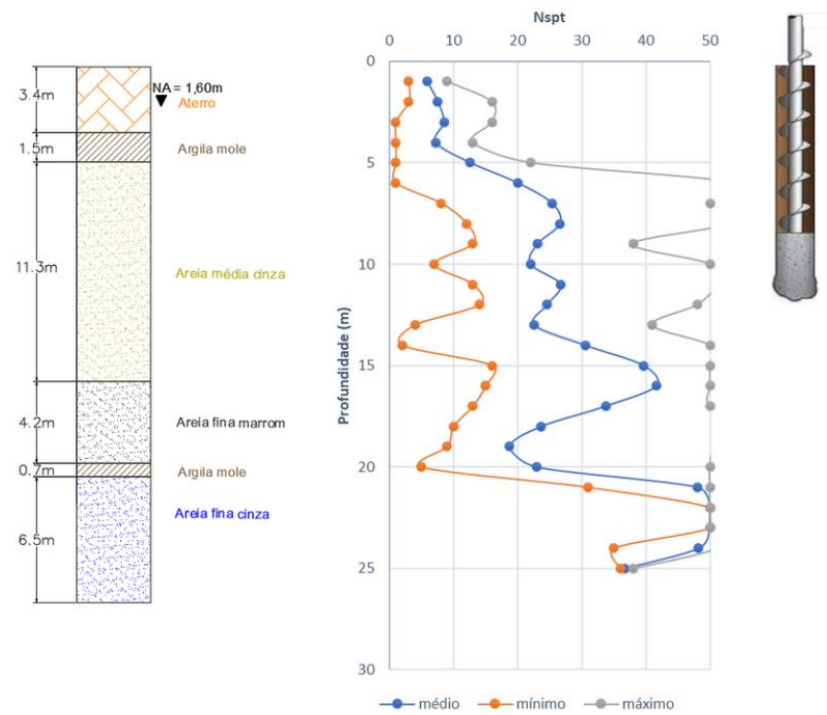


Figura 9 - Perfil 1D da Campanha 1

Após a avaliação da campanha 1, foi feito o mesmo procedimento para a Campanha 2.

EIXO D-D'

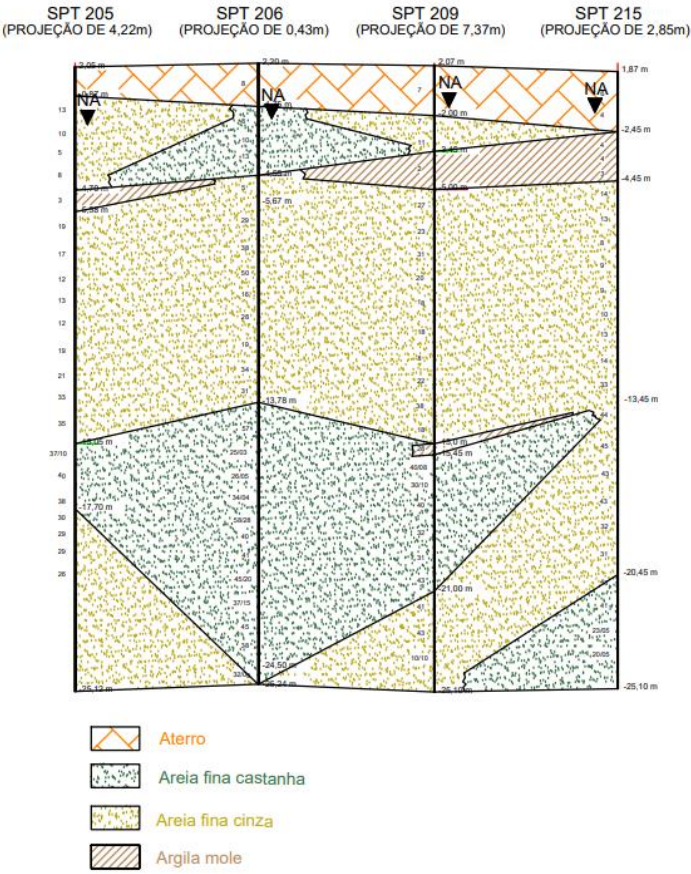


Figura 10 - Eixo D-D'

EIXO E-E'

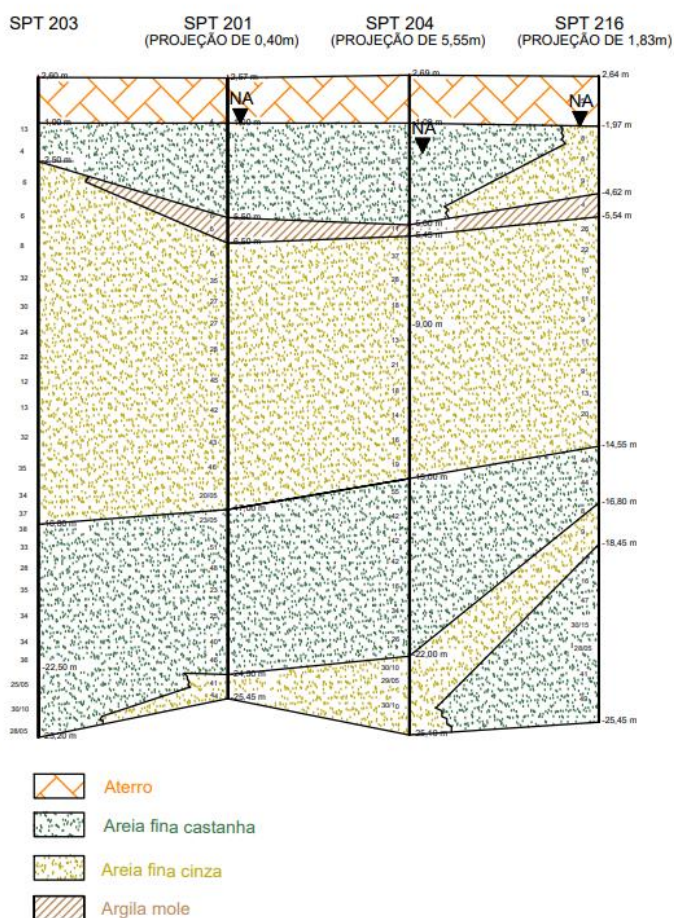


Figura 11 - Eixo E-E'

A campanha 2 apresenta um perfil de solo composto por uma camada superficial de aterro com uma espessura média de 2,5 metros e índice de NSPT entre 4 e 8; lentes de argila com espessura média de 1,3 metros e índice de NSPT entre 2 e 11; uma camada de areia fina cinza com espessura de cerca de 12 metros e índice de NSPT entre 5 e 50; uma camada de areia fina marrom com espessura de cerca de 9 metros e índice de NSPT entre 11 e 55. Os níveis do terreno variam entre +1,60 (nos fundos do terreno) e +3,10 (próximo à avenida) e nível freático aproximadamente em uma profundidade de 1,68 m.

Os boletins de sondagem SP-202, SP-208, SP-210, SP-211 e S-212 da Campanha 2 não foram disponibilizados para esse estudo.

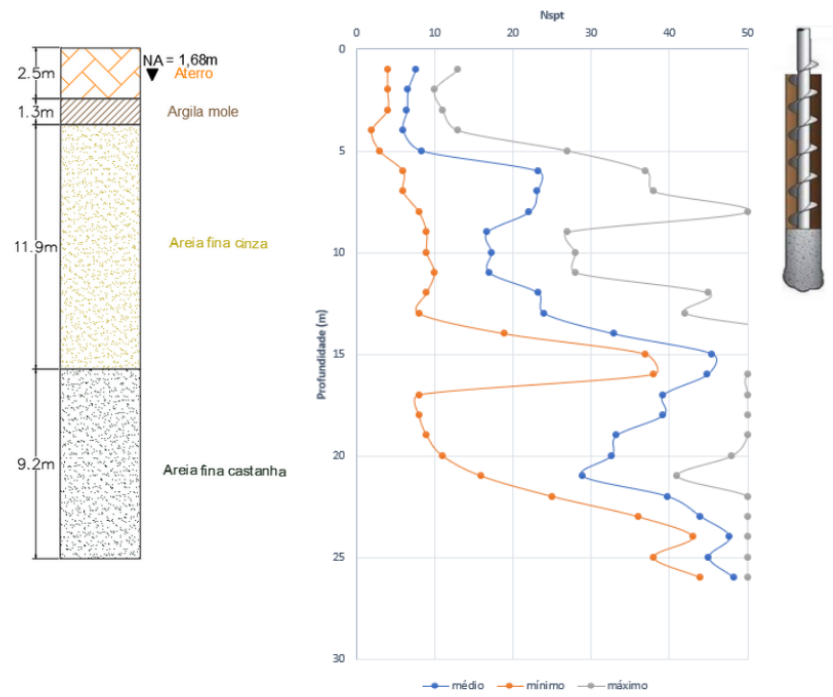


Figura 12 - Perfil 1D da Campanha 2

3. Estudos Geotécnicos Realizados

A identificação da patologia encontrada de um empreendimento, consiste em uma série de aprofundamentos das etapas de projeto e de execução. O entendimento de todo o processo para assim conseguir identificar a principal ou real causa da patologia. Para isso, foram realizados dois tipos de métodos para a prova de carga de acordo com o diâmetro da estaca e seu comprimento, a partir dos cálculos de métodos de Decourt-Quaresma e Aoki-Velloso. Também foram analisadas ambas as campanhas de sondagem SPT realizadas, os ensaios PIT, PCE e PDA. A Campanha 2 foi realizada após a identificação dos recalques e os ensaios foram feitos afim de identificar o que estava ocasionando-os.

3.1. Análise das Campanhas SPT

Foi feita uma relação entre as campanhas de sondagens realizadas em campo a fim de verificar os dados obtidos. Como ilustrado pela Figura 13, as campanhas apresentaram semelhanças de resultados. Conclui-se, portanto, que ambas as empresas responsáveis pelas Campanhas 1 e 2 fizeram um trabalho consistente.

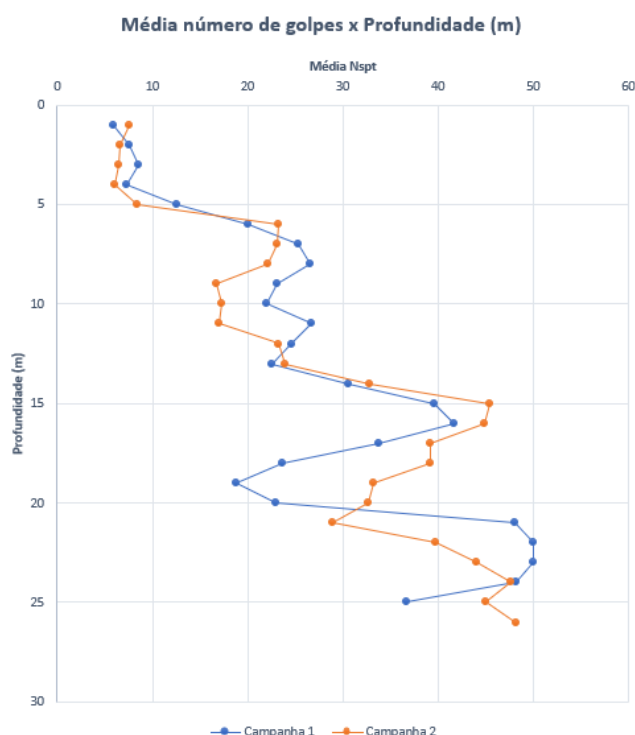


Figura 13 - Relação entre as duas campanhas de sondagem

3.2. Ensaio de Integridade de Estacas (PIT)

O PIT é um ensaio de integridade utilizando o programa PIT-W (Pile Integrity Tester), no qual é avaliado a condição em que a estaca se encontra após a cura do concreto. É um ensaio não destrutivo baseado em ondas acústicas, identificando possíveis anomalias na estrutura da estaca, como presença de fissuras, aderência do concreto à armadura entre outros fatores que interferem na capacidade estrutural. Para a realização desse ensaio, é extremamente importante a identificação da calibração dos equipamentos que foram utilizados, para obtenção do resultado correto. Os instrumentos utilizados nesse ensaio são o martelo e o acelerômetro, que estavam calibrados corretamente.

No estudo em questão, procedeu-se ao ensaio de trinta estacas do empreendimento. Para cada estaca foram conduzidos três ensaios a fim de obter o sinal mais preciso e permitir uma comparação eficaz. Durante cada ensaio, foram aplicados seis golpes com o martelo, visando otimizar a qualidade do sinal para subsequente cálculo da média pelo *data logger*. Os resultados obtidos relevaram-se positivos, indicando que as estacas ensaiadas encontram-se em condições ideais. Sua integridade foi confirmada, evidenciando uma execução adequada durante o processo de cravação e execução.

Pode-se identificar abaixo um resultado em condições íntegras de estacas, encontradas na maioria dos relatórios.

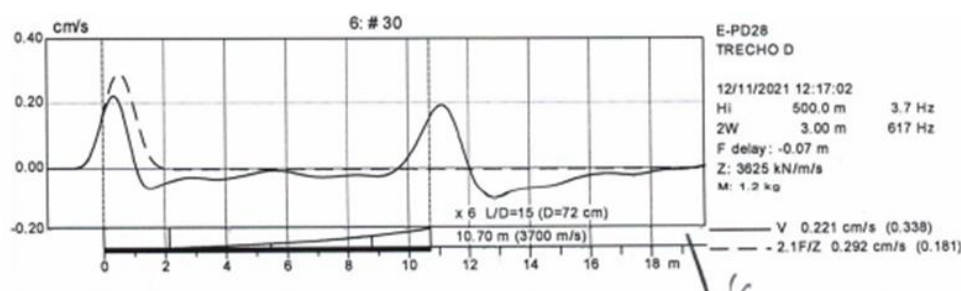


Figura 14 - Integridade das Estacas (Ensaio PIT)

3.3. Prova de Carga Estática (PCE)

A norma NBR 6122:2019 determina que a realização de ensaios de carga estática é um requisito obrigatório para avaliação de desempenho durante o processo de estaqueamento em construções que envolvam um número de estacas superior a um valor específico estipulado para cada tipo de estaca. Neste contexto, a obrigatoriedade se aplica a situações em que o número de estacas é superior a 100.

A performance é considerada adequada quando o fator de segurança é superior a 2,0, e o recalque na carga de trabalho está em conformidade com a estrutura. Para análise de desempenho, foram executadas duas provas de carga estática em estacas Ø70cm e 13 ensaios de carregamento dinâmico.

A prova de carga estática PCE-01 foi executada em uma estaca de Ø70cm, localizada no Bloco 01. A Figura 15 apresenta o gráfico obtido na prova de carga, com a carga nas abscissas e o recalque nas ordenadas.

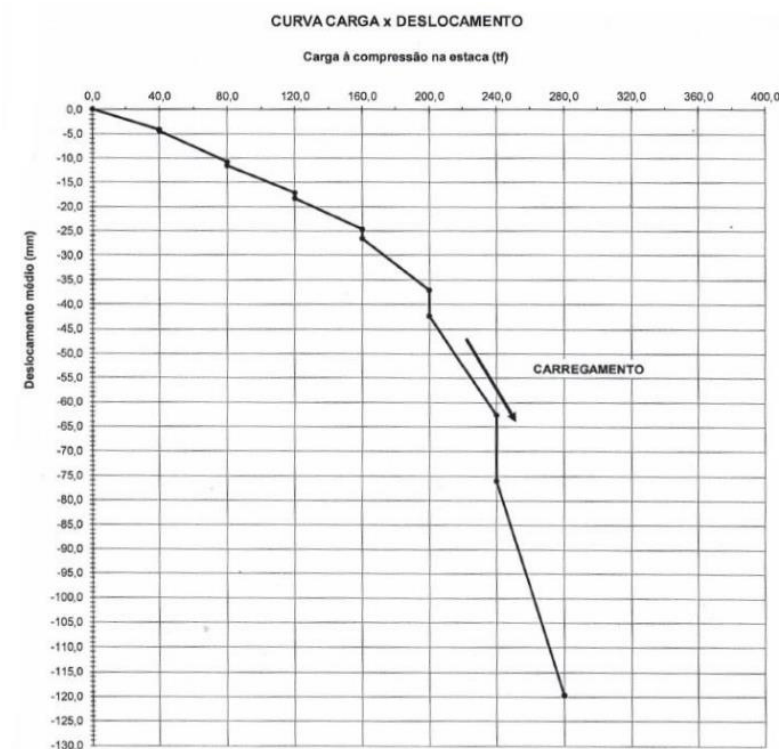


Figura 15 - Prova de Carga Estática PCE-01

De acordo com a capacidade de carga admissível de projeto estabelecida em 200tf, considerando um fator de segurança de 2,0, a carga de ruptura mínima esperada era de 400tf. No entanto, a carga atingida foi de apenas 280tf, resultando em um recalque excessivo de 120mm.

Adotando a carga máxima de ensaio como carga de ruptura, o fator de segurança seria de 1,40, inferior ao valor preconizado pela norma. Portanto, o primeiro critério de desempenho estabelecido na norma não foi atendido.

Além disso, o recalque na prova de carga para a carga de trabalho foi de 42,3mm, superando a tolerância considerada aceitável pelo projetista da estrutura, que era de aproximadamente 20mm.

O cálculo de capacidade de carga para as estacas do Bloco 1 previa cargas de trabalho entre 175tf e 215tf, o que implicava em cargas de ruptura esperadas de 350 a 430tf, representando um aumento significativo de 25 a 53% em relação à carga máxima de ensaio. Essa discrepância indica uma possível inadequação do projeto em relação aos resultados obtidos na prova de carga.

A segunda prova de carga estática, PCE-02, foi conduzida em uma estaca de Ø70cm, próxima ao Bloco 02. O ensaio não atingiu a carga prevista, sendo interrompido com 200tf e um recalque de 98,1mm.

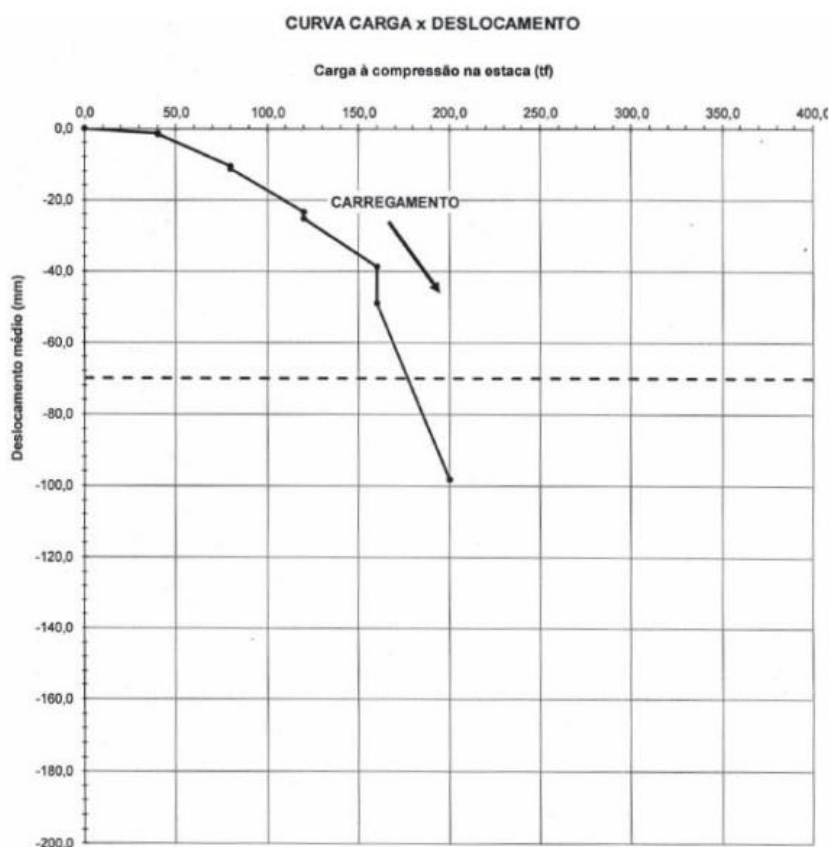


Figura 16 - Prova de Carga Estática PCE-02

Considerando a carga máxima de ensaio como carga de ruptura, o fator de segurança seria de 1,0, abaixo do valor mínimo estabelecido em norma. Além disso, o recalque previsto para a carga de trabalho seria o mesmo que o recalque máximo obtido no ensaio, ou seja, 98,1mm, o que é incompatível com a estrutura do empreendimento.

O comprimento adotado em projeto para a estaca na região do segundo ensaio já se mostrou insuficiente para suportar a carga de 200tf, prevendo-se uma carga máxima de trabalho de 139tf, o que implica em uma carga de ruptura de 278tf (39% superior ao resultado da prova de carga).

Diante dos resultados apresentados, torna-se evidente que o estaqueamento não atende aos dois critérios de aceitação para o desempenho das fundações. Isso indica a necessidade de realizar reforços nas fundações para manter um nível de segurança adequado.

3.4. Prova de Carga Dinâmica (PDA)

O ensaio PDA empregou o método de energias crescentes, que consiste em aplicar golpes sucessivos com alturas de queda crescentes, obedecendo aos critérios de paralisação. A aquisição de dados durante o ensaio foi realizada por meio de instrumentação instalada no fuste da estaca, próxima ao topo, e processada utilizando o PDA (Pile Driving Analyser).

Em algumas estacas, os valores não atingiram o fator de segurança 1,0, mas esses valores são inferiores aos obtidos nos ensaios estáticos. Isso ocorreu devido aos grandes recalques necessários para a mobilização de carga, conforme observado nas provas de carga estática. Dessa forma, os martelos utilizados nessas estacas não possuíam massa suficiente para mobilizar cargas maiores.

É importante destacar que em nenhuma estaca foi encontrada uma redução de impedância superior a 20% ($\beta < 80\%$), indicando que as estacas se encontram íntegras.

3.5. Capacidade de carga admissível e comprimentos adotados no projeto

A Tabela 1, apresenta as capacidades de carga admissíveis e respectivos comprimentos para as estacas previstos no projeto inicial. O projeto definiu que os comprimentos deveriam ser considerados a partir do nível do terreno, no momento da execução.

Tabela 1 - Cargas admissíveis e comprimentos de estacas

ØESTACA (cm)	CARGA ADMISSÍVEL (tf)	BLOCO 1	BLOCO 2	BLOCO 3
		COMPR. (m)	COMPR. (m)	COMPR. (m)
40	60	11	11	12
50	100	11	11	12
60	150	12	12	12
70	200	12	12	12

Para a realização do cálculo da capacidade de carga os projetistas adotaram o método Urbano Alonso, onde foi utilizada a média das sondagens próximas, evitando assim a consideração apenas do resultado mais desfavorável. Desta maneira, verificou-se que o comprimento das estacas especificado em projeto era

insuficiente para atingir as capacidades de carga admissíveis adotadas, ou seja, para as cargas adotadas pelo projetista, os comprimentos das estacas deveriam ser significativamente maiores. É importante destacar que só existiam os dados da Campanha 1 quando os projetistas desenvolveram esse estudo.

Em posse das premissas de projeto e dos boletins de sondagem das duas campanhas, foi feito o estudo de capacidade de carga pelas autoras desse trabalho. Para tal, foram adotadas outras duas metodologias: Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma.

A capacidade de carga foi calculada segundo os perfis de solo de cada campanha, mantendo os diâmetros estabelecidos pelo projeto original, o comprimento de estaca de 12 metros e fator de segurança 2,0 (FS=2).

No que concerne às estacas flutuantes, a resistência de ponta das estacas hélice contínua foi desconsiderada, direcionando a análise predominantemente para as propriedades de atrito lateral a fim de avaliar a capacidade de carga.

As Tabelas 2 e 3 resumem os resultados obtidos nos estudos da Campanha 1 e 2. As memórias de cálculo estão reportadas no Anexo.

Tabela 2 – Carga admissível para Campanha 1

CAMPANHA 1				
ØESTACA (cm)	CARGA ADMISSÍVEL PROJETO (tf)	COMPR. (m)	CARGA RESISTENTE CALCULADA	
			Décourt-Quaresma (tf)	Aoki-Velloso (tf)
40	60	12	53	49
50	100	12	66	61
60	150	12	79	74
70	200	12	93	86

Tabela 3 – Carga admissível para Campanha 2

CAMPANHA 2				
ØESTACA (cm)	CARGA ADMISSÍVEL PROJETO (tf)	COMPR. (m)	CARGA RESISTENTE CALCULADA	
			Décourt-Quaresma (tf)	Aoki-Velloso (tf)
40	60	12	46	41
50	100	12	57	51
60	150	12	69	62
70	200	12	80	72

Como pode ser observado, as estacas estão todas subdimensionadas pois não atingiram as cargas admissíveis de projeto. Assim como no laudo recebido, as contas executadas indicam um comprimento ineficiente para atingir a performance esperada.

Segundo os métodos adotados, Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma, é possível verificar, nas Tabelas 4 e 5, as profundidades em que as estacas atenderiam ao projeto.

Tabela 4 – Sugestão de projeto para Campanha 1

CAMPANHA 1 - SUGESTÃO DE PROJETO				
ØESTACA (cm)	CARGA ADMISSÍVEL PROJETO (tf)	COMPR. (m)	CARGA RESISTENTE CALCULADA	
			Décourt-Quaresma (tf)	Aoki-Velloso (tf)
40	60	14	66	62
50	100	16	106	101
60	150	19	162	163
70	200	20	217	218

Tabela 5 – Sugestão de projeto para Campanha 2

CAMPANHA 2 - SUGESTÃO DE PROJETO				
ØESTACA (cm)	CARGA ADMISSÍVEL PROJETO (tf)	COMPR. (m)	CARGA RESISTENTE CALCULADA	
			Décourt-Quaresma (tf)	Aoki-Velloso (tf)
40	60	15	70	65
50	100	17	111	108
60	150	19	158	159
70	200	21	210	215

4. Comentários Finais

O estaqueamento foi feito corretamente segundo as premissas do projeto inicial, como apontam os ensaios descritos no Capítulo 3 deste documento. As estacas se mostraram integras. Apesar disso, elas se mostraram ineficientes pois não atingiram as cargas admissíveis previstas.

A causa da patologia de fundações que promoveu um recalque expressivo no empreendimento foi o subdimensionamento das estacas, evidenciando um erro na idealização do projeto.

Esses erros são suscetíveis a acontecer na elaboração de projetos, porém, caso tivessem recorrido a uma segunda opinião nos momentos preliminares do projeto, esse erro poderia ter sido identificado de forma prévia.

A realização de um *design review* também teria sido de extrema importância pois essa prática consiste em uma avaliação sistemática e crítica do projeto em suas várias fases de desenvolvimento. Ao realizar *design reviews* de maneira sistemática e abrangente, assegura-se que os projetos de engenharia atendam aos requisitos de qualidade, segurança e desempenho, contribuindo para o sucesso global do empreendimento.

Por fim, a não realização do *cross check*, que consiste em uma verificação cruzada de informações ou dados, foi um ponto crucial para que acarretasse em uma lesão financeira significativa e ameaçasse a segurança das pessoas. Caso realizado, provavelmente não teria ocorrido o sinistro e o seguro não precisaria ser acionado.

O *cross check* é uma prática utilizada para garantir a precisão e a consistência nos cálculos e elementos relacionados a uma análise estrutural ou projeto. Quando realizado, os profissionais revisam e verificam os resultados obtidos por diferentes métodos, como softwares e outras abordagens para que não haja erros substanciais ou discrepâncias. Com essa verificação cruzada, é possível assegurar a integridade e a segurança dos projetos, principalmente relacionados à parte estrutural.

Referências Bibliográficas

ALLEDI, C. T. D. et al. **ESTACA HÉLICE CONTÍNUA INSTRUMENTADA: PREVISÃO DE CARGA DE RUPTURA POR MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS VS. PROVA DE CARGA**. p. 13, 2015.

ALLEN MARR, W.; LADD, C. C.; FOX, P. J. **Guidelines for Writing a Case Study Paper**. , 2013.

ALONSO, U. R. **Dimensionamento de Fundações Profundas**. São Paulo: Edgard Blücher, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**. p. 108, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. p. 242, 2023.

BARONI, M.; DE SOUZA S. ALMEIDA, M. Compressibility and stress history of very soft organic clays. **ICE - Institution of civil engineers**, p. 148–160, 2017.

BROWN, D. A. et al. **DESIGN AND CONSTRUCTION OF CONTINUOUS FLIGHT AUGER PILES**. p. 293, 2007.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Fundações por Estacas: projeto geotécnico**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

CIRGOMES, V. **Patologia das Fundações**. Minas Gerais: UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO , 2007.

DANTAS, M. E. **Relatório de Geomorfologia do Rio de Janeiro realizado pela CPRM**. Disponível em: <<https://www.geoportalufjf.com/post-unico/aspectos-geol%C3%B3gicos-da-vila-pan-americana>>. Acesso em: 15 jun. 2023.

DAY, R. W. **Forensic Geotechnical and Foundation Engineering**. United States of America: McGraw-Hill Professional Publishing, 1999.

DE ALENCAR VELLOSO, D.; DE REZENDE LOPES, F. **Fundações**. São Paulo : Oficina de Textos, 2010.

DE OLIVEIRA MOTÉ, F.; MARQUES, J. A. **PRAIA DA BARRA DA TIJUCA: DESPEJO FINAL DE EFLUENTES DOMÉSTICOS DA BACIA HIDROGÁFICA DA BAIXADA DE JACAREPAGUÁ**. Rio de Janeiro: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2004.

GONZALEZ, F. **Os principais problemas na execução de fundações em estacas hélice contínua**. Disponível em: <<https://fabriciogonzalez.com.br/blog-helice-continua-principais-problemas>>. Acesso em: 5 nov. 2023.

JÚNIOR, P. et al. Patologia em fundações: Identificação e prevenção de problemas. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 6, p. 43, 2020.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. **Patologia das Fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

PEREIRA, B. R.; LOPES, W. M.; SIMÕES, R. **PATOLOGIA DAS FUNDAÇÕES: RECALQUE DIFERENCIAL EM FUNDAÇÕES SOBRE ATERRO**. p. 18, 2019.

PRUNUNCIATI, P. L.; GARCIA, J. R.; RODRIGUEZ, T. G. RECALQUES EM FUNDAÇÕES PROFUNDAS – ANÁLISE EM ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA. **REEC - Revista Eletronica de Engenharia Civil**, v. 14, p. 122–123, 2017.

SCHNEIDER, N. **Resistência de Ponta em Hélice Contínua – Considerar ou não?** Disponível em: <<https://nelsoschneider.com.br/resistencia-de-ponta-em-helice-continua/>>. Acesso em: 5 nov. 2023.

Anexos

Obra: CAMPANHA 1

Local: _____

Tipo de estaca: Hélice contínua

F1 = 3,0

F2 = 3,8

Diâmetro: 40 cm
 fex do concreto da estaca: 30 MPa
 Resistência da estaca: 2693 kN
 Coef. Segurança: 2,0

Prof. (m)	SPT	Solo	Décourt-Quaresma							Aoki-Velloso						
			K (kN/m ²)	qp (kN/m ²)	Qp (kN)	qs (kN/m ²)	Qs (kN)	Qtotat (kN)	Q/C/S (kN)	Q calc. (tf)	K (kN/m ²)	α (%)	Qp (kN)	Qa (kN)	Qtotat (kN)	Q/C/S (kN)
0	-	Silte arenoso	250	0	0	10	0	0	0	0	550	2,2%	0	0	0	0
1	6	Silte arenoso	250	0	0	30	38	38	19	2	550	2,2%	0	24	24	12
2	8	Silte arenoso	250	0	0	37	84	84	42	4	550	2,2%	0	56	56	28
3	9	Silte arenoso	250	0	0	40	134	134	67	7	550	2,2%	0	92	92	46
4	7	Argila	120	0	0	33	176	176	88	9	200	6,0%	0	120	120	60
5	13	Areia	400	0	0	53	243	243	121	12	1000	1,4%	0	180	180	90
6	20	Areia	400	0	0	77	339	339	170	17	1000	1,4%	0	273	273	136
7	25	Areia	400	0	0	93	457	457	228	23	1000	1,4%	0	388	388	194
8	27	Areia	400	0	0	100	582	582	291	30	1000	1,4%	0	513	513	257
9	23	Areia	400	0	0	87	691	691	346	35	1000	1,4%	0	620	620	310
10	22	Areia	400	0	0	83	796	796	398	41	1000	1,4%	0	722	722	361
11	27	Areia	400	0	0	100	922	922	461	47	1000	1,4%	0	847	847	423
12	25	Areia	400	0	0	93	1039	1039	519	53	1000	1,4%	0	962	962	481
13	23	Areia	400	0	0	87	1148	1148	574	59	1000	1,4%	0	1069	1069	534
14	31	Areia	400	0	0	113	1290	1290	645	66	1000	1,4%	0	1212	1212	606
15	40	Areia	400	0	0	143	1470	1470	735	75	1000	1,4%	0	1398	1398	699
16	42	Areia	400	0	0	150	1659	1659	829	85	1000	1,4%	0	1592	1592	796
17	34	Areia siltyosa	400	0	0	123	1814	1814	907	92	800	2,0%	0	1772	1772	886
18	34	Areia siltyosa	400	0	0	123	1969	1969	984	100	800	2,0%	0	1952	1952	976
19	34	Areia siltyosa	400	0	0	123	2124	2124	1062	108	800	2,0%	0	2132	2132	1066
20	34	Argila	120	0	0	123	2434	2434	1217	124	200	6,0%	0	2447	2447	1223
21	34	Areia siltyosa	400	0	0	123	2589	2589	1294	132	800	2,0%	0	2626	2626	1313
22	34	Areia siltyosa	400	0	0	123	2744	2744	1372	140	800	2,0%	0	2806	2806	1403
23	34	Areia siltyosa	400	0	0	123	2899	2899	1449	148	800	2,0%	0	2986	2986	1493
24	34	Areia siltyosa	400	0	0	123	3054	3054	1527	156	800	2,0%	0	3166	3166	1583

Obra: CAMPANHA 1

Local: _____

Tipo de estaca: Hélice contínua

F1 = 3,0

F2 = 3,8

Diâmetro: 50 cm
 fex do concreto da estaca: 30 MPa
 Resistência da estaca: 4207 kN
 Coef. Segurança: 2,0

Prof. (m)	SPT	Solo	Décourt-Quaresma							Aoki-Velloso						
			K (kN/m ²)	qp (kN/m ²)	Qp (kN)	qs (kN/m ²)	Qs (kN)	Qtotat (kN)	Q/C/S (kN)	Q calc. (tf)	K (kN/m ²)	α (%)	Qp (kN)	Qa (kN)	Qtotat (kN)	Q/C/S (kN)
0	-	Silte arenoso	250	0	0	10	0	0	0	0	550	2,2%	0	0	0	0
1	6	Silte arenoso	250	0	0	30	47	47	24	2	550	2,2%	0	30	30	15
2	8	Silte arenoso	250	0	0	37	105	105	52	5	550	2,2%	0	70	70	35
3	9	Silte arenoso	250	0	0	40	168	168	84	9	550	2,2%	0	115	115	58
4	7	Argila	120	0	0	33	220	220	110	11	200	6,0%	0	150	150	75
5	13	Areia	400	0	0	53	304	304	152	15	1000	1,4%	0	225	225	112
6	20	Areia	400	0	0	77	424	424	212	22	1000	1,4%	0	341	341	170
7	25	Areia	400	0	0	93	571	571	285	29	1000	1,4%	0	485	485	243
8	27	Areia	400	0	0	100	728	728	364	37	1000	1,4%	0	642	642	321
9	23	Areia	400	0	0	87	864	864	432	44	1000	1,4%	0	775	775	387
10	22	Areia	400	0	0	83	995	995	497	51	1000	1,4%	0	902	902	451
11	27	Areia	400	0	0	100	1152	1152	576	59	1000	1,4%	0	1058	1058	529
12	25	Areia	400	0	0	93	1299	1299	649	66	1000	1,4%	0	1203	1203	602
13	23	Areia	400	0	0	87	1435	1435	717	73	1000	1,4%	0	1336	1336	668
14	31	Areia	400	0	0	113	1613	1613	806	82	1000	1,4%	0	1516	1516	758
15	40	Areia	400	0	0	143	1838	1838	919	94	1000	1,4%	0	1747	1747	874
16	42	Areia	400	0	0	150	2073	2073	1037	106	1000	1,4%	0	1990	1990	995
17	34	Areia siltyosa	400	0	0	123	2267	2267	1134	116	800	2,0%	0	2215	2215	1107
18	34	Areia siltyosa	400	0	0	123	2461	2461	1230	125	800	2,0%	0	2440	2440	1220
19	34	Areia siltyosa	400	0	0	123	2655	2655	1327	135	800	2,0%	0	2665	2665	1332
20	34	Argila	120	0	0	123	3042	3042	1521	155	200	6,0%	0	3058	3058	1529
21	34	Areia siltyosa	400	0	0	123	3236	3236	1618	165	800	2,0%	0	3283	3283	1642
22	34	Areia siltyosa	400	0	0	123	3430	3430	1715	175	800	2,0%	0	3508	3508	1754
23	34	Areia siltyosa	400	0	0	123	3623	3623	1812	185	800	2,0%	0	3733	3733	1866
24	34	Areia siltyosa	400	0	0	123	3817	3817	1909	195	800	2,0%	0	3958	3958	1979

Obra: CAMPANHA 1

Local:

Tipo de estaca: Hélice contínua

F1 = 3,0

F2 = 3,8

Diâmetro: 60 cm
 fck do concreto da estaca: 30 MPa
 Resistência da estaca: 6059 kN
 Coef. Segurança: 2,0

Prof. (m)	SPT	Solo	Décourt-Quaresma							Aoki-Velloso									
			K (kN/m2)	qp (kN/m2)	Qp (kN)	qs (kN/m2)	Qs (kN)	Qtot (kN)	Q/Cs (kN)	Q calc. (tf)	K (kN/m2)	α (%)	Qp (kN)	Qa (kN)	Qtot (kN)	Q/Cs (kN)	Q calc. (tf)	Q calc. (kN)	Q calc. (tf)
0	-	Silte arenoso	250	0	0	10	0	0	0	0	550	2,2%	0	0	0	0	0	0	0
1	6	Silte arenoso	250	0	0	30	57	57	28	3	550	2,2%	0	36	36	18	2	18	2
2	8	Silte arenoso	250	0	0	37	126	126	63	6	550	2,2%	0	84	84	42	4	42	4
3	9	Silte arenoso	250	0	0	40	201	201	101	10	550	2,2%	0	138	138	69	7	69	7
4	7	Argila	120	0	0	33	264	264	132	13	200	6,0%	0	180	180	90	9	90	9
5	13	Areia	400	0	0	53	364	364	182	19	1000	1,4%	0	270	270	135	14	135	14
6	20	Areia	400	0	0	77	509	509	254	26	1000	1,4%	0	409	409	204	21	204	21
7	25	Areia	400	0	0	93	685	685	342	35	1000	1,4%	0	583	583	291	30	291	30
8	27	Areia	400	0	0	100	873	873	437	45	1000	1,4%	0	770	770	385	39	385	39
9	23	Areia	400	0	0	87	1037	1037	518	53	1000	1,4%	0	930	930	465	47	465	47
10	22	Areia	400	0	0	83	1194	1194	597	61	1000	1,4%	0	1083	1083	541	55	541	55
11	27	Areia	400	0	0	100	1382	1382	691	70	1000	1,4%	0	1270	1270	635	65	635	65
12	25	Areia	400	0	0	93	1558	1558	779	79	1000	1,4%	0	1444	1444	722	74	722	74
13	23	Areia	400	0	0	87	1722	1722	861	88	1000	1,4%	0	1603	1603	802	82	802	82
14	31	Areia	400	0	0	113	1935	1935	968	99	1000	1,4%	0	1819	1819	909	93	909	93
15	40	Areia	400	0	0	143	2205	2205	1103	112	1000	1,4%	0	2096	2096	1048	107	1048	107
16	42	Areia	400	0	0	150	2488	2488	1244	127	1000	1,4%	0	2388	2388	1194	122	1194	122
17	34	Areia siltosa	400	0	0	123	2721	2721	1360	139	800	2,0%	0	2658	2658	1329	136	1329	136
18	34	Areia siltosa	400	0	0	123	2953	2953	1477	151	800	2,0%	0	2928	2928	1464	149	1464	149
19	34	Areia siltosa	400	0	0	123	3186	3186	1593	162	800	2,0%	0	3198	3198	1599	163	1593	162
20	34	Argila	120	0	0	123	3651	3651	1825	186	200	6,0%	0	3670	3670	1835	187	1825	186
21	34	Areia siltosa	400	0	0	123	3883	3883	1942	198	800	2,0%	0	3940	3940	1970	201	1942	198
22	34	Areia siltosa	400	0	0	123	4115	4115	2058	210	800	2,0%	0	4210	4210	2105	215	2058	210
23	34	Areia siltosa	400	0	0	123	4348	4348	2174	222	800	2,0%	0	4479	4479	2240	228	2174	222
24	34	Areia siltosa	400	0	0	123	4580	4580	2290	234	800	2,0%	0	4749	4749	2375	242	2290	234

Obra: CAMPANHA 1

Local:

Tipo de estaca: Hélice contínua

F1 = 3,0

F2 = 3,8

Diâmetro: 70 cm
 fck do concreto da estaca: 30 MPa
 Resistência da estaca: 8247 kN
 Coef. Segurança: 2,0

Prof. (m)	SPT	Solo	Décourt-Quaresma								Aoki-Velloso								
			K (kN/m2)	qp (kN/m2)	Qp (kN)	qs (kN/m2)	Qs (kN)	Qtot (kN)	Q/C S (kN)	Q calc. (tf)	K (kN/m2)	α (%)	Qp (kN)	Qa (kN)	Qtot (kN)	Q/C S (kN)	Q calc. (tf)	Q calc. (kN)	Q calc. (tf)
0	-	Silte arenoso	250	0	0	10	0	0	0	0	550	2,2%	0	0	0	0	0	0	0
1	6	Silte arenoso	250	0	0	30	66	66	33	3	550	2,2%	0	42	42	21	2	21	2
2	8	Silte arenoso	250	0	0	37	147	147	73	7	550	2,2%	0	98	98	49	5	49	5
3	9	Silte arenoso	250	0	0	40	235	235	117	12	550	2,2%	0	161	161	81	8	81	8
4	7	Argila	120	0	0	33	308	308	154	16	200	6,0%	0	210	210	105	11	105	11
5	13	Areia	400	0	0	53	425	425	213	22	1000	1,4%	0	315	315	157	16	157	16
6	20	Areia	400	0	0	77	594	594	297	30	1000	1,4%	0	477	477	239	24	239	24
7	25	Areia	400	0	0	93	799	799	400	41	1000	1,4%	0	680	680	340	35	340	35
8	27	Areia	400	0	0	100	1019	1019	509	52	1000	1,4%	0	898	898	449	46	449	46
9	23	Areia	400	0	0	87	1210	1210	605	62	1000	1,4%	0	1085	1085	542	55	542	55
10	22	Areia	400	0	0	83	1393	1393	696	71	1000	1,4%	0	1263	1263	631	64	631	64
11	27	Areia	400	0	0	100	1613	1613	806	82	1000	1,4%	0	1482	1482	741	76	741	76
12	25	Areia	400	0	0	93	1818	1818	909	93	1000	1,4%	0	1684	1684	842	86	842	86
13	23	Areia	400	0	0	87	2009	2009	1004	102	1000	1,4%	0	1871	1871	935	95	935	95
14	31	Areia	400	0	0	113	2258	2258	1129	115	1000	1,4%	0	2122	2122	1061	108	1061	108
15	40	Areia	400	0	0	143	2573	2573	1286	131	1000	1,4%	0	2446	2446	1223	125	1223	125
16	42	Areia	400	0	0	150	2903	2903	1451	148	1000	1,4%	0	2786	2786	1393	142	1393	142
17	34	Areia siltosa	400	0	0	123	3174	3174	1587	162	800	2,0%	0	3101	3101	1550	158	1550	158
18	34	Areia siltosa	400	0	0	123	3445	3445	1723	176	800	2,0%	0	3416	3416	1708	174	1708	174
19	34	Areia siltosa	400	0	0	123	3717	3717	1858	189	800	2,0%	0	3731	3731	1865	190	1858	189
20	34	Argila	120	0	0	123	4259	4259	2129	217	200	6,0%	0	4282	4282	2141	218	2129	217
21	34	Areia siltosa	400	0	0	123	4530	4530	2265	231	800	2,0%	0	4596	4596	2298	234	2265	231
22	34	Areia siltosa	400	0	0	123	4801	4801	2401	245	800	2,0%	0	4911	4911	2456	250	2401	245
23	34	Areia siltosa	400	0	0	123	5073	5073	2536	259	800	2,0%	0	5226	5226	2613	266	2536	259
24	34	Areia siltosa	400	0	0	123	5344	5344	2672	272	800	2,0%	0	5541	5541	2770	283	2672	272

Obra: CAMPANHA 2

Local:

Tipo de estaca: Hélice contínua

F1 = 3,0
F2 = 3,8Diâmetro: 40 cm
fck do concreto da estaca: 30 MPa
Resistência da estaca: 2693 kN
Coef. Segurança: 2,0

Prof. (m)	SPT	Solo	Décourt-Quaresma								Aoki-Velloso								
			K (kN/m2)	qp (kN/m2)	Qp (kN)	qs (kN/m2)	Qs (kN)	Ototal (kN)	Q/Cs (kN)	Q calc. (tf)	K (kN/m2)	α (%)	Qp (kN)	Qa (kN)	Ototal (kN)	Q/Cs (kN)	Q calc. (tf)	Q calc. (kN)	Q calc. (tf)
0	-	Silte arenoso	250	0	0	10	0	0	0	0	550	2,2%	0	0	0	0	0	0	0
1	8	Silte arenoso	250	0	0	37	46	46	23	2	550	2,2%	0	32	32	16	2	16	2
2	7	Silte arenoso	250	0	0	33	88	88	44	4	550	2,2%	0	60	60	30	3	30	3
3	7	Silte arenoso	250	0	0	33	130	130	65	7	550	2,2%	0	88	88	44	4	44	4
4	6	Argila	120	0	0	30	168	168	84	9	200	6,0%	0	112	112	56	6	56	6
5	8	Areia	400	0	0	37	214	214	107	11	1000	1,4%	0	149	149	74	8	74	8
6	23	Areia	400	0	0	87	323	323	161	16	1000	1,4%	0	255	255	128	13	128	13
7	23	Areia	400	0	0	87	431	431	216	22	1000	1,4%	0	362	362	181	18	181	18
8	22	Areia	400	0	0	83	536	536	268	27	1000	1,4%	0	464	464	232	24	232	24
9	17	Areia	400	0	0	67	620	620	310	32	1000	1,4%	0	542	542	271	28	271	28
10	17	Areia	400	0	0	67	704	704	352	36	1000	1,4%	0	621	621	311	32	311	32
11	17	Areia	400	0	0	67	787	787	394	40	1000	1,4%	0	700	700	350	36	350	36
12	23	Areia	400	0	0	87	896	896	448	46	1000	1,4%	0	806	806	403	41	403	41
13	24	Areia	400	0	0	90	1009	1009	505	51	1000	1,4%	0	917	917	459	47	459	47
14	33	Areia	400	0	0	120	1160	1160	580	59	1000	1,4%	0	1070	1070	535	55	535	55
15	46	Areia	400	0	0	163	1366	1366	683	70	1000	1,4%	0	1283	1283	642	65	642	65
16	45	Areia	400	0	0	160	1567	1567	783	80	1000	1,4%	0	1491	1491	746	76	746	76
17	39	Areia siltyosa	400	0	0	140	1743	1743	871	89	800	2,0%	0	1698	1698	849	87	849	87
18	39	Areia siltyosa	400	0	0	140	1918	1918	959	98	800	2,0%	0	1904	1904	952	97	952	97
19	33	Areia siltyosa	400	0	0	120	2069	2069	1035	106	800	2,0%	0	2079	2079	1039	106	1035	106
20	33	Areia siltyosa	400	0	0	120	2220	2220	1110	113	800	2,0%	0	2253	2253	1127	115	1110	113
21	29	Areia siltyosa	400	0	0	107	2354	2354	1177	120	800	2,0%	0	2407	2407	1203	123	1177	120
22	40	Areia siltyosa	400	0	0	143	2534	2534	1267	129	800	2,0%	0	2619	2619	1309	134	1267	129
23	44	Areia siltyosa	400	0	0	157	2731	2731	1366	139	800	2,0%	0	2851	2851	1426	145	1366	139
24	48	Areia siltyosa	400	0	0	170	2945	2945	1472	150	800	2,0%	0	3105	3105	1553	158	1472	150
25	45	Areia siltyosa	400	0	0	160	3146	3146	1573	160	800	2,0%	0	3343	3343	1672	170	1573	160
26	45	Areia siltyosa	400	0	0	160	3347	3347	1673	171	800	2,0%	0	3581	3581	1791	183	1673	171

Obra: CAMPANHA 2

Local:

Tipo de estaca: Hélice contínua

F1 = 3,0
F2 = 3,8Diâmetro: 50 cm
fck do concreto da estaca: 30 MPa
Resistência da estaca: 4207 kN
Coef. Segurança: 2,0

Prof. (m)	SPT		Décourt-Quaresma							Aoki-Velloso									
			K (kN/m2)	qp (kN/m2)	Qp (kN)	qs (kN/m2)	Qs (kN)	Qtot (kN)	Q/Cs (kN)	Q calc. (tf)	K (kN/m2)	α (%)	Qp (kN)	Qa (kN)	Qtot (kN)	Q/Cs (kN)	Q calc. (tf)	Q calc. (kN)	Q calc. (tf)
0	-	Silte arenoso	250	0	0	10	0	0	0	0	550	2,2%	0	0	0	0	0	0	0
1	8	Silte arenoso	250	0	0	37	58	58	29	3	550	2,2%	0	40	40	20	2	20	2
2	7	Silte arenoso	250	0	0	33	110	110	55	6	550	2,2%	0	75	75	38	4	38	4
3	7	Silte arenoso	250	0	0	33	162	162	81	8	550	2,2%	0	110	110	55	6	55	6
4	6	Argila	120	0	0	30	209	209	105	11	200	6,0%	0	140	140	70	7	70	7
5	8	Areia	400	0	0	37	267	267	134	14	1000	1,4%	0	186	186	93	9	93	9
6	23	Areia	400	0	0	87	403	403	202	21	1000	1,4%	0	319	319	160	16	160	16
7	23	Areia	400	0	0	87	539	539	270	27	1000	1,4%	0	452	452	226	23	226	23
8	22	Areia	400	0	0	83	670	670	335	34	1000	1,4%	0	580	580	290	30	290	30
9	17	Areia	400	0	0	67	775	775	387	40	1000	1,4%	0	678	678	339	35	339	35
10	17	Areia	400	0	0	67	880	880	440	45	1000	1,4%	0	776	776	388	40	388	40
11	17	Areia	400	0	0	67	984	984	492	50	1000	1,4%	0	875	875	437	45	437	45
12	23	Areia	400	0	0	87	1121	1121	560	57	1000	1,4%	0	1008	1008	504	51	504	51
13	24	Areia	400	0	0	90	1262	1262	631	64	1000	1,4%	0	1147	1147	573	58	573	58
14	33	Areia	400	0	0	120	1450	1450	725	74	1000	1,4%	0	1338	1338	669	68	669	68
15	46	Areia	400	0	0	163	1707	1707	853	87	1000	1,4%	0	1604	1604	802	82	802	82
16	45	Areia	400	0	0	160	1958	1958	979	100	1000	1,4%	0	1864	1864	932	95	932	95
17	39	Areia siltyosa	400	0	0	140	2178	2178	1089	111	800	2,0%	0	2122	2122	1061	108	1061	108
18	39	Areia siltyosa	400	0	0	140	2398	2398	1199	122	800	2,0%	0	2380	2380	1190	121	1190	121
19	33	Areia siltyosa	400	0	0	120	2587	2587	1293	132	800	2,0%	0	2599	2599	1299	132	1293	132
20	33	Areia siltyosa	400	0	0	120	2775	2775	1388	141	800	2,0%	0	2817	2817	1408	144	1388	141
21	29	Areia siltyosa	400	0	0	107	2943	2943	1471	150	800	2,0%	0	3009	3009	1504	153	1471	150
22	40	Areia siltyosa	400	0	0	143	3168	3168	1584	162	800	2,0%	0	3273	3273	1637	167	1584	162
23	44	Areia siltyosa	400	0	0	157	3414	3414	1707	174	800	2,0%	0	3564	3564	1782	182	1707	174
24	48	Areia siltyosa	400	0	0	170	3681	3681	1840	188	800	2,0%	0	3882	3882	1941	198	1840	188
25	45	Areia siltyosa	400	0	0	160	3932	3932	1966	200	800	2,0%	0	4179	4179	2090	213	1966	200
26	45	Areia siltyosa	400	0	0	160	4184	4184	2092	213	800	2,0%	0	4477	4477	2238	228	2092	213

Obra: CAMPANHA 2

Local:

Tipo de estaca: Hélice contínua

F1 = 3,0

F2 = 3,8

Diâmetro: 60 cm
 fck do concreto da estaca: 30 MPa
 Resistência da estaca: 6059 kN
 Coef. Segurança: 2,0

Prof. (m)	SPT	Solo	Décourt-Quaresma							Aoki-Velloso									
			K (kN/m ²)	qp (kN/m ²)	Qp (kN)	qs (kN/m ²)	Qs (kN)	Qtot (kN)	Q/C (kN)	Q calc. (tf)	K (kN/m ²)	α (%)	Qp (kN)	Qa (kN)	Qtot (kN)	Q/C (kN)	Q calc. (tf)	Q calc. (kN)	Q calc. (tf)
0	-	Silte arenoso	250	0	0	10	0	0	0	0	550	2,2%	0	0	0	0	0	0	0
1	8	Silte arenoso	250	0	0	37	69	69	35	4	550	2,2%	0	48	48	24	2	24	2
2	7	Silte arenoso	250	0	0	33	132	132	66	7	550	2,2%	0	90	90	45	5	45	5
3	7	Silte arenoso	250	0	0	33	195	195	97	10	550	2,2%	0	132	132	66	7	66	7
4	6	Argila	120	0	0	30	251	251	126	13	200	6,0%	0	168	168	84	9	84	9
5	8	Areia	400	0	0	37	320	320	160	16	1000	1,4%	0	223	223	112	11	112	11
6	23	Areia	400	0	0	87	484	484	242	25	1000	1,4%	0	383	383	192	20	192	20
7	23	Areia	400	0	0	87	647	647	324	33	1000	1,4%	0	543	543	271	28	271	28
8	22	Areia	400	0	0	83	804	804	402	41	1000	1,4%	0	696	696	348	35	348	35
9	17	Areia	400	0	0	67	930	930	465	47	1000	1,4%	0	814	814	407	41	407	41
10	17	Areia	400	0	0	67	1056	1056	528	54	1000	1,4%	0	932	932	466	48	466	48
11	17	Areia	400	0	0	67	1181	1181	591	60	1000	1,4%	0	1050	1050	525	54	525	54
12	23	Areia	400	0	0	87	1345	1345	672	69	1000	1,4%	0	1209	1209	605	62	605	62
13	24	Areia	400	0	0	90	1514	1514	757	77	1000	1,4%	0	1376	1376	688	70	688	70
14	33	Areia	400	0	0	120	1740	1740	870	89	1000	1,4%	0	1605	1605	803	82	803	82
15	46	Areia	400	0	0	163	2048	2048	1024	104	1000	1,4%	0	1925	1925	962	98	962	98
16	45	Areia	400	0	0	160	2350	2350	1175	120	1000	1,4%	0	2237	2237	1119	114	1119	114
17	39	Areia silty	400	0	0	140	2614	2614	1307	133	800	2,0%	0	2547	2547	1273	130	1273	130
18	39	Areia silty	400	0	0	140	2878	2878	1439	147	800	2,0%	0	2856	2856	1428	146	1428	146
19	33	Areia silty	400	0	0	120	3104	3104	1552	158	800	2,0%	0	3118	3118	1559	159	1552	158
20	33	Areia silty	400	0	0	120	3330	3330	1665	170	800	2,0%	0	3380	3380	1690	172	1665	170
21	29	Areia silty	400	0	0	107	3531	3531	1766	180	800	2,0%	0	3610	3610	1805	184	1766	180
22	40	Areia silty	400	0	0	143	3801	3801	1901	194	800	2,0%	0	3928	3928	1964	200	1901	194
23	44	Areia silty	400	0	0	157	4097	4097	2048	209	800	2,0%	0	4277	4277	2138	218	2048	209
24	48	Areia silty	400	0	0	170	4417	4417	2209	225	800	2,0%	0	4658	4658	2329	237	2209	225
25	45	Areia silty	400	0	0	160	4719	4719	2359	241	800	2,0%	0	5015	5015	2508	256	2359	241
26	45	Areia silty	400	0	0	160	5020	5020	2510	256	800	2,0%	0	5372	5372	2686	274	2510	256

Obra: CAMPANHA 2

Local: PUC

Tipo de estaca: Hélice contínua

F1 = 3,0

F2 = 3,8

Diâmetro: 70 cm
 fck do concreto da estaca: 30 MPa
 Resistência da estaca: 8247 kN
 Coef. Segurança: 2,0

Prof. (m)	SPT	Solo	Décourt-Quaresma								Aoki-Velloso								
			K (kN/m ²)	qp (kN/m ²)	Qp (kN)	qs (kN/m ²)	Qs (kN)	Qtot (kN)	Q/C S (kN)	Q calc. (tf)	K (kN/m ²)	α (%)	Qp (kN)	Qa (kN)	Qtot (kN)	Q/C S (kN)	Q calc. (tf)	Q calc. (kN)	Q calc. (tf)
0	-	Silte arenoso	250	0	0	10	0	0	0	0	550	2,2%	0	0	0	0	0	0	0
1	8	Silte arenoso	250	0	0	37	81	81	40	4	550	2,2%	0	56	56	28	3	28	3
2	7	Silte arenoso	250	0	0	33	154	154	77	8	550	2,2%	0	105	105	53	5	53	5
3	7	Silte arenoso	250	0	0	33	227	227	114	12	550	2,2%	0	154	154	77	8	77	8
4	6	Argila	120	0	0	30	293	293	147	15	200	6,0%	0	196	196	98	10	98	10
5	8	Areia	400	0	0	37	374	374	187	19	1000	1,4%	0	261	261	130	13	130	13
6	23	Areia	400	0	0	87	564	564	282	29	1000	1,4%	0	447	447	223	23	223	23
7	23	Areia	400	0	0	87	755	755	378	38	1000	1,4%	0	633	633	317	32	317	32
8	22	Areia	400	0	0	83	938	938	469	48	1000	1,4%	0	811	811	406	41	406	41
9	17	Areia	400	0	0	67	1085	1085	542	55	1000	1,4%	0	949	949	475	48	475	48
10	17	Areia	400	0	0	67	1232	1232	616	63	1000	1,4%	0	1087	1087	543	55	543	55
11	17	Areia	400	0	0	67	1378	1378	689	70	1000	1,4%	0	1225	1225	612	62	612	62
12	23	Areia	400	0	0	87	1569	1569	784	80	1000	1,4%	0	1411	1411	706	72	706	72
13	24	Areia	400	0	0	90	1767	1767	883	90	1000	1,4%	0	1605	1605	803	82	803	82
14	33	Areia	400	0	0	120	2031	2031	1015	104	1000	1,4%	0	1873	1873	936	95	936	95
15	46	Areia	400	0	0	163	2390	2390	1195	122	1000	1,4%	0	2246	2246	1123	114	1123	114
16	45	Areia	400	0	0	160	2742	2742	1371	140	1000	1,4%	0	2610	2610	1305	133	1305	133
17	39	Areia siltyosa	400	0	0	140	3049	3049	1525	155	800	2,0%	0	2971	2971	1486	151	1486	151
18	39	Areia siltyosa	400	0	0	140	3357	3357	1679	171	800	2,0%	0	3332	3332	1666	170	1666	170
19	33	Areia siltyosa	400	0	0	120	3621	3621	1811	185	800	2,0%	0	3638	3638	1819	185	1811	185
20	33	Areia siltyosa	400	0	0	120	3885	3885	1943	198	800	2,0%	0	3943	3943	1972	201	1943	198
21	29	Areia siltyosa	400	0	0	107	4120	4120	2060	210	800	2,0%	0	4212	4212	2106	215	2060	210
22	40	Areia siltyosa	400	0	0	143	4435	4435	2217	226	800	2,0%	0	4582	4582	2291	234	2217	226
23	44	Areia siltyosa	400	0	0	157	4779	4779	2390	244	800	2,0%	0	4990	4990	2495	254	2390	244
24	48	Areia siltyosa	400	0	0	170	5153	5153	2577	263	800	2,0%	0	5434	5434	2717	277	2577	263
25	45	Areia siltyosa	400	0	0	160	5505	5505	2753	281	800	2,0%	0	5851	5851	2925	298	2753	281
26	45	Areia siltyosa	400	0	0	160	5857	5857	2928	299	800	2,0%	0	6268	6268	3134	320	2928	299