



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

BRUNO SÉRGIO SAMPAIO

MELHORAMENTO DE SOLO: avaliação de dois casos práticos

RECIFE

2024

BRUNO SÉRGIO SAMPAIO

MELHORAMENTO DE SOLO: avaliação de dois casos práticos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Pernambuco– UFPE, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof.^a Dra. Analice França Lima Amorim

RECIFE

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Sampaio, Bruno Sérgio .

Melhoramento de solo: avaliação de dois casos práticos / Bruno Sérgio Sampaio. - Recife, 2024.

94 p. : il., tab.

Orientador(a): Analice França Lima Amorim

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Civil - Bacharelado, 2024.

Inclui referências, anexos.

1. Melhoramento de solo. 2. Fundações superficiais. 3. Ensaios SPT. I. Amorim, Analice França Lima. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

BRUNO SÉRGIO SAMPAIO

MELHORAMENTO DE SOLO: avaliação de dois casos práticos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Pernambuco– UFPE, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenheiro Civil.

Aprovado em: 04/11/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Analice França Lima Amorim
Universidade Federal de Pernambuco (Orientadora)

Prof.^a Dra. Leila Brunet de Sá Beserra
Universidade Federal de Pernambuco (examinador interno)

Prof. Dr. Tibério Wanderley Correia de Oliveira Andrade
Universidade Federal de Pernambuco (examinador interno)

AGRADECIMENTOS

À minha família, expresso minha mais profunda gratidão. Em especial, ao meu pai, minha mãe, minha vizinha e meu irmão, por estarem sempre ao meu lado, oferecendo apoio e incentivo incondicionais durante todos esses anos de graduação. Cada conquista minha é reflexo do carinho e da confiança que sempre depositaram em mim.

À minha namorada, Larissa, agradeço por todo suporte, força e pelo companheirismo inabalável. Sua presença constante foi fundamental para superar os desafios desta caminhada. Agradeço à equipe da RECON, em especial ao Leonardo, pelas contribuições preciosas que enriqueceram este trabalho. Ao Ricardo Dalla Nora, minha sincera gratidão por compartilhar seu vasto conhecimento e por estar sempre disponível quando precisei, proporcionando um aprendizado inestimável.

Por fim, deixo meu agradecimento à professora Analice França, pela orientação cuidadosa e dedicada que foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta a análise de duas obras localizadas na zona norte do Recife, onde foram aplicadas diferentes técnicas de melhoramento de solo para viabilizar a construção de edifícios de múltiplos pavimentos. Devido à predominância de solos com baixa capacidade de suporte, a aplicação dessas técnicas foi crucial para tornar as construções viáveis, proporcionando fundações mais econômicas e reduzindo o impacto nas vizinhanças das obras. Nas duas obras, as soluções de melhoramento do solo foram definidas pelas condições geotécnicas de cada área. Na Obra 1, onde o solo apresentava possíveis camadas intermediárias de silte, que impediriam a compactação eficiente com areia e brita, optou-se pela utilização de estacas de argamassa, capazes de proporcionar a estabilidade necessária para o solo e conseqüentemente para a implantação da fundação superficial. Já na Obra 2, caracterizada por solo predominantemente arenoso, foram utilizadas estacas de melhoramento compostas por areia e brita, adequadas às condições do terreno. A escolha das técnicas levou em consideração as especificidades geotécnicas de cada local para garantir a eficiência do processo de melhoramento. Além disso, para verificar o ganho de resistência do solo, em cada obra foram realizados ensaios de SPT antes e após a execução das estacas de melhoramento. O monitoramento de recalque nas duas obras ainda está em andamento, mas os dados obtidos até o momento indicam que as técnicas aplicadas estão contribuindo para a estabilidade das fundações. Os resultados mostram que o objetivo de melhorar as condições do solo foi alcançado em ambas as obras. Na Obra 1, o uso de estacas de argamassa foi essencial devido à complexidade geotécnica do solo, enquanto na Obra 2, a compactação com areia e brita proporcionou melhorias significativas na capacidade. O comparativo dos ensaios SPT e o monitoramento de recalques reforçam a eficácia das técnicas de melhoramento, evidenciando a importância dos estudos geotécnicos na definição das soluções mais adequadas para cada tipo de solo. Em ambas as obras, o NSPT foi comparado até a profundidade de 8 metros, onde se observou, na Obra 1, um aumento de aproximadamente 8 para 12, com um recalque médio de 4,36 mm em 159 dias. Já na Obra 2, o NSPT médio subiu de 5 para 14, com um recalque médio de 2,52 mm em 132 dias, confirmando a eficiência das intervenções realizadas. O sucesso das intervenções permitiu a viabilização de fundações superficiais nas duas obras, demonstrando a relevância das técnicas para garantir a segurança e eficiência das construções em esses tipos de solos.

Palavras-chave: Melhoramento de solo; Ensaios SPT; Fundações superficiais

ABSTRACT

This study presents the analysis of two construction projects located in the northern zone of Recife, where different soil improvement techniques were applied to enable the construction of multi-story buildings. Due to the predominance of low-bearing capacity soils, the application of these techniques was crucial in making the constructions feasible, providing more economical foundations and reducing the impact on neighboring structures. In both projects, the soil improvement solutions were defined by the geotechnical conditions of each site. In Site 1, where the soil presented possible intermediate silt layers that would hinder efficient compaction with sand and gravel, mortar piles were used to provide the necessary stability for the soil and, consequently, allowing the implementation of a shallow foundation. In Site 2, characterized by predominantly sandy soil, improvement piles composed of sand and gravel were used, as they were better suited to the terrain conditions. The choice of techniques took into account the geotechnical specifics of each location to ensure the efficiency of the improvement process. Additionally, to verify the soil's strength gain, SPT tests were performed in both projects before and after the execution of the improvement piles. Settlement monitoring in both projects is still ongoing, but the data obtained so far indicate that the applied techniques are contributing to the stability of the foundations. The results show that the goal of improving soil conditions was achieved in both projects. In Site 1, the use of mortar piles was essential due to the soil's geotechnical complexity, while in Site 2, compaction with sand and gravel significantly improved soil compaction. The comparison of SPT tests and settlement monitoring reinforces the effectiveness of the improvement techniques, highlighting the importance of geotechnical studies in defining the most appropriate solutions for each soil type. In both projects, NSPT values were compared to a depth of 8 meters, showing an increase in Site 1 from approximately 8 to 12, with an average settlement of 4.36 mm over 159 days. In Site 2, NSPT values increased from 5 to 14, with an average settlement of 2.52 mm over 132 days, confirming the efficiency of the interventions. The success of the interventions enabled the use of shallow foundations in both projects, demonstrating the relevance of these techniques in ensuring the safety and efficiency of construction in such soil types.

Keywords: Soil improvement; SPT tests; Shallow foundations.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Execução da fundação em radier | 17 |
| Figura 2 – Sapata corrida para apoio de pilares | 18 |
| Figura 3 – Sapata corrida para apoio de parede | 18 |
| Figura 4 – Sapata associada comum a dois pilares | 19 |
| Figura 5 – Representação da sapata isolada | 20 |
| Figura 6 – Centro de gravidade coincidente do pilar e da sapata | 21 |
| Figura 7 – Método executivo estacas de fundação metálicas e pré-moldadas | 22 |
| Figura 8 – Execução estaca Strauss | 24 |
| Figura 9 – Execução estaca Franki | 25 |
| Figura 10 – Execução estaca Raiz | 27 |
| Figura 11 – Execução hélice contínua | 28 |
| Figura 12 – Técnicas de aprimoramento de solos de acordo com a granulometria | 30 |
| Figura 13 – Técnica de execução por vibroflotação | 30 |
| Figura 14 – Técnica de injeção | 31 |
| Figura 15 – Cravação dinâmica de estacas de compactação | 33 |
| Figura 16 – CPT mecânico | 34 |
| Figura 17 – Ilustração prova de carga estática | 35 |
| Figura 18 – Representação do ensaio SPT | 36 |
| Figura 19 – Influência da energia de compactação no processo de melhoramento | 37 |
| Figura 20 – Características da edificação da Obra 1 | 38 |
| Figura 21 – Mapa de furo de sondagens realizada no terreno da obra 1 | 39 |
| Figura 22 – Perfil geotécnico Obra 1 | 39 |
| Figura 23 – Visão geral da planta de locação das estacas de melhoramento (círculos vermelhos abaixo da sapata) e da fundação (linhas em azul) da Obra 1 | 41 |
| Figura 24 – Detalhe da planta de locação das estacas de melhoramento Obra 1 1/2 (círculos vermelhos abaixo da sapata). | 42 |
| Figura 25 – Detalhe da planta de locação das estacas de melhoramento Obra 1 2/2 (círculos vermelhos abaixo da sapata). | 43 |
| Figura 26 – Características da edificação da Obra 2 | 44 |
| Figura 27 – Mapa de furo de sondagens realizadas no terreno da Obra 2 | 44 |
| Figura 28 – Perfil geotécnico da Obra 2 | 45 |
| Figura 29 – Planta de fundação da Obra 2 | 46 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 30 – Distribuição das estacas de compactação na Obra 2 (círculos) | 47 |
| Figura 31 – Abertura das estacas de melhoramento do solo realizada pelo trado | 49 |
| Figura 32 – Processo de cravação das estacas de compactação | 50 |
| Figura 33 – Lançamento de argamassa no tubo metálico | 51 |
| Figura 34 – Estacas de compactação executadas | 51 |
| Figura 35 – Comprimento médio das estacas de melhoramento de argamassa | 53 |
| Figura 36 – Comparativo do N-SPT antes e após o melhoramento do solo na Obra 1 | 54 |
| Figura 37 – Comprimento médio das estacas de reforço | 56 |
| Figura 38 – Diagrama de recalque Obra 1 | 57 |
| Figura 39 – Velocidade de recalque Obra 1 | 57 |
| Figura 40 – Comparativo do N-SPT antes e após o melhoramento do solo (Após 2) na Obra 2 | 59 |
| Figura 41 – Diagrama de recalque da Obra 2 | 60 |
| Figura 42 – Gráfico de velocidade de recalque Obra 2 | 61 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 – Fundações superficiais e profundas | 16 |
| Quadro 2 – Carga de serviço das estacas de melhoramento | 55 |

SUMÁRIO

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO | 14 |
| 1.2 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS | 14 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 15 |
| 2.1 FUNDAÇÕES | 15 |
| 2.1.1 Fundações superficiais..... | 16 |
| 2.1.1.1 Blocos | 16 |
| 2.1.1.2 Radier | 17 |
| 2.1.1.3 Sapatas | 18 |
| a) Sapata Corrida | 18 |
| b) Sapata associada..... | 19 |
| c) Sapata Isolada..... | 19 |
| 2.1.2 Fundações profundas | 21 |
| 2.1.2.1 Estaca metálica | 21 |
| 2.1.2.2 Estaca pré-moldada de concreto | 22 |
| 2.1.2.3 Estacas moldadas in loco..... | 23 |
| 2.2 MELHORAMENTO DE SOLO | 29 |
| 2.2.1 Técnicas de melhoramento de solo..... | 29 |
| 2.2.1.1 Vibroflotação | 30 |
| 2.2.1.2 Técnicas de injeção..... | 31 |
| 2.2.2.3 Estacas de compactação..... | 32 |
| 2.2.2 Ensaios para determinação de parâmetros para melhoramento de solo | 33 |
| 2.2.2.1 Ensaio de cone | 33 |
| 2.2.2.2 Prova de carga estática | 34 |
| 2.2.2.3 Coleta de amostras indeformadas | 35 |
| 2.2.2.4 Sondagem SPT | 35 |
| 3 ÁREA DE ESTUDO..... | 38 |
| 3.1 OBRA 1 | 38 |
| 3.2 OBRA 2 | 43 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS | 48 |
| 4.1 OBRA 1 | 48 |
| 4.2 OBRA 2 | 51 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5 RESULTADOS | 53 |
| 5.1 OBRA 1 | 53 |
| 5.2 OBRA 2 | 58 |
| 6 CONCLUSÃO..... | 62 |
| REFERÊNCIAS | 63 |
| ANEXOS | 66 |
| ANEXO A – SONDAgens REALIZADAS INICIALMENTE NA OBRA 1..... | 67 |
| ANEXO B – SONDAgens REALIZADAS APÓS MELHORAMENTO NA OBRA 1..... | 76 |
| ANEXO C – SONDAgens REALIZADAS INICIALMENTE NA OBRA 2..... | 84 |
| ANEXO D – SONDAgens REALIZADAS APÓS MELHORAMENTO NA OBRA 2 | 90 |

1 INTRODUÇÃO

A rápida expansão das cidades e o aumento da densidade populacional estão pressionando os centros urbanos a ocuparem terrenos com características geotécnicas desfavoráveis. Esse fenômeno é particularmente evidente em Recife, onde a disponibilidade de terrenos com boa capacidade de suporte está diminuindo, obrigando as edificações de múltiplos pavimentos a serem realizadas em áreas com solos inadequados para fundações superficiais, que possui custo muito inferior as fundações profundas.

Fundações superficiais ou estacas profundas, são projetadas para transferir as cargas das edificações diretamente para o solo. No entanto, em solos com baixa capacidade de suporte, como ocorre em algumas áreas de Recife, o uso de fundações superficiais sem qualquer tipo de intervenção no solo pode levar a recalques excessivos e problemas estruturais. A adoção de técnicas de melhoramento de solo se torna, então, uma alternativa indispensável para garantir a segurança e estabilidade das construções, especialmente em edifícios de múltiplos pavimentos.

Entre as técnicas de melhoramento mais utilizadas está a inserção de estacas de compactação, que têm como objetivo compactar o solo e aumentar sua capacidade de carga. Essa técnica consiste na introdução e compactação de materiais como areia, brita ou argamassa, no solo, na forma de pequenas estacas regularmente espaçadas, expulsando lateralmente o solo, que é comprimido, o que reduz o seu índice de vazios, aumentando sua capacidade de carga. Esse processo é especialmente vantajoso em terrenos urbanos, onde a adoção de fundações profundas pode ser complexa e dispendiosa. A aplicação das estacas de compactação não só viabiliza o uso de fundações superficiais em solos com menor capacidade de carga, como também contribui para a redução dos recalques e garante um desempenho estrutural mais seguro ao longo do tempo.

Entre as técnicas de melhoramento de solo, as estacas de compactação, especialmente quando aplicadas por métodos de vibração, oferecem uma vantagem significativa em áreas urbanas densamente ocupadas. Esse processo executivo, ao invés de utilizar impactos ou perfurações agressivas, emprega vibrações controladas para inserir as estacas no solo, o que minimiza o impacto na vizinhança. Assim, o uso de estacas de compactação por vibração não só melhora o desempenho do solo, como também oferece maior segurança às obras vizinhas, reduzindo as interferências nas construções ao redor.

Ademais, o uso de técnicas de melhoramento de solo contribui para a otimização dos recursos de construção. O processo de compactação pode reduzir a profundidade das fundações necessárias, diminuindo os custos e o tempo de execução das obras. Isso é especialmente

importante em grandes projetos urbanos, onde a relação custo-benefício e a eficiência são fatores críticos para a viabilidade do empreendimento. Dessa forma, técnicas como as estacas de compactação representam uma solução não apenas geotécnica, mas também econômica e sustentável para o desenvolvimento urbano em solos desafiadores.

1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

Diante da escassez de terrenos adequados para a construção civil na cidade de Recife, é necessário desenvolver soluções que possibilitem o uso de solos com baixa capacidade de suporte. A implementação de técnicas de melhoramento de solo, como as estacas de compactação, surge como uma resposta a esse desafio. A utilização dessas estacas permite que áreas antes inadequadas para empregar fundações superficiais em edificações de grande porte sejam viabilizadas, reduzindo custos, muitas vezes significativos. Essas técnicas são de grande relevância prática, não só por possibilitarem o uso de fundações superficiais, que são mais econômicas, mas também por reduzirem o risco de recalques excessivos e falhas. A crescente utilização dessas técnicas na região reflete sua eficácia e justifica a necessidade de estudos que avaliem seu desempenho, especialmente em solos de baixa capacidade de suporte, como os encontrados na Região Metropolitana do Recife.

1.2 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

O objetivo principal deste trabalho é analisar a eficácia das técnicas de melhoramento de solo com estacas de compactação em duas obras localizadas na zona norte do Recife, considerando as diferentes necessidades de reforço do terreno em cada obra.

Os objetivos específicos deste trabalho incluem:

- Avaliação dos resultados dos ensaios SPT realizados antes e após a execução das técnicas de melhoramento de solo
- Monitoramento do recalque durante o processo construtivo com o intuito de validar a eficiência dessas técnicas
- Análise das condições geotécnicas específicas de cada obra, considerando a influência do melhoramento de solo na viabilidade do uso de fundações superficiais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 FUNDAÇÕES

Segundo Sousa *et al.* (2018), a fundação desempenha um papel crucial em qualquer construção, pois sua função principal é absorver cargas verticais e horizontais, transmitindo-as de maneira adequada ao solo, garantindo a estabilidade da edificação. A escolha do tipo de fundação, seja ela profunda ou superficial, deve ser feita com base em vários fatores, incluindo as características do solo e a carga que a estrutura precisará suportar. Hoje, existe uma ampla variedade de opções de fundações que podem ser utilizadas conforme as necessidades específicas do projeto.

As fundações são classificadas em dois grupos principais: superficiais (rasas) e profundas, com base na profundidade em relação à superfície do solo e a forma de transmissão de carga. As fundações superficiais são indicadas para solos com alta resistência e são adequadas para edificações de pequeno porte, que concentram cargas menores. Como destacam Sousa *et al.* (2018), essas fundações transmitem as cargas diretamente para as camadas de solo próximas à superfície. Já as fundações profundas são utilizadas em solos de baixa resistência, que são incompatíveis com as cargas atuantes dessas edificações, havendo, inevitavelmente, a necessidade de transferir essas cargas para camadas mais profundas. Nesse sistema, utiliza-se o bloco de coroamento, um elemento de concreto armado responsável por absorver as cargas dos pilares e distribuí-las para as estacas, assegurando a transferência eficaz para o solo.

Conforme o item 3.28 da NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), as fundações superficiais são definidas como "elementos de fundação cuja base está assentada em profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação". Já as fundações profundas, conforme o item 3.27 da mesma norma, são aquelas que transferem a carga tanto pela base quanto pela superfície lateral do elemento, ou por uma combinação de ambos os mecanismos, e cuja profundidade é superior a oito vezes a menor dimensão em planta do elemento estrutural, sendo no mínimo de 3 metros. O Quadro 1 apresenta os tipos mais usuais de fundações superficiais e profundas:

Quadro 1 – Fundações superficiais e profundas

| FUNDAÇÕES | |
|--------------|--------------------------------------|
| SUPERFICIAIS | PROFUNDAS |
| Sapatas | Estacas moldadas in loco de concreto |
| Blocos | Estacas metálicas |
| Radier | Estacas pré moldadas de concreto |

Fonte: O autor (2024).

2.1.1 Fundações superficiais

2.1.1.1 Blocos

Os blocos de fundação são utilizados para distribuir as cargas das edificações diretamente para o solo. São geralmente empregados em situações em que o solo apresenta boa capacidade de suporte próximo a superfície e as cargas da estrutura não são excessivamente altas. Os blocos de fundação são definidos pelo item 3.3 da NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019) como “elemento de fundação rasa de concreto ou outros materiais tais como alvenaria ou pedras, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo material, sem necessidade de armadura”.

A execução dos blocos de fundação começa com a escavação do solo na área determinada pelo projeto, seguindo as dimensões e profundidades especificadas. Após a escavação a base onde será apoiado o bloco é preparada com uma camada de concreto magro, que nivela a base e cria uma superfície adequada para a concretagem. Em seguida, é feita a concretagem do bloco, onde o concreto, se for o material utilizado, é lançado diretamente na forma e adensado com vibradores para eliminar bolhas de ar e garantir que o material preencha todo o espaço de maneira uniforme. Após essa etapa, o bloco passa por um período de cura. É um tipo de fundação caracterizado pela simplicidade na execução e pelo baixo custo operacional.

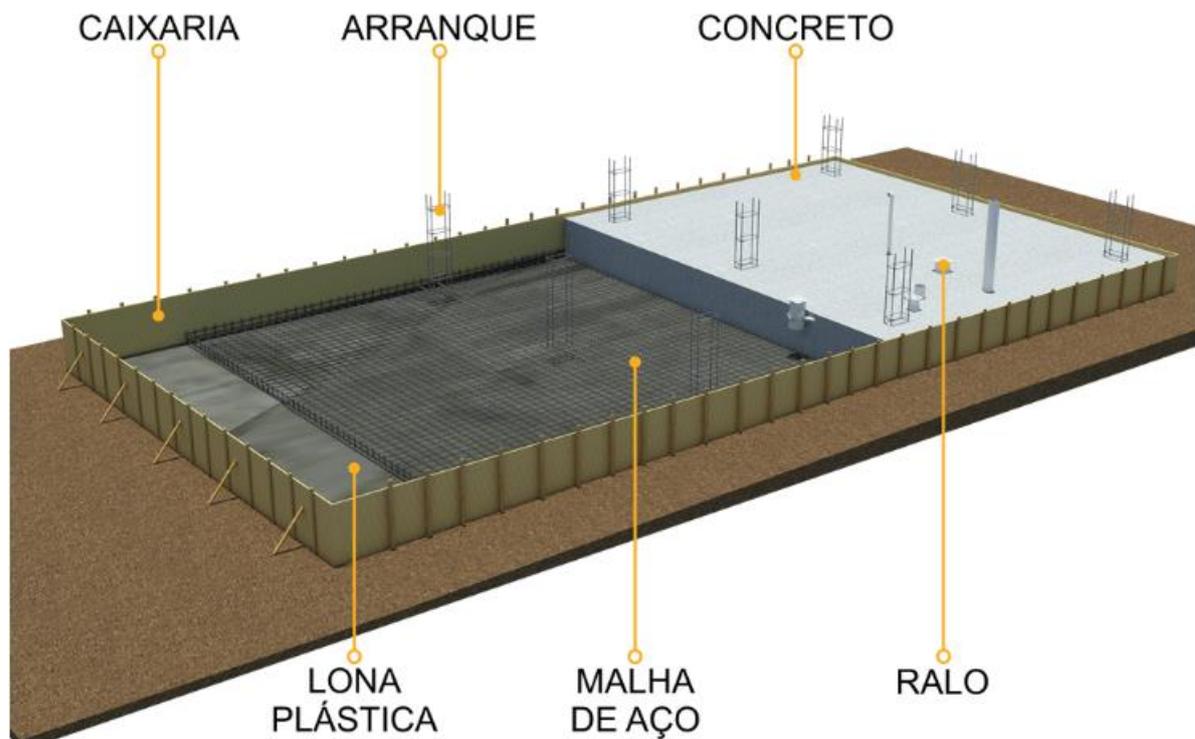
2.1.1.2 Radier

O radier, conforme descrito no item 3.35 da NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), é definido como um elemento de fundação rasa com rigidez suficiente para receber e distribuir mais de 70% das cargas da estrutura. Esse tipo de fundação consiste em uma laje de concreto armado que se estende por toda a área da construção. O radier

é geralmente empregado quando a soma das áreas das sapatas isoladas atinge 70% ou mais da área total de construção, pois, a partir desse ponto, torna-se uma solução mais eficiente e econômica.

Para sua execução, é necessário preparar o terreno com limpeza, nivelamento e compactação adequados. Em seguida, posicionam-se as fôrmas ao redor da área a ser concretada, definindo os limites da fundação, e coloca-se uma camada de brita para servir de lastro, evitando o contato direto entre o aço da armadura e o solo. Antes da concretagem da laje, é essencial instalar as tubulações elétricas e hidrossanitárias para evitar cortes ou perfurações futuras. Após isso, procede-se à concretagem da laje, completando o processo de construção do radier. É possível ver na Figura 1 a execução do radier.

Figura 1 – Execução de fundação em radier



Fonte: Retondo (2021).

2.1.1.3 Sapatas

As sapatas são elementos de fundação superficial mais comuns e são usados para transmitir as cargas de uma estrutura para o solo de forma direta. Elas são definidas pelo item 3.38 da NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019) como “elemento de fundação rasa, de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de

tração nele resultantes sejam resistidas pelo emprego de armadura especialmente disposta para esse fim”. Existem vários tipos de sapatas, entre as mais comuns estão: sapata isolada, sapata corrida e sapata associada; cada uma delas tem características específicas.

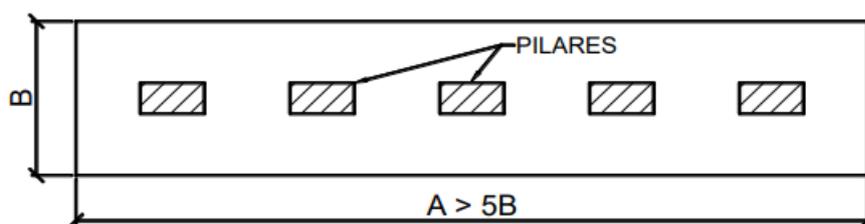
a) Sapata Corrida

A sapata corrida, conforme o item 3.40 da NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), é definida como "sapata sujeita à ação de uma carga distribuída linearmente ou de três ou mais pilares ao longo de um mesmo alinhamento, desde que representem menos de 70% das cargas da estrutura". Esse tipo de fundação é utilizado para suportar cargas provenientes de elementos contínuos que distribuem as cargas de forma linear, como muros e paredes, distribuindo o peso ao longo de uma extensão maior do solo.

Conforme Bastos (2023), as sapatas corridas são comuns em construções de pequeno porte, como casas, galpões, muros de arrimo, e em reservatórios e piscinas. Essas fundações são uma solução economicamente viável em solos que possuem boa capacidade de suporte a baixas profundidades. Para diferenciá-la de uma sapata isolada, a sapata corrida é definida quando seu comprimento é maior que cinco vezes a largura ($A > 5B$).

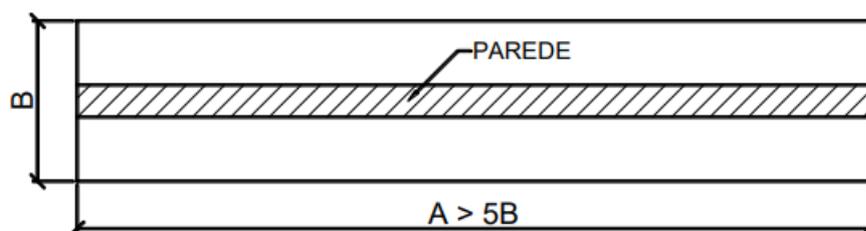
Pode-se observar na Figura 2 a sapata corrida sujeita à ação de mais de três pilares ao longo de um mesmo alinhamento e, na Figura 3, a sapata corrida submetida à ação de uma carga linearmente distribuída.

Figura 2 – Sapata corrida para apoio de pilares



Fonte: Bastos (2023)

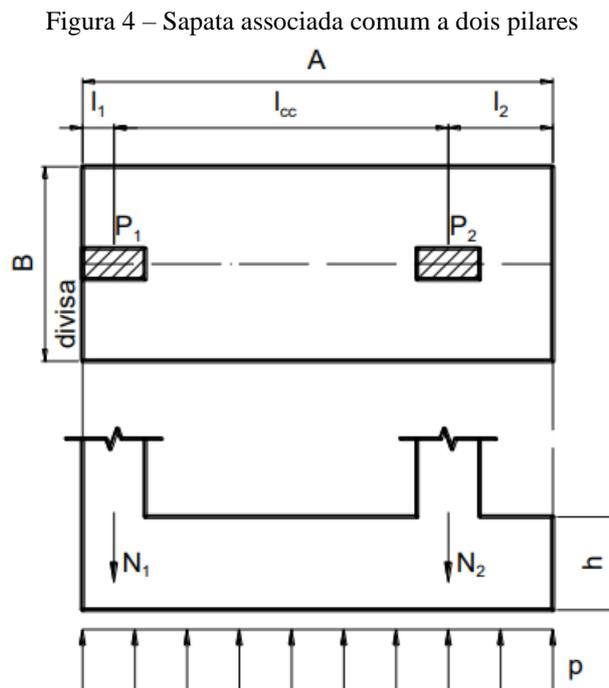
Figura 3 – Sapata corrida para apoio de parede



Fonte: Bastos (2023)

b) Sapata associada

De acordo com o item 3.39 da NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), sapata associada é definida como “sapata comum a dois pilares; a denominação se aplica também a sapata comum a mais do que dois pilares, quando não alinhados e desde que representem menos de 70% das cargas da estrutura”. A sapata associada é normalmente utilizada quando dois pilares estão próximos o suficiente para que o uso de uma sapata isolada para cada pilar se torne inviável (Bastos, 2023), como pode ser visto na Figura 4. Nesses casos, a sapata associada é adotada para evitar a sobreposição de duas sapatas isoladas, proporcionando uma solução que melhora a distribuição das cargas e economiza espaço e materiais.



Fonte: Bastos (2023).

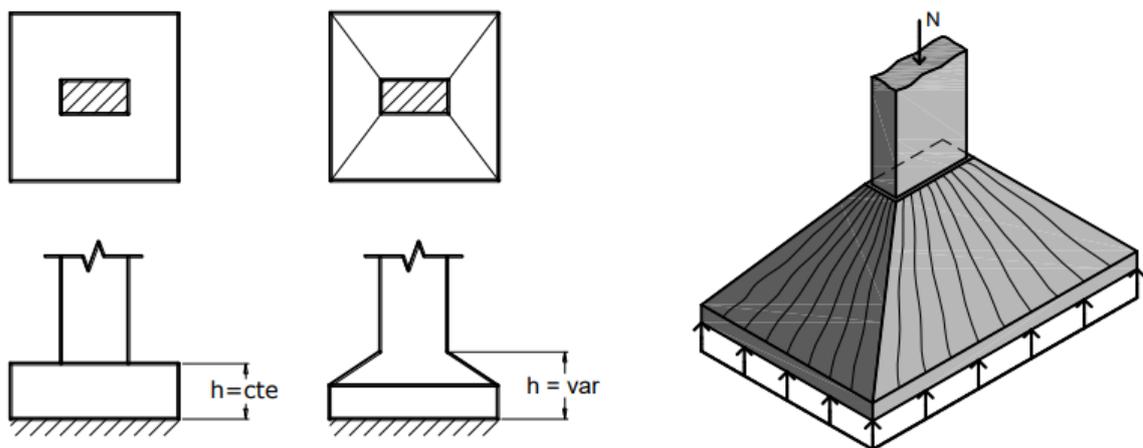
c) Sapata Isolada

A sapata isolada se trata do tipo mais comum das fundações superficiais e ela é responsável por transmitir ao solo a ação de um único pilar. Pelo item 7.7.1 da NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019) “em planta, as sapatas isoladas ou os blocos não podem ter dimensões inferiores a 60 cm.” Podendo ser considerada sapata isolada quando a relação do comprimento com a largura for menor que cinco para um,

como é destacado por Sousa *et al.* (2018), caso contrário, é considerada sapata corrida. Seus modelos mais comuns são as quadradas e retangulares.

O processo de execução de uma sapata isolada é relativamente simples. Primeiramente é feito a escavação até a cota definida em projeto, atingindo essa profundidade o solo é compactado e conforme orienta o item 7.7.3 da NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019) “todas as partes da fundação rasa (direta ou superficial) em contato com o solo (sapatas, vigas de equilíbrio etc) devem ser concretadas sobre um lastro de concreto não estrutural com no mínimo 5 cm de espessura, a ser lançado sobre toda a superfície de contato solo-fundação”. Esse lastro tem como função nivelar a base e evitar o contato do concreto armado diretamente com o solo. Após essa etapa as fôrmas da sapata e sua armadura são posicionados conforme o projeto estrutural. Na sequência, o concreto é lançado e sobre a armadura, sendo crucial garantir a vibração do concreto de maneira adequada para evitar a formação de vazios. Na Figura 5 pode ser visto as possíveis formas da sapata isolada.

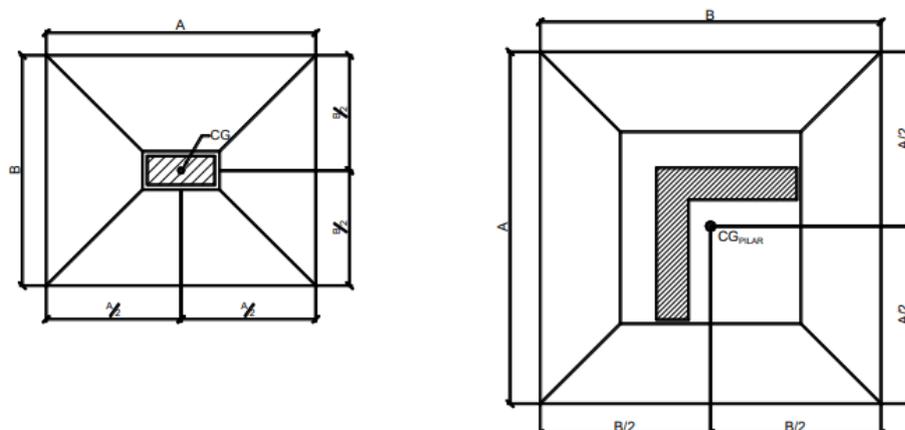
Figura 5 – Representação de sapata isolada



Fonte: Bastos (2023).

Bastos (2023) destaca que, para garantir a estabilidade e eficiência da sapata, o centro de gravidade da sapata deve coincidir com o centro de gravidade do pilar, independente da forma do pilar, como ilustrado na Figura 6. Esse posicionamento correto é essencial para que a carga seja distribuída uniformemente e para evitar momentos que possam comprometer a segurança da estrutura.

Figura 6 – Centro de gravidade coincidente do pilar e da sapata



Fonte: Bastos (2023).

A sapata destaca-se pelo benefício da fácil execução, sem necessidade de equipamentos especializados para a sua execução, o que a torna uma opção mais econômica se comparada a outros tipos de fundação; outra vantagem é que durante sua execução impactos na vizinhança são insignificantes.

2.1.2 Fundações profundas

2.1.2.1 Estaca metálica

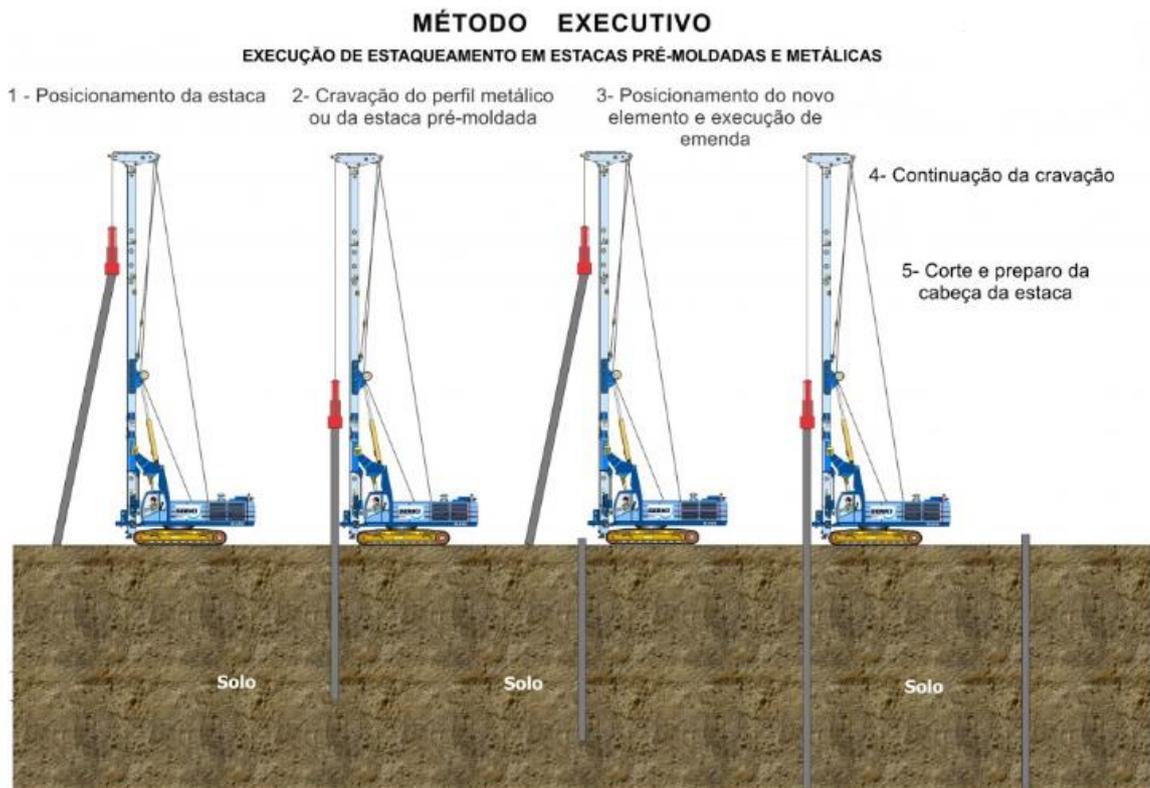
As estacas metálicas são fabricadas em indústrias, geralmente recebem tratamentos para evitar corrosão e podem ter perfis laminados ou soldados. Para serem cravadas no solo, são utilizados diversos métodos, como o martelo vibratório, que utiliza vibrações para introduzir à estaca. O processo de cravação das estacas pode ser realizado com diferentes tipos de bate-estaca, como os de queda livre, pneumáticos ou a combustão. Esses equipamentos aplicam golpes repetidos no topo da estaca, permitindo sua penetração gradual e segura no solo, de forma a alcançar a profundidade necessária para garantir a estabilidade da fundação.

Entre as vantagens das estacas metálicas estão sua alta resistência e durabilidade, proporcionadas pelo aço, o que as torna ideais para suportar grandes cargas. Além disso, o processo de cravação dessas estacas é mais rápido em comparação a outros tipos de fundações profundas, resultando em maior agilidade na execução das obras. Conforme Nogueira et al. (2022), em algumas obras temporárias, como contenções provisórias, as estacas metálicas podem ser removidas e reutilizadas, agregando valor ao processo construtivo.

No entanto, existem desvantagens, como o custo elevado do aço em relação a outros materiais, como o concreto, e o risco de corrosão, especialmente em ambientes expostos a água salgada, exigindo proteção adicional, como galvanização ou pintura especial. Além do mais, o

processo de cravação pode gerar ruídos e vibrações, o que é um problema em áreas urbanas ou locais sensíveis. Na figura 7 abaixo é possível observar o método executivo das estacas metálicas.

Figura 7 – Método executivo estacas de fundação metálicas e pré-moldadas



Fonte: Serki (2024).

2.1.2.2 Estaca pré-moldada de concreto

Segundo Querelli (2019), a estaca pré-moldada de concreto passa por rigorosos controles antes da cravação, incluindo a fabricação, manuseio, armazenagem e transporte das estacas. Além disso, são realizados ensaios nas fábricas e no início dos serviços em campo, como ensaios de compressão simples do concreto, módulo de elasticidade e ensaios de esclerometria, além de inspeções quanto à fissuração e controle das dimensões das peças. Após esses controles, as estacas são transportadas para o local da obra, onde são cravadas no solo com equipamentos como martelos de queda livre, hidráulicos ou vibratórios. Esse processo de cravação, semelhante ao usado para estacas metálicas como pode ser observado na Figura 7, compacta o solo ao redor da estaca, aumentando sua capacidade de suporte e melhorando a interação entre a estaca e o solo, garantindo uma fundação eficiente e durável.

Entre as vantagens das estacas pré-moldadas de concreto estão a possibilidade de rigoroso controle de qualidade na fabricação, conforme destacado por Querelli (2019) o que aumenta a garantia de que elas alcancem a resistência projetada; o rápido processo de cravação em obra, otimizando o tempo de execução; e, por serem pré-moldadas, não exigem tempo de cura no local, acelerando o cronograma da obra. A fabricação fora do canteiro também permite uma maior precisão nas características estruturais, proporcionando uniformidade nas peças, embora o nível de controle possa variar conforme as práticas de cada empresa.

Todavia, as estacas pré-moldadas também apresentam algumas desvantagens, como a necessidade de cuidados especiais no transporte e manuseio, especialmente em estacas de grande comprimento, conforme destacado por Querelli (2019). Além disso, os ruídos e vibrações gerados durante o processo de cravação podem causar transtornos em áreas urbanas ou próximas a edificações. Apesar desses desafios, essas estacas continuam sendo uma escolha eficaz para garantir fundações seguras e estáveis em diversos tipos de obras.

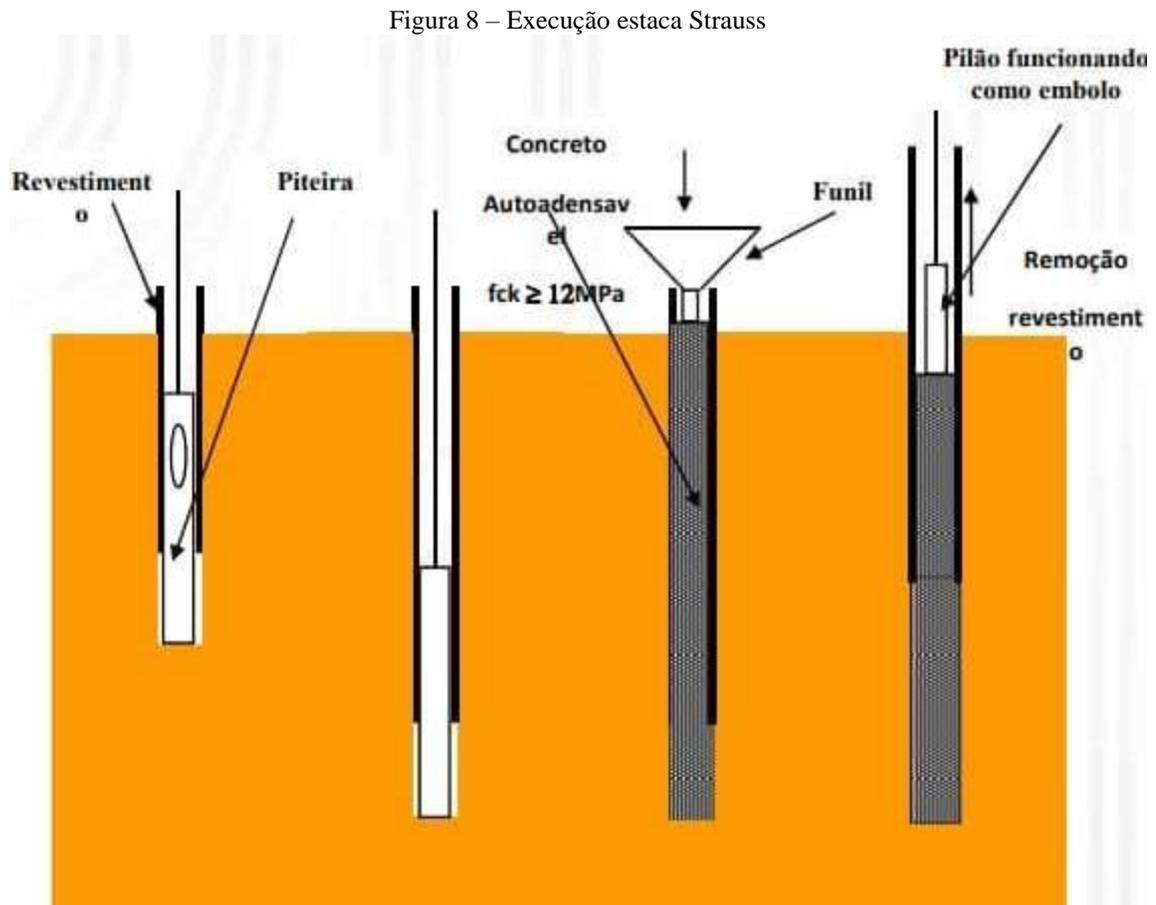
2.1.2.3 Estacas moldadas in loco

É uma técnica de fundação em que estacas são moldadas diretamente no local da obra e são definidas pelo item 3.12 da NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019) como “estaca executada preenchendo-se, com concreto, argamassa ou calda de cimento, perfurações previamente executadas no terreno, podendo ser total ou parcialmente armada”. O processo envolve a perfuração ou escavação do solo, na presença ou não de lama bentonítica para contenção, preenchimento com concreto e inserção de armadura de aço, caso seja necessária. Alguns dos tipos mais comuns de estacas moldadas in loco são: Strauss, Franki, Raiz e Hélice Contínua

a) Estaca Strauss

O método executivo da estaca Strauss está descrito no Anexo G da NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), que estabelece diretrizes para sua execução. A escavação do solo é realizada com uma sonda manual ou mecanizada e ocorre de forma contínua até a profundidade projetada. Para evitar desmoronamentos, utiliza-se um tubo metálico provisório (camisa metálica) durante o processo de escavação. Após alcançar a profundidade desejada, o concreto é lançado no furo para preenchê-lo completamente. Em casos específicos, uma armadura pode ser posicionada no interior do furo

antes do lançamento do concreto para garantir o arranque ou ancoragem necessários. Durante a concretagem, a camisa metálica é removida gradualmente com o auxílio de um guincho manual, enquanto o concreto é apilado, conforme as orientações descritas pela norma. A execução da estaca Strauss pode ser observada através da Figura 8.



Fonte: Total construção (2024).

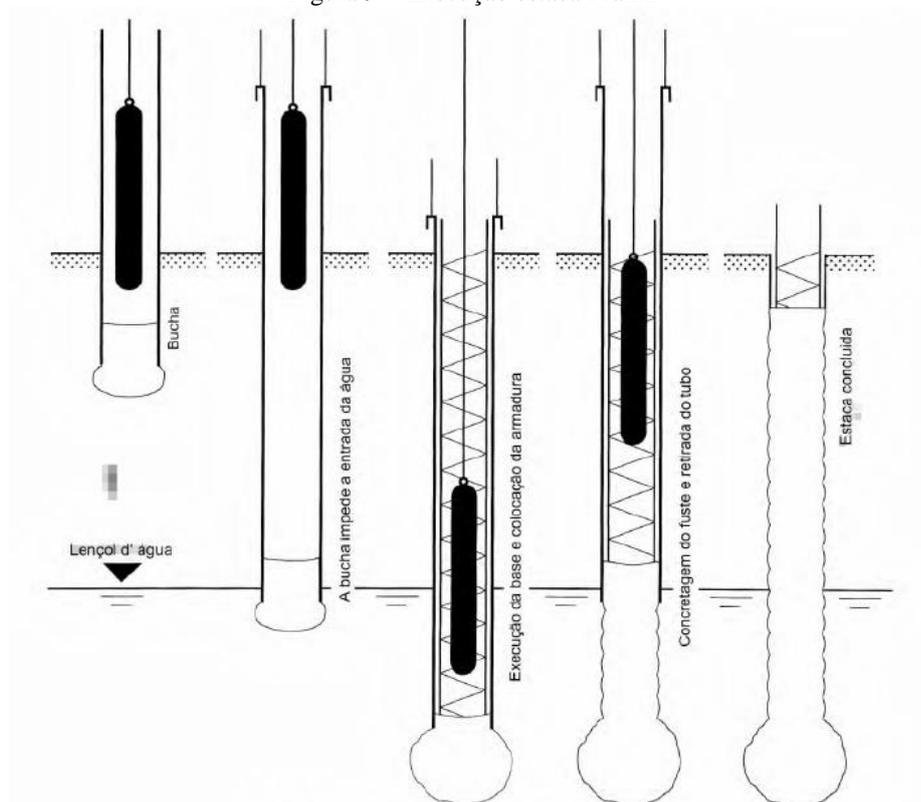
Entre as vantagens da estaca Strauss, destacam-se o baixo nível de ruído e vibração, tornando-a ideal para obras próximas a outras edificações, além da utilização de equipamentos de pequeno porte, o que facilita o uso em áreas de difícil acesso ou espaços confinados. Outro benefício relevante é o custo relativamente baixo em comparação a outros tipos de estacas, Costa (2016).

Porém, Costa (2016) também destaca algumas desvantagens, como a capacidade de carga limitada, tornando as estacas Strauss menos adequadas para grandes edificações ou cargas muito elevadas. Além disso, elas não são recomendadas para solos com alta presença de água, como argilas saturadas, solos muito moles ou areia submersa, pois o método de perfuração pode ser comprometido nessas condições.

b) Estaca Franki

O método executivo das estacas Franki, conforme detalhado no Anexo H da NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), inicia-se com a instalação de um tubo metálico de revestimento no local da estaca, dentro do qual é colocada uma bucha seca composta de areia e pedras, aderida ao tubo. Essa bucha é atingida por sucessivos golpes por um pilão que, empurra simultaneamente a bucha e o tubo para dentro do solo. O processo segue até atingir a profundidade de projeto. Ao alcançar a profundidade necessária, o tubo é segurado por cabos de aço, enquanto a bucha é expulsa através de golpes do pilão, saindo do tubo e formando um alargamento na base da estaca, conhecido como bulbo. Após a formação do bulbo, a armadura é inserida e ancorada na base alargada, e o fuste da estaca é concretado. Durante essa etapa, o concreto é apiloado com o soquete para garantir uma compactação adequada, enquanto o revestimento metálico é progressivamente retirado para permitir que o concreto preencha o espaço. A concretagem é executada um pouco acima da cota final, sendo o excesso removido após o endurecimento do concreto. Na Figura 9 é possível observar a execução da estaca Franki.

Figura 9 – Execução estaca Franki



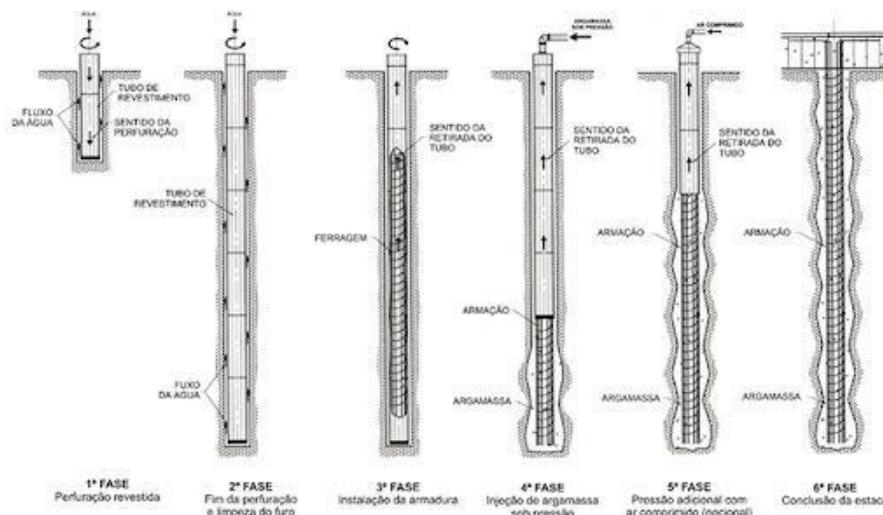
Fonte: Velloso e Lopes (2010).

A estaca Franki apresenta, como é apontado por Novaes (2020), vantagem devido a sua capacidade de ser construída em diversos tipos de solo, independentemente da presença de água. Ela pode suportar grandes cargas, oferecendo resistência tanto lateral quanto de ponta, além de alcançar camadas profundas do solo. No entanto, Novaes (2020) também relata que sua execução gera significativas vibrações no solo, o que pode representar um risco para edificações próximas, exigindo uma análise cuidadosa antes de sua utilização nessas condições. Outro ponto a ser considerado é o tempo relativamente longo de execução, o que pode aumentar os custos com mão de obra e exigir um espaço amplo no canteiro de obras para o manuseio dos equipamentos.

c) Estaca Raiz

A execução da estaca Raiz é descrita no anexo K da NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), ele é iniciado com a perfuração do solo por meio de equipamentos de perfuração rotativa que conseguem perfurar solos variados, incluindo rochas e solos com obstruções; essa perfuração pode ser vertical ou inclinada. A perfuração normalmente é feita com a circulação de um fluido constituído de água ou lama bentonítica, permitindo a fixação do tubo metálico. Após a perfuração é necessário que seja feita uma lavagem internamente do furo e em seguida é inserida uma armadura metálica. Em seguida, é realizada a injeção da argamassa, preenchendo o furo e envolvendo a armadura. Quando o tubo de revestimento estiver completamente preenchido com argamassa, sua extremidade superior é selada e uma pressão com ar comprimido é aplicada para adensar a argamassa e promover interação com o solo, como é ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Execução estaca Raiz
SEQÜÊNCIA EXECUTIVA DE ESTACA RAIZ



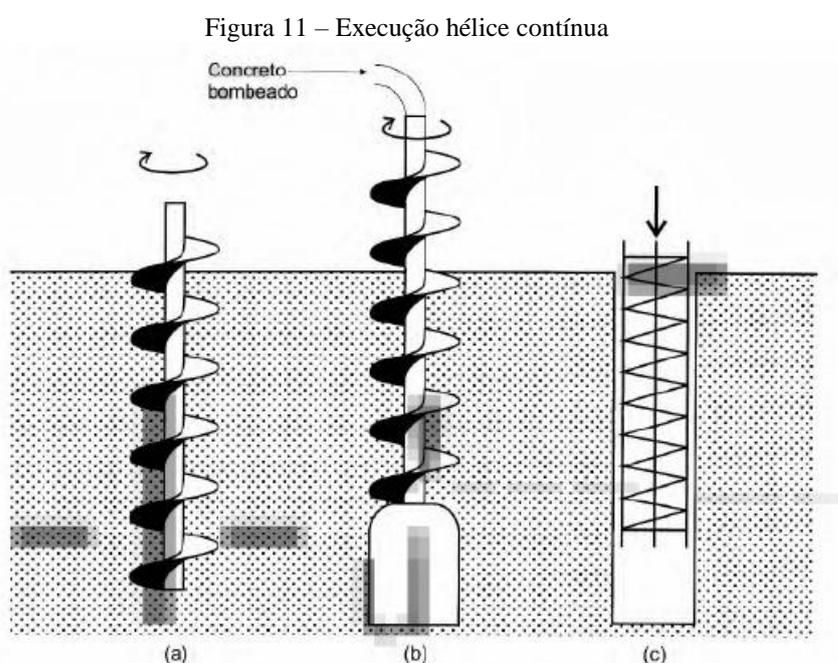
Fonte: Schneider (2019).

Velloso e Lopes (2010) apontam que as estacas possuem características particulares que as tornam adequadas para situações em que outros tipos de estacas não seriam viáveis. Entre essas particularidades estão a ausência de choques e vibrações durante sua execução, além do fato de serem equipadas com ferramentas que permitem sua utilização em ambientes desafiadores, como solos com blocos de rocha ou fragmentos de concreto. Além disso, seus equipamentos são de pequeno porte e as estacas podem ser executadas tanto na vertical quanto em inclinações. No entanto, essas estacas também apresentam desvantagens, como o custo elevado devido ao alto consumo de cimento e ferragens, a possibilidade de alagamentos no canteiro em função do uso intenso de água e o impacto ambiental significativo gerado por seu processo de execução.

d) Estaca Hélice Contínua

Conforme descrito no Anexo N da NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), o processo de execução de estacas do tipo hélice contínua é iniciado com a perfuração do solo utilizando uma broca helicoidal acoplada a um equipamento de perfuração – normalmente uma perfuratriz montada sobre esteiras. A hélice é cravada no solo de forma contínua através da rotação, atingindo a profundidade projetada sem remover o solo para a superfície. Em sua face inferior, há uma tampa metálica que impede a entrada de água ou solo durante a perfuração, sendo expulsa de maneira coordenada com o início da concretagem. Não é permitido levantar o trado para expelir a tampa antes do início do

lançamento do concreto. Após a perfuração alcançar a profundidade desejada, inicia-se a concretagem sob pressão. Enquanto a hélice é lentamente retirada do solo, uma bomba de concreto injeta o concreto pelo eixo central da hélice, preenchendo o furo de baixo para cima. Esse processo garante o completo preenchimento do espaço criado pela hélice, impedindo a entrada de solo ou água e proporcionando estabilidade lateral, evitando desmoronamentos. Com o furo preenchido com concreto fresco, a armadura é inserida na estaca recém-moldada, aproveitando a fluidez do concreto para facilitar a sua inserção até a profundidade necessária. Sua execução pode ser observada através da Figura 11.



Fonte: Velloso e Lopes (2010).

Entre as vantagens Fontana (2019) destaca o baixo nível de ruído e vibrações em comparação com outros métodos de cravação profunda, tornando o processo mais adequado para áreas sensíveis, a alta produtividade devido ao processo contínuo de perfuração e concretagem, o que acelera a execução. Além disso, é possível monitorar grande parte dos processos em tempo real como é destacado por Velloso e Lopes (2010), garantindo que a execução esteja de acordo com o projeto. O método também oferece grande poder de penetração em camadas de solos mais resistentes.

Entre suas desvantagens, Fontana (2019) destaca a dificuldade de instalação de armaduras em maiores profundidades, o que pode comprometer a eficiência do processo em estacas muito profundas. Além disso, o método produz material de descarte, gerando custos adicionais com a remoção e destinação desse material. Outro ponto a ser considerado é a

necessidade de perfuratrizes específicas e mão de obra qualificada, fatores que podem elevar o custo inicial da obra

2.2 MELHORAMENTO DE SOLO

Araujo *et al.* (2018) explicam que fundações rasas são ideais para solos de alta resistência, suportando edificações de pequeno porte com cargas menores, enquanto as fundações profundas se adaptam melhor a solos de baixa resistência, sendo indicadas para edificações de grande porte com grandes cargas a serem transmitidas ao solo. Apesar de oferecerem alta capacidade de carga, as fundações profundas geralmente implicam custos elevados e maior impacto na vizinhança durante a obra. Por outro lado, fundações superficiais são mais econômicas e causam menos transtornos ao entorno, mas dependem de solos superficiais com alta resistência, o que nem sempre é comum. Para superar essa limitação, desenvolvem-se técnicas de melhoramento de solo, que consistem em métodos de tratamento do solo natural para aumentar sua capacidade de suporte. Esse aumento ocorre através da cravação de estacas que, ao compactar o solo, reduzem o índice de vazio, tornando-o mais adequado para suportar fundações superficiais em áreas onde, de outra forma, seriam necessárias fundações profundas.

2.2.1 Técnicas de melhoramento de solo

De acordo com Moraes, Bicalho e Castello (2011), as técnicas de melhoramento de solo são essenciais para aumentar a capacidade de carga, reduzir recalques totais e diferenciais e prevenir a ocorrência de liquefação em situações de carregamentos dinâmicos. Esse processo busca viabilizar a construção em solos problemáticos, utilizando-os de maneira adequada e atendendo tanto aos critérios técnicos quanto econômicos. Existem diversos métodos de melhoramento de solo que são classificados em dois grandes grupos: tratamentos para solos coesivos e para solos não coesivos. Dentro desses grupos há várias técnicas de melhoramento, como a vibroflotação, técnicas de injeção e estacas de compactação, cada uma aplicável conforme as características do solo e os requisitos da obra. A Figura 12 ilustra os diferentes tipos de melhoramento que podem ser aplicados conforme a granulometria do solo.

Figura 12 – Técnicas de aprimoramento de solos de acordo com a granulometria

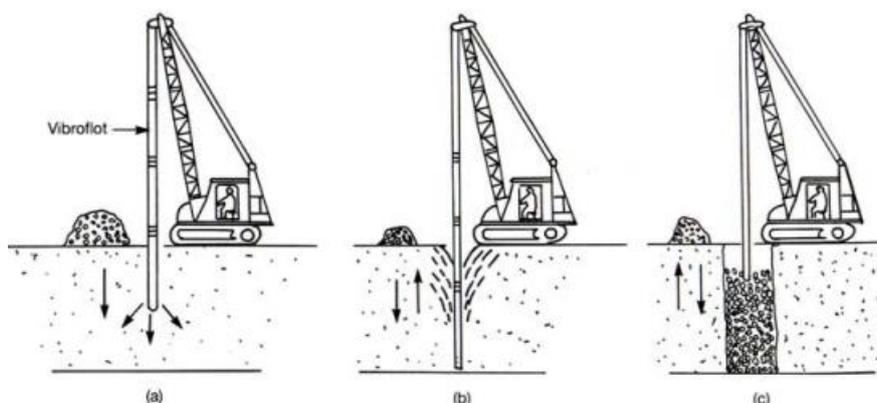


Fonte: Mitchell (1968).

2.2.1.1 Vibroflotação

A técnica envolve a execução de furos cilíndricos no solo utilizando vibrações geradas por um torpedo. O material granular é então inserido nos furos do maciço e submetido à vibração. Durante o processo, água e/ou ar é utilizado como fluido para desagregar e estabilizar o solo. O equipamento principal consiste em um vibrador com diâmetro variando entre 300 e 460 mm e comprimento entre 3 e 5 metros. Essa técnica é aplicável a solos coesivos e não coesivos. A figura 13 mostra a técnica de execução do melhoramento por vibroflotação.

Figura 13 – Técnica de execução por vibroflotação



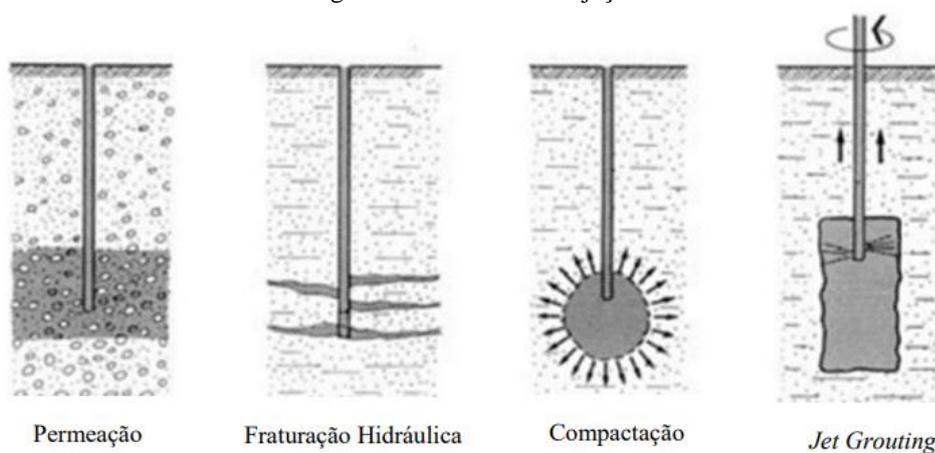
Fonte: Auricchio (2021).

Soares (2002) destaca que em solos coesivos o aumento da presença de finos limita a transmissão de vibrações ao solo natural e reduz a eficácia da compactação, exigindo o uso de materiais granulométricos maiores para melhorar a resistência, facilitar a drenagem e acelerar os recalques, diferenciando assim a aplicação da técnica entre solos coesivos e não coesivos.

2.2.1.2 Técnicas de injeção

Existem diversas técnicas de aplicação da injeção de cimento como permeação, fraturação hidráulica, compactação e *jet grouting*, cada uma com sua finalidade específica, como apresenta a Figura 14. Elas podem ser aplicadas com diversos objetivos, como aumentar a capacidade resistente do solo, melhorando o apoio das fundações existentes e a estabilidade de escavações; reduzir a permeabilidade do solo, dificultando a circulação de água por camadas permeáveis; aumentar a densidade do solo, prevenindo a liquefação; recalçamento de estruturas e pavimentos; e escoramento de estruturas, conforme aponta Rodrigues (2018).

Figura 14 – Técnica de injeção



Fonte: Rodrigues (2018).

A técnica de permeação envolve a injeção de calda de cimento nos poros do solo a baixa pressão, sem alterar sua estrutura, com o principal objetivo de reduzir a permeabilidade. A fraturação hidráulica, por sua vez, cria fraturas intencionais no solo por meio da injeção de calda de cimento a alta pressão, preenchendo os espaços criados e tornando o solo mais compacto e resistente. A compactação utiliza a injeção de calda de cimento em solos ou rochas fragilizadas sob alta pressão, formando corpos homogêneos e sólidos que aumentam a resistência e rigidez do solo. O *jet grouting* aplica jatos de alta pressão para erodir, misturar e substituir o solo, resultando em um material mais resistente e menos permeável que o solo

original. Rodrigues (2018) ainda destaca que o *jet grouting*, pela sua versatilidade, pode ser aplicado em solos que variam de finos a granulares e permitindo a formação de elementos com diferentes geometrias e orientações, diferenciando-se das demais técnicas de injeção.

2.2.2.3 Estacas de compactação

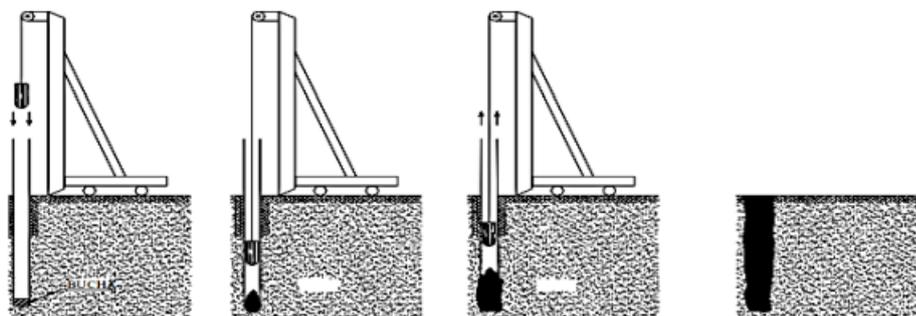
Esta técnica pode ser considerada uma extensão da vibroflotação, sendo mais utilizada em países em desenvolvimento, como é o caso de Brasil e Índia (SOARES, 2002). No Brasil, é especialmente presente no litoral do Nordeste, com destaque para cidades como Recife e João Pessoa. A técnica visa, por meio de energias de compactação elevada através de esforços dinâmicos ou vibração, melhorar solos de baixa resistência (SOARES, 2005). Essa melhoria permite aumentar a tensão admissível do solo até 600 kPa (GUSMÃO FILHO; GUSMÃO, 2000).

Segundo Wagner *et al.* (2020), essa solução envolve a criação de um fuste no solo, que é preenchido com material granular compactado. A presença dessa coluna mais rígida forma um material composto com menor compressibilidade e maior resistência em comparação ao solo natural. Além disso, o processo de execução da coluna modifica as propriedades do solo circundante.

Soares (2005) identifica que as melhorias nas características do solo trazem uma série de benefícios, como o aumento moderado na capacidade de carga, a redução significativa nos recalques e, em solos granulares, a aceleração dos recalques, que são minimizados após a construção, além do aumento na resistência à liquefação. Com essas melhorias, torna-se viável a execução de construções com cargas mais elevadas em fundações superficiais, como no caso de sapatas.

Pôrto *et al.* (2022) explicam que o processo de cravação começa com o posicionamento de um tubo preenchido com uma bucha em sua base. O tubo é cravado no solo através de golpes executados por um pilão sobre a bucha — um componente intermediário que distribui o impacto, podendo ser de areia com brita ou concreto magro—, atingindo a profundidade determinada em projeto. Em seguida, a bucha é removida e o material granular é inserido dentro do tubo, sendo compactado por meio da queda livre do pilão. Finalmente, o tubo é retirado, concluindo a execução da estaca, como ilustra o esquema da Figura 15

Figura 15 – Cravação dinâmica de estacas de compactação



Fonte: Pôrto *et al.* (2022).

Já o processo por vibração possui ideias semelhantes à cravação dinâmica, mas com diferenças na execução. O procedimento começa com o posicionamento do tubo verticalmente no prumo, assim como na cravação dinâmica, porém, a cravação do tubo, que possui uma tampa em sua extremidade inferior, é realizada por vibrações geradas por um martelo vibratório. Ao atingir a profundidade definida no projeto, o material a ser compactado é lançado na parte superior do tubo com o auxílio de uma retroescavadeira equipada com um funil. Em seguida, o martelo vibratório inicia o processo de retirada do tubo, também gerando vibrações. A tampa na extremidade inferior do tubo é então aberta, permitindo que o material forme a estaca de compactação. Seu grande benefício em relação ao método de cravação dinâmica é o fato de causar menos impacto na vizinhança.

2.2.2 Ensaios para determinação de parâmetros para melhoramento de solo

Para verificar a eficácia das técnicas de melhoramento de solo é essencial a realização de ensaios específicos. Soares (2002) destaca que os principais ensaios utilizados são: sondagens SPT, ensaios de cone, provas de carga estática e a coleta de amostras indeformadas para realização de ensaios em laboratório.

2.2.2.1 Ensaio de cone

Soares (2002) destaca que a principal vantagem do ensaio de cone, também denominado de CPT é o monitoramento contínuo da resistência à penetração, proporcionando uma descrição detalhada da estratigrafia do subsolo. Além disso, o ensaio tem a vantagem de não sofrer grande influência do operador nos resultados. Silva (2008) destaca que o monitoramento contínuo é extremamente valioso, pois camadas de pequena espessura podem afetar significativamente o comportamento do subsolo sob carga. O autor relata que o ensaio foi padronizado pela NBR

12069 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991), mas já vinha sendo utilizado no Brasil desde o final da década de 1950.

De acordo com Silva (2015), o ensaio CPT mecânico, utilizado para determinar parâmetros geotécnicos como a resistência de ponta e o atrito lateral, consiste na cravação estática de uma ponteira cônica no solo. A ponteira, também conhecida como Cone de Begemann, possui um ângulo de 60° no ápice, uma área de 10 cm^2 na seção transversal, e é acompanhada por uma luva de atrito com área de 150 cm^2 . A cravação ocorre a uma velocidade constante de 20 mm/s , sendo realizada por meio de um conjunto de hastes empurrado por um pistão hidráulico, que insere a ponteira no solo. Esse ensaio permite a coleta de informações detalhadas sobre a resistência do solo ao longo da profundidade investigada. Na figura 16 pode ser visto o equipamento CPT mecânico.

Figura 16 – CPT mecânico

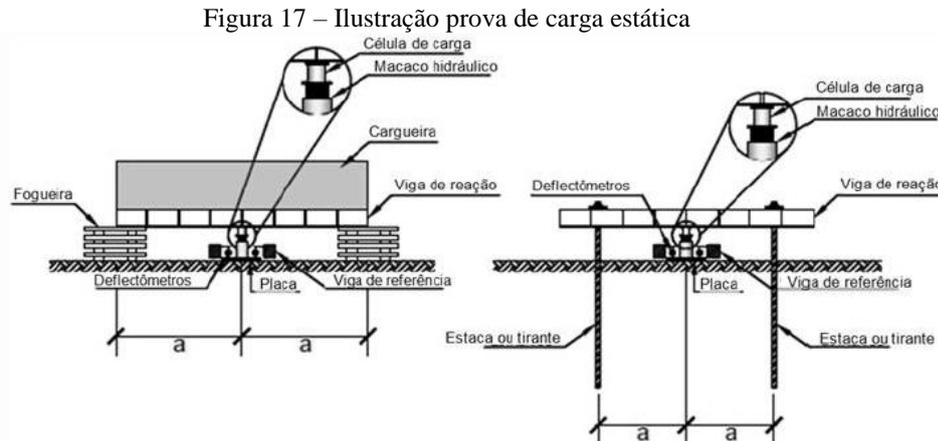


Fonte: Silva (2015).

2.2.2.2 Prova de carga estática

A prova de carga é uma alternativa eficaz para simular as solicitações que a fundação receberá, permitindo correlacionar as deformações do solo com a carga aplicada. De acordo com a NBR 6489 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), o ensaio deve ser realizado até pelo menos o dobro da tensão admissível prevista ou até o deslocamento máximo definido pelo projetista. E o método consiste na aplicação de esforços estáticos axiais de compressão sobre uma placa, conforme ilustrado na Figura 17, monitorando seus

deslocamentos correspondentes. Esses esforços são aplicados em etapas, variando conforme o tipo de prova de carga solicitado. Carvalho (2018) aponta que é comum apresentar os resultados do ensaio por meio de um gráfico Tensão x Recalque, acompanhado de informações sobre a montagem do ensaio, a placa utilizada, os resultados obtidos e as sondagens próximas.



2.2.2.3 Coleta de amostras indeformadas

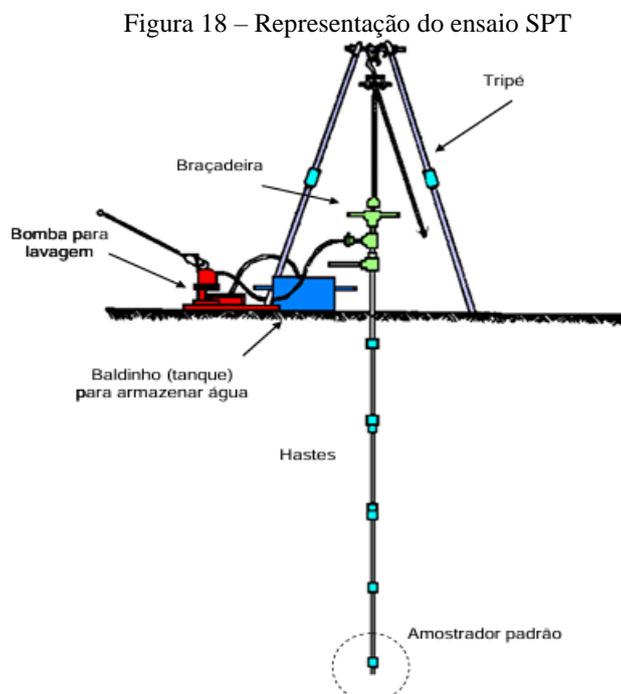
Auler e Vieira (2017) destacam que a coleta de amostras indeformadas é amplamente utilizada em estudos sobre a estrutura do solo, pois representa fielmente as condições do solo em campo. Para isso, é fundamental tomar extremo cuidado durante a coleta para evitar deformações nas amostras. De acordo com Soares (2002), ao determinar o peso específico e o teor de umidade do solo, é possível quantificar a melhoria em termos de compactação. Além disso, pode-se realizar ensaios específicos em laboratório para constatação da melhoria da resistência do solo conforme metodologia de melhoramento aplicada.

2.2.2.4 Sondagem SPT

A sondagem SPT é um excelente parâmetro para avaliar técnicas de melhoramento de solo. Soares (2002) destaca que é o ensaio mais utilizado para verificar a eficiência das melhorias no solo. Seu amplo emprego está relacionado, segundo Lukiantchuki (2012, p. 37), “à sua simplicidade, robustez e facilidade de aplicação dos seus resultados.”

A execução do ensaio SPT envolve a cravação de um amostrador padrão no solo através de golpes de um martelo de 63,5 kg que cai de uma altura de 75 cm, a representação do ensaio pode ser vista na Figura 18. O ensaio é realizado em etapas de 15 cm, anotando-se o número de

golpes necessários para cada etapa até atingir 45 cm de penetração. O índice de resistência à penetração (N-SPT) é determinado pelo número total de golpes necessários para os últimos 30 cm de cravação.



Fonte: Silva (2015).

Lukiantchuki (2012) ainda relata que o resultado do ensaio SPT é usado diretamente em correlações empíricas ou semi-empíricas para o cálculo da capacidade de suporte e recalque das fundações. No entanto, essas correlações têm sido criticadas devido à dispersão dos resultados, causada principalmente pela influência do operador no resultado final e pela diversidade dos equipamentos. Para reduzir essa parcela de dispersão, a autora destaca em sua tese que pesquisadores têm buscado identificar e avaliar os fatores que afetam a quantidade de energia que realmente atinge o amostrador, realizando medições de energia por meio da instrumentação do ensaio.

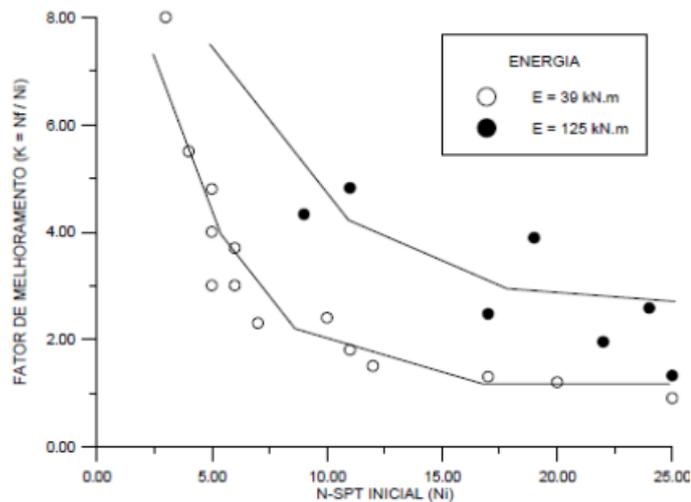
Existem diversas correlações para relacionar o N-SPT — índice obtido pelo ensaio de SPT (Standard Penetration Test), que mede a resistência do solo à penetração de uma amostra padrão — com parâmetros como a tensão admissível, compacidade relativa, ângulo de atrito, entre outros. É essencial verificar se a correlação utilizada é adequada para o tipo de material analisado, uma vez que cada material possui características distintas. Portanto, ao aplicar uma correlação é importante selecionar aquelas desenvolvidas com materiais semelhantes ao que está sendo verificado.

Através da comparação entre o valor de N-SPT inicial (N_i) e o N-SPT final (N_f), após a execução do melhoramento de solo, é possível calcular o fator de melhoramento K , definido pela relação $K = N_f/N_i$. Esse fator permite avaliar o grau de eficiência do melhoramento de solo.

De acordo com Gusmão Filho (2002), o fator K é inversamente proporcional à compacidade inicial do solo. Em solos que já apresentam alta compacidade, o valor de K tende a ser menor, pois esses solos possuem maior resistência à compactação e menor volume de material adicionado. Já em solos menos compactos, o fator de melhoria tende a ser maior, refletindo uma maior mudança no valor de N-SPT devido ao processo de compactação.

Além disso, Gusmão Filho (2002) destaca que a energia aplicada pelo equipamento é diretamente proporcional ao fator K , ou seja, quanto maior a energia de compactação, maior será a eficiência do processo de melhoramento do solo, como mostra a Figura 19.

Figura 19 – Influência da energia de compactação no processo de melhoramento



Fonte: Gusmão Filho e Gusmão (2000).

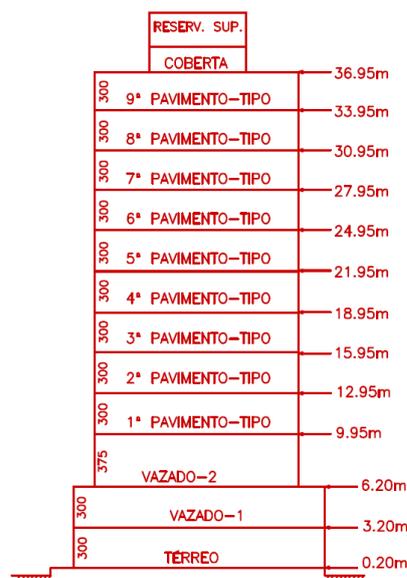
3 ÁREA DE ESTUDO

As duas áreas de estudo estão localizadas na cidade do Recife, que é reconhecida por apresentar solos desafiadores para a construção civil. Com o crescimento populacional, é esperado que as áreas disponíveis para novas construções ofereçam condições cada vez mais desfavoráveis, resultando em solos com baixa capacidade de suporte e alta compressibilidade.

3.1 OBRA 1

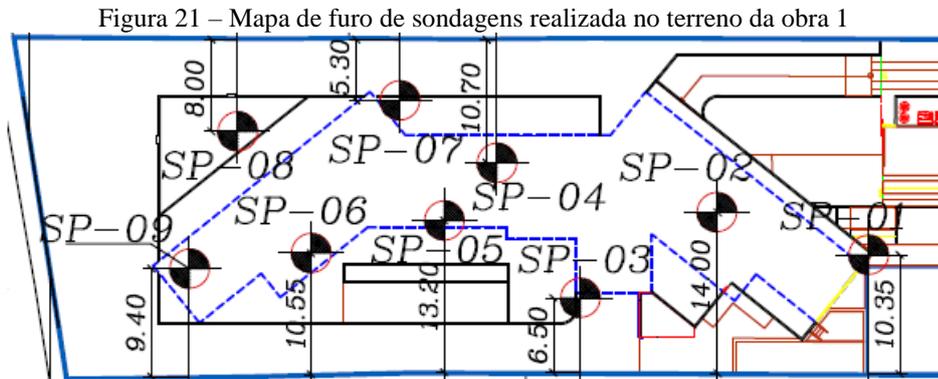
A área de estudo está localizada em um bairro da zona norte do Recife, e compreende aproximadamente 1000 m² de lâmina nos vazados, reduzindo para 500 m² nos pavimentos tipo. A lâmina total da área abriga 36 sapatas, sendo que a lâmina principal contém 22 delas. O local apresenta um solo caracterizado por características de granulometria fina. Nesta área, está prevista a construção de um edifício residencial com 12 pavimentos e 72 apartamentos o que requer uma análise cuidadosa das condições geotécnicas para o adequado dimensionamento das fundações e a garantia da estabilidade da estrutura. Após a realização das sondagens no terreno, verificou-se a viabilidade da execução de estacas de melhoramento do solo, permitindo, assim, o uso de fundações rasas – no caso, sapatas. Esse processo foi necessário para garantir a capacidade de suporte adequada para as fundações do edifício. A Figura 20 apresenta as características da edificação da Obra 1, com quantidade de pavimentos e altura.

Figura 20 – Características da edificação da Obra 1



Fonte: Empresa consultora da obra (2024).

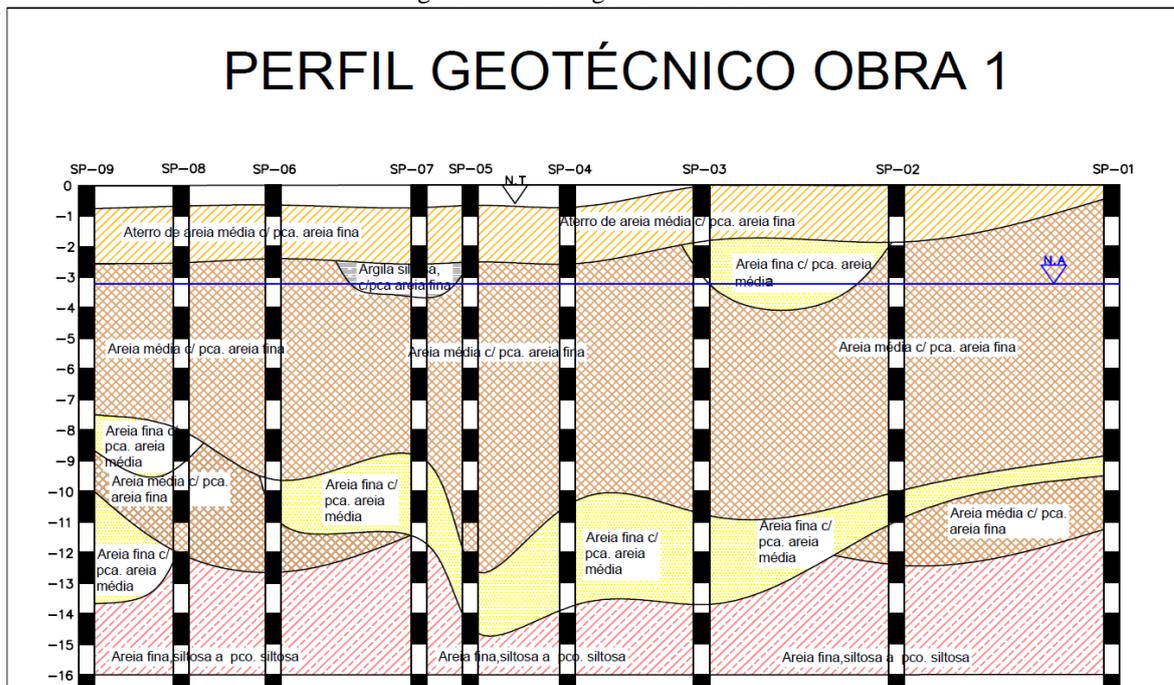
A Figura 21 mostra o mapa com a localização dos 9 furos de sondagens realizados inicialmente no terreno, que foram fundamentais para definir a estratégia de melhoramento e fundação adotada nesta obra. As sondagens iniciais referentes a Obra 1 estão apresentadas no ANEXO A.



Fonte: Empresa consultora da obra (2024).

A figura 22 apresenta o perfil geotécnico do terreno, que representa graficamente os dados obtidos nas sondagens realizadas. Este perfil ilustra as diferentes camadas do solo e suas características, fornecendo uma visão clara das condições geotécnicas encontradas no local. O perfil geotécnico foi ilustrado através do uso do AutoCAD.

Figura 22 – Perfil geotécnico Obra 1



Fonte: O autor (2024).

Após os estudos realizados, embora o solo não apresentasse materiais finos nas sondagens, com exceção no furo SP-07, a empresa responsável pela execução das estacas de compactação, com conhecimento prévio da região, sugeriu a possível existência de uma camada de materiais finos que poderia não ter sido detectada. Esses materiais poderiam prejudicar o processo de compactação caso fosse utilizado o material de areia e brita. Por esse motivo, na Obra 1, foram recomendadas estacas de argamassa para garantir um melhor resultado no melhoramento do solo.

As Figura 23, 24 e 25 apresentam a planta com a locação das estacas de melhoramento de solo (representados por círculos vermelhos abaixo da sapata) e de fundação com destaque para as sapatas isoladas (representadas por contorno em azul).

Figura 23 – Visão geral da planta de locação das estacas de melhoria (círculos vermelhos abaixo da sapata) e da fundação (linhas em azul) da Obra 1

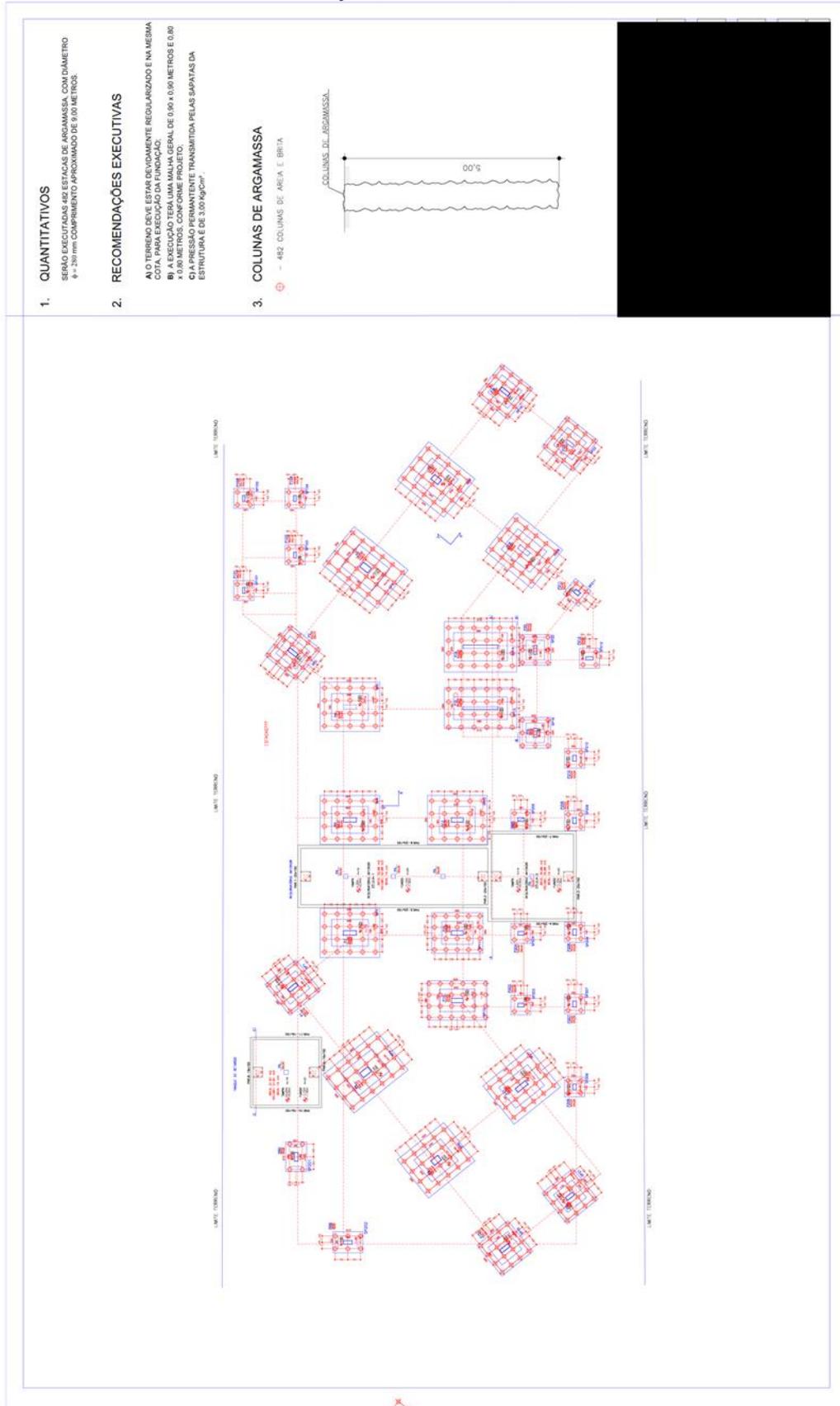
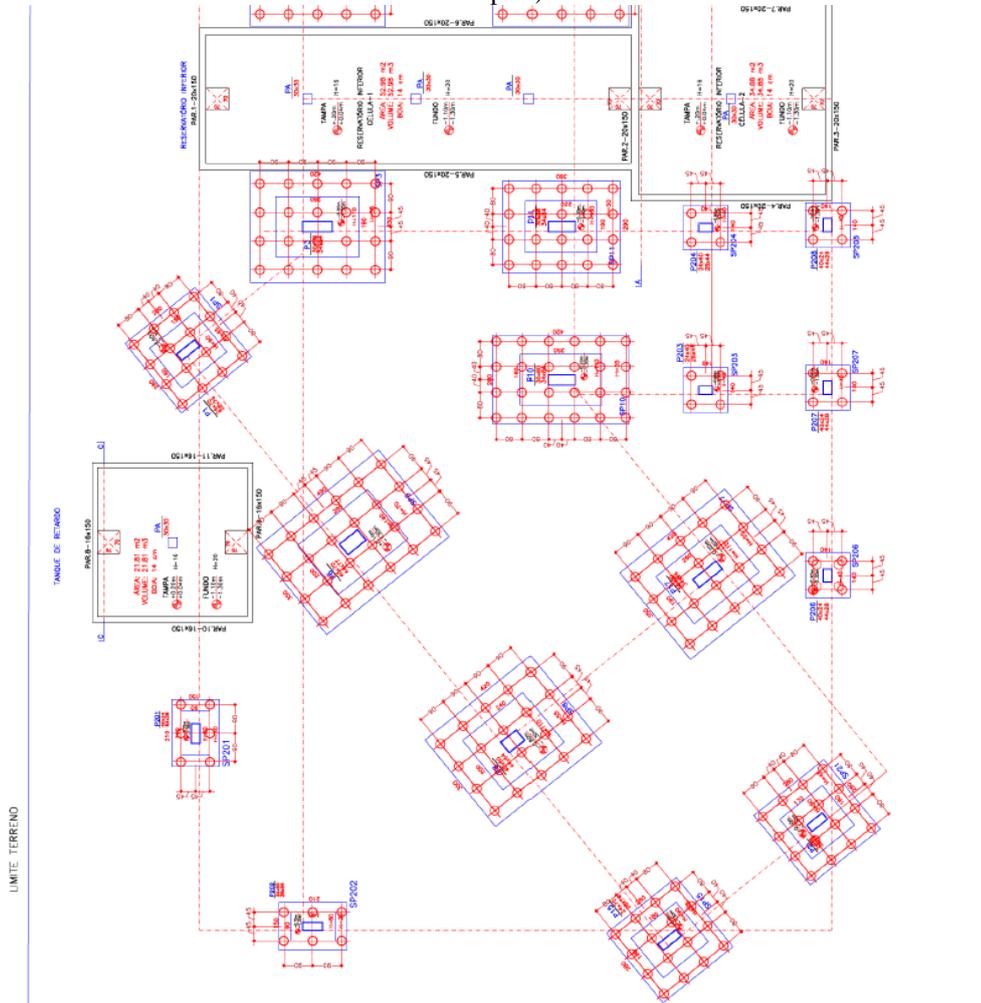
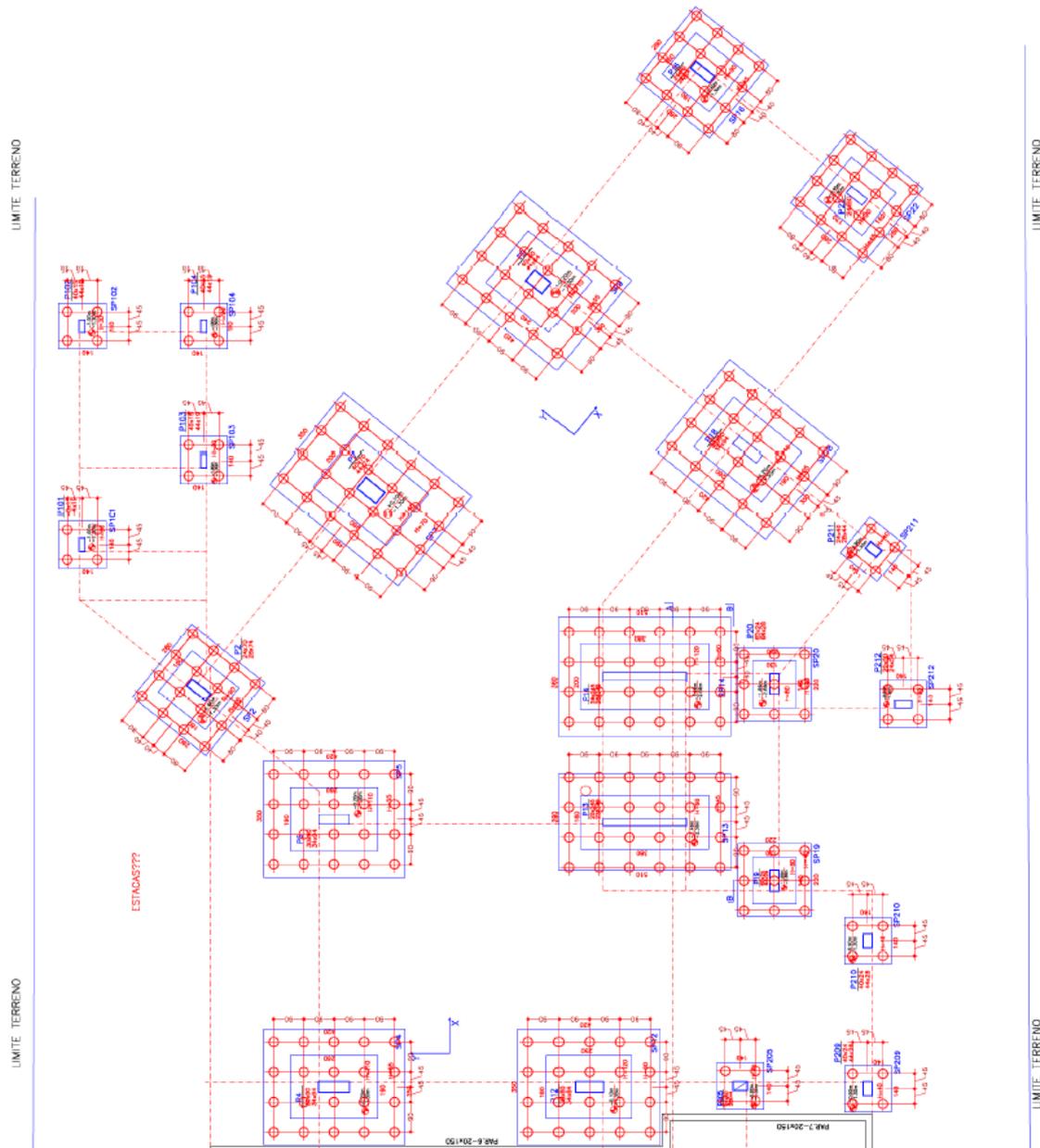


Figura 24 – Detalhe da planta de locação das estacas de melhoria Obra 1 1/2 (círculos vermelhos abaixo da sapata)



Fonte: Empresa consultora da obra (2024).

Figura 25 – Detalhe da planta de locação das estacas de melhoria Obra 1 2/2 (círculos vermelhos abaixo da sapata)



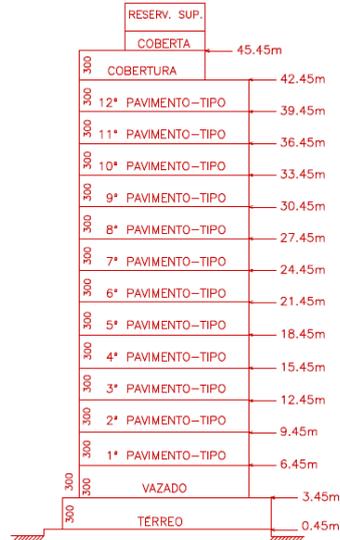
Fonte: Empresa consultora da obra (2024).

3.2 OBRA 2

A Obra 2 também está situada em um bairro da zona norte do Recife, compreendendo aproximadamente 630 m² de área na laje do vazado e diminuindo para 190 m² nos pavimentos tipos. A estrutura da área principal abriga um total de 32 sapatas, sendo que a lâmina principal contém 15 delas. O solo da região é predominantemente arenoso, o que exigiu uma análise geotécnica detalhada para o correto dimensionamento das fundações e a garantia da estabilidade do edifício. Nessa área, será construído um prédio residencial de 14 pavimentos e 60

apartamentos, como mostra a Figura 26. Após a realização dos estudos de sondagem, concluiu-se que seria viável executar estacas de reforço do solo, permitindo a adoção de fundações superficiais, como as sapatas, para garantir a capacidade de suporte exigida para a edificação.

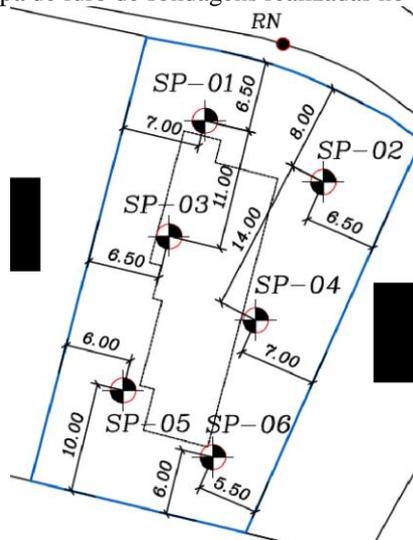
Figura 26 – Características da edificação da Obra 2



Fonte: Empresa consultora da obra (2024).

No terreno da Obra 2 foram realizados 6 furos de sondagem distribuídos de acordo como mostra a Figura 27. As sondagens iniciais referentes a Obra 2 estão apresentadas no ANEXO C.

Figura 27 – Mapa de furo de sondagens realizadas no terreno da Obra 2

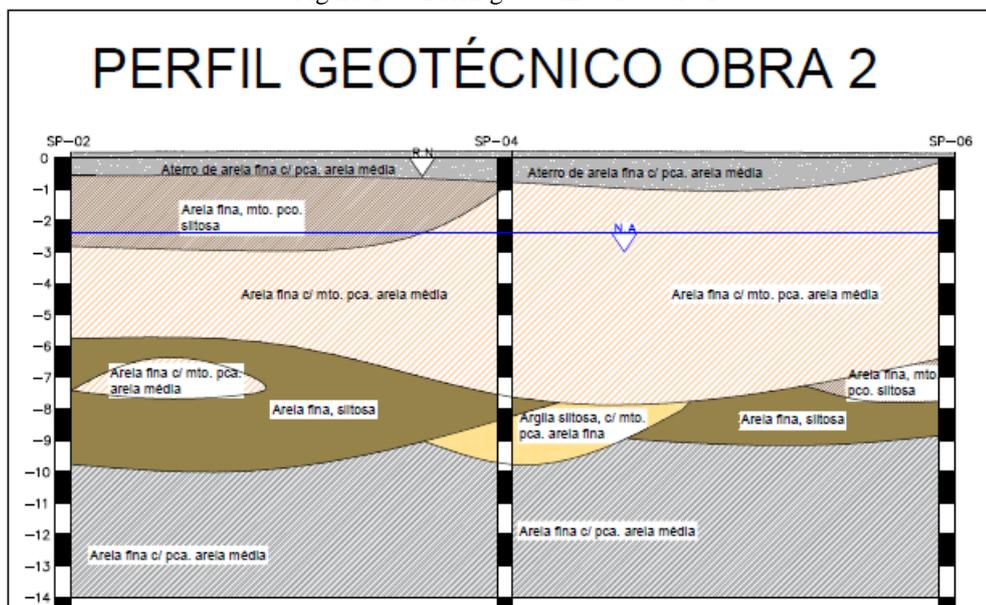


Fonte: Empresa consultora da obra (2024).

A Figura 28 apresenta o perfil geotécnico do solo da Obra 2, onde se verifica que o solo é predominantemente granular em profundidade, com apenas uma bolsa de argila siltosa com

areia fina, com espessura de 2 metros. Pelo fato de essa camada de argila estar situada a uma profundidade de aproximadamente 8 metros, não foi considerada um fator determinante para o projeto.

Figura 28 – Perfil geotécnico da Obra 2

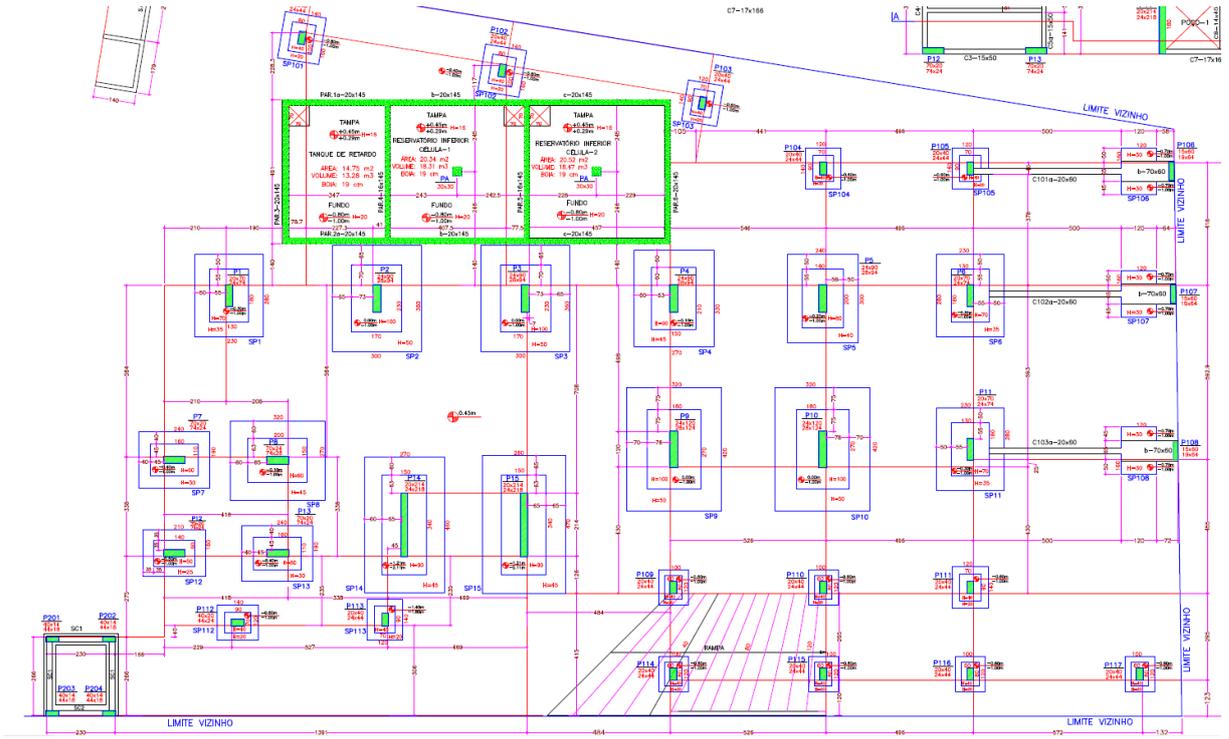


Fonte: O autor (2024).

Assim como na Obra 1, foi confirmada a viabilidade de realizar estacas de melhoramento no terreno para viabilizar o uso de sapatas como fundação do edifício. A figura 29 apresenta a planta de fundação da Obra 2.

No entanto, diferentemente da Obra 1, a locação das estacas seguiu uma disposição distinta. Conforme pode ser observado na Figura 30, as estacas foram alocadas ao longo de todo o espaço referente à lâmina principal do edifício (representada por círculos), sem se limitar exclusivamente às regiões das fundações, garantindo assim uma melhoria mais abrangente e uniforme do solo. Essa alocação das estacas é comum quando se trata de estacas de areia e brita, pois, é necessária uma compactação geral do terreno para assegurar uma estabilização eficiente e homogênea.

Figura 29 – Planta de fundação da Obra 2



Fonte: Empresa consultora da obra (2024).

Figura 30 – Distribuição das estacas de compactação na Obra 2 (círculos)



Fonte: Empresa consultora da obra (2024).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 OBRA 1

Na Área de Estudo 1, foi realizada a instalação de um total de 482 estacas de argamassa, cada uma com um diâmetro de 28 centímetros e uma resistência à compressão de 10 MPa. Estas estacas foram distribuídas ao longo de 36 sapatas, com o espaçamento entre as estacas variando entre 80 e 90 centímetros. O processo completo de execução das estacas teve uma duração total de 8 dias.

Durante a execução das estacas foi adotada uma estratégia específica para minimizar os efeitos das vibrações geradas pelo processo de cravação. Para isso, evitou-se a execução de estacas vizinhas de maneira consecutiva, de modo a prevenir qualquer dano que as vibrações pudessem causar às estacas já executadas. Para tanto foi exigido um intervalo mínimo de 24 horas entre a cravação de estacas adjacentes, garantindo assim que o concreto das estacas anteriormente executadas pudesse adquirir resistência suficiente antes de serem submetidas a novos impactos vibracionais.

O processo de execução das estacas começou com a remoção de uma camada superficial de solo, com aproximadamente um metro de espessura, utilizando-se um trado mecânico, como ilustrado na Figura 31. Esta etapa foi necessária porque o martelo vibratório não conseguia penetrar na primeira camada do solo, que era composta por areia compactada, uma condição que impedia o avanço adequado da máquina.

Figura 31 – Abertura das estacas de melhoramento do solo realizada pelo trado



Fonte: O autor (2024).

O método de execução das estacas seguiu uma sequência de etapas bem definidas. Inicialmente, os eixos das estacas foram locados no terreno com precisão, seguindo o projeto estabelecido. Com os eixos locados, o trado mecânico foi então utilizado para escavar aproximadamente 1 metro de solo, criando uma abertura inicial para a execução da estaca, Figura 32. Após a remoção da camada superficial de solo, o martelo vibratório equipado com o tubo metálico de diâmetro interno de 28 centímetros, comprimento de 6 metros e uma tampa falsa na sua extremidade foi introduzido no solo por meio de vibrações. Este processo continuou até que o martelo vibratório atingisse a pressão limite de operação, sendo esse o critério de parada da execução. A profundidade atingida foi próxima a definida em projeto.

Figura 32 – Processo de cravação das estacas de compactação



Fonte: O autor (2024).

Uma vez atingida a profundidade projetada, uma retroescavadeira, equipada com um funil contendo argamassa, era posicionada acima do topo do tubo metálico para despejar a argamassa no interior do mesmo, como apresenta a Figura 33. Após o preenchimento do tubo com argamassa, sendo esta produzida em uma concreteira com resistência de 10 MPa, conforme projeto, o tubo metálico era removido do solo com auxílio do martelo vibratório, e o processo era repetido em outro ponto, seguindo o padrão estabelecido no projeto. A Figura 34 mostra as estacas de compactação executadas em um trecho da obra de acordo com a planta de locação.

Figura 33 – Lançamento de argamassa no tubo metálico



Fonte: O autor (2024).

Figura 34 – Estacas de compactação executadas



Fonte: O autor (2024).

4.2 OBRA 2

Na Obra 2, o procedimento de execução das estacas foi bastante semelhante ao da Obra 1, com algumas pequenas variações que foram implementadas de acordo com as características específicas do local. Ao todo, foram executadas 558 estacas, que diferiam das anteriores por serem compostas de uma mistura de areia e brita, em vez de argamassa. Essas estacas tinham o

mesmo diâmetro de 28 centímetros e foram distribuídas por todo o terreno referente a lâmina principal do edifício, com espaçamento entre estacas de 90 centímetros.

No caso da Obra 2, a camada superficial removida foi ligeiramente menos espessa, com cerca de 50 centímetros, mas, assim como na Obra 1, a remoção foi realizada com o auxílio de um trado mecânico. As etapas subsequentes de execução seguiram o mesmo procedimento adotado na Obra 1, com a diferença do material de preenchimento utilizado no interior do tubo metálico, que neste caso consistiu em uma mistura de areia e brita, ao invés de argamassa. Este ajuste no material de preenchimento foi realizado em função das especificidades geotécnicas da Obra 2, que se trata de um solo com um grau de compactação superior ao apresentado na Área de Estudo 1.

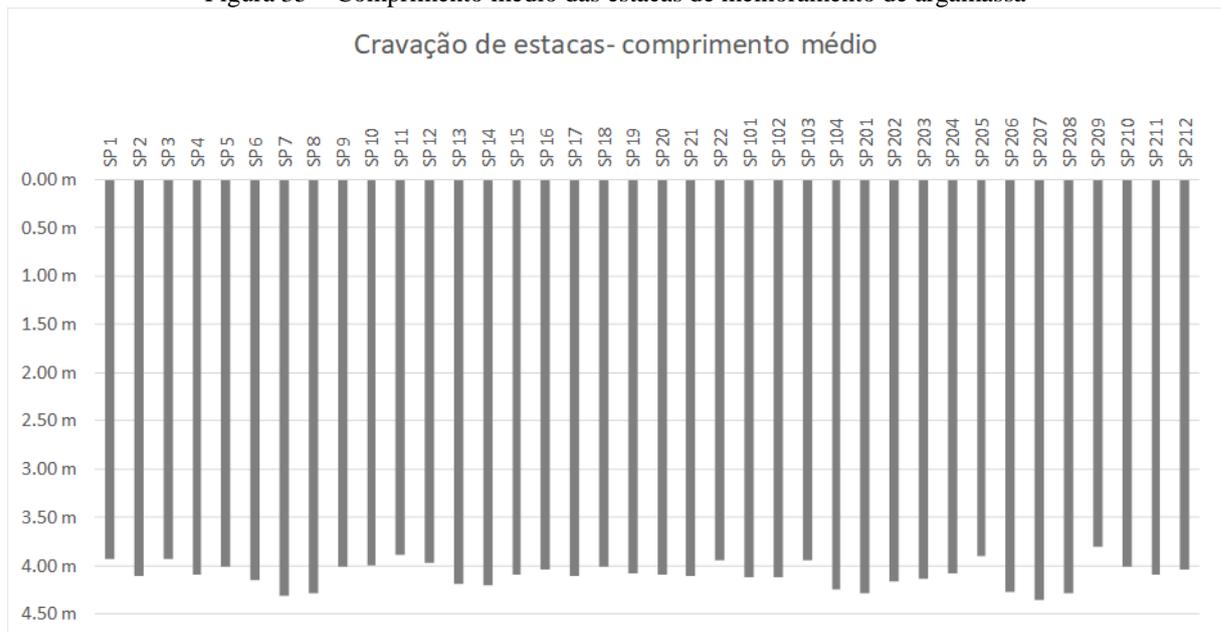
5 RESULTADOS

A seguir serão discutidos os resultados obtidos nas duas áreas de estudos com a finalidade de analisar o melhoramento do solo pela cravação de estacas de argamassa (Obra 1) e areia e brita (Obra 2) através da comparação das sondagens realizadas antes e depois das cravações e do acompanhamento dos recalques e de sua velocidade.

5.1 OBRA 1

Durante a execução das estacas de melhoramento com argamassa, foi monitorado o comprimento de cravação. A Figura 35 apresenta os valores médios de comprimento das estacas para cada sapata:

Figura 35 – Comprimento médio das estacas de melhoramento de argamassa

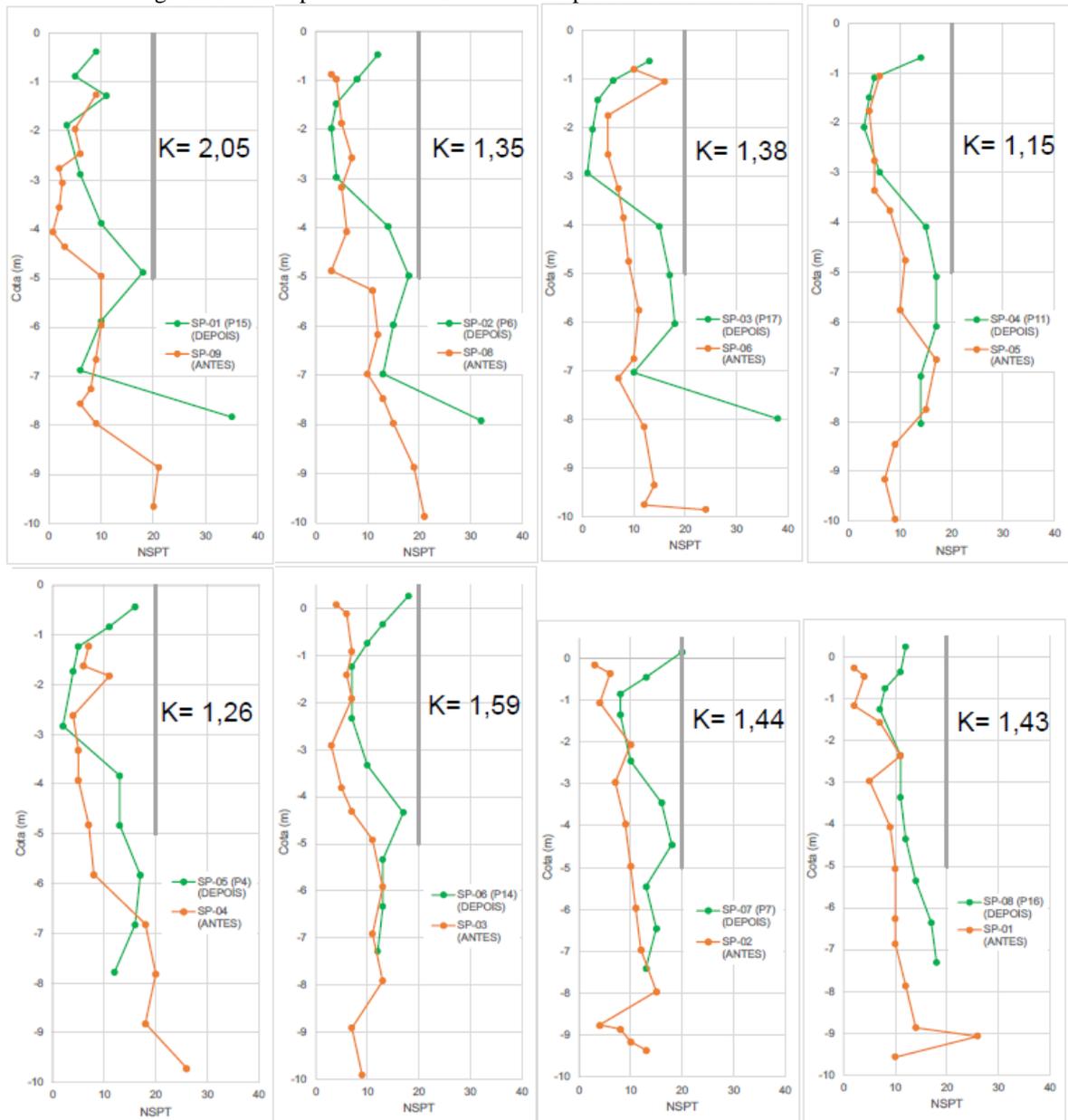


Fonte: O autor (2024).

As estacas de compactação apresentaram um comprimento médio de aproximadamente 4,10 m, inferior à profundidade definida em projeto, que era de 5,00 m. O critério de parada foi determinado pela energia de operação aplicada pelo martelo vibratório, que indicava o momento adequado para interromper a cravação. Após a execução das estacas de compactação, foram realizadas novas sondagens nos mesmos locais das sondagens iniciais, com a diferença de que uma sondagem a menos foi realizada nesta etapa. A Figura 36 mostra o comparativo dos valores de N-SPT registrados antes e depois da execução das estacas, sendo o fator K utilizado

para representar o grau de melhoramento. Esse fator foi determinado comparando-se as médias dos valores de N-SPT obtidos até 8 metros de profundidade, com valores utilizados das medições realizadas a cada metro das sondagens, antes e após a execução das estacas de melhoramento.

Figura 36 – Comparativo do N-SPT antes e após o melhoramento do solo na Obra 1



Fonte: Empresa consultora da obra (2024).

Percebe-se que, na maioria dos casos, a melhoria do solo até 3 metros de profundidade foi bastante discreta ou inexistente, devido à uma camada de finos, que prejudica a compactação do solo. Após essa profundidade verifica-se um aumento nos valores de N-SPT ao longo de 3 a 5m em algumas sondagens e em outras de 3 a 6m. Após 6m tem uma certa variação do N-

SPT entre as sondagens, onde algumas apresentam valores maiores que antes e outras menores. Possivelmente porque as estacas de compactação de argamassa em média chegaram até a profundidade de 4,10m e após essa profundidade o solo, em alguns casos, não alcançou N-SPT superior ao inicial.

Nas sondagens realizadas após a execução das estacas, foi identificada a presença de uma camada de silte de aproximadamente 1,0 metro, situada entre as profundidades de 2,0 e 3,0 metros aproximadamente.

Por se tratarem de estacas de argamassa, a presença de camadas com granulometria mais fina foi considerada uma questão de importância secundária pelo consultor da obra, pois já era prevista a existência de tais camadas, que inibem o processo de compactação. Essas estacas foram projetadas para possuir rigidez suficiente para transferir as cargas para sua base de forma eficaz. Considerando essas condições, foi solicitado que fossem executadas 74 estacas de reforço, com o objetivo de reduzir a carga máxima nas colunas de 275 kN para 200 kN. O Quadro 2 apresenta os valores de carga máxima por estaca em cada sapata após a execução dos reforços:

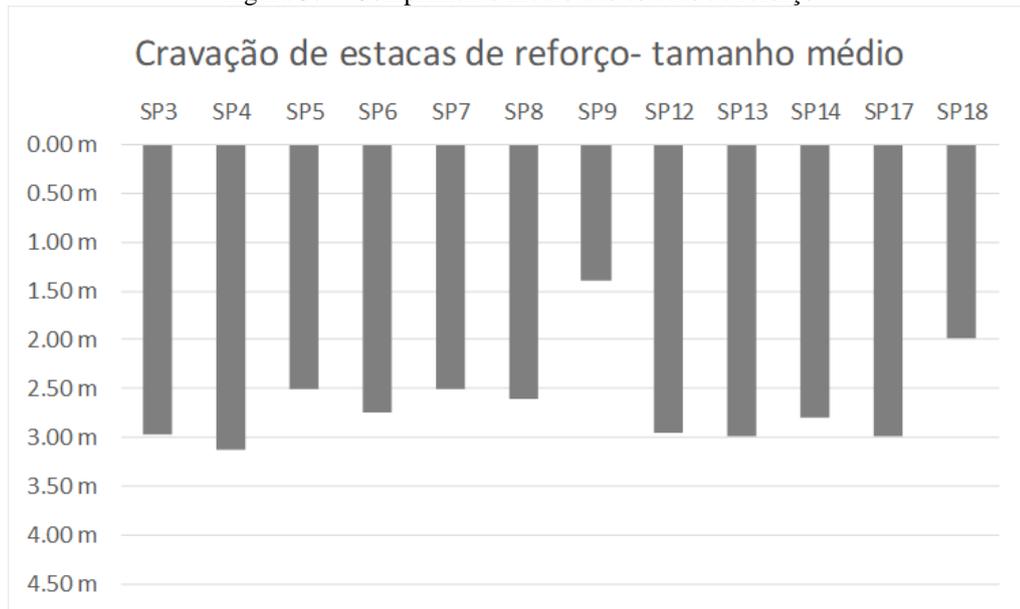
Quadro 2 – Carga de serviço das estacas de melhoramento

| Região | Quantidade de estacas | Carga transmitida pelo pilar (kN) | Carga por estaca (kN) | Região | Quantidade de estacas | Carga transmitida pelo pilar (kN) | Carga por estaca (kN) |
|--------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| SP1 | 16 | 2353.59 | 147.10 | SP20 | 9 | 1372.93 | 152.55 |
| SP2 | 16 | 2157.45 | 134.84 | SP21 | 16 | 2255.52 | 140.97 |
| SP3 | 26 | 4707.17 | 181.05 | SP22 | 16 | 2157.45 | 134.84 |
| SP4 | 28 | 5393.64 | 192.63 | SP101 | 4 | 147.10 | 36.77 |
| SP5 | 26 | 4903.31 | 188.59 | SP102 | 4 | 176.52 | 44.13 |
| SP6 | 30 | 5589.77 | 186.33 | SP103 | 4 | 147.10 | 36.77 |
| SP7 | 30 | 5687.84 | 189.59 | SP104 | 4 | 147.10 | 36.77 |
| SP8 | 26 | 4805.24 | 184.82 | SP201 | 6 | 1176.79 | 196.13 |
| SP9 | 24 | 4805.24 | 200.22 | SP202 | 6 | 1176.79 | 196.13 |
| SP10 | 24 | 4118.78 | 171.62 | SP203 | 4 | 490.33 | 122.58 |
| SP11 | 20 | 3726.51 | 186.33 | SP204 | 4 | 490.33 | 122.58 |
| SP12 | 26 | 5099.44 | 196.13 | SP205 | 4 | 637.43 | 159.36 |
| SP13 | 30 | 5295.57 | 176.52 | SP206 | 4 | 441.30 | 110.32 |
| SP14 | 34 | 6472.36 | 190.36 | SP207 | 4 | 294.20 | 73.55 |
| SP15 | 16 | 2353.59 | 147.10 | SP208 | 4 | 294.20 | 73.55 |
| SP16 | 16 | 2255.52 | 140.97 | SP209 | 4 | 294.20 | 73.55 |
| SP17 | 26 | 4707.17 | 181.05 | SP210 | 4 | 294.20 | 73.55 |
| SP18 | 24 | 4511.04 | 187.96 | SP211 | 4 | 392.26 | 98.07 |
| SP19 | 9 | 1765.19 | 196.13 | SP212 | 4 | 98.07 | 24.52 |

Fonte: O autor (2024).

As estacas de reforço apresentaram tamanhos menores em comparação às estacas cravadas inicialmente, com comprimento médio de 2,71 metros, devido ao fato de o solo já estar mais compacto em relação à sua condição original. A Figura 37 mostra a média do comprimento das estacas de reforço por sapata:

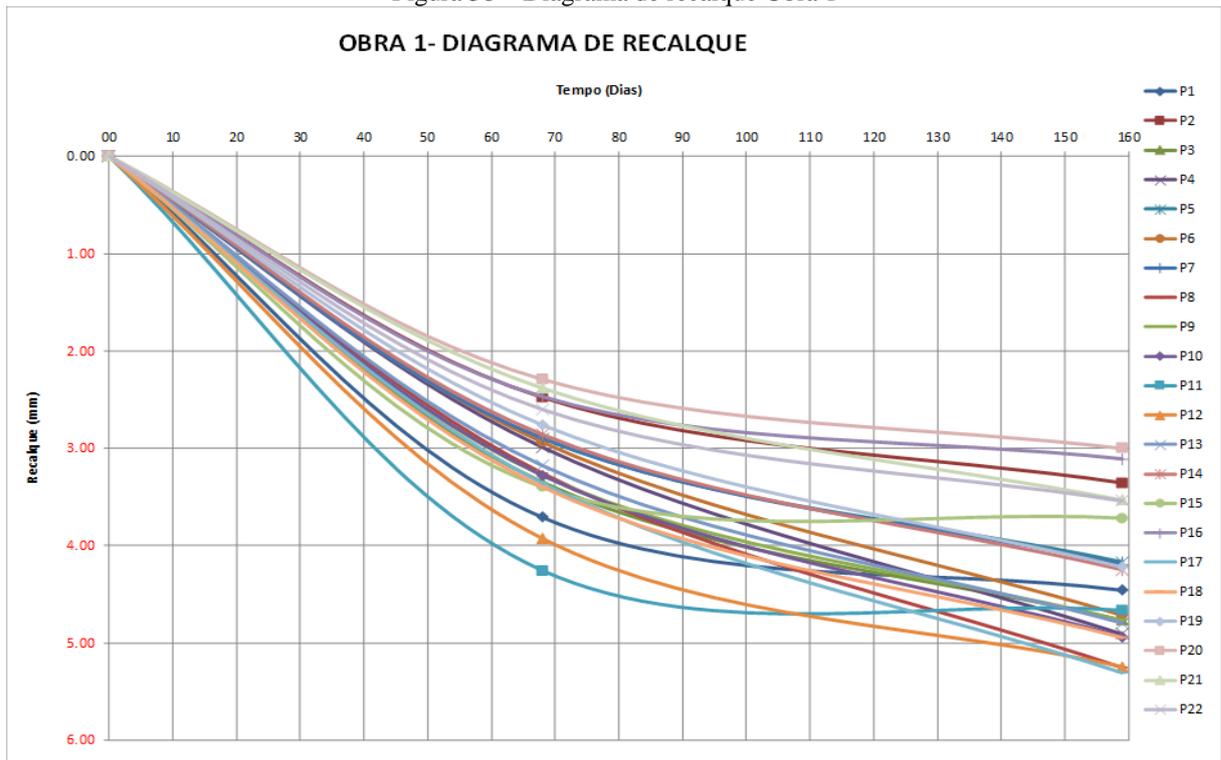
Figura 37 – Comprimento médio das estacas de reforço



Fonte: O autor (2024).

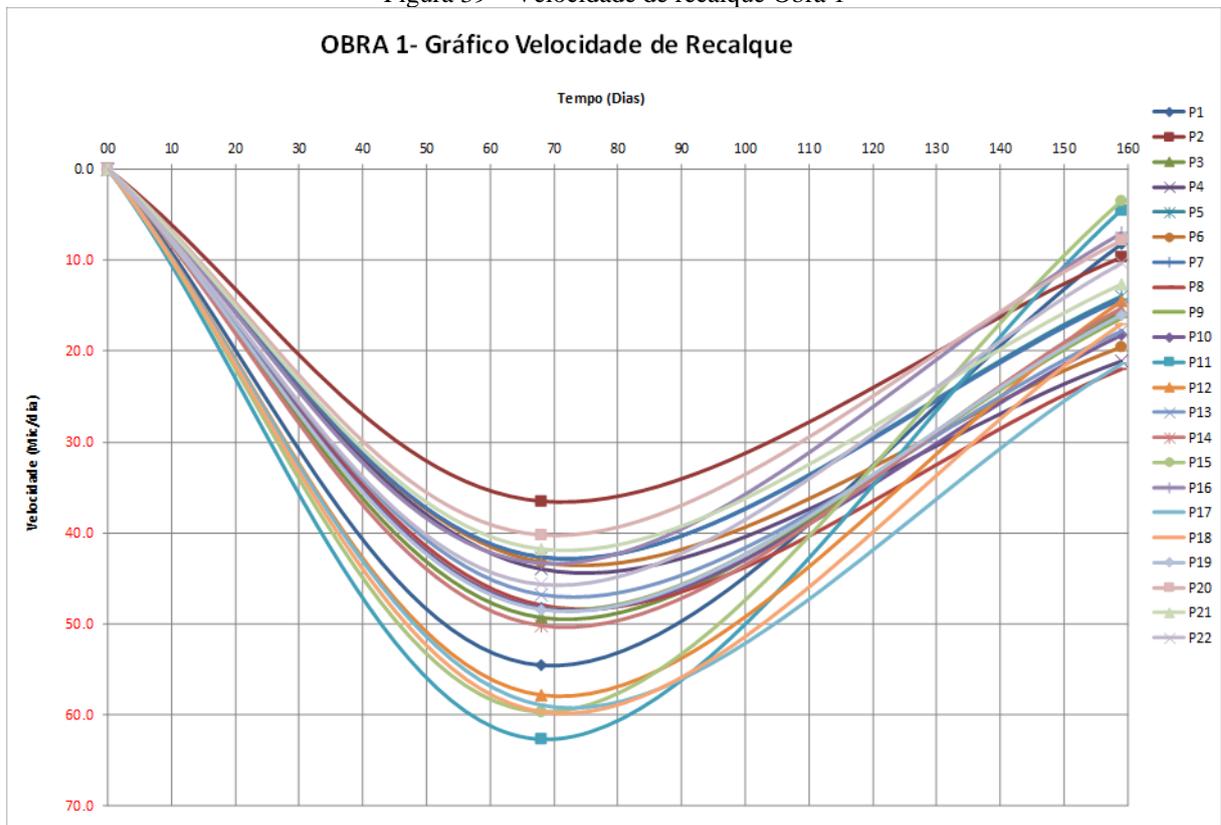
Conforme recomendado pelo consultor, foi implementado o monitoramento dos recalques em todos os pilares da lâmina principal do edifício. Esse acompanhamento é fundamental para garantir que os recalques observados permaneçam dentro dos limites aceitáveis, assegurando a integridade estrutural da construção. A Figura 38 apresenta o diagrama de recalques da Obra 1 e a Figura 39 mostra a velocidade desse recalque durante 160 dias, aproximadamente 5 meses de monitoramento, até o momento. O gráfico de velocidade de recalque permite uma análise detalhada da taxa de deformação ao longo do tempo. No momento da última medição de recalque, a estrutura estava com cerca de 55% concluída.

Figura 38 – Diagrama de recalque Obra 1



Fonte: Empresa consultora da obra (2024).

Figura 39 – Velocidade de recalque Obra 1



Fonte: Empresa consultora da obra (2024).

A estrutura da Obra 1, até o momento, apresenta recalques variando entre 3 mm (P20) e 5,4 mm (P17), situando-se dentro dos limites aceitáveis e sem sinais de deformações

excessivas ou anomalias que possam comprometer o desempenho da fundação. De acordo com as recomendações de Milititsky, Consoli e Schnaid (2013), o recalque máximo permitido para fundações isoladas em solos predominantemente granulares é de 40 mm, considerando-se aceitável um recalque angular de até $L/500$, onde L representa a distância entre os pilares monitorados. Na análise, realizada entre pilares adjacentes, a distorção angular mais crítica foi observada entre os pilares P14 e P20, com um valor de 1,25 mm — abaixo do limite aceitável de 8,34 mm conforme os critérios de Milititsky et al. (2013). As velocidades de recalque variam entre 3,5 mic/dia (P20) e 21,4 mic/dia (P17), apresentando uma tendência de estabilização ao longo do tempo.

5.2 OBRA 2

Diferentemente da Obra 1, na Obra 2 o melhoramento do solo foi realizado com a utilização de areia e brita, visando promover uma melhoria global no terreno. Isso se deve ao fato do material arenoso possuir uma maior capacidade de compactação em comparação ao material presente na área da Obra 1. Dessa forma, as estacas de melhoramento foram distribuídas de maneira uniforme por todo o terreno, sem se restringir às regiões das sapatas. Inicialmente, foram cravadas 558 estacas com comprimento médio de 4,90 metros.

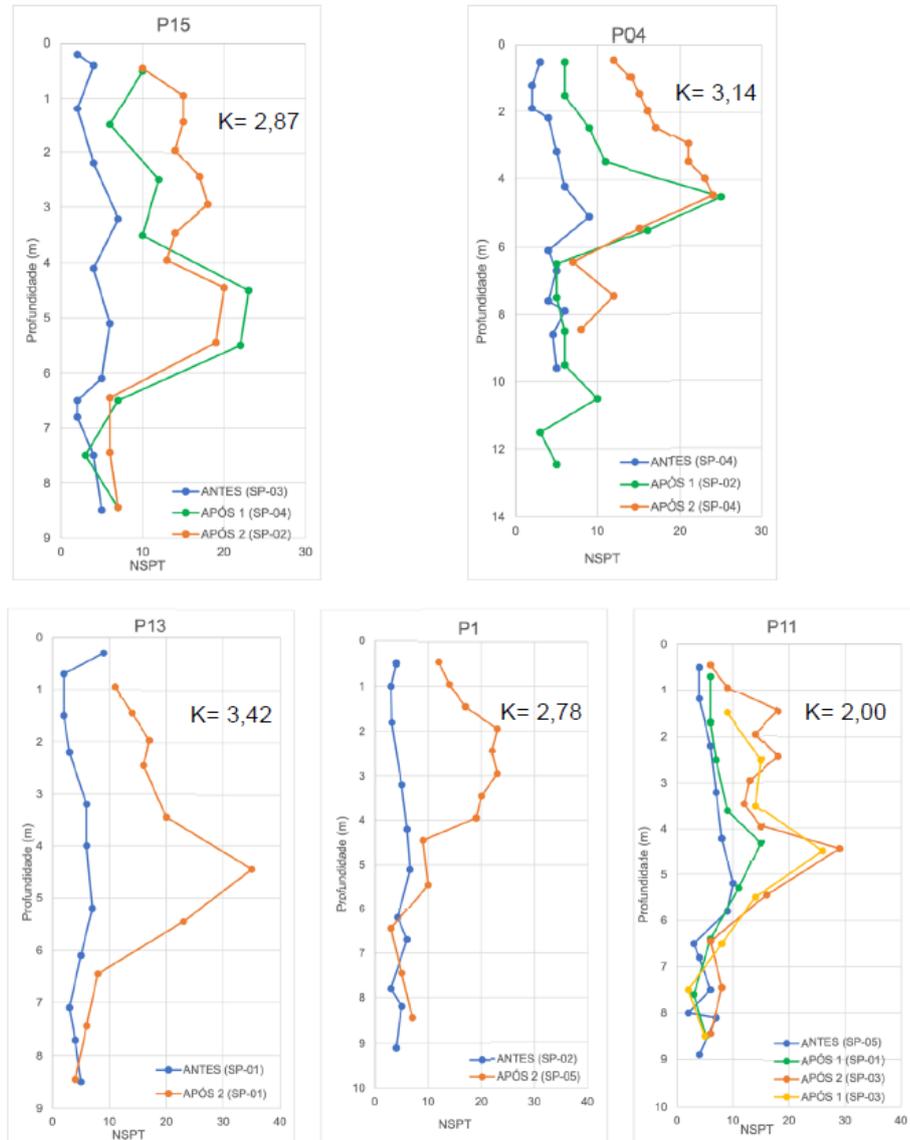
Após a execução das estacas de compactação, foram realizados quatro furos de sondagem para verificar o impacto do melhoramento no solo. Apesar dos resultados indicarem melhorias na capacidade do terreno, constatou-se que, em algumas regiões, o reforço não foi suficiente. Por essa razão, foram cravadas 277 estacas de reforço distribuídas ao longo do terreno, especialmente entre os elementos de fundação, para intensificar a compactação nas proximidades das sapatas. O espaçamento entre as estacas foi reduzido de 90 cm para 45 cm nas áreas de reforço. Assim como na Obra 1, o comprimento das estacas de reforço foi significativamente menor, com uma média de 2,80 metros.

A Figura 40 apresenta o comparativo do valor de N-SPT das sondagens realizadas antes e após o processo de melhoramento do solo. Observa-se na Figura 40 que foram realizadas algumas sondagens a mais em P15, P04 e P11 após a cravação das mais 277 estacas de reforço (indicada pela curva laranja).

Verifica-se que os valores de N-SPT, após a cravação das estacas de melhoramento de areia e brita, tiveram um aumento significativo, desde a profundidade inicial até 6,5m. Após esta profundidade houve uma variação dos valores de N-SPT que continuaram com os mesmos valores iniciais ou tiveram um pequeno aumento. A Figura 40 também mostra o aumento dos

valores de N-SPT após a cravação das estacas de reforço (indicada pela curva laranja) até 4m, aproximadamente e o fator K representa o fator de melhoramento.

Figura 40 – Comparativo do N-SPT antes e após o melhoramento do solo (Após 2) na Obra 2



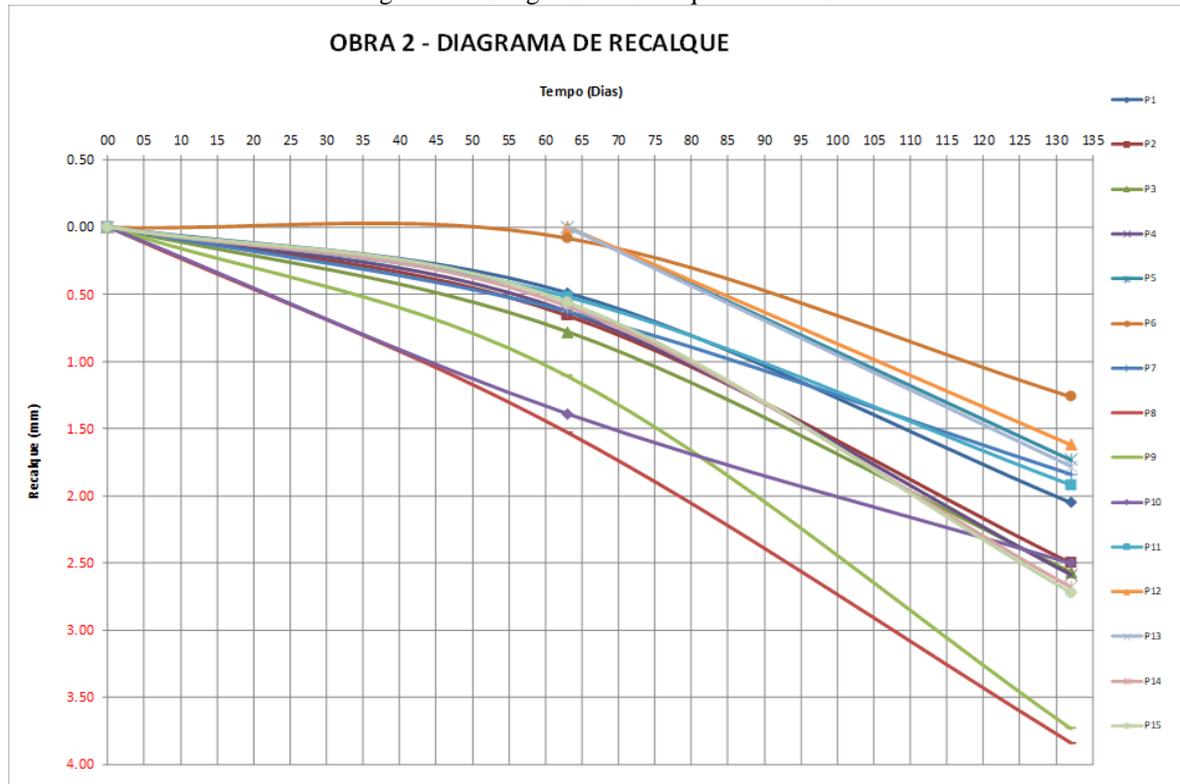
Fonte: Empresa consultora da obra (2024).

Após a execução das estacas de reforço, os resultados da compactação do solo foram avaliados como eficientes pelo consultor da obra, atendendo aos requisitos necessários para a adoção de sapatas como sistema de fundação.

Na Obra 2, assim como na Obra 1, está sendo realizado o monitoramento de recalques da estrutura, que neste trabalho foram apresentados os resultados até 135 dias, aproximadamente 4,5 meses. A Figuras 41 mostra o recalque da estrutura na Obra 2. O monitoramento indica recalques variando entre 1,26 mm (P6) e 3,84 mm (P8), mantendo-se dentro dos limites aceitáveis para um desempenho estrutural adequado. Seguindo os mesmos

critérios adotados na Obra 1, a distorção angular mais crítica foi observada entre os pilares P8 e P13, com um valor de 2,03 mm, abaixo do limite aceitável de 6,30 mm, considerando L/500 como parâmetro aceitável.

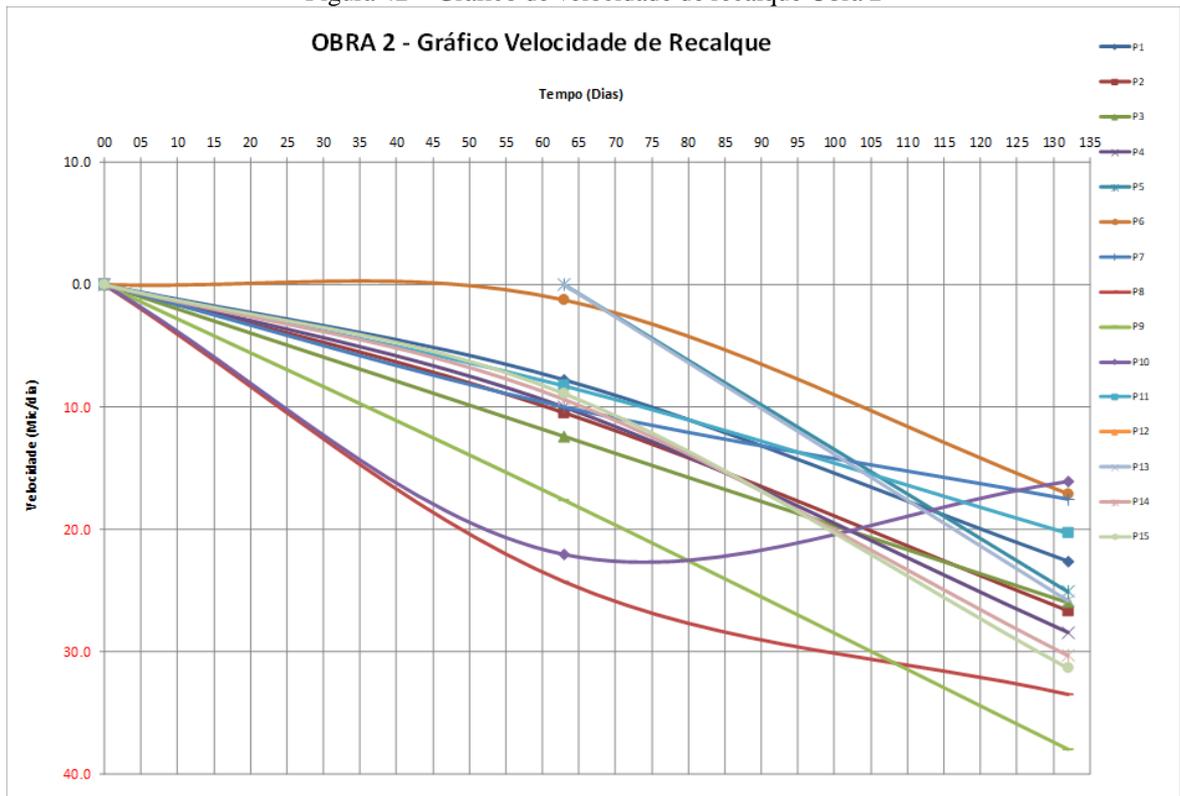
Figura 41 – Diagrama de recalque da Obra 2



Fonte: Empresa consultora da obra (2024).

As velocidades de recalque são demonstradas através da Figura 42, variando entre 15 e 38 mic/dia. Em contraste com a Obra 1, a velocidade de recalque nesta obra apresenta uma tendência ascendente, possivelmente associada à progressão das etapas construtivas, o que resulta em incremento de carga sobre a fundação; tal condição requer acompanhamento contínuo para garantir o controle adequado dos recalques.

Figura 42 – Gráfico de velocidade de recalque Obra 2



Fonte: Empresa consultora da obra (2024).

6 CONCLUSÃO

A partir da análise das duas obras localizadas na zona norte de Recife, onde foram aplicadas técnicas de melhoramento de solo com estacas de compactação, foi possível comprovar a eficiência dessas soluções em terrenos de baixa capacidade de suporte. O estudo mostrou que, embora cada obra apresentasse necessidades específicas de reforço, em ambas o uso das estacas de compactação se mostrou uma alternativa viável e eficaz.

Na obra 1, com estacas de argamassa, o comprimento inicial médio das estacas foi de 4,10 m, já as estacas de reforço tiveram comprimento médio de 2,71 m. Após o reforço, o valor do N-SPT apresentou um aumento médio de 42%, quando comparado ao valor inicial. O recalque observado, após 169 dias de análise, variou entre 3 e 5,4 mm entre os pilares da lâmina principal. Na obra 2, com estacas de areia e brita, o comprimento médio inicial das estacas foi de 4,90 m, enquanto as estacas de reforço apresentaram comprimento médio de 2,80 m. Após a intervenção, o valor do N-SPT aumentou em média 178%, com recalques variando entre 1,26 e 2,84 mm entre os pilares, observados após 132 dias de análise.

Os ensaios SPT realizados antes e após a execução das técnicas de melhoramento evidenciaram o aumento da capacidade de suporte dos terrenos, reforçando a importância desse tipo de intervenção em áreas onde solos favoráveis são raros. O monitoramento de recalque, ainda em andamento, já oferece indicativos positivos da eficiência das técnicas aplicadas, demonstrando uma redução significativa de recalques. Até o momento, os recalques observados estão dentro dos limites aceitáveis para garantir a estabilidade das fundações, confirmando a eficiência das estacas de compactação na mitigação de deformações excessivas

Além disso, este trabalho reafirma a importância de estudos geotécnicos prévios detalhados para determinar a viabilidade do uso de técnicas de melhoramento, como as estacas de compactação, em obras de maior porte. Em cidades como Recife, onde o avanço urbano torna escassos os terrenos com boas condições geotécnicas, essas técnicas se mostram cada vez mais necessárias para viabilizar projetos com fundações superficiais ou para reduzir a profundidade de fundações profundas, garantindo segurança e eficiência estrutural.

Em suma, a eficácia das estacas de compactação foi comprovada nos dois casos estudados, demonstrando que, com o devido planejamento e monitoramento, essas técnicas são capazes de transformar solos problemáticos em suportes adequados para construções seguras e viáveis.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, Wesley de Sousa; FONSECA, Francis Vinícius Borges; JÚNIOR, João Vaz de Lima; MELO, Renata de Oliveira. Análise e dimensionamento de fundações profundas, visando a viabilidade econômica e segurança estrutural. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, [s. l], v. 8, n. 3, p. 119-143, dez. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12069**: Solo – Ensaio de penetração de cone in situ (CTP). Rio de Janeiro, 1991. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019. 108 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6489**: Solo - Prova de carga estática em fundação direta. Rio de Janeiro, 2019. 33 p.

AULER, André Carlos; VIEIRA, Marcio Luis. Coleta de amostras indeformadas de solo: avaliação e proposta de equipamento. **Unoesc & Ciência - ACET Joaçaba**, v. 8, n. 1, p. 41-44, jan./jun. 2017.

AURICCHIO, Luciano Corrêa. **Análise da viabilidade técnico-econômica de fundações em solos colapsíveis**. 2021. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Departamento de Geotecnia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2021. 155 p.

BASTOS, Paulo Sérgio. **Sapata de Fundação**. Disciplina Estruturas de Concreto III. Universidade Estadual Paulista, 2023.

CARVALHO, Flávio Luiz de. **Estudo do comportamento geotécnico de sapatas assentes sobre solo melhorado com estaca mini-rap**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São João del-Rei, 2018. 31 p.

COSTA, Aralis de Carvalho. **Estudo de caso de viabilidade técnica e econômica entre fundações: Tubulão e Estaca Strauss - estudo de caso de um edifício comercial**. Centro Universitário do Sul de Minas, 2016. 118 p.

GUSMÃO FILHO, Jaime de Azevedo. **Fundações: do conhecimento geológico à prática da engenharia**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2002.

GUSMÃO FILHO, Jaime Azevedo; GUSMÃO Alexandre. Duarte. Compaction Piles for Building Foundation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOTECHNICAL AND GEOLOGICAL ENGINEERING. **Proceedings...** Melbourne, 2000. CD-ROM

FONTANA, Annielli Cristine Kazmierski. JOÃO, Mayara de Moraes. **Estacas profundas: desempenho da estaca hélice contínua – qualidade técnica de serviços e aspectos consideráveis**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 08, Vol. 06, pp. 135-147. Agosto de 2019. ISSN: 2448-0959

LUKIANCHUKI, Juliana Azoia **Interpretação de resultados do ensaio SPT com base em instrumentação dinâmica**. 2012. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. 320 p.

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo Cesar; SCHNAID, Fernando. Patologia das Fundações. 2. reimpressão. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

MITCHELL, J. K. (1968). In-place treatment of foundations soils. In: SPECIALITY CONFERENCE ON PLACEMENT AND IMPROVEMENT OF SOIL TO SUPPORT STRUCTURES, USA, ASCE. **Proceedings...** Cambridge,, 1968 p. 93-130

MORAES, Maria; BICALHO, Kátia; CASTELLO, Reno. Melhoramento de solos arenosos fofos por estacas de compactação. **Geotecnia**, [s.s.], n. 123, p. 49-61, 21 nov. 2011. Coimbra University Press. http://dx.doi.org/10.14195/2184-8394_123_3.

NOGUEIRA, Renan Moreira; LEMES, Jovane Prado; SILVA FILHO, Francisco Nilson da. Estudo de caso: aplicação de estacas-pranchas metálicas Frodingham para contenções de solo em construção civil. Fortaleza: UniATENEU, 2022. 22 f.

NOVAES, Renan Filipe Pires. **Análise de confiabilidade de fundações por estacas do tipo hélice contínua, franki e pré-moldada**. 2020. 153 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Campus Sertão - Eixo Tecnológico, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2020.

OLIVEIRA, Manoely Souza de; ROCHA, Felipe Melo de Assis; FERREIRA, Silvio Romero de Melo; OLIVEIRA, Joaquim Teodoro Romão de. Identificação e Classificação de Perfis Típicos de Solos na Planície do Recife. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA – COBRAMSEG 2016, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2016.

PÔRTO, Maiara; OLIVEIRA, Pedro; GUSMÃO, Alexandre Duarte; MAIA, Gilmar de Brito. Melhoramento de solos arenosos e o método da terra-probe sem introdução de material. In: ANAIS DO XX COBRAMSEG, 2022, Campinas. **Anais [...]**. Campinas, Galoá, 2022.

QUERELLI, André Esposito. **Monitoração dinâmica na cravação de estacas: aplicabilidade da equação de Energy Approach e estimativas das tensões de compressão**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. 328p.

RETONDO, Lucas. **Radier: tudo o que você precisa saber sobre esse tipo de fundação**. Construindo Casas, 2021.

RODRIGUES, Andrea Raquel David. **Técnicas de Injeção. Jet Grouting, aplicações e regras de dimensionamento**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 2018. 94 p.

SCHNEIDER, Nelso. **Execução de estacas: raiz**. Rio do Sul, SC: 2019.

SERKI Fundações Especiais. **Execução de estaqueamento em estacas pré-moldadas e metálicas**. [S.l.]: Serki Fundações Especiais, 2024

SILVA, Fábio Krueger da. **Ensaio dilatométrico – DMT em solos de Santa Catarina: estudo comparativo com CPT e SPT**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. 250 p.

SILVA, Fábio Krueger da. **Caracterização física e mecânica de solo residual de gnaiss por meio de ensaios de campo e laboratório - Santo Amaro da Imperatriz, Santa Catarina**. 2015. Dissertação (Doutorado) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. 451 p.

SOARES, Wanessa Cartaxo. **Análise de recalques de edifícios em solos melhorados com estaca de compactação**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005. 146 p.

SOARES, Wilson Cartaxo. **Estacas de compactação para melhoria de solo**. 2002. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

SOUSA, Álvaro André de; VENDER, Karolina; MARQUES, Amanda Rodrigues; ARAÚJO JUNIOR, José Luiz de. Discutindo o conceito de fundações. In: III COLÓQUIO ESTADUAL DE PESQUISA MULTIDISCIPLINAR E I CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA MULTIDISCIPLINAR, 31., 2018, Mineiros. **Anais [...]**. Mineiros: UNIFimes, 2018.

TOTAL Construção. Estaca Strauss: o que é, vantagens e desvantagens. Disponível em: <https://www.totalconstrucao.com.br/estaca-strauss/>. Acesso em: 23 out. 2024.

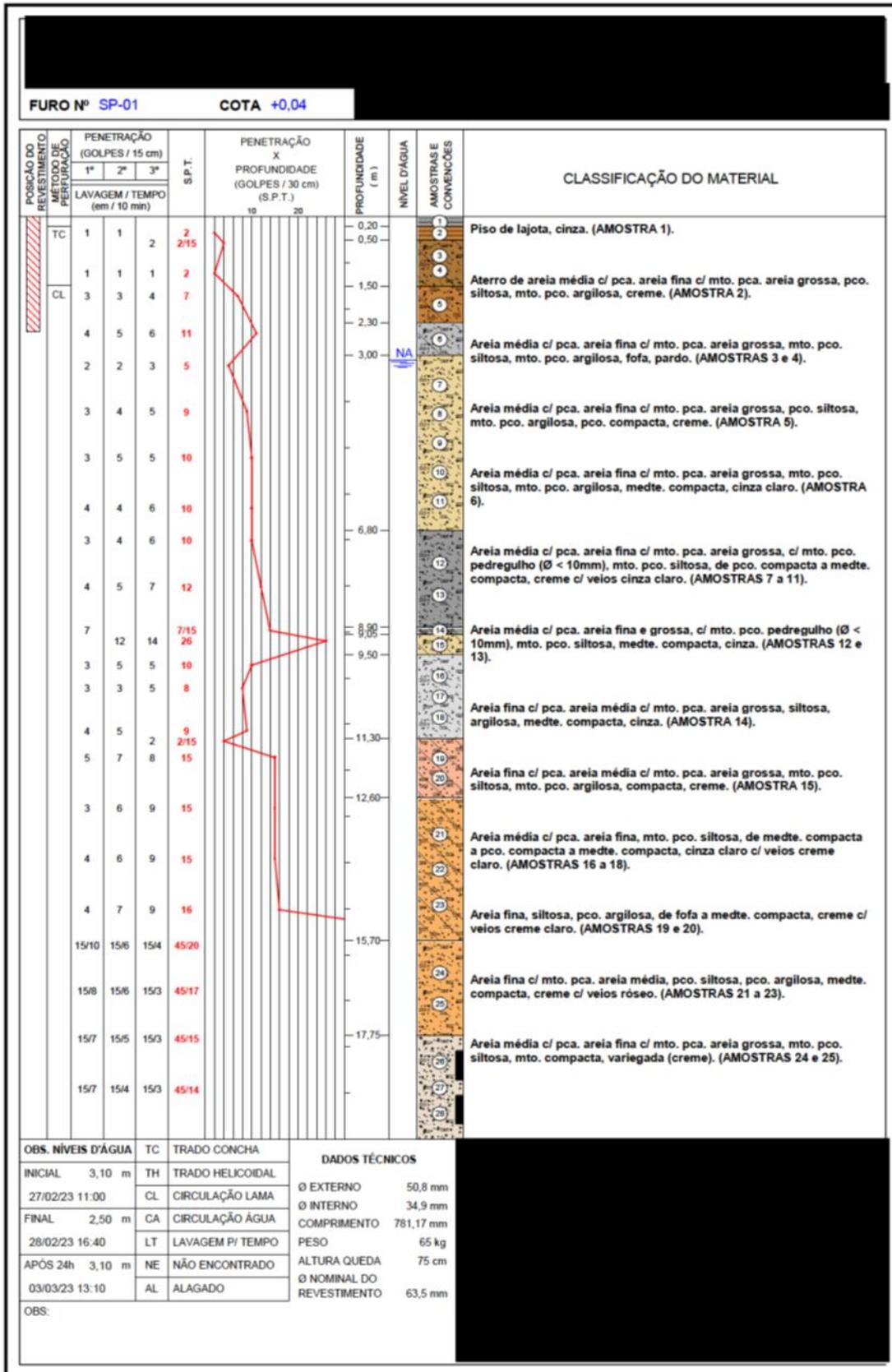
VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

WAGNER, Alexia Cindy; SASSO, Larissa; WAYHS, Carlos Alberto Simões Pires; JASKULSKI, Fernanda; SILVA, Thalia Klein da. Colunas de compactação como alternativa de melhoramento de solo residual para uso de fundações superficiais. In: XX COBRASEG - CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 2022, Campinas-SP. **Anais [...]**. 2020

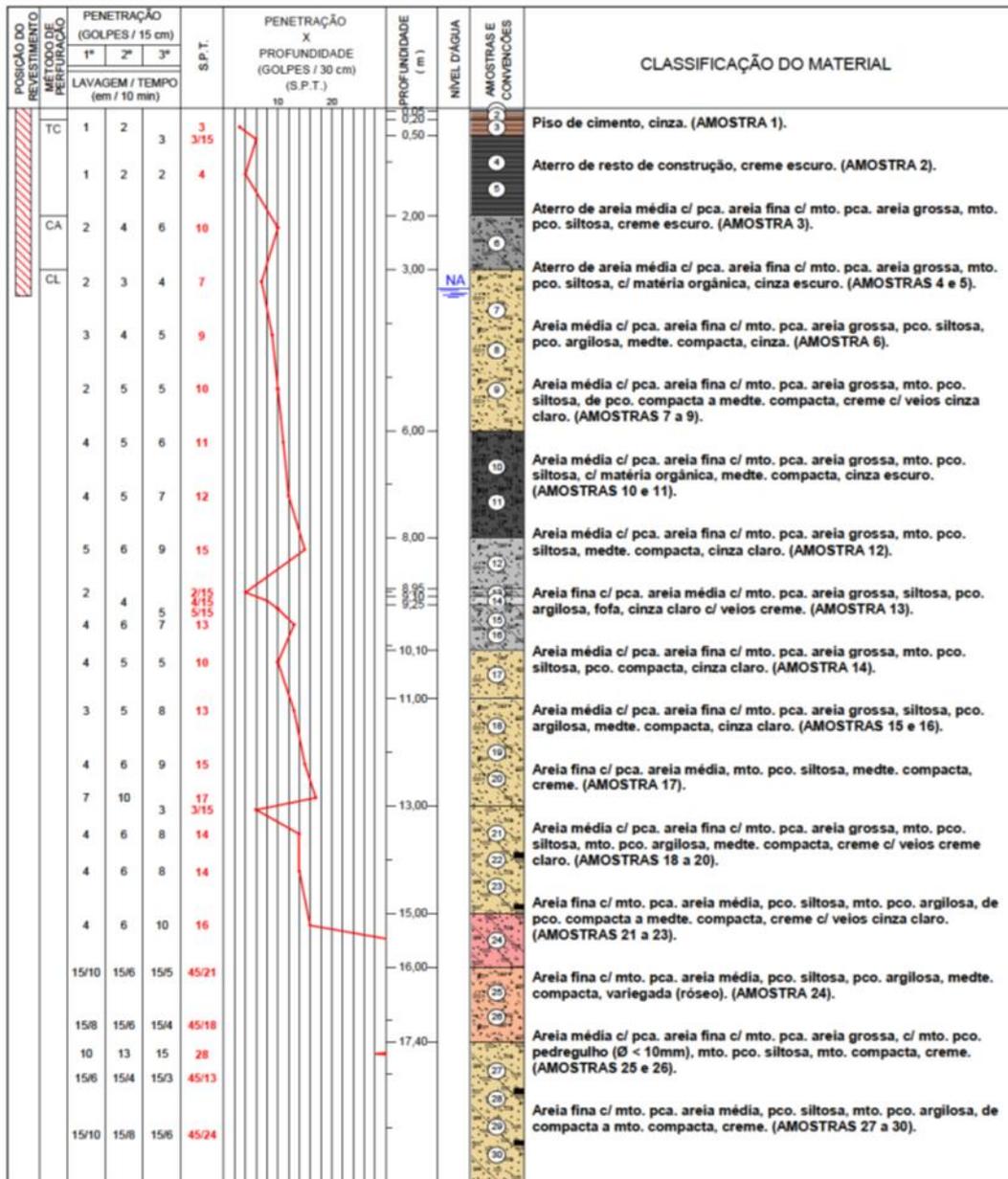
ANEXOS

A seguir, são apresentados os resultados das sondagens realizadas nas áreas de estudo, que embasaram as análises e conclusões deste trabalho. Esses anexos contêm os detalhes técnicos das sondagens, como os perfis de solo, valores de N-SPT, e outras informações relevantes para a caracterização geotécnica dos terrenos analisados.

ANEXO A – SONDAJENS REALIZADAS INICIALMENTE NA OBRA 1

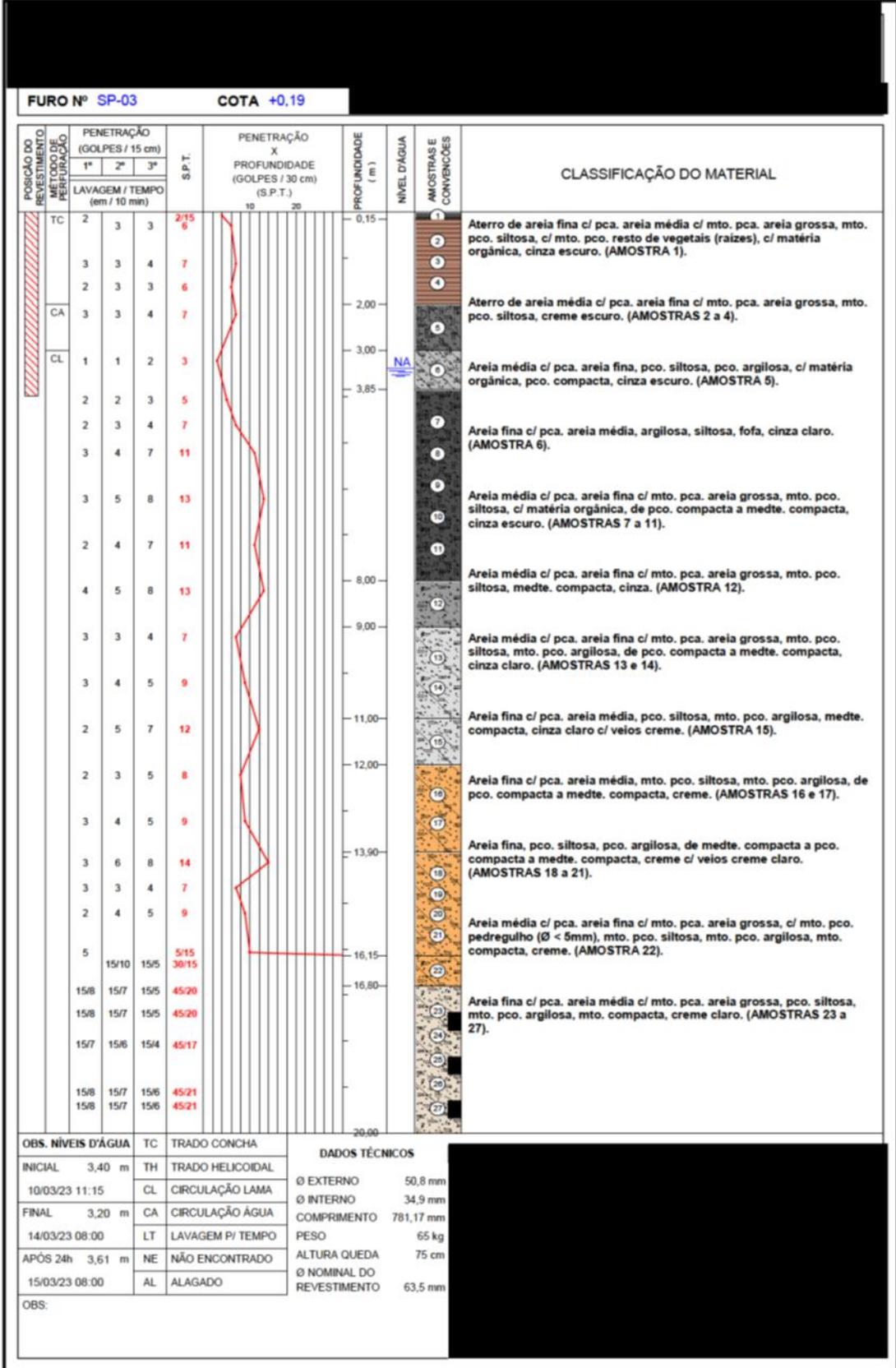


FURO Nº SP-02 COTA +0,14



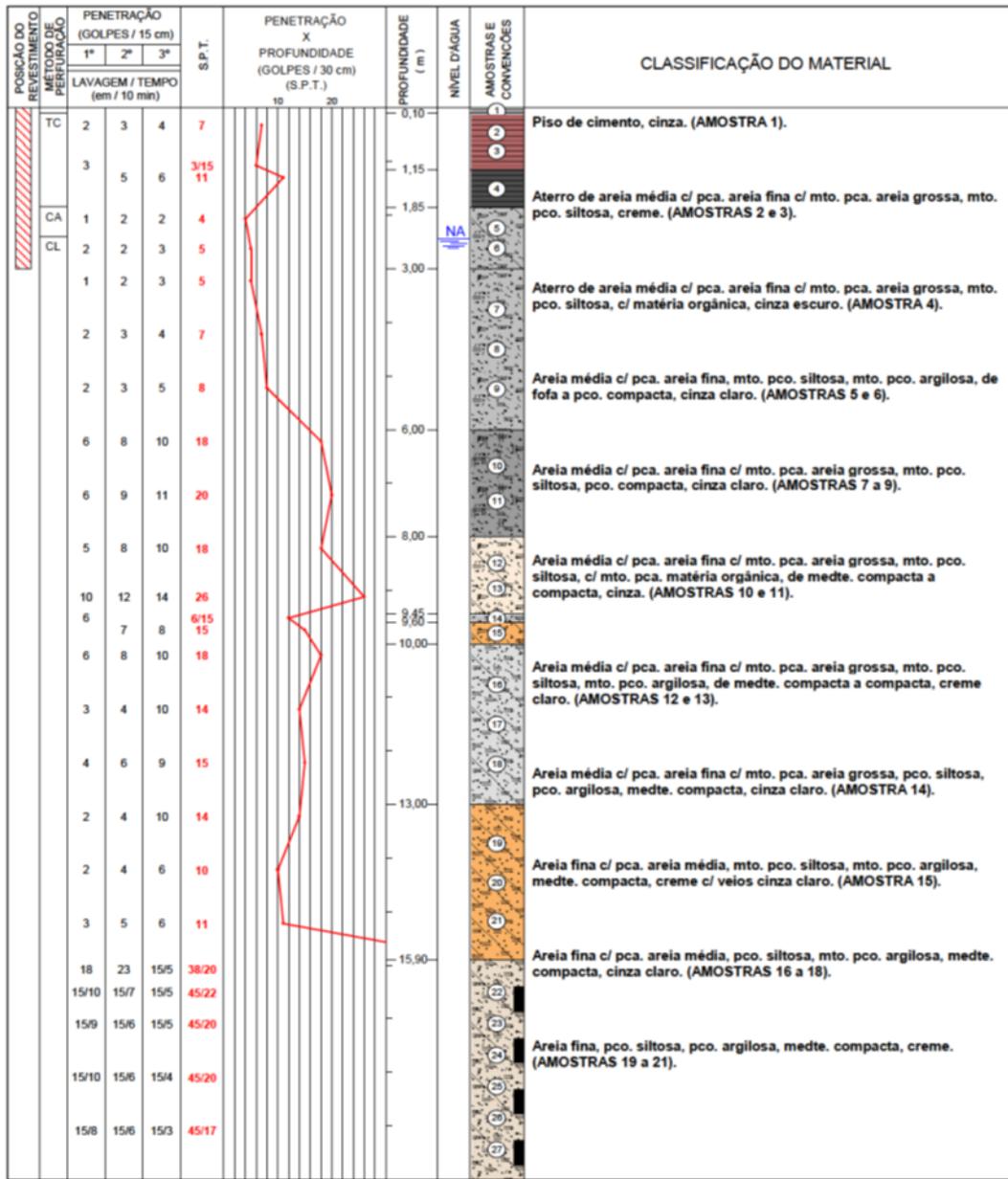
| OBS. NÍVEIS D'ÁGUA | | TC | TRADO CONCHA | DADOS TÉCNICOS | |
|--------------------|--------|----|------------------|---------------------------|-----------|
| INICIAL | 3,35 m | TH | TRADO HELICOIDAL | Ø EXTERNO | 50,8 mm |
| 08/03/23 | 11:15 | CL | CIRCULAÇÃO LAMA | Ø INTERNO | 34,9 mm |
| FINAL | 3,10 m | CA | CIRCULAÇÃO ÁGUA | COMPRIMENTO | 781,17 mm |
| 10/03/23 | 09:40 | LT | LAVAGEM P/ TEMPO | PESO | 65 kg |
| APÓS 24h | 3,40 m | NE | NÃO ENCONTRADO | ALTURA QUEDA | 75 cm |
| 13/03/23 | 07:35 | AL | ALAGADO | Ø NOMINAL DO REVESTIMENTO | 63,5 mm |

OBS: A presença de resto de construção altera o resultado do S.P.T.



FURO Nº SP-04

COTA -0,72



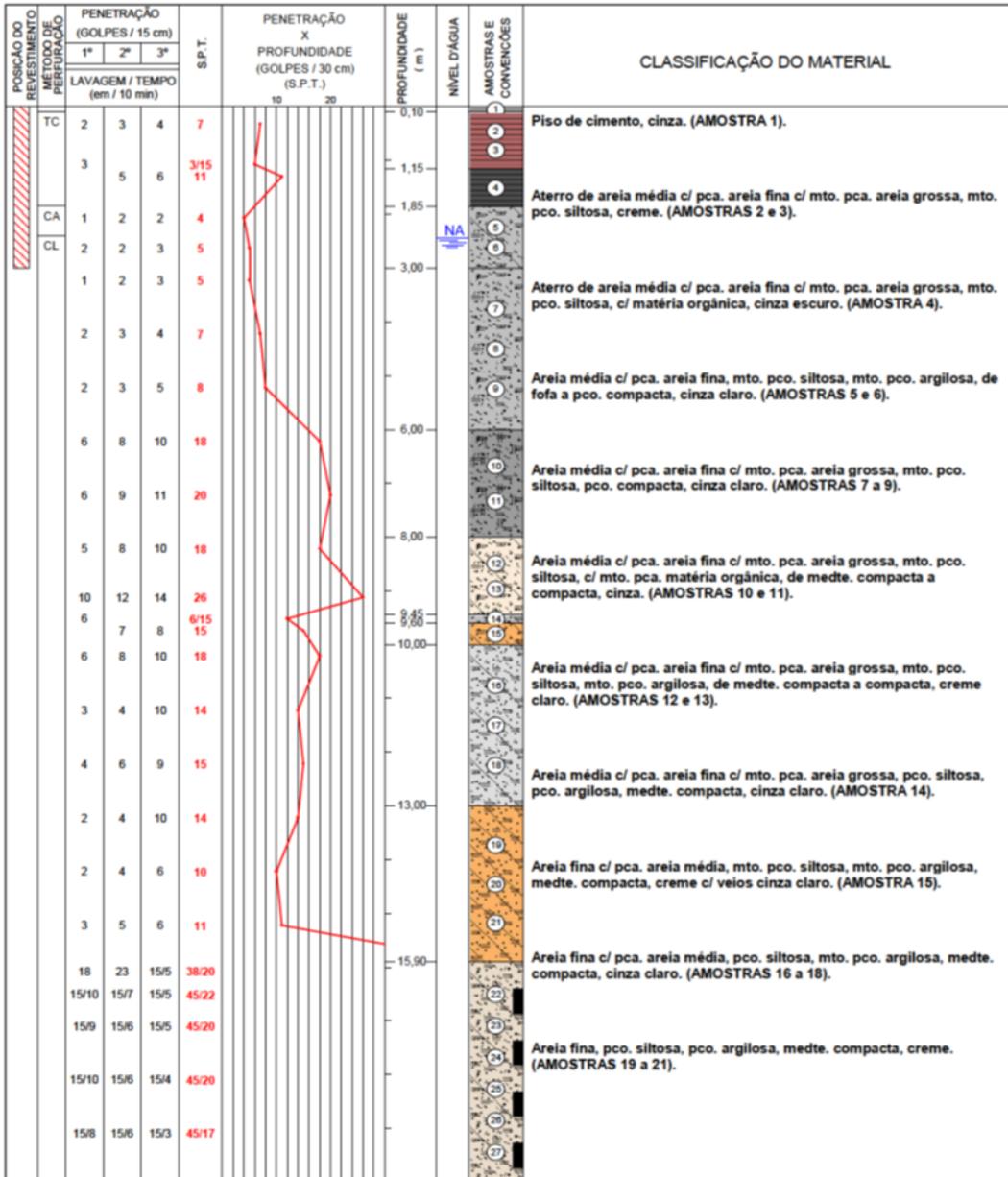
| OBS. NÍVEIS D'ÁGUA | | TC | TRADO CONCHA |
|--------------------|--------|----|------------------|
| INICIAL | 2,45 m | TH | TRADO HELICOIDAL |
| 03/03/23 11:10 | | CL | CIRCULAÇÃO LAMA |
| FINAL | 2,25 m | CA | CIRCULAÇÃO ÁGUA |
| 08/03/23 09:20 | | LT | LAVAGEM P/ TEMPO |
| APÓS 24h | 2,48 m | NE | NÃO ENCONTRADO |
| 09/03/23 08:20 | | AL | ALAGADO |

| DADOS TÉCNICOS | |
|---------------------------|-----------|
| Ø EXTERNO | 50,8 mm |
| Ø INTERNO | 34,9 mm |
| COMPRIMENTO | 781,17 mm |
| PESO | 65 kg |
| ALTURA QUEDA | 75 cm |
| Ø NOMINAL DO REVESTIMENTO | 63,5 mm |

OBS:

FURO Nº SP-04

COTA -0,72



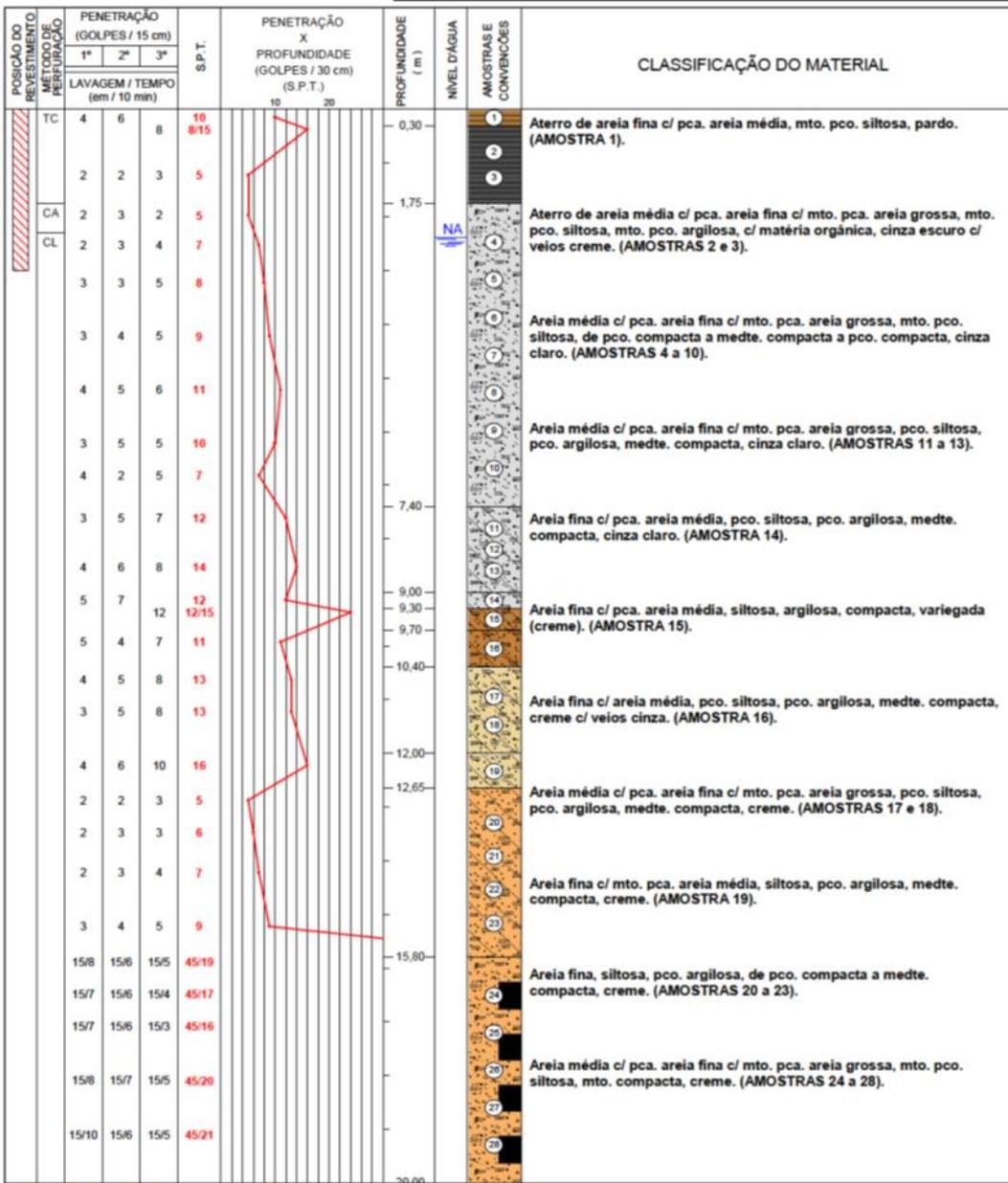
| OBS. NÍVEIS D'ÁGUA | TC | TRADO CONCHA |
|--------------------|----|------------------|
| INICIAL 2,45 m | TH | TRADO HELICOIDAL |
| 03/03/23 11:10 | CL | CIRCULAÇÃO LAMA |
| FINAL 2,25 m | CA | CIRCULAÇÃO ÁGUA |
| 08/03/23 09:20 | LT | LAVAGEM P/ TEMPO |
| APÓS 24h 2,48 m | NE | NÃO ENCONTRADO |
| 09/03/23 08:20 | AL | ALAGADO |

DADOS TÉCNICOS

| | |
|---------------------------|-----------|
| Ø EXTERNO | 50,8 mm |
| Ø INTERNO | 34,9 mm |
| COMPRIMENTO | 781,17 mm |
| PESO | 65 kg |
| ALTURA QUEDA | 75 cm |
| Ø NOMINAL DO REVESTIMENTO | 63,5 mm |

OBS:

FURO Nº SP-06 COTA -0,65



| OBS. NÍVEIS D'ÁGUA | | TC | TRADO CONCHA | DADOS TÉCNICOS | |
|--------------------|--------|----|------------------|---------------------------|----------|
| INICIAL | 2,45 m | TH | TRADO HELICOIDAL | Ø EXTERNO | 50,8 m |
| 16/03/23 | 13:35 | CL | CIRCULAÇÃO LAMA | Ø INTERNO | 34,9 m |
| FINAL | 2,38 m | CA | CIRCULAÇÃO ÁGUA | COMPRIMENTO | 781,17 m |
| 20/03/23 | 09:15 | LT | LAVAGEM P/ TEMPO | PESO | 65 k |
| APÓS 24h | 2,53 m | NE | NÃO ENCONTRADO | ALTURA QUEDA | 75 c |
| 21/03/23 | 07:30 | AL | ALAGADO | Ø NOMINAL DO REVESTIMENTO | 63,5 m |

OBS:

FURO Nº SP-07

COTA -0,73

| POSICÃO DO REVESTIMENTO | MÉTODO DE PERFURAÇÃO | PENETRAÇÃO (GOLPES / 15 cm) | | | S.P.T. | PENETRAÇÃO X PROFUNDIDADE (GOLPES / 30 cm) (S.P.T.) | | PROFUNDIDADE (m) | NÍVEL D'ÁGUA | AMOSTRAS E CONVENÇÕES | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL |
|-------------------------|----------------------|-------------------------------|------|-------|--------|-----------------------------------------------------|-------|------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| | | 1ª | 2ª | 3ª | | 10 | 20 | | | | |
| | | LAVAGEM / TEMPO (em / 10 min) | | | | | | | | | |
| TC | 2 | 2 | 3 | 2/15 | | | 0,13 | | 3 | Aterro de areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltosa, c/ mto. pco. resto de construção, c/ matéria orgânica, cinza escuro. (AMOSTRA 1). | |
| | 2/20 | 2/17 | 2/17 | 4/34 | | | 1,85 | | 4 | | |
| CA | 1 | 1 | 2/20 | 3/35 | | | 2,70 | NA | 5 | Aterro de areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltosa, creme. (AMOSTRAS 2 e 3). | |
| CL | 1 | 2 | 2 | 4 | | | | | 6 | | |
| | 2 | 3 | 3 | 6 | | | | | 7 | Aterro de areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltosa, c/ matéria orgânica, cinza escuro. (AMOSTRAS 4 e 5). | |
| | 3 | 4 | 5 | 9 | | | | | 8 | | |
| | 4 | 5 | 7 | 12 | | | | | 9 | Argila siltosa, c/ pca. areia fina. Plasticidade ALTA de consistência mto. mole, cinza claro. (AMOSTRA 6). | |
| | 5 | 6 | 7 | 13 | | | | | 10 | | |
| | 2 | 3 | 4 | 7 | | | 7,00 | | 11 | Areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltosa, de fofa a medte. compacta, cinza claro. (AMOSTRAS 7 a 11). | |
| | 3 | 5 | 7 | 8 | | | 8,00 | | 12 | | |
| | 3 | 4 | 4 | 8 | | | 8,30 | | 13 | Areia média c/ pca. areia grossa e fina, c/ mto. pco. pedregulho (Ø < 10mm), pco. compacta, cinza claro. (AMOSTRA 12). | |
| | 8 | 11 | 13 | 24 | | | 8,60 | | 14 | | |
| | 4 | 5 | 6 | 11 | | | | | 15 | Areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltosa, mto. pco. argilosa, pco. compacta, creme c/ veios creme claro. (AMOSTRAS 13 e 14). | |
| | 3 | 4 | 5 | 9 | | | 11,00 | | 16 | | |
| | 2 | 4 | 7 | 11 | | | | | 17 | Argila siltosa. Plasticidade BAIXA de consistência rija, cinza claro. (AMOSTRA 15). | |
| | 3 | 5 | 5 | 10 | | | | | 18 | | |
| | 3 | 6 | 14 | 20 | | | 14,00 | | 19 | Areia fina c/ pca. areia média, mto. pco. siltosa, de pco. compacta a compacta a medte. compacta, creme claro. (AMOSTRAS 16 a 18). | |
| | 3 | 4 | 13 | 17 | | | 15,00 | | 20 | | |
| | 10/7 | 10/4 | 10/2 | 30/13 | | | | | 21 | Areia fina, pco. siltosa, pco. argilosa, medte. compacta, cinza claro c/ veios creme. (AMOSTRAS 19 a 21). | |
| | 15/4 | 15/3 | 15/2 | 45/9 | | | 16,30 | | 22 | | |
| | 15/3 | 15/2 | 15/2 | 45/7 | | | | | 23 | Areia fina, siltosa, pco. argilosa, compacta, creme. (AMOSTRA 22). | |
| | 15/7 | 15/6 | 15/3 | 45/16 | | | | | 24 | | |
| | 15/5 | 15/3 | 15/2 | 45/10 | | | | | 25 | Areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, pco. siltosa, mto. pco. argilosa, de medte. compacta a mto. compacta, creme. (AMOSTRAS 23 e 24). | |
| | 15/6 | 15/5 | 15/2 | 45/13 | | | | | 26 | | |

OBS. NÍVEIS D'ÁGUA TC TRADO CONCHA

DADOS TÉCNICOS

| | | | | | |
|----------|--------|----|------------------|---------------------------|-----------|
| INICIAL | 2,47 m | TH | TRADO HELICOIDAL | Ø EXTERNO | 50,8 mm |
| 22/03/23 | 14,20 | CL | CIRCULAÇÃO LAMA | Ø INTERNO | 34,9 mm |
| FINAL | 2,32 m | CA | CIRCULAÇÃO ÁGUA | COMPRIMENTO | 781,17 mm |
| 24/03/23 | 10,00 | LT | LAVAGEM P/ TEMPO | PESO | 65 kg |
| APÓS 24h | - m | NE | NÃO ENCONTRADO | ALTURA QUEDA | 75 cm |
| - - | - | AL | ALAGADO | Ø NOMINAL DO REVESTIMENTO | 63,5 mm |

OBS: A presença de resto de construção altera o resultado do S.P.T.

FURO Nº SP-08 COTA -0,67

| POSICÃO DO REVESTIMENTO PERIFÉRICO | PENETRAÇÃO (GOLPES / 15 cm) | | | S.P.T. | PENETRAÇÃO X PROFUNDIDADE (GOLPES / 30 cm) (S.P.T.) | PROFUNDIDADE (m) | NÍVEL D'ÁGUA | AMOSTRAS E CONVENÇÕES | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL |
|------------------------------------|-------------------------------|------|------|--------|-----------------------------------------------------|------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| | 1ª | 2ª | 3ª | | | | | | |
| | LAVAGEM / TEMPO (em / 10 min) | | | | | | | | |
| TC | 1 | 2 | 2 | 3 | 2/15 | 0,25 | 1 | Aterro de areia fina c/ pca. areia média, mto. pco. siltosa, pardo. (AMOSTRA 1). | |
| | 2 | 2 | 3 | 5 | | 1,00 | | | |
| CA | 3 | 3 | 4 | 7 | 7 | 1,85 | 2 | Aterro de areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltosa, pardo. (AMOSTRA 2). | |
| | 2 | 2 | 3 | 5 | | 2,40 | | | |
| CL | 2 | 3 | 3 | 6 | 6 | 2,40 | 3 | Aterro de areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltosa, c/ matéria orgânica, cinza escuro. (AMOSTRA 3). | |
| | 1 | 1 | 2 | 3 | | 4,00 | | | |
| | 5 | 5 | 6 | 11 | 11 | 4,50 | 4 | Areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltosa, c/ matéria orgânica, pco. compacta, cinza escuro. (AMOSTRA 4). | |
| | 4 | 5 | 7 | 12 | | 6,60 | | | |
| | 4 | 3 | 7 | 10 | 10 | 6,60 | 5 | Areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, pco. siltosa, mto. pco. argilosa, c/ matéria orgânica, pco. compacta, cinza escuro. (AMOSTRAS 5 e 6). | |
| | 4 | 6 | 7 | 13 | | 8,00 | | | |
| | 5 | 6 | 9 | 15 | 15 | 8,00 | 6 | Areia média c/ pca. areia fina, mto. pco. siltosa, c/ matéria orgânica, fofa, cinza escuro. (AMOSTRA 7). | |
| | 7 | 9 | 10 | 19 | | 11,50 | | | |
| | 6 | 9 | 12 | 21 | 21 | 11,50 | 7 | Areia média c/ pca. areia grossa e fina, mto. pco. siltosa, medte. compacta, cinza claro. (AMOSTRAS 8 a 10). | |
| | 4 | 5 | 13 | 18 | | 15,00 | | | |
| | 3 | 6 | 10 | 16 | 16 | 15,00 | 8 | Areia média c/ pca. areia fina, pco. siltosa, mto. pco. argilosa, medte. compacta, creme claro c/ veios cinza claro. (AMOSTRAS 11 e 12). | |
| | 3 | 5 | 5 | 10 | | 16,00 | | | |
| | 4 | 5 | 6 | 11 | 11 | 16,00 | 9 | Areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltosa, mto. pco. argilosa, de compacta a medte. compacta, cinza claro c/ veios creme. (AMOSTRAS 13 a 16). | |
| | 5 | 6 | 10 | 16 | | 15,00 | | | |
| | 6 | 7 | 10 | 17 | 17 | 15,00 | 10 | Areia fina c/ mto. pca. areia média, pco. siltosa, pco. argilosa, medte. compacta, creme. (AMOSTRAS 17 a 20). | |
| | 10 | 10 | 15/3 | 25/18 | | 16,00 | | | |
| | 15/5 | 15/4 | 15/3 | 45/12 | 45/12 | | 11 | Areia fina c/ pca. areia média, pco. siltosa, pco. argilosa, medte. compacta, róseo c/ veios creme. (AMOSTRA 21). | |
| | 15/6 | 15/3 | 15/2 | 45/11 | | | | | |
| | 15/4 | 15/3 | 15/2 | 45/9 | 45/9 | | 12 | | |
| | | | | | | | | | |

| OBS. NÍVEIS D'ÁGUA | | TC | TRADO CONCHA | DADOS TÉCNICOS | |
|--------------------|--------|----|------------------|---------------------------|-----------|
| INICIAL | 2,40 m | TH | TRADO HELICOIDAL | Ø EXTERNO | 50,8 mm |
| 16/03/23 | 10:55 | CL | CIRCULAÇÃO LAMA | Ø INTERNO | 34,9 mm |
| FINAL | 2,25 m | CA | CIRCULAÇÃO ÁGUA | COMPRIMENTO | 781,17 mm |
| 22/08/23 | 11:40 | LT | LAVAGEM P/ TEMPO | PESO | 65 kg |
| APÓS 24h | 2,48 m | NE | NÃO ENCONTRADO | ALTURA QUEDA | 75 cm |
| 23/03/23 | 11:00 | AL | ALAGADO | Ø NOMINAL DO REVESTIMENTO | 63,5 mm |

OBS:

FURO Nº SP-09

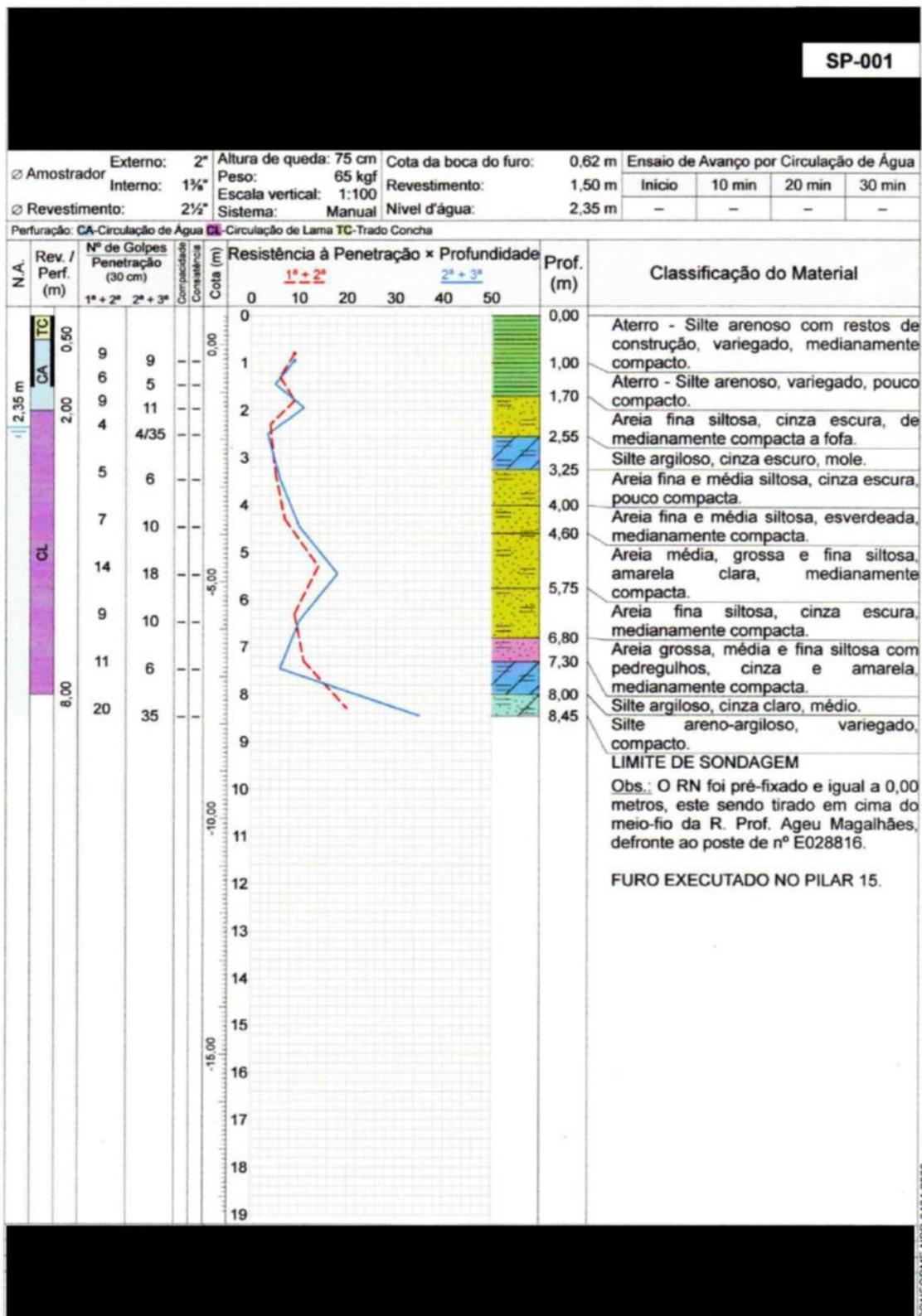
COTA -0,76

| POSICÃO DO REVESTIMENTO MÉTODO DE PERFURAÇÃO | PENETRAÇÃO (GOLPES / 15 cm) | | | S.P.T. | PENETRAÇÃO X PROFUNDIDADE (GOLPES / 30 cm) (S.P.T.) | | PROFUNDIDADE (m) | NÍVEL D'ÁGUA | AMOSTRAS E CONVENÇÕES | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL |
|-------------------------------------------------|-------------------------------|------|-------|--------|-----------------------------------------------------|-------|------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | 1ª | 2ª | 3ª | | 10 | 20 | | | | |
| | LAVAGEM / TEMPO (em / 10 min) | | | | | | | | | |
| TC | 1 | 3 | 6 | 9 | | | 0,70 | | 1 | Aterro de areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltosa, c/ pco. resto de construção, c/ matéria orgânica, cinza escuro. (AMOSTRA 1). |
| | 3 | 3 | 2 | 5 | | | 1,50 | | 2 | |
| CL | 3 | 3 | 1 | 6 | 1/15 | | 1,80 | | 3 | Aterro de areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, c/ mto. pco. pedregulho (Ø < 10mm), mto. pco. siltosa, mto. pco. argilosa, creme. (AMOSTRA 2). |
| | 1 | 1 | 2/20 | 3/35 | | | 2,00 | NA | 4 | |
| 140 | 1 | 1 | 1 | 2 | | | 2,60 | | 5 | Aterro de areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltosa, c/ mto. pco. resto de vegetais em decomposição (raízes, madeira), c/ matéria orgânica, cinza escuro. (AMOSTRA 3). |
| | 1 | 1 | 1 | 2 | 1/40 | | 3,10 | | 6 | |
| | 1 | 2 | | 3 | | | 3,50 | | 7 | |
| | 3 | 5 | 5 | 10 | | | 4,00 | | 8 | Areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltosa, c/ matéria orgânica, fofa, cinza escuro. (AMOSTRA 4). |
| | 4 | 5 | 5 | 10 | | | 6,40 | | 9 | |
| | 3 | 4 | 5 | 9 | | | 6,70 | | 10 | Areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltosa, c/ pco. resto de vegetais em decomposição (raízes, madeira), c/ matéria orgânica, fofa, cinza escuro. (AMOSTRA 5). |
| | 4 | 4 | 3 | 8 | 3/15 | | 6,70 | | 11 | |
| | 3 | 4 | 5 | 9 | | | 7,90 | | 12 | Areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltosa, c/ pco. matéria orgânica, fofa, cinza a cinza escuro. (AMOSTRA 6). |
| | 6 | 9 | 12 | 21 | | | 7,90 | | 13 | |
| | 10 | 10 | 8 | 20 | 8/15 | | 8,95 | | 14 | Areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, pco. siltosa, pco. argilosa, fofa, cinza. (AMOSTRA 7). |
| | 3 | 5 | 7 | 12 | | | 9,25 | | 15 | |
| | 4 | 5 | 7 | 12 | | | 9,75 | | 16 | Areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, c/ pco. pedregulho (Ø < 10mm), mto. pco. siltosa, fofa, cinza claro. (AMOSTRA 8). |
| | 4 | 5 | 7 | 12 | | | 9,75 | | 17 | |
| | 3 | 4 | 6 | 10 | | | 12,90 | | 18 | Areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltosa, medte. compacta, cinza claro. (AMOSTRAS 9 a 11). |
| | 3 | 4 | 6 | 10 | | | 12,90 | | 19 | |
| | 3 | 6 | 7 | 13 | | | 12,90 | | 20 | Areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, c/ pedregulho (Ø < 30mm), mto. pco. siltosa, mto. pco. argilosa, pco. compacta, cinza claro. (AMOSTRA 12). |
| | 4 | 6 | 8 | 14 | | | 12,90 | | 21 | |
| | 3 | 5 | 7 | 12 | | | 12,90 | | 22 | Areia fina c/ pca. areia média c/ mto. pca. areia grossa, pco. siltosa, pco. argilosa, de pco. compacta a medte. compacta, creme c/ veios cinza claro. (AMOSTRAS 13 e 14). |
| | 4 | 6 | 8 | 14 | | | 12,90 | | 23 | |
| | 3 | 5 | 7 | 12 | | | 15,60 | | 24 | Areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltosa, compacta, creme c/ veios cinza claro. (AMOSTRA 15). |
| 15/8 | 15/6 | 15/4 | 45/18 | | | 15,60 | | 25 | Areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, pco. siltosa, mto. pco. argilosa, compacta, cinza claro. (AMOSTRA 16). | |
| 17 | 15/9 | 15/7 | 30/16 | | | 16,75 | | 26 | Areia fina c/ pca. areia média, mto. pco. siltosa, medte. compacta, cinza claro. (AMOSTRA 17). | |
| | 15/9 | 15/6 | 15/4 | 45/19 | | | 16,75 | | 27 | Areia fina c/ pca. areia média, pco. siltosa, mto. pco. argilosa, medte. compacta, cinza claro c/ veios creme. (AMOSTRAS 18 a 20). |
| 15/8 | 15/6 | 15/3 | 45/17 | | | 16,75 | | 28 | Areia fina, pco. siltosa, pco. argilosa, medte. compacta, variegada (creme). (AMOSTRAS 21 a 23). | |
| | 15/8 | 15/6 | 15/3 | 45/17 | | | 16,75 | | 29 | Areia média c/ pca. areia fina, mto. pco. siltosa, mto. compacta, creme c/ veios cinza claro. (AMOSTRA 24). |

| OBS. NÍVEIS D'ÁGUA | | TC | TRADO CONCHA | DADOS TÉCNICOS | |
|--------------------|--------|----|------------------|---------------------------|-----------|
| INICIAL | 2,48 m | TH | TRADO HELICOIDAL | Ø EXTERNO | 50,8 mm |
| 01/03/23 14:00 | | CL | CIRCULAÇÃO LAMA | Ø INTERNO | 34,9 mm |
| FINAL | 2,30 m | CA | CIRCULAÇÃO ÁGUA | COMPRIMENTO | 781,17 mm |
| 03/03/23 11:00 | | LT | LAVAGEM P/ TEMPO | PESO | 65 kg |
| APÓS 24h | - m | NE | NÃO ENCONTRADO | ALTURA QUEDA | 75 cm |
| - - | | AL | ALAGADO | Ø NOMINAL DO REVESTIMENTO | 63,5 mm |

OBS:

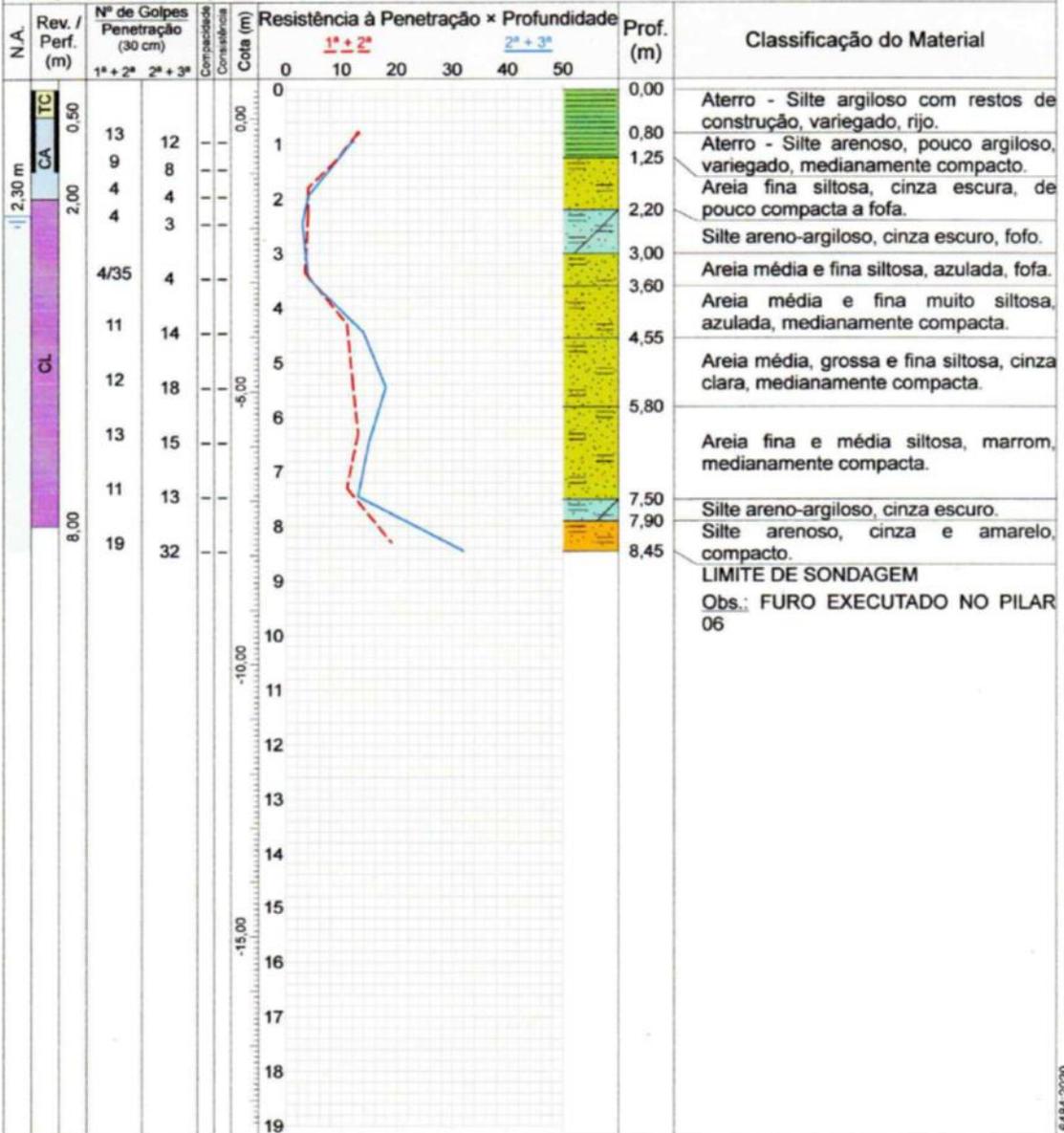
ANEXO B – SONDAgens REALIZADAS APÓS MELHORAMENTO NA OBRA 1



SP-002

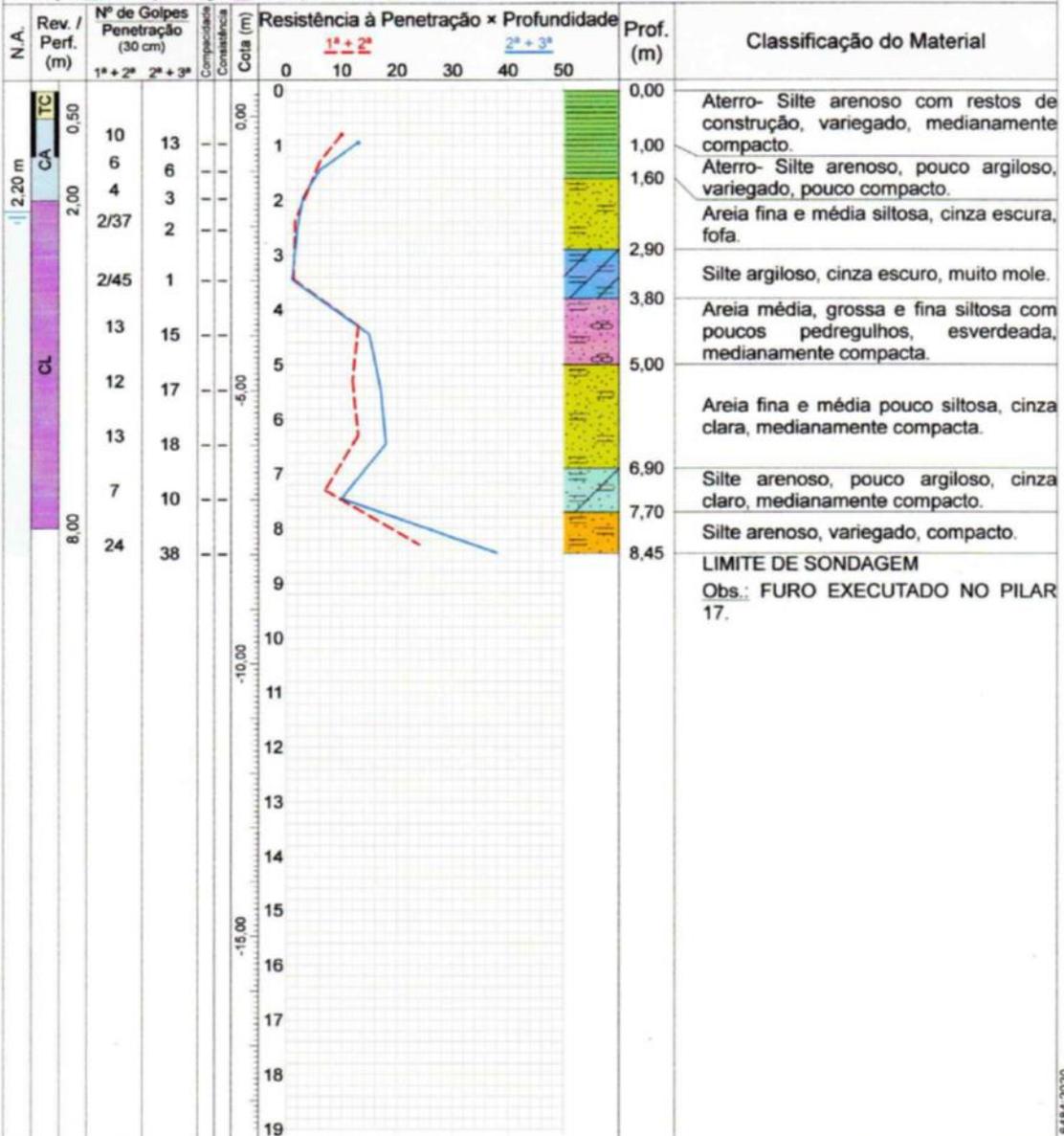
| | | | | | | | |
|-----------------|-----------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|--------|--------|--------|
| ⊗ Amostrador | Externo: 2" | Altura de queda: 75 cm | Cota da boca do furo: 0,53 m | Ensaio de Avanço por Circulação de Água | | | |
| | Interno: 1 1/4" | Peso: 65 kgf | Revestimento: 1,50 m | Início | 10 min | 20 min | 30 min |
| ⊗ Revestimento: | 2 1/2" | Escala vertical: 1:100 | Nível d'água: 2,30 m | - | - | - | - |

Perfuração: CA-Circulação de Água CL-Circulação de Lama TC-Trado Concha



| | | | | | | | |
|-----------------|-----------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|--------|--------|--------|
| ⊗ Amostrador | Externo: 2" | Altura de queda: 75 cm | Cota da boca do furo: 0,47 m | Ensaio de Avanço por Circulação de Água | | | |
| | Interno: 1 1/4" | Peso: 65 kgf | Revestimento: 1,20 m | Início | 10 min | 20 min | 30 min |
| ⊗ Revestimento: | 2 1/2" | Escala vertical: 1:100 | Nível d'água: 2,20 m | - | - | - | - |

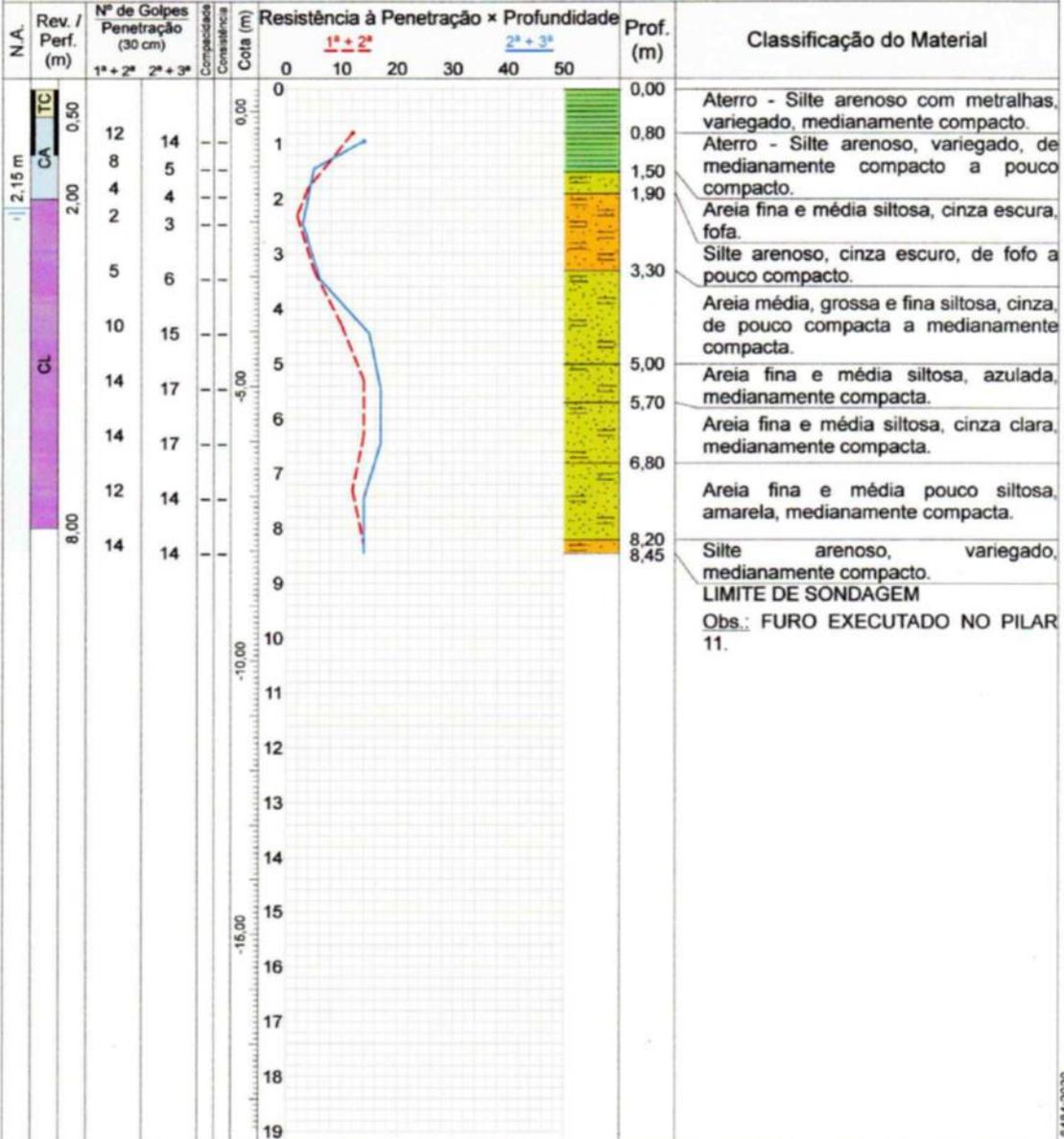
Perfuração: CA-Circulação de Água CL-Circulação de Lama TC-Trado Concha



SP-004

| | | | | | | | |
|---------------|-----------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|--------|--------|--------|
| Amostrador | Externo: 2" | Altura de queda: 75 cm | Cota da boca do furo: 0,41 m | Ensaio de Avanço por Circulação de Água | | | |
| | Interno: 1 1/4" | Peso: 65 kgf | Revestimento: 1,20 m | Início | 10 min | 20 min | 30 min |
| Revestimento: | 2 1/2" | Escala vertical: 1:100 | Nível d'água: 2,15 m | - | - | - | - |
| | | Sistema: Manual | | | | | |

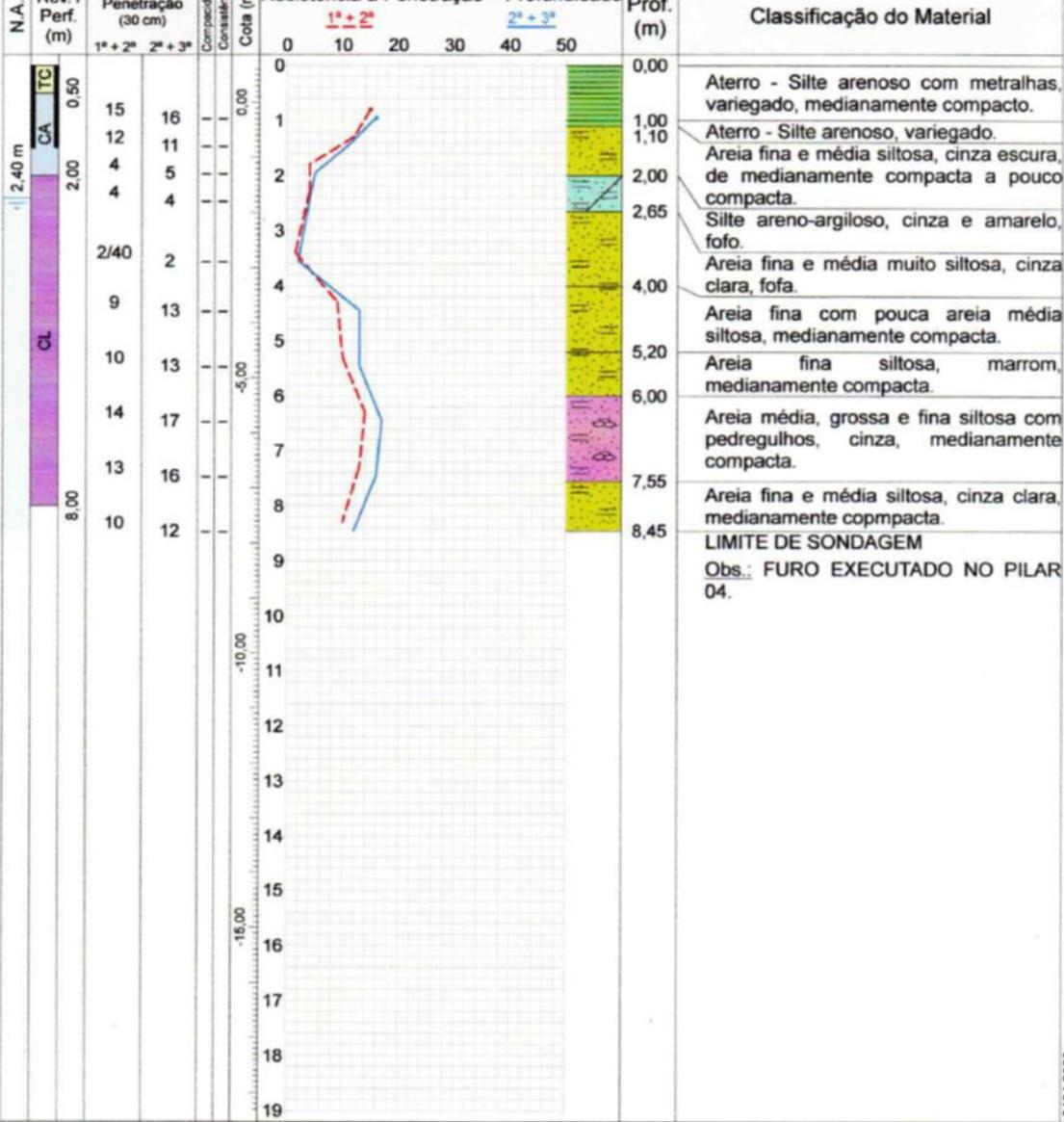
Perfuração: CA-Circulação de Água CL-Circulação de Lama TC-Trado Concha



SP-005

| | | | | | | | |
|-----------------|--------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|--------|--------|--------|
| ⊗ Amostrador | Externo: 2" | Altura de queda: 75 cm | Cota da boca do furo: 0,67 m | Ensaio de Avanço por Circulação de Água | | | |
| | Interno: 1½" | Peso: 65 kgf | Revestimento: 1,50 m | Início | 10 min | 20 min | 30 min |
| ⊗ Revestimento: | 2½" | Escala vertical: 1:100 | Nível d'água: 2,40 m | - | - | - | - |
| | | Sistema: Manual | | | | | |

Perfuração: CA-Circulação de Água CL-Circulação de Lama TC-Trado Concha

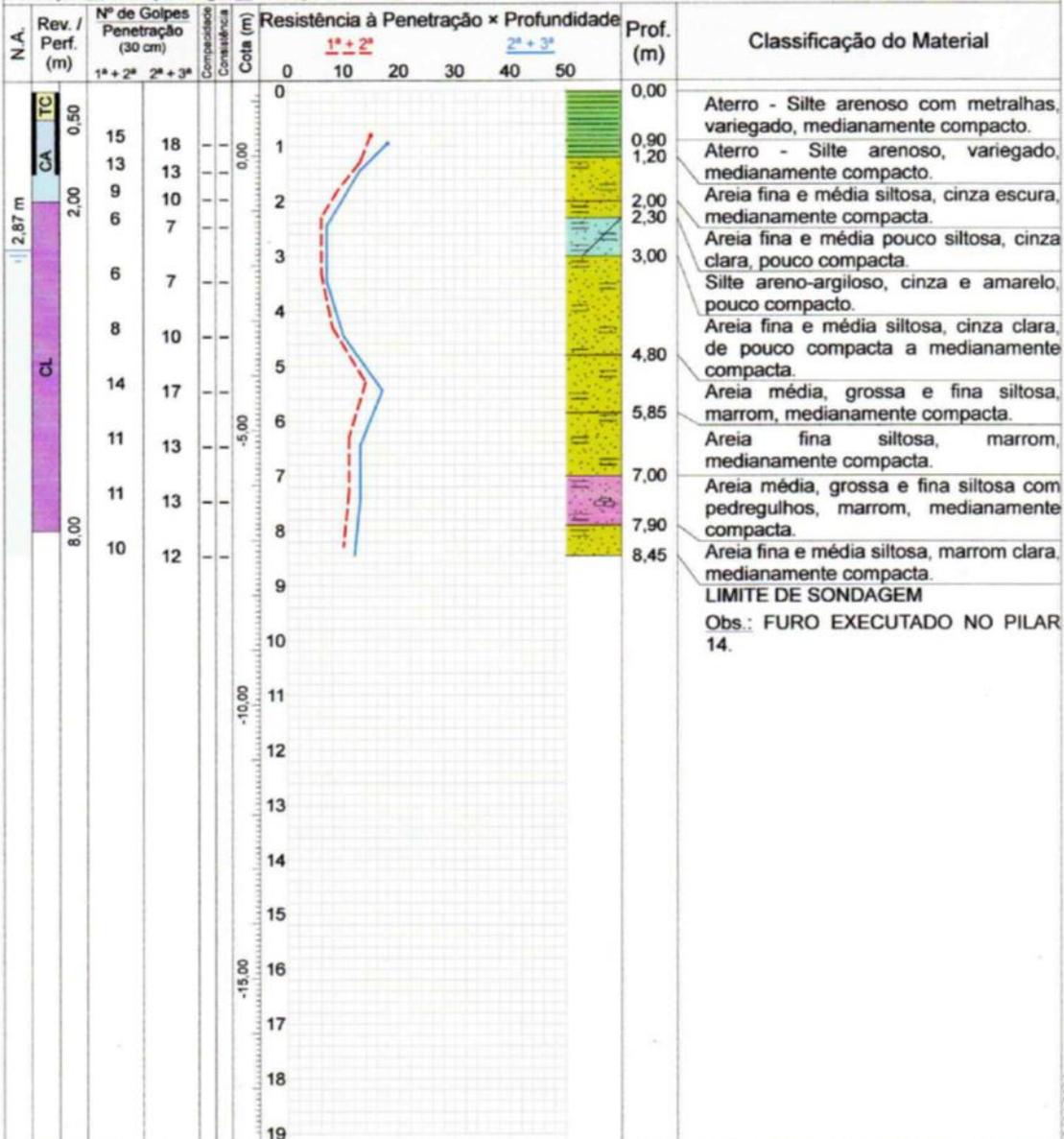


CONFORME NBR 6484 2020

SP-006

| | | | | | | | |
|---------------|-----------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|--------|--------|--------|
| Amostrador | Externo: 2" | Altura de queda: 75 cm | Cota da boca do furo: 1,17 m | Ensaio de Avanço por Circulação de Água | | | |
| | Interno: 1 1/4" | Peso: 65 kgf | Revestimento: 1,50 m | Início | 10 min | 20 min | 30 min |
| Revestimento: | 2 1/2" | Escala vertical: 1:100 | Nível d'água: 2,87 m | - | - | - | - |
| | | Sistema: Manual | | | | | |

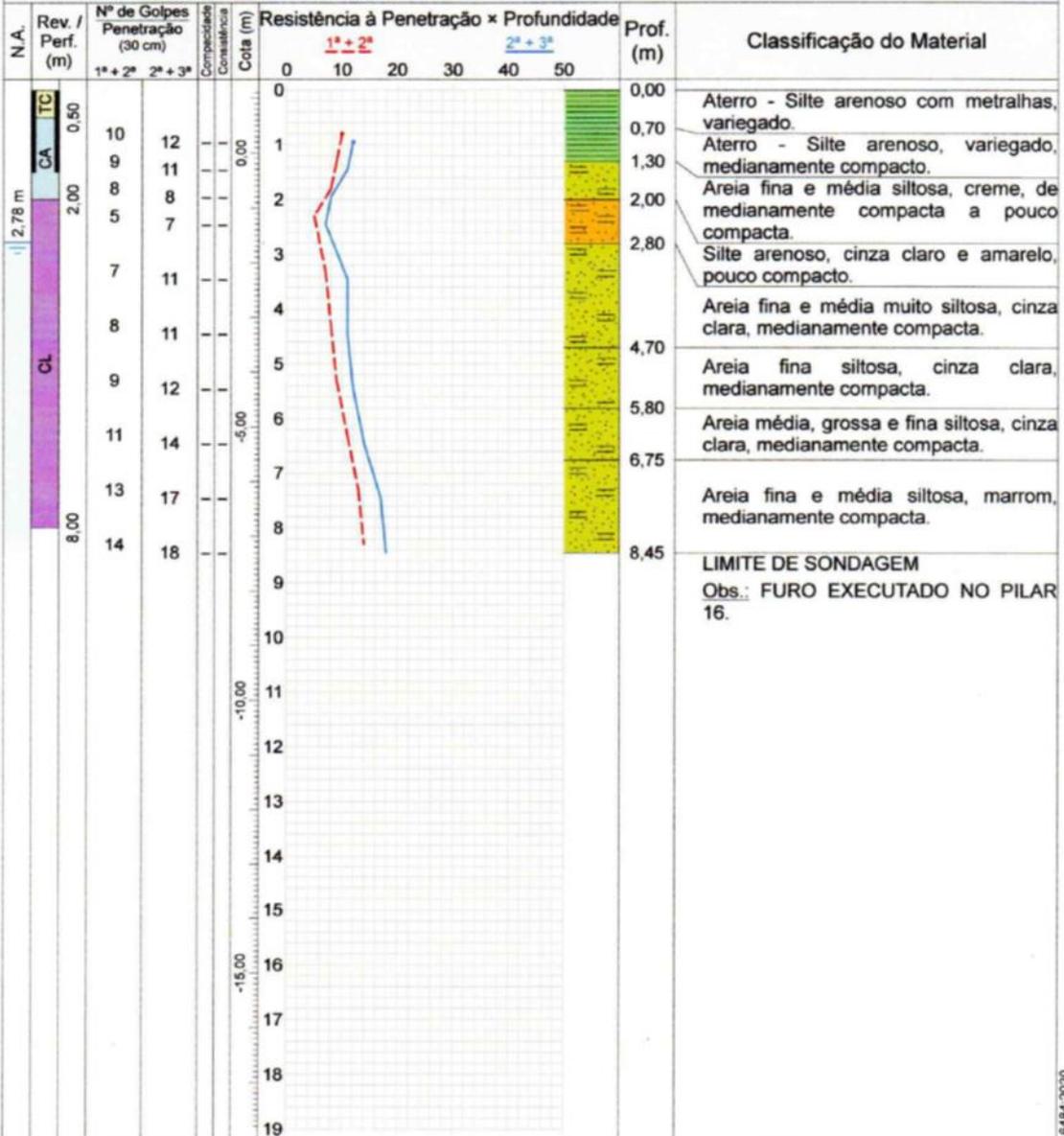
Perfuração: CA-Circulação de Água TC-Circulação de Lama TC-Trado Concha



SP-008

| | | | | | | | |
|---------------|-----------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|--------|--------|--------|
| Amostrador | Externo: 2" | Altura de queda: 75 cm | Cota da boca do furo: 1,15 m | Ensaio de Avanço por Circulação de Água | | | |
| | Interno: 1 1/2" | Peso: 65 kgf | Revestimento: 1,50 m | Início | 10 min | 20 min | 30 min |
| Revestimento: | 2 1/2" | Escala vertical: 1:100 | Nível d'água: 2,78 m | - | - | - | - |

Perfuração: CA-Circulação de Água CL-Circulação de Lama TC-Trado Concha



ANEXO C – SONDAgens REALIZADAS INICIALMENTE NA OBRA 2

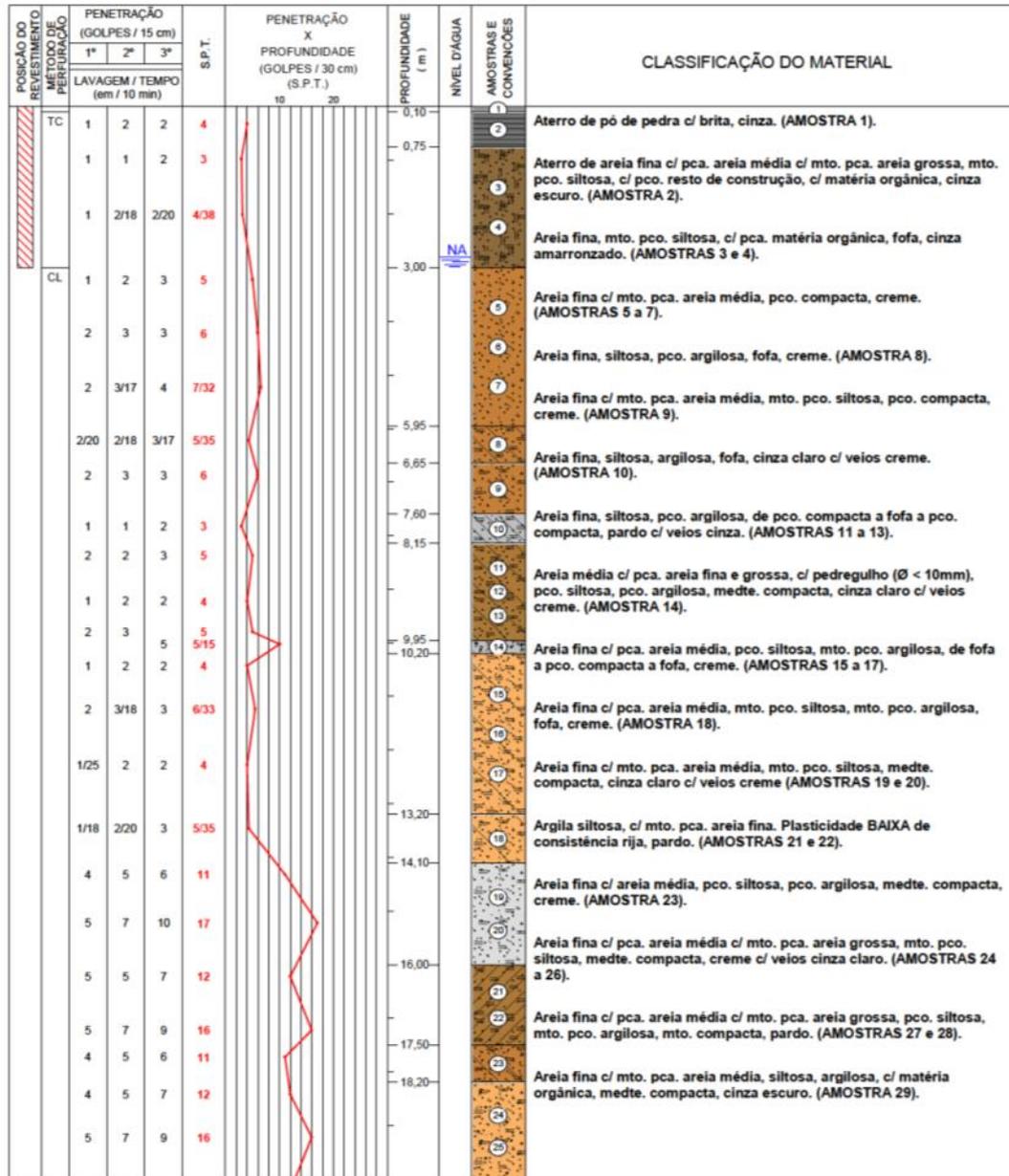
| FURO Nº SP-01 | | COTA +0,20 | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|----------------------|-------------------------------|----|----|--------|-----------------------------------------------------|----|------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--|--|
| POSICÃO DO REVESTIMENTO | MÉTODO DE PERFURAÇÃO | PENETRAÇÃO (GOLPES / 15 cm) | | | S.P.T. | PENETRAÇÃO X PROFUNDIDADE (GOLPES / 30 cm) (S.P.T.) | | PROFUNDIDADE (m) | NÍVEL D'ÁGUA | AMOSTRAS E CONVENÇÕES | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL | | |
| | | 1ª | 2ª | 3ª | | 10 | 20 | | | | | | |
| | | LAVAGEM / TEMPO (em / 10 min) | | | | | | | | | | | |
| TC | | 3 | 4 | 5 | 9 | | | 0,14 | 1 | Aterro de pó de pedra c/ brita, cinza. (AMOSTRA 1). | | | |
| | 1/19 | 1 | 1 | 1 | 2 | | | 0,63 | 2 | | | | |
| CL | | 1 | 1 | 1 | 2 | | | | 3 | Aterro de areia fina c/ pca. areia média, mto. pco. siltosa, c/ pco. resto de construção, c/ matéria orgânica, cinza escuro. (AMOSTRA 2). | | | |
| | 1/18 | 1 | 2 | | 3 | | | 3,00 | 4 | | | | |
| | | | | | | | | | 5 | | | | |
| | 2/20 | 2 | 4 | | 6 | | | | 6 | Areia fina, mto. pco. siltosa, c/ pca. matéria orgânica, fofa, cinza amarronzado. (AMOSTRAS 3 a 5). | | | |
| | | 2 | 3 | 3 | 6 | | | | 7 | Areia fina c/ mto. pca. areia média, mto. pco. siltosa, pco. compacta, creme c/ veios cinza claro. (AMOSTRAS 6 a 9). | | | |
| | | 2 | 3 | 4 | 7 | | | | 8 | | | | |
| | | 2 | 2 | 3 | 5 | | | | 9 | Areia fina, pco. siltosa, mto. pco. argilosa, fofa, creme. (AMOSTRA 10). | | | |
| | | 1 | 1 | 2 | 3 | | | 6,85 | 10 | | | | |
| | 2/19 | 2 | 2 | | 4 | | | 7,60 | 11 | Areia fina, pco. siltosa, pco. argilosa, c/ pca. matéria orgânica, de fofa a pco. compacta, variegada (cinza amarronzado). (AMOSTRAS 11 a 14). | | | |
| | | 2 | 2 | 3 | 5 | | | | 12 | | | | |
| | | | | | | | | | 13 | | | | |
| | 1/22 | 2 | 3 | | 5 | | | | 14 | Areia fina c/ pca. areia média c/ mto. pca. areia grossa, siltosa, pco. argilosa, de pco. compacta a fofa, creme c/ veios cinza claro. (Amostra 15 c/ mto. pco. pedregulho (Ø < 15mm).) (AMOSTRAS 15 a 17). | | | |
| | | 2/21 | 2 | 3 | 5 | | | | 15 | | | | |
| | | 2 | 3 | 4 | 7 | | | 10,65 | 16 | Areia fina c/ pca. areia média c/ mto. pca. areia grossa, pco. siltosa, pco. argilosa, de pco. compacta a fofa a pco. compacta, creme c/ veios cinza claro. (AMOSTRAS 18 a 20). | | | |
| | | 1 | 2 | 2 | 4 | | | | 17 | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 5 | | | 12,00 | 18 | | | | |
| | | 1 | 1 | 2 | 3 | | | | 19 | Areia fina c/ pca. areia média, mto. pco. siltosa, mto. pco. argilosa, de pco. compacta a medte. compacta, cinza claro c/ veios creme. (AMOSTRAS 21 a 23). | | | |
| | | 2 | 3 | 3 | 6 | | | | 20 | | | | |
| | | 2 | 3 | 5 | 8 | | | 15,00 | 21 | Areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltosa, pco. compacta, creme. (AMOSTRAS 24 a 27). | | | |
| | | 2 | 3 | 6 | 10 | | | | 22 | | | | |
| | | 2 | 4 | 6 | 10 | | | | 23 | | | | |
| | | 3 | 4 | 4 | 8 | | | 17,00 | 24 | Areia fina c/ mto. pca. areia média, c/ mto. pco. pedregulho (Ø < 10mm), pco. siltosa, mto. pco. argilosa, c/ mto. pca. matéria orgânica, de compacta a medte. compacta, cinza. (AMOSTRAS 28 e 29). | | | |
| | | 2 | 3 | 4 | 7 | | | | 25 | | | | |
| | | 2 | 3 | 4 | 7 | | | | 26 | Areia fina c/ pca. areia média, mto. pco. siltosa, mto. pco. argilosa, compacta, pardo. (AMOSTRA 30). | | | |
| | | | | | | | | | 27 | | | | |

| OBS. NÍVEIS D'ÁGUA | | TC | TRADO CONCHA | DADOS TÉCNICOS | |
|--------------------|--------|----|------------------|---------------------------|-----------|
| INICIAL | 2,90 m | TH | TRADO HELICOIDAL | Ø EXTERNO | 50,8 mm |
| 23/05/23 09:31 | | CL | CIRCULAÇÃO LAMA | Ø INTERNO | 34,9 mm |
| FINAL | 2,80 m | CA | CIRCULAÇÃO ÁGUA | COMPRIMENTO | 781,17 mm |
| 25/05/23 13:04 | | LT | LAVAGEM P/ TEMPO | PESO | 65 kg |
| APÓS 24h | - m | NE | NÃO ENCONTRADO | ALTURA QUEDA | 75 cm |
| - - | | AL | ALAGADO | Ø NOMINAL DO REVESTIMENTO | 63,5 mm |

OBS: A presença de resto de construção altera o resultado do S.P.T.

FURO Nº SP-02

COTA +0,18

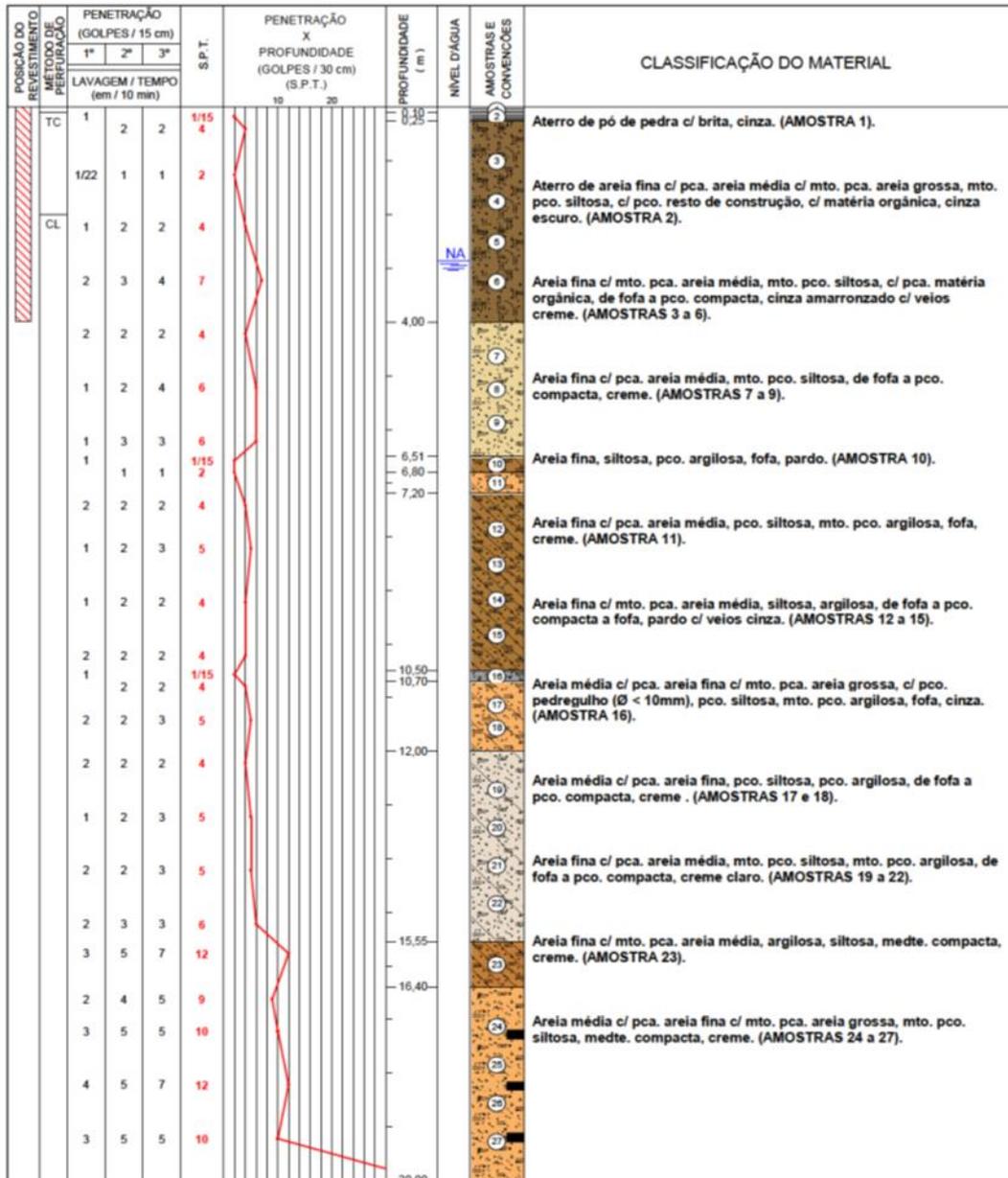


| OBS. NÍVEIS D'ÁGUA | | TC | TRADO CONCHA | DADOS TÉCNICOS | |
|--------------------|--------|----|------------------|---------------------------|-----------|
| INICIAL | 2,82 m | TH | TRADO HELICOIDAL | Ø EXTERNO | 50,8 mm |
| 22/05/23 | 13:00 | CL | CIRCULAÇÃO LAMA | Ø INTERNO | 34,9 mm |
| FINAL | 2,40 m | CA | CIRCULAÇÃO ÁGUA | COMPRIMENTO | 781,17 mm |
| 25/05/23 | 14:00 | LT | LAVAGEM P/ TEMPO | PESO | 65 kg |
| APÓS 24h | - m | NE | NÃO ENCONTRADO | ALTURA QUEDA | 75 cm |
| - - | - | AL | ALAGADO | Ø NOMINAL DO REVESTIMENTO | 63,5 mm |

OBS: A presença de resto de construção altera o resultado do S.P.T.

FURO Nº SP-03

COTA +0,22



| OBS. NÍVEIS D'ÁGUA | | TC | TRADO CONCHA |
|--------------------|--------|----|------------------|
| INICIAL | 2,87 m | TH | TRADO HELICOIDAL |
| 18/05/23 | 14:56 | CL | CIRCULAÇÃO LAMA |
| FINAL | 2,59 m | CA | CIRCULAÇÃO ÁGUA |
| 22/05/23 | 17:00 | LT | LAVAGEM P/ TEMPO |
| APÓS 24h | 2,81 m | NE | NÃO ENCONTRADO |
| 23/05/23 | 16:30 | AL | ALAGADO |

DADOS TÉCNICOS

| | |
|---------------------------|-----------|
| Ø EXTERNO | 50,8 mm |
| Ø INTERNO | 34,9 mm |
| COMPRIMENTO | 781,17 mm |
| PESO | 65 kg |
| ALTURA QUEDA | 75 cm |
| Ø NOMINAL DO REVESTIMENTO | 63,5 mm |

OBS: A presença de resto de construção altera o resultado do S.P.T.

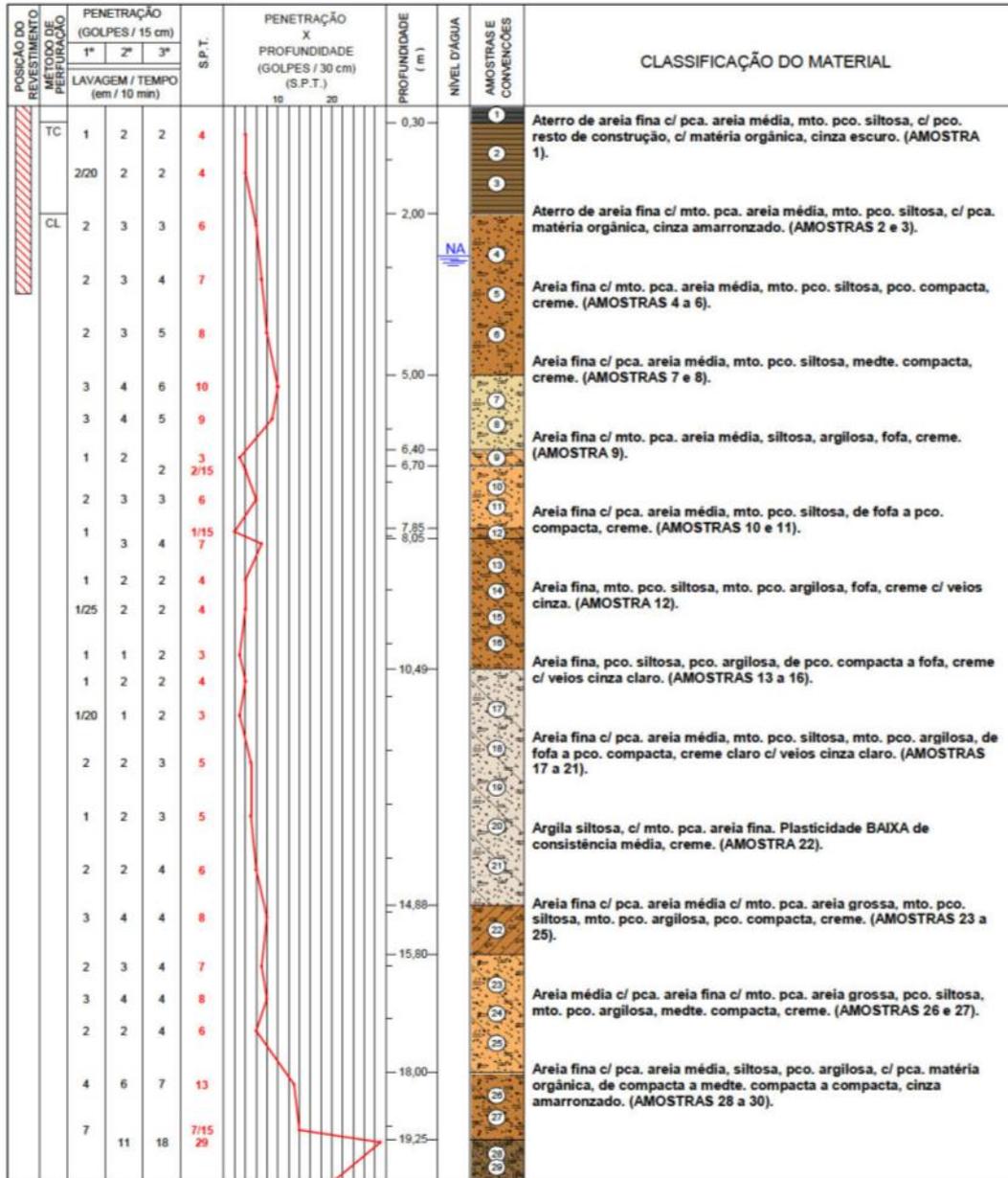
FURO Nº SP-04 COTA +0,22

| POSICÃO DO REVESTIMENTO | MÉTODO DE PERFURAÇÃO | PENETRAÇÃO (GOLPES / 15 cm) | | | S.P.T. | PENETRAÇÃO X PROFUNDIDADE (GOLPES / 30 cm) (S.P.T.) | | PROFUNDIDADE (m) | NÍVEL D'ÁGUA | AMOSTRAS E CONVENÇÕES | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL |
|-------------------------|----------------------|-------------------------------|------|------|--------|-----------------------------------------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| | | 1ª | 2ª | 3ª | | 10 | 20 | | | | |
| | | LAVAGEM / TEMPO (em / 10 min) | | | | | | | | | |
| TC | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | | | 1,00 | 1 | Aterro de areia fina c/ pca. areia média c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltosa, c/ pco. resto de construção, c/ matéria orgânica, cinza escuro. (AMOSTRAS 1 e 2). | |
| | | 1 | 1 | 1 | 2 | | | | 2 | | |
| CL | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | | | 2,20 | 3 | Areia fina c/ mto. pca. areia média, mto. pco. siltosa, c/ pca. matéria orgânica, fofa, cinza amarronzado. (AMOSTRAS 3 e 4). | |
| | | 1 | 2 | 2 | 4 | | | | 4 | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 5 | | | | 5 | Areia fina c/ mto. pca. areia média, mto. pco. siltosa, de fofa a pco. compacta, creme. (AMOSTRAS 5 a 7). | |
| | | 2 | 3 | 3 | 6 | | | | 6 | | |
| | | 3 | 4 | 5 | 9 | | | | 7 | Areia fina c/ pca. areia média c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltosa, medte. compacta, creme. (AMOSTRA 8). | |
| | | 2 | 2 | 2 | 4 | | | | 8 | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 5 | | | | 9 | Areia fina c/ mto. pca. areia média, pco. siltosa, pco. argilosa, de fofa a pco. compacta, cinza c/ veios creme. (AMOSTRAS 9 e 10). | |
| | | 2 | 2 | 3 | 4 | | | | 10 | | |
| | | 2 | 2 | 3 | 4 | 3/15 | | | 11 | Areia fina c/ mto. pca. areia média, mto. pco. siltosa, fofa, creme. (AMOSTRA 11). | |
| | | 2/20 | 2/18 | 3 | 5/33 | | | | 12 | Argila siltosa, c/ mto. pca. areia fina. Plasticidade MÉDIA a ALTA a MÉDIA de consistência média a mole, pardo. (AMOSTRAS 12 a 14). | |
| 1 | 2 | 3 | 5 | | | | 13 | | | | |
| 2/18 | 3 | 3 | 6 | | | | 14 | Areia fina c/ pca. areia média, siltosa, pco. argilosa, pco. compacta, pardo c/ veios cinza. (AMOSTRAS 15 e 16). | | | |
| 3 | 3 | 4 | 7 | | | | 15 | | | | |
| 2 | 3 | 3 | 6 | | | | 16 | Areia fina c/ pca. areia média, pco. siltosa, mto. pco. argilosa, de pco. compacta a medte. compacta, cinza claro c/ veios creme (AMOSTRAS 17 a 20). | | | |
| 2/20 | 2 | 3 | 5 | | | | 17 | | | | |
| 2 | 3 | 4 | 7 | | | | 18 | Argila siltosa, c/ pca. areia fina. Plasticidade BAIXA de consistência rija a média, creme. (AMOSTRAS 21 e 22). | | | |
| 4 | 6 | 9 | 15 | | | | 19 | | | | |
| 4 | 5 | 6 | 11 | | | | 20 | Areia média c/ pca. areia fina c/ mto. pca. areia grossa, pco. siltosa, pco. argilosa, medte. compacta, pardo. (AMOSTRA 23). | | | |
| 4 | 6 | 7 | 10 | 7/15 | | | 21 | | | | |
| 4 | 5 | 6 | 11 | | | | 22 | Areia fina c/ areia média, mto. pco. siltosa, mto. pco. argilosa, medte. compacta, creme. (AMOSTRAS 24 a 26). | | | |
| 4 | 6 | 7 | 10 | 7/15 | | | 23 | | | | |
| 4 | 5 | 6 | 11 | | | | 24 | Areia fina c/ pca. areia média c/ mto. pca. areia grossa, pco. siltosa, pco. argilosa, c/ pca. matéria orgânica, de medte. compacta a compacta, cinza a cinza escuro. (AMOSTRAS 27 e 28). | | | |
| 5 | 7 | 9 | 16 | | | | 25 | | | | |
| 5 | 6 | 8 | 11 | 8/15 | | | 26 | Areia fina c/ pca. areia média, pco. siltosa, pco. argilosa, c/ mto. pco. fragmentos de rocha (Ø < 4mm), de medte. compacta a compacta, creme. (AMOSTRAS 29 e 30). | | | |
| | | | | | | | 27 | | | | |
| | | | | | | | 28 | | | | |
| | | | | | | | 29 | | | | |
| | | | | | | | 30 | | | | |

| OBS. NÍVEIS D'ÁGUA | | TC | TRADO CONCHA | DADOS TÉCNICOS | |
|--------------------|--------|----|------------------|---------------------------|-----------|
| INICIAL | 2,78 m | TH | TRADO HELICOIDAL | Ø EXTERNO | 50,8 mm |
| 18/05/23 08:30 | | CL | CIRCULAÇÃO LAMA | Ø INTERNO | 34,9 mm |
| FINAL | 2,50 m | CA | CIRCULAÇÃO ÁGUA | COMPRIMENTO | 781,17 mm |
| 22/05/23 11:00 | | LT | LAVAGEM P/ TEMPO | PESO | 65 kg |
| APÓS 24h | 2,82 m | NE | NÃO ENCONTRADO | ALTURA QUEDA | 75 cm |
| 23/05/23 11:00 | | AL | ALAGADO | Ø NOMINAL DO REVESTIMENTO | 63,5 mm |

OBS: A presença de resto de construção altera o resultado do S.P.T.

FURO Nº SP-05 COTA +0,13



| OBS. NÍVEIS D'ÁGUA | | TC | TRADO CONCHA | DADOS TÉCNICOS | |
|--------------------|--------|----|------------------|---------------------------|-----------|
| INICIAL | 2,80 m | TH | TRADO HELICOIDAL | Ø EXTERNO | 50,8 mm |
| 16/05/23 14:00 | | CL | CIRCULAÇÃO LAMA | Ø INTERNO | 34,9 mm |
| FINAL | 2,68 m | CA | CIRCULAÇÃO ÁGUA | COMPRIMENTO | 781,17 mm |
| 18/05/23 14:00 | | LT | LAVAGEM P/ TEMPO | PESO | 65 kg |
| APÓS 24h | 2,86 m | NE | NÃO ENCONTRADO | ALTURA QUEDA | 75 cm |
| 19/05/23 14:00 | | AL | ALAGADO | Ø NOMINAL DO REVESTIMENTO | 63,5 mm |

OBS: A presença de resto de construção altera o resultado do S.P.T.

FURO Nº SP-06 COTA +0,14

| POSICÃO DO REVESTIMENTO | MÉTODO DE PERFURAÇÃO | PENETRAÇÃO (GOLPES / 15 cm) | | | S.P.T. | PENETRAÇÃO X PROFUNDIDADE (GOLPES / 30 cm) (S.P.T.) | | PROFUNDIDADE (m) | NÍVEL D'ÁGUA | AMOSTRAS E CONVENÇÕES | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL |
|-------------------------|----------------------|-------------------------------|----|------|--------|-----------------------------------------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| | | 1º | 2º | 3º | | 10 | 20 | | | | |
| | | LAVAGEM / TEMPO (em / 10 min) | | | | | | | | | |
| TC | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | | 0,30 | NA | 1 | Aterro de areia fina c/ pca. areia média, mto. pco. siltosa, c/ mto. pco. resto de vegetais em decomposição (raízes, madeira), c/ matéria orgânica, cinza escuro. (AMOSTRA 1). | |
| | | 1 | 2 | 2 | 4 | | 1,20 | | 2 | | |
| CL | 1 | 2 | 2 | 4 | | | | | 3 | Areia fina c/ pca. areia média, mto. pco. siltosa, c/ pca. matéria orgânica, fofa, cinza amarronzado. (AMOSTRA 2). | |
| | | 2 | 3 | 5 | | | | | 4 | | |
| | | 2 | 3 | 4 | 7 | | | 4,00 | 5 | Areia fina c/ pca. areia média, mto. pco. siltosa, de fofa a pco. compacta, pardo c/ veios creme. (AMOSTRAS 3 a 5). | |
| | | 3 | 4 | 4 | 8 | | | | 6 | Areia fina c/ pca. areia média c/ mto. pca. areia grossa, mto. pco. siltosa, pco. compacta, creme claro c/ veios creme. (AMOSTRAS 6 e 7). | |
| | | 1 | 1 | 2 | 3 | | | 6,00 | 7 | | |
| | | 2 | 2 | 2 | 4 | | | 6,55 | 8 | Areia fina c/ mto. pca. areia média, siltosa, argilosa, fofa, creme. (AMOSTRA 8). | |
| | | 1 | 2 | 3 | 5 | | | 7,90 | 9 | | |
| | | 2 | 3 | 3 | 6 | | | | 10 | Areia fina, mto. pco. siltosa, de fofa a pco. compacta, creme. (AMOSTRAS 9 e 10). | |
| | | 3 | 4 | 4 | 8 | | | 9,00 | 11 | | |
| | | 1 | 2 | 2 | 4 | | | | 12 | Areia fina, siltosa, pco. argilosa, pco. compacta, variegada (pardo). (AMOSTRAS 11 e 12). | |
| | | 2 | 2 | 3/18 | 5/33 | | | 11,00 | 13 | | |
| | | 2 | 3 | 3 | 6 | | | | 14 | Areia fina c/ mto. pca. areia média, siltosa, pco. argilosa, fofa, variegada (pardo). (AMOSTRAS 13 e 14). | |
| | | 2 | 4 | 4 | 8 | | | | 15 | Areia fina c/ pca. areia média, mto. pco. argilosa, mto. pco. siltosa, pco. compacta, creme c/ veios cinza claro (AMOSTRAS 15 a 17). | |
| | | 3 | 4 | 4 | 8 | | | 14,00 | 16 | | |
| | | 3 | 4 | 6 | 10 | | | | 17 | Areia fina c/ mto. pca. areia média, siltosa, pco. argilosa, medte. compacta, creme. (AMOSTRAS 18 a 20). | |
| 4 | 5 | 5 | 10 | | | | 18 | Areia fina c/ mto. pca. areia média, siltosa, argilosa, medte. compacta, creme. (AMOSTRA 21). | | | |
| 5 | 6 | 7 | 13 | | | 16,55 | 19 | | | | |
| 5 | 7 | 9 | 16 | | | | 20 | Areia fina c/ pca. areia média, mto. pco. siltosa, mto. pco. argilosa, medte. compacta, creme. (AMOSTRAS 22 a 24). | | | |
| 3 | 4 | 5 | 9 | | | 17,10 | 21 | | | | |
| 4 | 5 | 7 | 12 | | | | 22 | Areia fina c/ pca. areia média, siltosa, pco. argilosa, mto. compacta, pardo. (AMOSTRA 25). | | | |
| 5 | 7 | 8 | 15 | | | 20,00 | 23 | | | | |
| | | | | | | | 24 | | | | |

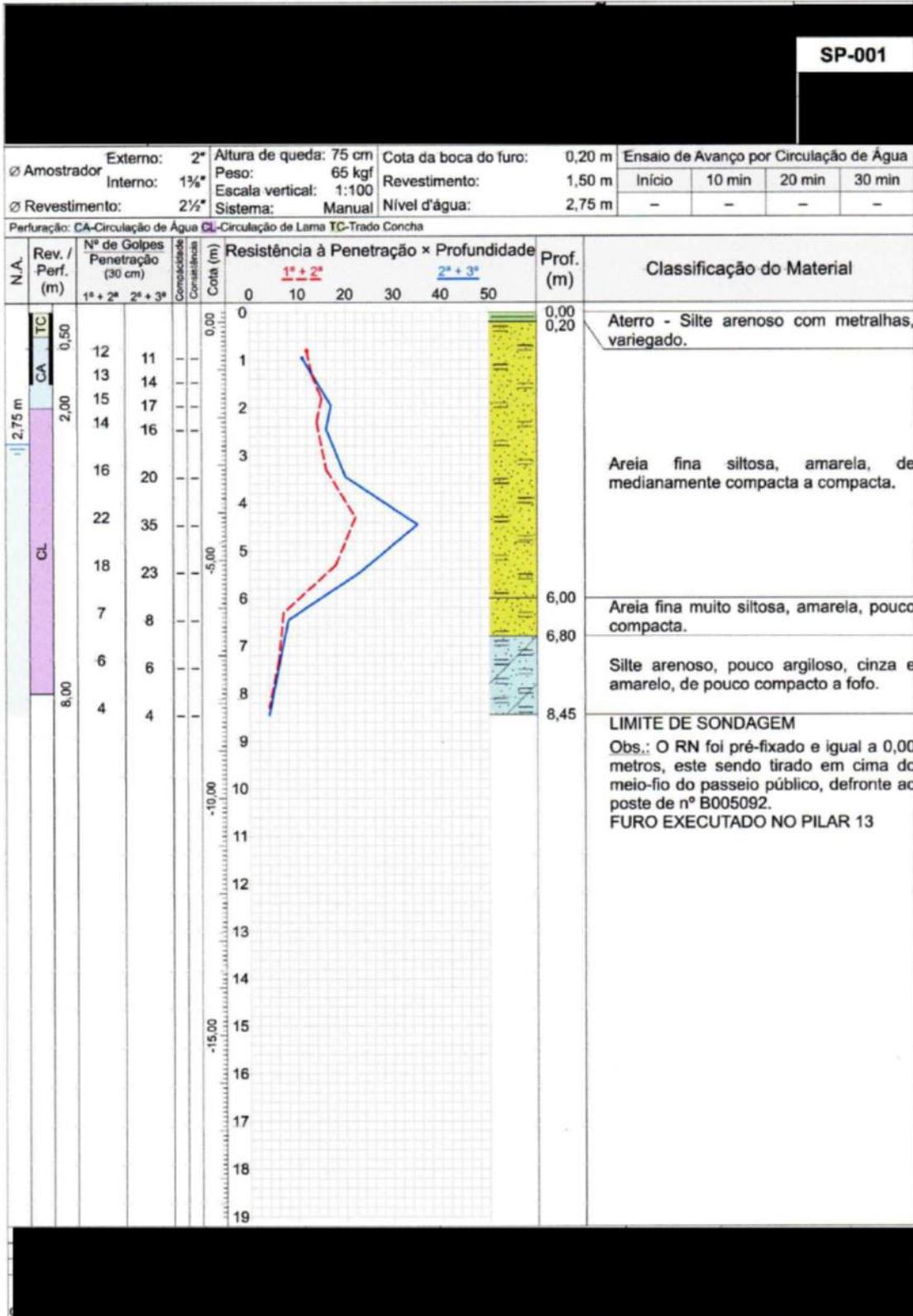
| OBS. | NÍVEIS D'ÁGUA | TC | TRADO CONCHA |
|------|-----------------|----|------------------|
| | INICIAL 2,76 m | TH | TRADO HELICOIDAL |
| | 16/05/23 08:00 | CL | CIRCULAÇÃO LAMA |
| | FINAL 2,40 m | CA | CIRCULAÇÃO ÁGUA |
| | 17/05/23 16:50 | LT | LAVAGEM P/ TEMPO |
| | APÓS 24h 2,70 m | NE | NÃO ENCONTRADO |
| | 18/05/23 16:40 | AL | ALAGADO |

DADOS TÉCNICOS

| | |
|---------------------------|-----------|
| Ø EXTERNO | 50,8 mm |
| Ø INTERNO | 34,9 mm |
| COMPRIMENTO | 781,17 mm |
| PESO | 65 kg |
| ALTURA QUEDA | 75 cm |
| Ø NOMINAL DO REVESTIMENTO | 63,5 mm |

OBS:

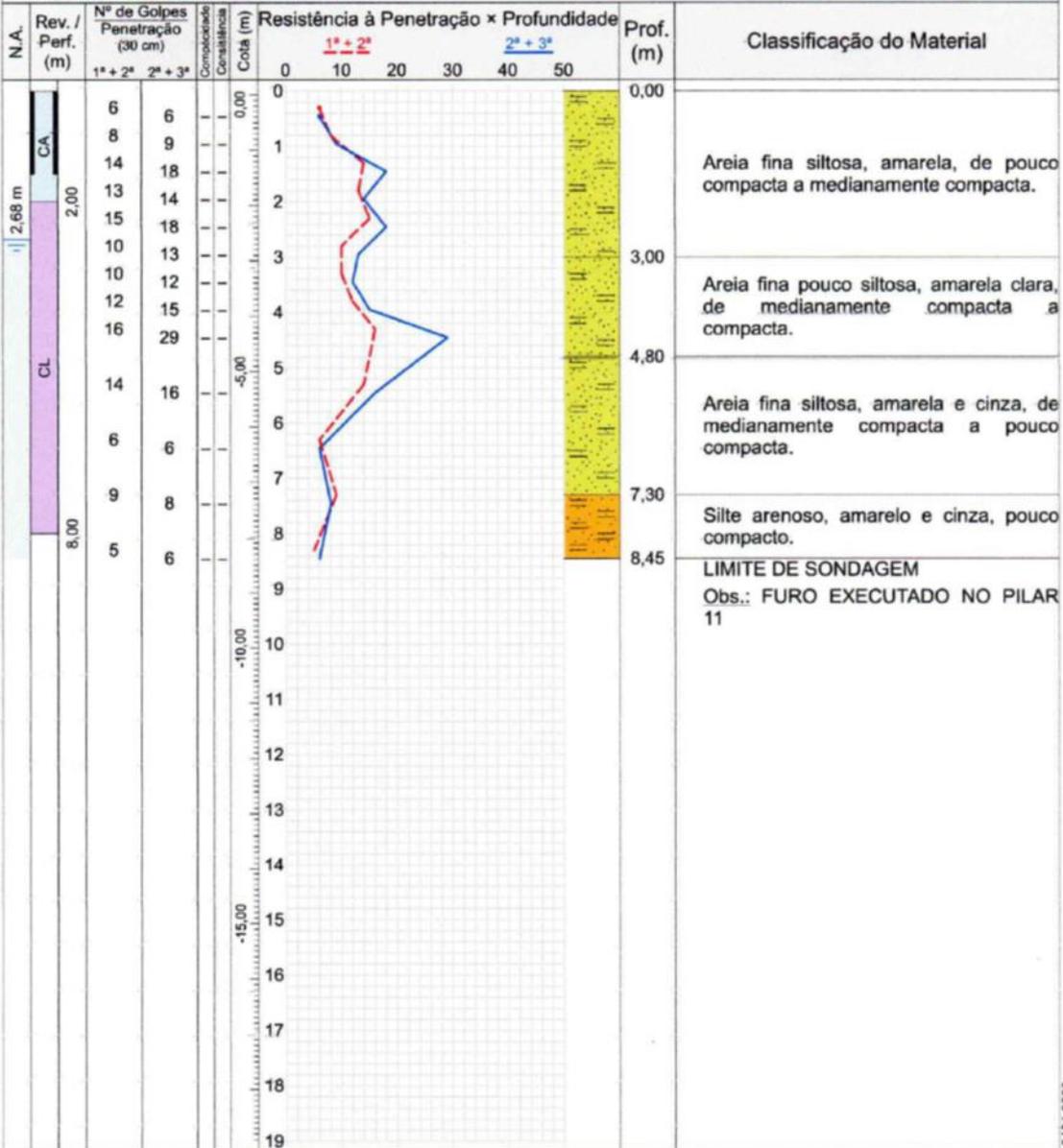
ANEXO D – SONDAGENS REALIZADAS APÓS MELHORAMENTO NA OBRA 2



SP-003

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|----------|--------|------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------------------------|--------|--------|--------|---|---|
| Ø Amostrador | Externo: | 2" | Altura de queda: | 75 cm | Cota da boca do furo: | 0,07 m | Ensaio de Avanço por Circulação de Água | | | | | |
| | Interno: | 1 1/4" | Peso: | 65 kgf | Revestimento: | 1,50 m | Início | 10 min | 20 min | 30 min | | |
| Ø Revestimento: | 2 1/2" | | Escala vertical: | 1:100 | Sistema: | Manual | Nível d'água: | 2,68 m | - | - | - | - |

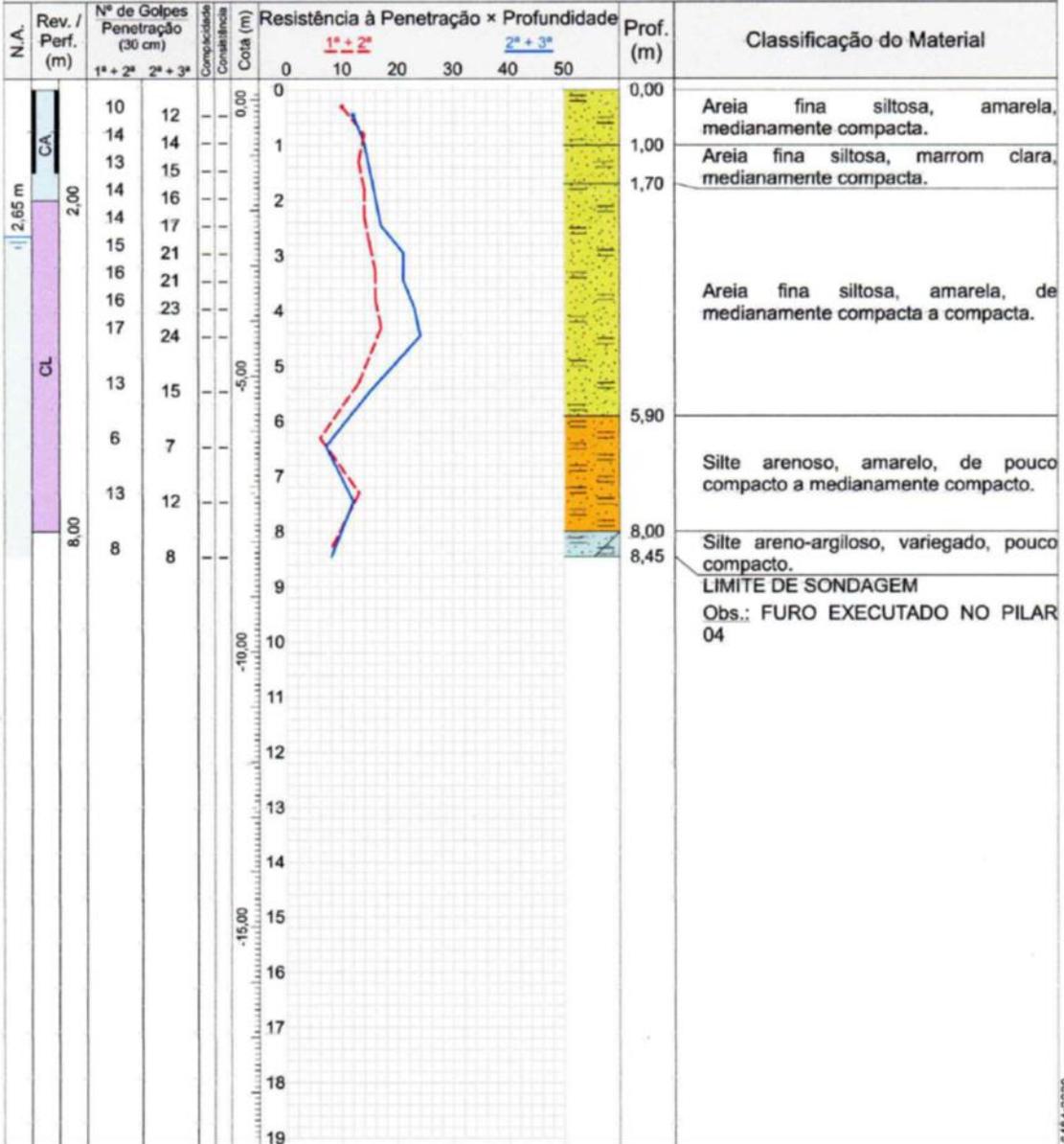
Perfuração: CA-Circulação de Água CL-Circulação de Lama



SP-004

| | | | | | | | |
|-----------------|-----------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|--------|--------|--------|
| Ø Amostrador | Externo: 2" | Altura de queda: 75 cm | Cota da boca do furo: 0,18 m | Ensaio de Avanço por Circulação de Água | | | |
| | Interno: 1 3/4" | Peso: 65 kgf | Revestimento: 1,50 m | Início | 10 min | 20 min | 30 min |
| Ø Revestimento: | 2 1/2" | Escala vertical: 1:100 | Nível d'água: 2,65 m | - | - | - | - |
| | | Sistema: Manual | | | | | |

Perfuração: CA-Circulação de Água CL-Circulação de Lama



SP-005

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------|----------|----------|------------------|------------------|-----------------------|---------------|-----------------------------------------|--------|--------|--------|---|
| Ø Amostrador | Externo: | 2" | Altura de queda: | 75 cm | Cota da boca do furo: | 0,21 m | Ensaio de Avanço por Circulação de Água | | | | |
| | Interno: | 1 1/4" | Peso: | 65 kgf | Revestimento: | 1,50 m | Início | 10 min | 20 min | 30 min | |
| Ø Revestimento: | 2 1/2" | Sistema: | Manual | Escala vertical: | 1:100 | Nível d'água: | 2,75 m | - | - | - | - |

Perfuração: CA-Circulação de Água CL-Circulação de Lama

