

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
*CAMPUS CAJAZEIRAS*

FELIPE FELIX FERREIRA

**ESTUDO DO SOLO E ANÁLISE DOS TIPOS DE FUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO  
DE BREJO SANTO - CE**

Cajazeiras-PB  
2025

FELIPE FELIX FERREIRA

**ESTUDO DO SOLO E ANÁLISE DOS TIPOS DE FUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO  
DE BREJO SANTO - CE**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Me. Bismak Oliveira de Queiroz.

Cajazeiras-PB  
2025

IFPB / Campus Cajazeiras  
Coordenação de Biblioteca  
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva  
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

F383e Ferreira, Felipe Felix.

Estudo do solo e análise dos tipos de fundações no município de Brejo Santo - CE / Felipe Felix Ferreira. – Cajazeiras, 2025.

45f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2025.

Orientador: Prof. Me. Bismak Oliveira de Queiroz.

1. Construção civil. 2. Fundação. 3. Análise de solo. 4. Edificação. I. Instituto Federal da Paraíba. II. Título.

IFPB/CZ

CDU: 624.1(043.2)

FELIPE FELIX FERREIRA

**ESTUDO DE SOLO E ANÁLISE DOS TIPOS DE FUNDAÇÕES NO MINICÍPIO  
DE BREJO SANTO - CE**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Bacharelado em  
Engenharia Civil do Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,  
*Campus* Cajazeiras, como parte dos  
requisitos para a obtenção do Título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 12 de Março de 2025.

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **BISMAK OLIVEIRA DE QUEIROZ**  
Data: 17/03/2025 15:25:32-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Me. Bismak Oliveira de Queiroz – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Orientador

Documento assinado digitalmente  
 **CARLA CAVALCANTE ARAUJO**  
Data: 19/03/2025 08:16:01-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

M<sup>a</sup>. Carla Cavalcante Araújo – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Coorientador

Documento assinado digitalmente  
 **ROBSON ARRUDA DOS SANTOS**  
Data: 18/03/2025 17:46:34-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dr. Robson Arruda dos Santos – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Examinador 1

Dedico este trabalho aos meus familiares, noiva e amigos, por todo o incentivo dado ao longo do meu desenvolvimento na graduação, aos professores do IFPB Campus Cajazeiras, por sempre estarem dispostos a me auxiliar e aos membros de toda a coordenação e do curso de Engenharia Civil por todo suporte dado nessa caminhada.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por me permitir viver este momento tão sonhado pelo qual tanto pedi em orações. Obrigado, Senhor, pelas pessoas e pelas oportunidades que colocaste em minha trajetória, pelas bênçãos do dom da perseverança e por sempre colocares um sorriso no meu rosto, independentemente das situações pelas quais passei.

Agradeço aos meus pais e familiares, que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado em todos os momentos. Vocês são minha fonte de inspiração e força para seguir em frente, tornando-me uma pessoa e um profissional melhor a cada dia.

Quero expressar minha gratidão à minha noiva, Dayara Furtado, por estar ao meu lado nos melhores e nos piores momentos. Sem ela, nada disso seria possível. Sua presença é essencial em minha vida.

Agradeço também aos meus professores orientadores, Carla Cavalcante de Araújo e Bismak Oliveira de Queiroz, por aceitarem meu convite para me orientar. Obrigado pelos ensinamentos, pela paciência e por confiarem no meu potencial.

Um agradecimento especial ao técnico de laboratório José, pela grande ajuda durante a fase de ensaios laboratoriais. Sua colaboração foi essencial para o sucesso deste trabalho.

Gostaria de dedicar agradecimentos especiais aos professores Milson Barbosa e Analine Pinto. Levarei para a vida as boas lembranças, conversas, conselhos e a grande amizade que construímos.

Agradeço, ainda, aos estimados colegas, que desde o início me incentivaram, apoiaram e compartilharam comigo os desafios dessa jornada até a formatura. Vocês, que passaram de desconhecidos a grandes amigos, merecem meu mais sincero obrigado: Aluska Gonçalves, Alef Lenoan, Fernanda Garcia, João Mayk, Marcelo Henrique, Maria das Graças e Thalysson Alves.

Por fim, agradeço ao IFPB, Campus Cajazeiras, que me concede o título de engenheiro civil. Obrigado pelo acolhimento, pelas salas limpas e confortáveis, pela biblioteca, pelos laboratórios e por todo o ambiente propício ao desenvolvimento do aluno em sua jornada acadêmica. Sou grato a todos os profissionais envolvidos nessa caminhada.

## RESUMO

O estudo do solo e a etapa de escolha da fundação são de extrema importância para a durabilidade e a vida útil de uma edificação. A ausência de investigação do subsolo pode resultar em um dimensionamento inadequado dos dispositivos de fundação. Assim, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise do solo e dos tipos de fundações na Cidade de Brejo Santo - CE, mais especificamente no Bairro Araujão, com o intuito de contribuir para o aprimoramento das práticas construtivas da região. As análises foram feitas por meio de ensaios laboratoriais realizados em quatro amostras de solo, coletadas em obras durante sua fase inicial. As amostras foram classificadas conforme a tabela SUCS. Além disso, foi analisado um ensaio SPT realizado na região, no qual observou-se que o solo possui baixa resistência nas camadas superficiais, corroborando os ensaios de caracterização do solo. Por fim, considerando essa baixa resistência do solo, recomendou-se o uso de fundações profundas.

**Palavras-chave:** estudo de solos; fundações; SPT.

## ABSTRACT

The study of the soil and the stage of foundation selection are of extreme importance for the durability and useful life of a building. The lack of subsurface investigation can result in improper foundation design. Thus, the present study aims to analyze the soil and types of foundations in the city of Brejo Santo - CE, more specifically in the Araujão neighborhood, with the intention of contributing to the improvement of construction practices in the region. The analyses were conducted through laboratory tests performed on four soil samples, collected from construction sites during their initial phase. The samples were classified according to the SUCS table. Additionally, an SPT test conducted in the region was analyzed, which observed that the soil has low resistance in the surface layers, corroborating the soil characterization tests. Finally, considering this low soil resistance, the use of deep foundations was recommended.

**Keywords:** Soil study, foundations, SPT.

**LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 01 – Bloco de fundação.....	16
Figura 02 – Sapata isolada.....	17
Figura 03 – Sapata associada.....	17
Figura 04 – Sapata corrida.....	18
Figura 05 – Sapata alavancada .....	19
Figura 06 – Radier .....	20
Figura 07 – Estacas.....	21
Figura 08 – Tubulão .....	22
Figura 09 – Fluxograma etapas da metodologia.....	27
Figura 10 – Mapa de localização do município.....	28
Figura 11 – Bairro Araujão - SPT .....	29
Figura 12 – Pontos de coleta de amostras.....	29
Figura 13 – Ponto de coleta 1 .....	31
Figura 14 – Ponto de coleta 2 .....	32
Figura 15 – Ponto de coleta 3 .....	33
Figura 16 – Ponto de coleta 4.....	34
Figura 17 – Ensaio à percussão (SPT).....	39

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
2	<b>OBJETIVOS</b> .....	13
2.1	OBJETIVO GERAL .....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
3	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
3.1	CONCEITO HISTÓRICO DAS FUNDAÇÕES .....	14
3.2	TIPOS DE FUNDAÇÕES .....	15
3.2.1	<i>FUNDAÇÕES RASAS</i> .....	15
3.2.1.1	<i>Bloco</i> .....	15
3.2.1.2	<i>Sapata Isolada</i> .....	16
3.2.1.3	<i>Sapata Associada</i> .....	17
3.2.1.4	<i>Sapata Corrida</i> .....	18
3.2.1.5	<i>Sapata com viga alavancada</i> .....	19
3.2.1.6	<i>Radiers</i> .....	19
3.2.2	<i>FUNDAÇÕES PROFUNDAS</i> .....	20
3.2.2.1	<i>Estacas</i> .....	20
3.2.2.2	<i>Tubulões</i> .....	21
3.3	TIPOS DE SOLO .....	22
3.3.1	<i>CLASSIFICAÇÃO DO SOLO</i> .....	22
3.3.1.1	<i>Sistema unificado de classificação de solos (SUCS)</i> .....	23
3.3.2	<i>COMPORTAMENTO DOS SOLOS FINOS</i> .....	24
3.4	INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO .....	25
3.4.1	<i>IMPORTÂNCIA DA INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO</i> .....	25
3.4.2	<i>RESISTÊNCIA QUANTO A INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO</i> .....	25

	10
3.4.3 <i>SONDAGEM</i> .....	25
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	27
4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	27
4.2 ETAPAS.....	27
4.2.1 <i>ÁREA DE ESTUDO</i> .....	28
4.2.2 <i>ENSAIO À PERCUSSÃO (SPT)</i> .....	28
4.2.3 <i>COLETA DE AMOSTRAS</i> .....	29
4.2.4 <i>CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS</i> .....	30
4.2.5 <i>PROCESSAMENTO DE DADOS</i> .....	30
<b>5 RESULTADOS E ANÁLISES</b> .....	31
5.1 PONTOS DE COLETA .....	31
5.1.1 <i>PONTO DE COLETA 1</i> .....	31
5.1.2 <i>PONTO DE COLETA 2</i> .....	32
5.1.3 <i>PONTO DE COLETA 3</i> .....	33
5.1.4 <i>PONTO DE COLETA 4</i> .....	33
5.2 ANÁLISE DOS PONTOS DE COLETA .....	34
5.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO .....	35
5.3.1 <i>GRANULOMETRIA</i> .....	35
5.3.2 <i>TEOR DE UMIDADE HIGROSCÓPICA E MASSA ESPECÍFICA</i> .....	35
5.3.3 <i>LIMITES DE ATTERBERG</i> .....	36
5.4 RESULTADO DO ENSAIO À PERCUSSÃO (SPT).....	38
5.4.1 <i>ANÁLISE SOBRE A EXECUÇÃO DO ENSAIO (SPT)</i> .....	40
5.4.2 <i>ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ENSAIO (SPT)</i> .....	40
5.5 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO ...	41
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	43
REFERÊNCIAS .....	44

## 1 INTRODUÇÃO

O estudo do solo e a etapa de escolha da fundação são de extrema importância para a durabilidade e a vida útil de uma edificação, seja ela residencial, comercial ou industrial. O solo é o suporte físico que sustenta toda a carga da edificação, sendo as fundações responsáveis por receber as cargas dos pilares e distribuí-las para o solo de maneira segura e estável.

Segundo Santos (2022), a investigação geotécnica direciona todas as decisões importantes sobre os materiais, elementos e sistemas construtivos mais adequados para uma fundação. Sem essa análise, não há parâmetros comparativos para a escolha de um tipo de fundação.

Brito (1987) ressalta que fundações bem projetadas correspondem de 3% a 10% do custo total do edifício; porém, se forem mal concebidas e mal projetadas, podem atingir de 5 a 10 vezes o custo da fundação mais apropriada para o caso.

Apesar do baixo custo em relação ao orçamento total da obra, em muitos casos, a fundação não é dimensionada de forma adequada devido à negligência na etapa de investigação do subsolo.

A NBR 6122 (ABNT, 2022) destaca a importância de conhecer o solo:

Para qualquer edificação, deve ser feita uma campanha de investigação geotécnica preliminar, constituída, no mínimo, por sondagens a percussão (com SPT), visando à determinação da estratigrafia e classificação dos solos, a posição do nível d'água e à medida do índice de resistência à penetração (NSPT) (ABNT, 2022, p. 10).

Entretanto, ao se estudarem as obras de pequeno porte, percebe-se que, em diversos casos, não é realizada a prospecção geotécnica do terreno de construção.

A ausência de investigação do subsolo pode resultar em um dimensionamento inadequado dos dispositivos de fundação, seja por subdimensionamento, acarretando problemas estruturais ou estéticos, ou por superdimensionamento, gerando custos elevados com as fundações (Deodato, 2022).

Segundo Milititsky, Consoli e Schnaid (2015), a negligência na etapa de investigação do solo também pode acarretar manifestações patológicas nas construções. Portanto, identificar e compreender o comportamento do solo é essencial para a solução de possíveis problemas.

Cruz e Araújo (2011) observam que a escolha equivocada do tipo de fundação pode gerar gastos extras com reforço e recuperação estrutural. Portanto, torna-se indispensável a análise cuidadosa do subsolo, observando, principalmente, fatores ligados à resistência, responsáveis por determinar o tipo de fundação a ser utilizado.

É fundamental que a fundação escolhida apresente resistência suficiente para suportar

os esforços provenientes da edificação, garantindo a absorção adequada das tensões. Além disso, o solo deve apresentar resistência e rigidez adequadas, evitando rupturas e deformações excessivas (Barros, 2003).

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise do solo e das fundações da cidade de Brejo Santo - CE, mais especificamente no bairro Araujão, com o intuito de contribuir para o aprimoramento das práticas construtivas na região.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar a composição do solo e os tipos de fundações usuais na cidade de Brejo Santo - CE, mais especificamente no bairro Araújo.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para atingir o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- apresentar um estudo multicaso sobre as fundações adotadas em diferentes obras na região;
- analisar amostras de solo da região;
- avaliar os resultados de um ensaio de sondagem à percussão (SPT) na área de estudo;
- correlacionar as características do solo com o resultado do ensaio SPT.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 CONCEITO HISTÓRICO DAS FUNDAÇÕES

O conceito de fundações nas construções está presente desde as civilizações antigas, quando os homens, ao se sedentarizarem, começaram a se dedicar à construção de abrigos que apresentassem estabilidade. Essa preocupação resultou na escolha do tipo de solo, visando à segurança e à longevidade das edificações (Rebello, 2008).

Essa atenção inicial à qualidade do solo e à estabilidade das construções representa uma evolução das fundações na engenharia civil, evidenciando como o conhecimento empírico sobre o solo foi fundamental para o surgimento das primeiras técnicas construtivas.

Rebello (2008) também relata a preocupação dos gregos com a transmissão de cargas das edificações para as fundações. Durante a execução de pequenas obras, utilizavam pedras como base para as construções convencionais, enquanto para grandes palácios, utilizavam grades blocos sobrepostos e até mesmo estacas de madeira, que eram cravadas com equipamentos de guerra adaptados.

Os romanos, por sua vez, para executar obras com grandes vãos e atenderem a maiores solicitações, utilizavam em suas fundações uma espécie de concreto feito por uma mistura de cinza vulcânica e pedras. Com a expansão territorial, surgiram as primeiras normas, visando uma padronização nas construções (Rebello, 2008).

No Brasil, o estudo das técnicas de fundações teve início-se pela chegada da família real em 1808 e a fundação de bibliotecas e escolas. Diante disso, as escolas de ensino superior começaram a formar os primeiros engenheiros civis em academias militares, onde eram repassados conhecimentos sobre técnicas de construção e fundações estruturais (Falconi *et al.*, 2016).

Com o avanço da tecnologia, foram desenvolvidas técnicas e estudos sistematizados, que abordam diversos parâmetros para a escolha da fundação ideal, além do tipo de solo. Fatores como profundidade, carga e distribuição do peso contribuem na tomada de decisão.

Entretanto, Falconi *et al.* (2016) observam que o desenvolvimento de técnicas de projeto e de execução das fundações depende do entendimento dos mecanismos de comportamento dos solos, sendo o tipo de solo o padrão determinante para a escolha da fundação.

## 3.2 TIPOS DE FUNDAÇÕES

A infraestrutura ou a fundação é o elemento estrutural localizado geralmente abaixo do nível do terreno, cuja função é transmitir para o solo as cargas atuantes em uma edificação, sejam elas verticais ou de vento (Bastos, 2023).

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2022) as fundações podem ser classificadas em dois grupos: fundações diretas ou rasas e fundações indiretas ou profundas.

### 3.2.1 FUNDAÇÕES RASAS

A fundação direta ou rasa é caracterizada por estar apoiada no solo a uma pequena profundidade de assentamento, onde a carga da estrutura é transmitida pela fundação diretamente para o solo.

A NBR 6122 (ABNT, 2022) informa que a fundação rasa (direta ou superficial) é o elemento cuja base está assentada em profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação, não ultrapassando a profundidade de três metros, limite que a distingue das fundações profundas.

As fundações diretas ou rasas podem ser classificadas como bloco, sapata isolada, sapata associada, sapata corrida, sapata com viga alavancada e radiers (NBR 6122, ABNT 2022).

#### 3.2.1.1 Bloco

Segundo a NBR 6122 (ABNT 2022), bloco é um tipo de fundação rasa dimensionada para resistir às tensões de tração apenas pelo material, dispensando o uso de armaduras.

Os blocos podem assumir formas escalonadas ou de tronco de cone (Figura 01), normalmente com dimensões de base e altura maiores do que as sapatas.

Segundo Veloso (2010), o dimensionamento estrutural dos blocos é feito de modo que dispensem armações horizontais. Portanto, para atender os critérios de segurança contra cisalhamento, a resistência à tração do concreto deve ser maior que as tensões máximas de tração.

Figura 01 – Bloco de Fundação



Fonte: Junior (2024)

### 3.2.1.2 Sapata Isolada

A sapata constitui um elemento de fundação rasa em concreto armado, dimensionado de forma que os esforços de tração nela aplicados sejam absorvidos por uma armadura estrategicamente posicionada para essa função (NBR 6122, ABNT 2022).

A sapata isolada é um elemento estrutural que transmite para o solo os esforços de um único pilar, é considerada a técnica de fundação mais usual nas edificações, podendo assumir variadas formas (Figura 02).

Normalmente, são executadas em formato quadrado ( $L=B$ ) ou retangular ( $L > B$ ), visando facilidade de execução e à compatibilidade com os formatos usuais dos pilares (Bastos, 2023).

Figura 02 – Sapata isolada



Fonte: Votorantim (2023)

### 3.2.1.3 Sapata Associada

A sapata associada pode ser classificada como uma sapata comum a dois ou mais pilares quando não alinhados, contanto que sua carga não ultrapasse 70% da carga total da estrutura (NBR 6122, ABNT 2022).

Segundo Bastos (2023), este tipo de sapata ocorre quando há sobreposição de sapatas devido à proximidade de dois ou mais pilares, e, então, adota-se a sapata associada, que deve ser dimensionada de tal forma a resistir aos esforços de tração aplicados a ela.

Uma viga de rigidez deve ser executada para conectar as sapatas (Figura 03); sua função é permitir que a sapata trabalhe com tensão constante e uniforme, garantindo melhor distribuição no solo (Brito, 1987).

Figura 03 – Sapata associada



Fonte: Oliveira (2022)

### 3.2.1.4 Sapata Corrida

A sapata corrida é um elemento estrutural cujo comprimento é consideravelmente maior em relação às outras dimensões (Figura 04). Sua função é distribuir cargas de forma linear para o solo (Rebello, 2008).

Nos casos em que há três ou mais pilares alinhados, também podem ser consideradas cargas linearmente distribuídas, portanto, a NBR 6122 (ABNT, 2022) enfatiza que, para esta situação, a carga dos pilares não deve exceder 70% do peso total da estrutura.

As sapatas corridas são amplamente utilizadas em construções de pequeno porte, como casas, galpões, muros de divisa e de arrimo, entre outros. Elas possuem baixo custo, especialmente quando o solo próximo à superfície oferece a capacidade de suporte adequada para suportar as cargas estruturais (Bastos, 2023).

Rebello (2008) alerta que não se deve confundir sapatas corridas com vigas baldrame, pois a sapata corrida é uma fundação direta que transmite as cargas ao longo do seu comprimento.

Por outro lado, a viga baldrame, embora envolvida pelo solo, não é usada isoladamente, pois sua utilização sempre está associada a outros tipos de fundações. Tem, como principal função, o travamento dos pilares e elementos de fundação, objetivando garantir maior estabilidade na estrutura (Ertel, 2016).

Figura 04 – Sapata corrida



Fonte: Carvalho (2022)

### 3.2.1.5 Sapata com viga alavancada

A sapata de divisa ou sapata alavancada (Figura 05) é um elemento estrutural utilizado em situações em que, por limitações do terreno ou obstáculos, o centro de gravidade da sapata não coincide com o centro de gravidade da carga do pilar (Brito, 1987).

Quando a carga do pilar se encontra fora do eixo de gravidade da sapata, esta também é denominada sapata excêntrica. Sua distribuição de carga ao solo não é uniforme, provocando momento fletor no pilar (Rebello, 2008).

Para solucionar esse problema, utiliza-se uma viga alavancada entre duas sapatas, de modo que um pilar absorva o momento resultante da excentricidade do outro pilar (Brito, 1987).

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2022), a viga alavancada ou de equilíbrio é um elemento estrutural que recebe as cargas de um ou dois pilares, sendo dimensionada de modo a transmitir essas cargas de maneira centrada entre as fundações.

Figura 05 – Sapata alavancada



Fonte: Votorantim (2023)

### 3.2.1.6 Radiers

A NBR 6122 (ABNT, 2022) descreve o radier (Figura 06) como um elemento de fundação rasa dotado de rigidez, para receber e distribuir mais de 70% das cargas da estrutura.

De acordo com Azeredo (1997), a execução de um radier consiste em formar uma placa contínua de concreto armado em toda a área da construção, objetivando a distribuição de cargas uniformemente.

Ele também relata que a fundação do tipo radier é escolhida quando o solo não apresenta resistência satisfatória para a execução de sapatas, e a camada de solo resistente está a uma determinada profundidade, na qual não seja viável a execução de uma fundação indireta ou profunda (Azeredo, 1997).

Figura 06 – Radier



Fonte: Rocha (2021)

### 3.2.2 FUNDAÇÕES PROFUNDAS

A NBR 6122 (ABNT, 2022) classifica a fundação profunda como um “elemento de fundação que transmite a carga ao terreno, ou pela base (resistência de ponta), ou por sua superfície lateral (resistência de fuste), ou por uma combinação das duas”.

Para ser considerada profunda, a fundação deve obedecer ao seguinte critério: sua ponta ou base deve ser apoiada a uma profundidade superior a oito vezes a sua menor dimensão em planta e possuir profundidade mínima de três metros (NBR 6122, ABNT, 2022).

Existem dois tipos de fundações profundas: estacas e tubulões. As estacas são consideradas o método mais seguro, pois são executadas apenas com equipamentos ou ferramentas, sem que haja necessidade da descida de operários para o seu interior (Veloso, 2010).

#### 3.2.2.1 Estacas

As estacas (Figura 07) são elementos de fundação profundas que utilizam equipamentos ou ferramentas para sua execução. Normalmente são cravadas verticalmente e trabalham a compressão. Podem ser cravadas a percussão, prensagem, vibração ou executadas por meio de escavação (Oliveira, 2012).

Segundo Veloso (2010), as estacas podem ser classificadas conforme o seu material, podendo ser de madeira, concreto, aço ou mistas.

Também podem ser classificadas de acordo com a sua produção: moldadas “in loco”, onde o solo é perfurado com auxílio de um equipamento e o furo é preenchido com concreto, ou executadas por peças pré-moldadas, onde a produção é feita na indústria, sendo posteriormente cravadas no solo (Rebello, 2008).

Figura 07 - Estacas



Fonte: Marinho (2019)

### 3.2.2.2 Tubulões

Segundo Brito (1987), tubulões são elementos estruturais de fundação profunda que transmitem os carregamentos para o solo por compressão.

Os tubulões (Figura 08) são construídos por meio da concretagem de um poço, de base alargada, escavado no terreno manualmente ou de forma mecanizada. Sua base deve ser alargada de maneira compatível para a transmissão de cargas conforme a característica do solo (Azeredo, 1997).

O tubulão se diferencia da estaca pelo fato de que, em sua execução, ao menos na etapa final, há necessidade da descida de operário para o alargamento da base e limpeza (Falconi *et al.*, 2016).

Podem ser classificados em dois tipos: tubulões a céu aberto e tubulões a ar comprimido (ou pneumáticos).

a) Tubulões a céu aberto: consiste em um poço escavado manualmente ou mecanizado, em terrenos coesivos, podendo dispensar escoramentos desde que não haja desmoronamento de suas paredes. Quando escavado manualmente, seu diâmetro mínimo é de 70 cm para que o operário possa trabalhar livremente (Azeredo, 1997).

b) Tubulões com ar comprimido: este tipo de tubulão é utilizado quando há presença de água no interior do poço, quando há necessidade de atingir maiores profundidades ou quando há risco de desmoronamento das paredes (Barros, 2003).

A NR 18, que trata das condições de segurança do trabalho na construção civil no Brasil, proibiu a utilização de tubulões a ar comprimido devido aos riscos elevados aos operadores. A decisão foi tomada com base nos altos índices de acidentes registrados durante sua execução (Brasil, 2020).

Figura 08 - Tubulão



Fonte: Total construção (2024).

### 3.3 TIPOS DE SOLO

Para a execução de quaisquer tipos de obra, é necessária uma infraestrutura estável que seja capaz de absorver os esforços provenientes da superestrutura e distribuí-los corretamente para o solo (Rebello, 2008). Portanto, cabe ao profissional responsável identificar corretamente as características do solo ao qual utilizará como base para seus trabalhos.

#### 3.3.1 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

O solo pode ser classificado por diversos parâmetros, entretanto, é mais comum classificá-lo de acordo com o tamanho das suas partículas. A NBR 6502 (ABNT 2022) define os seguintes tipos principais:

a) Solo Arenoso: solo com partículas maiores e não coesivo, possui elevada capacidade de drenagem e suas partículas têm diâmetro entre 0,06 mm a 2 mm.

b) Solo Argiloso: solo de granulação fina, possuindo dimensão inferior a 0,002 mm. Os solos argilosos têm alta coesão e baixa permeabilidade, podendo causar recalques em fundações se não tratados adequadamente.

c) Solo siltoso: intermediário entre areias e argilas, os solos siltosos têm baixa ou nenhuma plasticidade e, quando saturados, podem perder resistência rapidamente. Suas partículas possuem diâmetros entre 0,002 mm e 0,06 mm.

d) Solo orgânico: possui altas taxas de matéria orgânica, é formado pela mistura de matéria orgânica decomposta e materiais de origem mineral.

Caputo (1988) enfatiza a importância da padronização da classificação do solo. Um dos sistemas de classificação mais usual é o sistema unificado de classificação.

### 3.3.1.1 Sistema unificado de classificação de solos (SUCS)

A tabela SUCS é utilizada para classificar os solos com base na sua granulometria e plasticidade, nesse sistema o solo é classificado em 3 grupos:

a) Solos grossos: onde mais de 50% dos seus grãos são retidos na peneira nº 200, este solo é classificado como pedregulho ou solo arenoso, normalmente possuindo alta permeabilidade devido aos vazios entre as partículas.

b) Solos finos: mais de 50% dos seus grãos passam na peneira nº 200, neste caso são classificados como siltosos ou argilosos, normalmente são mais coesos em relação ao solo arenoso.

c) Turfas: solos altamente orgânicos.

O Quadro 1 apresenta um resumo da classificação de acordo com o SUCS. A classificação é feita com base nos resultados dos ensaios de granulometria, limites de plasticidade e limites de liquidez. Com os resultados dos ensaios definidos, os solos são classificados da seguinte forma:

a) Com base no peneiramento na peneira nº 4, o solo é classificado como pedregulho (maior fração retida) ou areia (maior fração passante);

b) Os coeficientes de uniformidade (CU) e curvatura (CC) definem se o solo é bem ou mal graduado;

c) Se o solo possuir mais que 12% passante na peneira nº 200, é necessário analisar a natureza dos finos, considerando os resultados dos limites de Atterberg, para classificá-los como silte ou argila.

Quadro 1 – Classificação SUCS

Solo Grosso $P_R \#200 > 50\%$	Pedregulho (G) $P_R \#4 > 50\%$	<b>GW:</b> Pedregulho Bem Graduado ( $P_p \#200 < 5\%$ ) $CNU \geq 4$ e $1 \leq CC \leq 3$	5% < $P_p \#200$ < 12% SÍMBOLO DUPLO <b>GC-GM</b>
		<b>GP:</b> Pedregulho Mal Graduado ( $P_p \#200 < 5\%$ ) $CNU < 4$ e/ou $1 > CC > 3$	
		<b>GM:</b> Pedregulho Siltoso ( $P_p \#200 > 12\%$ )	
		<b>GC:</b> Pedregulho Argiloso ( $P_p \#200 > 12\%$ )	
	Areia (S) $P_p \#4 \geq 50\%$	<b>SW:</b> Areia Bem Graduada ( $P_p \#200 < 5\%$ ) $CNU \geq 6$ e $1 \leq CC \leq 3$	5% < $P_p \#200$ < 12% SÍMBOLO DUPLO <b>SC-SM</b>
		<b>SP:</b> Areia Mal Graduada ( $P_p \#200 < 5\%$ ) $CNU < 6$ e/ou $1 > CC > 3$	
		<b>SM:</b> Areia Siltosa ( $P_p \#200 > 12\%$ )	
		<b>SC:</b> Areia Argilosa ( $P_p \#200 > 12\%$ )	
Solo Fino $P_p \#200 \geq 50\%$	Siltes Inorgânicos e Areias Muito Finas (M)	<b>ML</b>	
		<b>MH</b>	
	Argilas Inorgânicas (C)	<b>CL</b>	
		<b>CH</b>	
	Siltes e Argilas Orgânicas (O) $LL_{seco} < 0,75$ $LL_{natural}$	<b>OL</b>	
	<b>OH</b>		
<b>Pt (Peat)</b> – Solos Altamente Orgânicos ou Solos Turfosos, possui elevado teor de matéria orgânica e que possui alta compressibilidade			

Fonte: Adaptado de Pastore e Fontes (1998)

### 3.3.2 COMPORTAMENTO DOS SOLOS FINOS

Segundo Deodato (2022), o solo é composto por fragmentos da decomposição das rochas que vêm ocorrendo desde a formação do planeta. Essas partículas são naturalmente imperfeitas e, portanto, abrigam muitos espaços vazios entre si.

Os espaços vazios entre as partículas permitem a percolação da água, o que pode causar alterações nas suas propriedades geotécnicas.

Os solos finos, como a argila e o silte, são fortemente influenciados pela variação de umidade e pela sua mineralogia. Por outro lado, solos arenosos são mais permeáveis que solos argilosos, devido à sua estrutura mais porosa (Menezes, 2010).

- O solo arenoso possui baixa capacidade de retenção hídrica devido a seu alto índice de vazios. Caso saturado, sua capacidade de suporte pode ser diminuída.
- O solo argiloso possui maior capacidade de retenção hídrica devido à sua estrutura porosa. Ela apresenta propriedades expansivas, baixa permeabilidade e alta plasticidade na presença de umidade.
- O solo siltoso possui características intermediárias entre a areia e a argila. Pode apresentar propriedades coesivas quando seco; no entanto, quando saturado, pode perder resistência e se tornar instável.

### 3.4 INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO

A investigação do subsolo é uma etapa essencial na construção civil, auxiliando o profissional a identificar as características físicas, químicas e mecânicas do solo e das rochas de um determinado local.

#### 3.4.1 *IMPORTÂNCIA DA INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO*

Caputo (1988) destaca que o primeiro requisito para abordar qualquer problema de Mecânica dos Solos consiste num conhecimento, tão perfeito quanto possível, das condições do subsolo.

Já Rebello (2008) afirma que conhecer as características do solo é de extrema importância, tanto para a escolha e dimensionamento de fundações, quanto para determinar eventuais imprevistos que possam acontecer durante a execução de uma fundação.

Portanto, a investigação do subsolo reduz incertezas no projeto, prevenindo problemas estruturais e econômicos.

#### 3.4.2 *RESISTÊNCIA QUANTO A INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO*

Em obras de pequeno porte, é comum haver certa resistência, seja do proprietário ou até mesmo de construtoras, em relação aos ensaios necessários para a investigação do subsolo.

Muitas vezes, a investigação do subsolo, mesmo sendo etapa essencial em uma construção, é ignorada, visando uma economia na parte inicial da obra, o que, quase sempre, resulta em gastos com reparos futuros, sejam por manifestações patológicas ou adaptações na própria estrutura.

Segundo Milititsky, Consoli e Schnaid (2015), a falta de investigação do subsolo é comum em obras de pequeno e médio porte visando a economia, porém, essa prática é inaceitável.

Apesar de obras de pequeno porte não exigirem uma elevada capacidade de carga do solo, é indispensável saber as características do subsolo, para que a elaboração do projeto de fundações seja feita de forma coerente.

#### 3.4.3 *SONDAGEM*

A execução das sondagens consiste na abertura de um furo no solo, que normalmente é revestido por tubos metálicos, executado por meio de máquinas ou ferramentas, que provocam

desagregação do solo, permitindo a coleta de amostras das diferentes camadas de solo atravessadas (Caputo, 1988).

Existem diferentes tipos de sondagens, entretanto, o ensaio “*Standard Penetration Test*” (SPT) é o mais popular ensaio de investigação do subsolo em praticamente todo o mundo (Schnaid, 2012).

O SPT tem como pontos positivos a simplicidade, economia e rapidez, além de possibilitar perfurações de grandes profundidades. Isso permite a identificação do nível do lençol freático e a avaliação da resistência à penetração do solo em diferentes níveis de profundidade, possibilitando que o profissional acompanhe, em tempo real, as características do solo estudado (Fonseca; Azevedo, 2023).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa possui uma abordagem de caráter qualitativo, que considera uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, tendo como fonte direta de dados o ambiente e como instrumento chave o pesquisador (Prodanov; Freitas, 2013).

Quanto à natureza, pode ser classificada como pesquisa aplicada, pois, segundo Coelho (2019), busca solucionar problemas específicos com soluções práticas.

Em relação aos procedimentos técnicos, segundo Prodanov e Freitas (2013), o trabalho pode ser classificado como experimental, pois observa as relações entre variáveis, com o devido controle e cuidado em sua realização.

Já em relação aos objetivos, a pesquisa é de caráter explicativo, pois identifica fatores deixando claros os motivos destes acontecerem (Coelho, 2019).

### 4.2 ETAPAS

Inicialmente, o estudo é feito a partir de pesquisas bibliográficas. Para complemento da pesquisa bibliográfica, foram realizados ensaios em laboratório, seguindo todas as NBRs vigentes.

As etapas da metodologia seguiram conforme indicado na Figura 09.

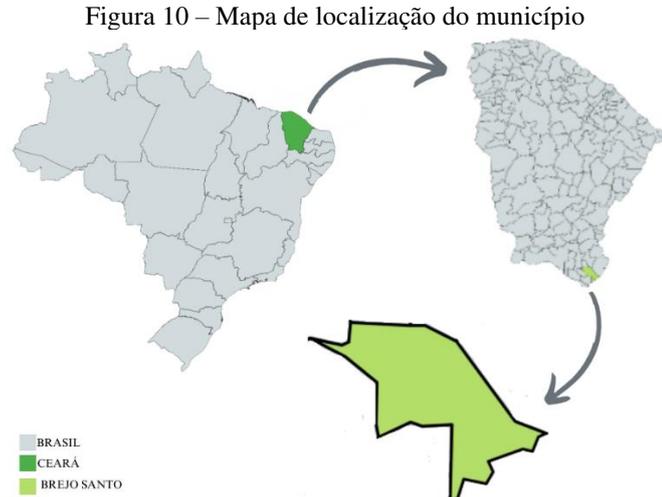
Figura 09 – Fluxograma Etapas da metodologia



Fonte: Autoria própria (2024).

#### 4.2.1 ÁREA DE ESTUDO

O bairro Araujão está localizado no município de Brejo Santo, na Microrregião do Cariri, no estado do Ceará (Figura 10). Possuindo, em sua maioria, imóveis residenciais, variando entre um e dois pavimentos.



Fonte: Autoria própria (2024).

Para o critério de escolha, foi levado em consideração o potencial de crescimento de construções residenciais no bairro, e posteriormente, construções de maior porte.

#### 4.2.2 ENSAIO À PERCUSSÃO (SPT)

Para auxiliar no desenvolvimento da pesquisa, será utilizado um ensaio de penetração padrão (SPT), realizado no ano de 2022 no Bairro Araujão; a fim de contribuir com o reconhecimento do solo estudado, a Figura 11 apresenta o local onde o ensaio foi realizado.

Figura 11 – Bairro Araujão - SPT



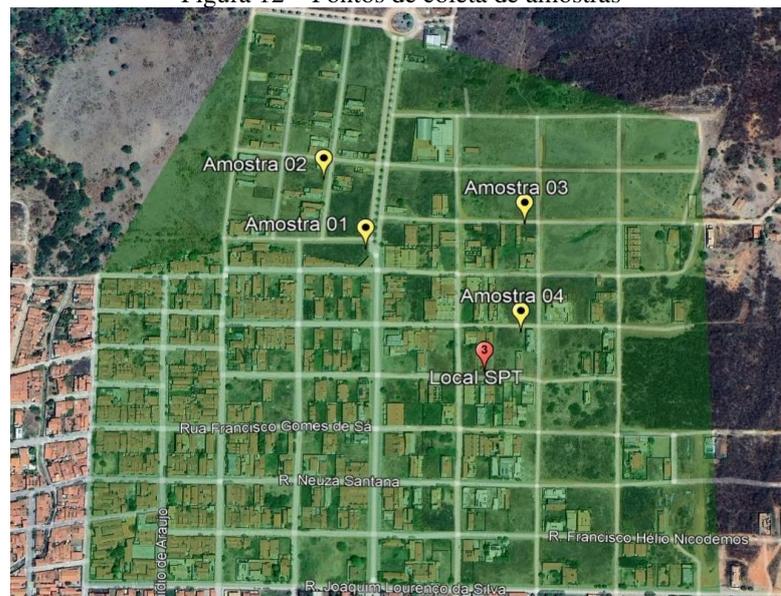
Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor, (2024)

#### 4.2.3 COLETA DE AMOSTRAS

A coleta das amostras foi realizada em quatro pontos do bairro, mostrados na Figura 12, priorizando a proximidade com o ponto onde o ensaio SPT foi realizado, buscando a padronização das amostras de solo.

As amostras de solo foram coletadas em obras que se encontravam em fase inicial, onde a escavação de valas garantiu o acesso ao solo, seguindo os padrões da NBR 9604 (ABNT 2024), visando preservar a sua integridade.

Figura 12 – Pontos de coleta de amostras



Fonte: Adaptado de Google Earth (2024)

#### 4.2.4 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras coletadas foram encaminhadas para o laboratório do IFPB-Campus Cajazeiras, onde foram preparadas conforme a norma NBR 6457 (ABNT, 2024). O processo seguiu as seguintes etapas:

**a) Secagem:** para amostras deformadas, foi realizada a secagem previa até a umidade hidroscópica.

**b) Destorroamento e Quarteamento:** as amostras foram destorroadas e quarteadas, garantindo a representatividade dos ensaios.

Após a preparação das amostras, foram realizados ensaios de caracterização para avaliar o tipo de material e como irá se comportar quando submetido a carregamentos provenientes de estruturas. Os ensaios devem seguir a ordem indicada no Quadro 2.

Quadro 2 – Ensaios de caracterização do solo.

Massa específica	NBR 6458 – (ABNT, 2025) - Solo - Determinação da massa específica dos sólidos
Limite de liquidez	NBR 6459 (ABNT, 2016) - Solo - Determinação do limite de liquidez
Limite de plasticidade	NBR 7180 (ABNT, 2016) - Solo - Determinação do limite de plasticidade
Ensaio de Granulometria	NBR 7181 (ABNT, 2025) - Solo - Análise granulométrica

**Fonte:** Autoria Própria (2024)

#### 4.2.5 PROCESSAMENTO DE DADOS

As informações sobre o solo foram armazenadas em tabelas e comparadas aos resultados obtidos no ensaio à percussão (SPT), buscando verificar as características do solo da área estudada.

Com base nas informações obtidas, foram propostos os tipos de fundações mais adequados, considerando as condições do solo e as cargas das edificações.

## 5 RESULTADOS E ANÁLISES

Visando compreender as características do solo estudado, foram definidos pontos estratégicos para a coleta das amostras, priorizando a proximidade com o local onde foi realizado o ensaio.

Após a coleta, as amostras foram encaminhadas ao laboratório do IFPB-*Campus* Cajazeiras, onde foram preparadas e ensaiadas conforme as normas vigentes.

Após as análises, os dados dos ensaios foram comparados ao resultado do ensaio à percussão (SPT) realizado na região. Com base nas informações obtidas, foi possível classificar o solo e propor uma fundação adequada.

A seguir, são apresentados os detalhes dos pontos de coleta e os resultados dos ensaios realizados.

### 5.1 PONTOS DE COLETA

As amostras de solo foram coletadas em quatro pontos distintos do bairro, buscando uma maior representatividade das condições geotécnicas da área.

#### 5.1.1 PONTO DE COLETA 1

A primeira amostra de solo (Figura 13) foi coletada na Avenida Manoel Bezerra Feitosa, localizada a três quadras do ponto em que o ensaio SPT foi realizado.

Figura 13 – Ponto de coleta 1



Fonte: Autoria própria (2024).

A amostra 01 foi coletada a uma profundidade de 80 centímetros, conforme a profundidade da vala.

O Quadro 3 apresenta demais detalhes sobre a edificação a ser construída.

Quadro 3 – Detalhes da edificação 1

Tipologia do imóvel	Residencial unifamiliar
Total de pavimentos previstos	1 pavimento: térreo
Tipo de fundação	Sapata isolada
Medidas da escavação	(80 x 80 x 80) cm
Projeto de fundação	Sem acesso
Profissional responsável pela obra	Desconhecido

Fonte: Autoria própria (2025)

### 5.1.2 PUNTO DE COLETA 2

A segunda amostra (Figura 14) foi coletada em uma rua projetada sem denominação oficial, localizada a cinco quadras do ponto em que o ensaio SPT foi realizado.

Figura 14 – Ponto de coleta 2



Fonte: Autoria própria (2024).

A amostra 02 também foi coletada a uma profundidade de 80 centímetros, conforme a profundidade da vala.

O Quadro 4 apresenta demais detalhes sobre a edificação a ser construída.

Quadro 4 – Detalhes da edificação 2

Tipologia do imóvel	Residencial unifamiliar
Total de pavimentos previstos	1 pavimento: térreo
Tipo de fundação	Sapata isolada

Medidas da escavação	(80 x 80 x 80) cm
Projeto de fundação	Sem acesso
Profissional responsável pela obra	Desconhecido

Fonte: Autoria própria (2025)

### 5.1.3 PONTO DE COLETA 3

A terceira amostra (Figura 15) também foi coletada em uma rua projetada sem denominação oficial, localizada a duas quadras do ponto em que o ensaio SPT foi realizado.

Figura 15 – Ponto de coleta 3



Fonte: Autoria própria (2024).

A amostra 03, por sua vez, foi coletada a uma profundidade de 60 centímetros, conforme a profundidade da vala.

O Quadro 5 apresenta demais detalhes sobre a edificação a ser construída.

Quadro 5 – Detalhes da edificação 3

Tipologia do imóvel	Residencial unifamiliar
Total de pavimentos previstos	1 pavimento: térreo
Tipo de fundação	Sapata isolada com cinta de amarração
Medidas da escavação	(60 x 60 x 60) cm
Projeto de fundação	Sem acesso
Profissional responsável pela obra	Desconhecido

Fonte: Autoria própria (2025)

### 5.1.4 PONTO DE COLETA 4

A quarta amostra (Figura 16) foi coletada na rua João Gomes Basílio, localizada a uma quadra do ponto em que o ensaio SPT foi realizado.

Figura 16 – Ponto de coleta 4



Fonte: Autoria própria (2024).

A amostra 04 foi coletada a uma profundidade de 80 centímetros, conforme a profundidade da vala.

O Quadro 6 apresenta demais detalhes sobre a edificação a ser construída.

Quadro 6 – Detalhes da edificação 4

Tipologia do imóvel	Residencial unifamiliar
Total de pavimentos previstos	1 pavimento: térreo
Tipo de fundação	Sapata isolada
Medidas da escavação	(80 x 80 x 80) cm
Projeto de fundação	Sem acesso
Profissional responsável pela obra	Desconhecido

Fonte: Autoria própria (2025)

## 5.2 ANÁLISE DOS PONTOS DE COLETA

A NBR 6122 (ABNT, 2022) orienta que, na divisa com terrenos vizinhos, a profundidade de assentamento não pode ser inferior a 1,5 metros, entretanto, em casos de sapatas com dimensões inferiores a um metro, essa profundidade pode ser reduzida.

A norma também destaca que a cota de apoio da fundação deve assegurar que a capacidade de suporte do solo não seja afetada por variações sazonais ou umidade, uma vez que solos argilosos e siltosos podem ser negativamente afetados por mudanças nas condições de umidade, a depender da sua mineralogia.

Considerando que a maior profundidade observada durante a coleta das amostras foi de 80 centímetros, surge o questionamento sobre a adequação dessa profundidade de suporte, em relação à mínima indicada pela norma.

### 5.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Seguindo as orientações das NBRs indicadas no Quadro 2, foram realizados os ensaios de teor de umidade higroscópica, massa específica dos sólidos, limite de liquidez e limite de plasticidade, além da análise granulométrica do solo através dos ensaios de peneiramento e sedimentação.

#### 5.3.1 GRANULOMETRIA

Seguindo as recomendações da NBR 7181 (ABNT, 2025), foi realizado o ensaio de granulometria conjunta (peneiramento e sedimentação), nas quatro amostras coletadas, resultando nos valores apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 – Granulometria dos solos (%)

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Pedregulho	0	0	0	0
Areia grossa	0,6	0,2	0,5	0,3
Areia média	7,8	3	6,9	3,4
Areia fina	20,8	27,1	18	12,3
Silte	64,8	66	73,3	80,2
Argila	6	3,7	1,2	3,7

Fonte: Autoria própria (2025)

Conforme observado no quadro, as amostras apresentam um alto teor de silte em sua composição, sendo este o material com maior porcentagem. Em sequência, a areia fina aparece como o segundo maior percentual.

Além disso, nota-se a presença de argila e areia média na composição das quatro amostras.

Conforme o Sistema Unificado de Classificação do Solo (SUCS), que se baseia na granulometria e no índice de plasticidade do solo, as quatro amostras foram classificadas como siltes inorgânicos e areias muito finas, definidos pela sigla (ML).

#### 5.3.2 TEOR DE UMIDADE HIGROSCÓPICA E MASSA ESPECÍFICA

O Quadro 7 detalha os resultados obtidos nos ensaios de teor de umidade higroscópica e de massa específica, com o valor de correção aplicado para uma temperatura de 20 °C, para cada amostra coletada.

Quadro 7 – Umidade higroscópica (%) e Massa específica (g/cm<sup>3</sup>)

ENSAIOS	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Teor de umidade higroscópica	6,3	5,7	6,1	9,1
Massa específica	2,671	2,583	2,585	2,691

Fonte: Autoria própria (2025)

Os valores de teor de umidade higroscópica obtidos variam entre 5,7 na amostra dois, chegando até 9,1 na amostra quatro.

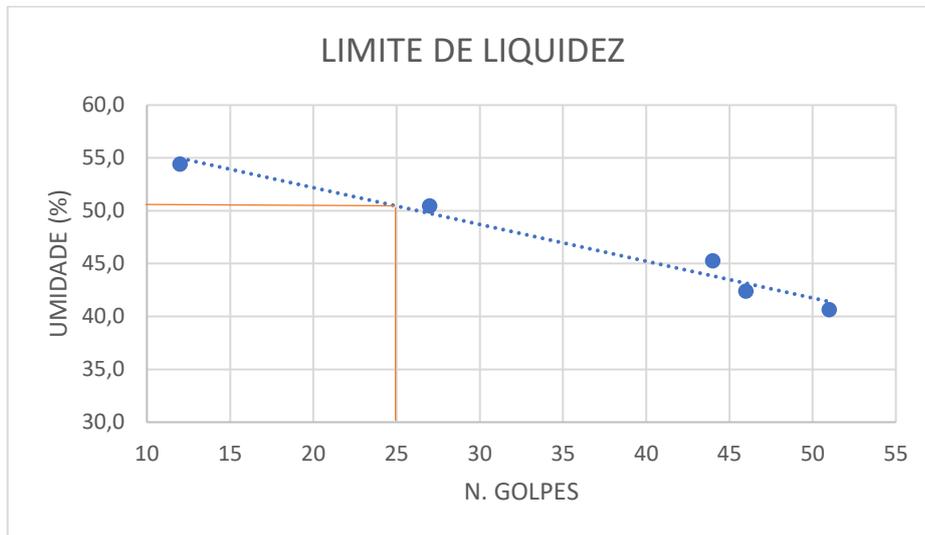
Em relação à massa específica, observou-se que as quatro amostras possuem valores semelhantes, com baixa variação.

### 5.3.3 LIMITES DE ATTERBERG

O limite de liquidez foi obtido através da realização do ensaio com o aparelho de Casagrande, conforme orienta a NBR 6459 (ABNT, 2016).

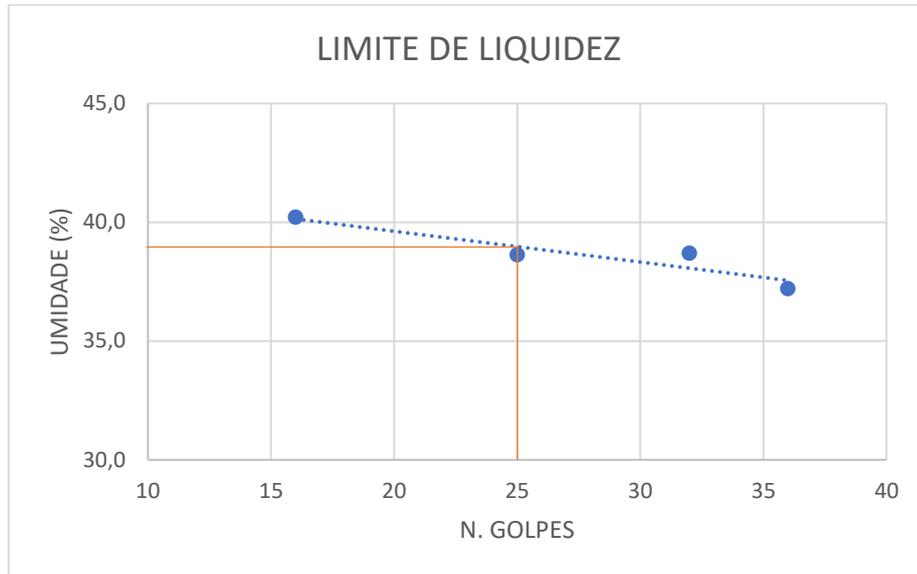
Os gráficos 1, 2, 3 e 4 apresentam os resultados das retas de escoamento das amostras 1, 2, 3 e 4, respectivamente, onde é possível identificar o teor de umidade referente ao número de 25 golpes.

Gráfico 1 – Limite de liquidez - Amostra 1



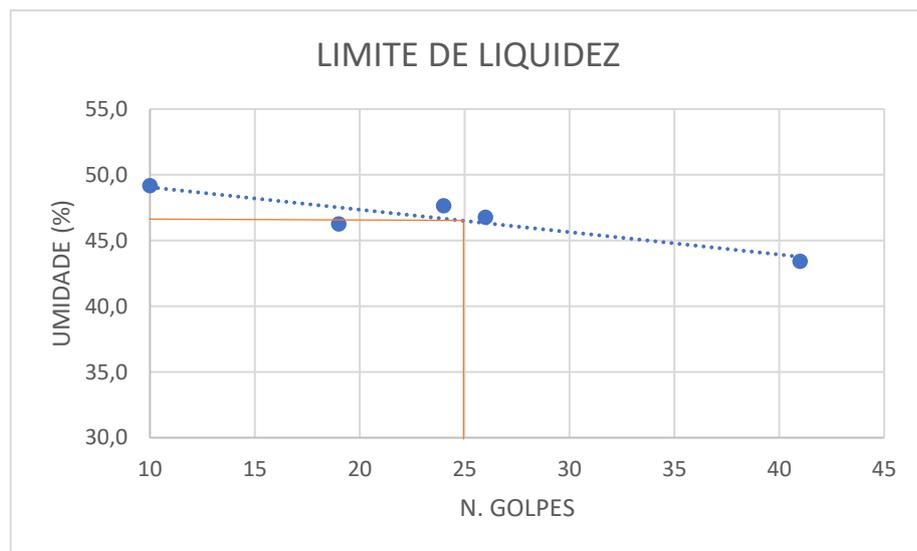
Fonte: Autoria própria (2025)

Gráfico 2 – Limite de liquidez - Amostra 2



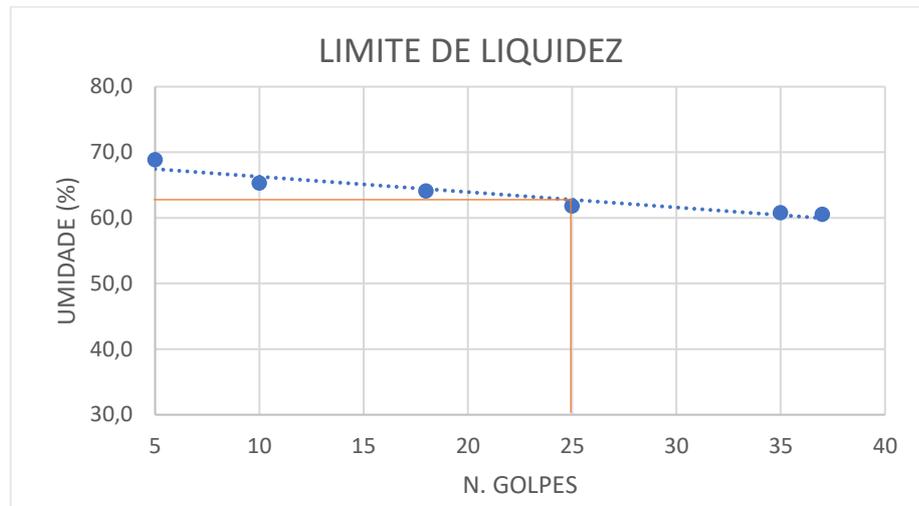
Fonte: Autoria própria (2025)

Gráfico 3 – Limite de liquidez - Amostra 3



Fonte: Autoria própria (2025)

Gráfico 4 – Limite de liquidez - Amostra 4



Fonte: Autoria própria (2025)

O limite de plasticidade foi determinado conforme orienta a NBR 7180 (ABNT, 2016), onde calcula-se a média do teor de umidade de 3 pontos do ensaio, para cada amostra.

O Quadro 8 detalha o resultado dos limites de plasticidade para cada caso.

Quadro 8 – Limites de plasticidade (%)

Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
21,8	27,2	25,8	29,4

Fonte: Autoria própria (2025)

O índice de plasticidade é obtido pela diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade do solo, conforme mostra o Quadro 9.

Quadro 9 – Índice de plasticidade (%)

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Limite de liquidez	50,5	39	46,5	62,8
Limite de plasticidade	21,8	27,2	25,8	29,4
Índice de plasticidade	28,7	11,8	20,7	33,4

Fonte: Autoria própria (2025)

De acordo com os resultados obtidos, as amostras um, três e quatro obtiveram índice superior a 15, logo, foram classificadas como solos altamente plásticos.

A amostra dois obteve um índice entre 7 e 15, portanto, foi classificada como solo medianamente plástico.

#### 5.4 RESULTADO DO ENSAIO À PERCUSSÃO (SPT)



#### 5.4.1 ANÁLISE SOBRE A EXECUÇÃO DO ENSAIO (SPT)

Inicialmente, o ensaio apresenta um índice de SPT a partir do primeiro metro de profundidade. Contudo, é comum que o primeiro metro seja feito a trado manual, e sua resistência seja desconsiderada. No entanto, o relatório do ensaio não deixa claro essa informação.

Em seguida, o ensaio registra o nível de água iniciando e finalizando a uma profundidade de 1,8 metros, o que não é uma situação comum e não está explicado.

Além disso, o relatório menciona que o furo realizado apresentou um solo seco e de baixa umidade em todo o perfil, o que gera uma preocupação significativa, especialmente quando correlacionamos com o fato de que foi registrada a presença de água a 1,8 metros de profundidade.

Se o nível atual foi registrado a essa profundidade, é esperado que o solo abaixo esteja saturado ou, pelo menos, parcialmente úmido, contradizendo a informação relatada nas observações.

Por fim, o relatório não deixa claro o critério de parada utilizado no ensaio, considerando os critérios recomendados pela norma.

Segundo a NBR 6484 (ABNT 2020), a sondagem pode ser encerrada sob certas condições:

- a) Se em qualquer dos três seguimentos de 15 cm, o número de golpes ultrapassar 30.
- b) Se o amostrador-padrão não avançar durante a aplicação de cinco golpes sucessivos do martelo.
- c) Atingir a profundidade máxima exigida em projeto.

Nesse ensaio em específico, subentende-se que o critério de parada tenha sido solicitação do cliente, conforme a profundidade exigida em projeto. Uma vez que não foi registrado um valor de 50 golpes, como é normalmente esperado para interrupção do ensaio.

#### 5.4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ENSAIO (SPT)

A análise dos resultados do SPT indica que o solo predominante no local do ensaio é de composição argilosa.

Segundo Santos (2011), os solos argilosos são caracterizados pelo seu comportamento plástico, apresentando um elevado índice de plasticidade quando comparados a outros materiais. Além disso, suas partículas possuem dimensões menores que 2  $\mu\text{m}$ .

Segundo o mesmo autor, algumas argilas podem apresentar propriedades expansivas. A presença desse tipo de solo exerce grande influência em fundações rasas, como blocos e sapatas, pois a variação volumétrica pode comprometer sua estabilidade. Por outro lado, seu impacto em fundações profundas é reduzido (Deodato, 2022).

O resultado do ensaio mostra que a primeira camada possui dois metros de espessura e é composta por argila marrom, com resistência de 15 golpes no primeiro metro e 10 golpes no segundo metro.

Na cota entre zero e um metro de profundidade, o ensaio é realizado com o trado concha, e sua resistência é desconsiderada, sendo analisada apenas a composição do solo.

Entre as cotas de um a dois metros, o relatório apresentou um valor de  $N = 10$  golpes. Essa resistência é considerada baixa, o que pode indicar maior potencial de recalques em fundações diretas assentadas sobre essa camada, conforme boas práticas da engenharia alinhadas às recomendações da NBR 6122 (ABNT, 2022).

A segunda camada, situada entre as cotas de dois a três metros, possui um metro de espessura e é composta por argila vermelha. Sua resistência é superior em relação à primeira camada, chegando a 19 golpes. Além disso, não houve presença de água, o que a torna menos suscetível a recalques.

A terceira camada é composta por argila variegada e possui dois metros de espessura, iniciando na cota de três metros e se estendendo até a finalização do ensaio, aos cinco metros de profundidade.

Nessa camada, o SPT alcançou 24 golpes a quatro metros de profundidade e 27 golpes a cinco metros, indicando maior capacidade de suporte para fundações. Da mesma forma, não houve ocorrência de água nessa camada.

Como o maior valor de  $N$  registrado no ensaio foi a uma profundidade de cinco metros, fundações profundas devem ser consideradas.

## 5.5 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO

De maneira geral, os ensaios laboratoriais revelaram que o solo estudado apresenta uma elevada porcentagem de silte, areia fina e argila, o que confere maior sensibilidade a variações de umidade e maior risco de compressibilidade.

Tais características podem aumentar a probabilidade de recalques diferenciais, especialmente em sapatas rasas, caso as fundações superficiais sejam assentadas nesse tipo de solo.

Os ensaios indicam que três das quatro amostras estudadas apresentaram um perfil de solo altamente plástico, o que pode resultar em instabilidades nas fundações.

O resultado do ensaio à percussão (SPT) apresentou um solo predominantemente argiloso, com potencial expansivo e baixa resistência inicial, o que infere que o solo pode sofrer variações volumétricas.

Diante disso, deve-se evitar fundações rasas convencionais, pois as camadas iniciais podem não apresentar resistência satisfatória.

Portanto, as fundações profundas devem ser consideradas, as quais são mais indicadas para evitar recalques diferenciais e por sofrerem menor influência do solo expansivo nas camadas superficiais.

## 6 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo analisar as características do solo em quatro pontos de coleta, buscando avaliar sua composição e discutir sobre sua influência na escolha de uma fundação adequada.

A partir dos ensaios realizados, foi possível determinar sua umidade higroscópica, massa específica, granulometria e os limites de Atterberg, além de correlacioná-los aos resultados do SPT realizado na região.

Os resultados obtidos indicam uma elevada porcentagem de silte, areia fina e argilas nas quatro amostras analisadas, o que mostra que o solo ensaiado é suscetível a variações de umidade e com potencial de compressibilidade, o que pode acarretar instabilidades nas fundações.

Além disso, as amostras um, três e quatro foram classificadas como altamente plásticas, portanto, podem causar instabilidades nas fundações. A amostra dois foi classificada como medianamente plástica, indicando que seu comportamento é menos crítico que as demais.

A realização do ensaio SPT deve seguir rigorosamente os critérios normativos, visando garantir a confiabilidade dos dados. Quaisquer falhas na medição das penetrações podem influenciar na interpretação dos resultados.

A análise SPT realizada na região apresentou um solo predominantemente argiloso, com potencial expansivo e com baixa resistência nas primeiras camadas, o que reforça a necessidade de cautela para a escolha da fundação.

Logo, diante das condições elencadas, a escolha de uma fundação rasa ou superficial pode trazer problemas futuros para a edificação, podendo apresentar recalques diferenciais, principalmente devido à plasticidade do solo e sua sensibilidade à umidade.

Para maior estabilidade em edificações de cargas elevadas, recomenda-se a adoção de fundações profundas.

Por fim, destaca-se a importância da análise geotécnica do solo, como forma de buscar melhores parâmetros para o dimensionamento seguro e eficiente de projetos de fundação, garantindo maior segurança e vida útil das edificações.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458**: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm — Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e Solos - Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo — Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo — análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 9604**: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- AZEREDO, H. A. de. **O edifício até sua cobertura**: práticas da construção civil. 2. ed. São Paulo, 1997.
- BARROS, M. **Fundações**. [Material didático]. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, abr. 2003. Acesso em: 17 jun. 2024.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 18** – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/nr18>. Acesso em: 14 fev. 2025.
- BRITO, J. L. W. de. **Fundações do edifício**: tipos de estacas de fundação. São Paulo, 1987. Disponível em: <https://carluc.com.br/elementos-constructivos/estacas-de-fundacao/#:~:text=Para%20mais%20informa%C3%A7%C3%B5es%20leia%20o,de%20forma%20simult%C3%A2nea%20%C3%A0>. Acesso em: 21 jun. 2024.
- CARVALHO, M. **Sapata Corrida** – O que é, Vantagens e Execução, 2022. Disponível em: <https://carluc.com.br/fundacao/sapata-corrida/>. Acesso em: 12 fev. 2025.

COELHO, B. **Tipos de pesquisa**: abordagem, natureza, objetivos e procedimentos. Metzger, 2019. Disponível em: <https://blog.metzger.com/tipos-de-pesquisa/>. Acesso em: 12 jan. 2024.

CRUZ, L. F.; ARAÚJO, M. R. de. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 3. ed. São Paulo: Pini, 2011.

DEODATO, E. C. M. **Ensaio de análise do solo e a aplicação de correlações para obtenção de suas características a partir do ensaio SPT**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/b871f560-3b03-49eb-b1e3-c7b3a19b6385/content>. Acesso em: 25 jun. 2024.

ERTEL, T. **Análise do comportamento estrutural de edifícios em concreto armado considerando a influência do travamento das vigas baldrame**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016. Acesso em 14 fev. 2025.

FALCONI, F. *Et.al.* **FUNDAÇÕES teoria e prática**. 3. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2019.

FONSECA J. F. G.; AZEVEDO. G. F. **Uso de ensaios tipo SPT para a análise de capacidade de carga de fundações em termos determinísticos e probabilísticos**, 2023. Disponível em: [https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as\\_sdt=0%2C5&q=Uso+de+ensaios+tipo+SPT+para+a+an%C3%A1lise+de+capacidade+de+carga+de+funda%C3%A7%C3%B5es+em+termos+determin%C3%ADsticos+e+probabil%C3%ADsticos&btnG=](https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Uso+de+ensaios+tipo+SPT+para+a+an%C3%A1lise+de+capacidade+de+carga+de+funda%C3%A7%C3%B5es+em+termos+determin%C3%ADsticos+e+probabil%C3%ADsticos&btnG=). Acesso em: 12 fev. 2025.

HELENE, P. R. L. **Manual de reabilitação de estruturas de concreto, reparo, reforço e proteção**. São Paulo: Editora Múltipla, 2003. 718 p.

JUNIOR, J. A. S. O papel dos blocos de fundação na distribuição de cargas. ALPS fundações, 2024. Disponível em: <https://grupoalps.com.br/papel-dos-blocos-de-fundacao-distribuicao-cargas/>. Acesso em 21 fev. 2025.

MARINHO, F. **Capacidade de carga de estacas**: exemplo resolvido. Guia da Engenharia, 2019. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/capacidade-carga-estacas-exemplo/>. Acesso em: 30 jan. 2025.

MENEZES, M. B. M. de. **Análise da influência do teor de umidade na absorção d'água e sucção dos solos em estudos de erodibilidade**, 2010. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/3994>. Acesso em: 24 fev. 2025.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. **Patologia das fundações**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 243 p.

OLIVEIRA, M. C. de. **Fundações rasas**: tipos, vantagens e como escolher a melhor. Carluc Engenharia, 2022. Disponível em: <https://carluc.com.br/fundacao/fundacoes-rasas/>. Acesso em: 30 jan. 2025.

PASTORE, E. L.; FONTES, R. M. **Caracterização e classificação de solos**. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. (ed.). Geologia de engenharia. São Paulo: ABGE, 1998.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. 277 p.

ROCHA, C. **Passo a passo para executar fundação em radier**. Mapa da Obra, 2021. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/capacidade/executar-fundacao-radier/>. Acesso em: 30 jan. 2025.

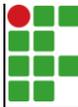
SANTOS, J. R. R. M. dos. **Comportamento geotécnico de solos argilosos do vale diapírico de sesimbra**, 2011. Disponível em: [https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as\\_sdt=0%2C5&q=Comportamento+geot%C3%A9cnico+de+solos+argilosos+do+vale+diap%C3%ADrico+de+sesimbra&btnG=](https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Comportamento+geot%C3%A9cnico+de+solos+argilosos+do+vale+diap%C3%ADrico+de+sesimbra&btnG=). Acesso em 12 fev. 2025.

SANTOS, V. L. **Fundações: a problemática de análise de solos para fundações**. **Revista FACO**, p. 02, jan. 2022. Disponível em: <https://www.facorevista.com.br/uploads/edicoes/anexos/fundaCOes-a-problematica-de-analise-de-solos-para-fundaCOes-5Yiq.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2024.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

TOTAL CONSTRUÇÃO. **Tubulões - O que são?** Execução, dimensionamento e mais. Total Construção, 2024. Disponível em: <https://www.totalconstrucao.com.br/tubuloes/>. Acesso em: 30 jan. 2025.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Sapatas**: conheça os tipos mais utilizados na construção civil. Mapa da Obra, 2023. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/capacidade/sapatas-conheca-os-tipos-utilizados-no-brasil/>. Acesso em: 30 jan. 2025.

	<b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b>
	Campus Cajazeiras - Código INEP: 25008978
	Rua José Antônio da Silva, 300, Jardim Oásis, CEP 58.900-000, Cajazeiras (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0005-07 - Telefone: (83) 3532-4100

## Documento Digitalizado Restrito

### Entrega de TCC

<b>Assunto:</b>	Entrega de TCC
<b>Assinado por:</b>	Felipe Ferreira
<b>Tipo do Documento:</b>	Dissertação
<b>Situação:</b>	Finalizado
<b>Nível de Acesso:</b>	Restrito
<b>Hipótese Legal:</b>	Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
<b>Tipo da Conferência:</b>	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Felipe Felix Ferreira, ALUNO (201922200029) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS, em 19/03/2025 09:12:39.

Este documento foi armazenado no SUAP em 19/03/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1424963

Código de Autenticação: 3eaa4ab8b

