



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
BACHARELADO EM CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS**

**ANÁLISE DA FUNDAÇÃO DO CASTELO D'ÁGUA
DO CAMPUS DA UFRB EM CRUZ DAS ALMAS -
ESTACA TIPO BROCA**

ADRIANO DE JESUS SILVA

Cruz das Almas - BA

2016

ADRIANO DE JESUS SILVA

**ANÁLISE DA FUNDAÇÃO DO CASTELO D'ÁGUA
DO CAMPUS DA UFRB EM CRUZ DAS ALMAS -
ESTACA TIPO BROCA**

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Colegiado de Graduação do Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – Campus Cruz das Almas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Exatas e Tecnológicas.

Orientador: Prof^o.Dr^o. Renê Medeiros de Souza.

Co-orientador: Prof^a Maselia Fernandes de Magalhães.

Cruz das Almas - BA

2016

SILVA, Adriano de Jesus.

Análise da fundação da torre de suporte do reservatório do Campus da UFRB em Cruz das Almas - Estaca tipo Broca. Adriano de Jesus Silva –2016

Orientador: Prof. Dr. Renê Medeiros de Souza

Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas

Trabalho de Conclusão de Curso – UFRB, Cruz das Almas, 2016

ADRIANO DE JESUS SILVA

**ANÁLISE DA FUNDAÇÃO DO CASTELO D'ÁGUA
DO CAMPUS DA UFRB EM CRUZ DAS ALMAS -
ESTACA TIPO BROCA**

Trabalho de Conclusão de Curso defendida e aprovada pela banca examinadora.

Aprovado em ____/____/____

Professor: Dr. Renê Medeiros de Souza
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Professora: Maselia Fernandes de Magalhães
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Professor: Adilson Brito de Arruda Filho
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Ao meu orientador Renê Medeiros e à professora Maselia Magalhães. À meus pais minhas irmãs por terem me incentivado e apoiado até aqui.

AGRADECIMENTOS

Queria agradecer primeiramente a deus, a toda minha família, a professora Maselia Magalhães que teve sempre disposta a me ajudar quando precisei ao meu orientador Renê Medeiros por ter disponibilizado seu tempo para me orientar, gostaria de agradecer também ao professor Felipe Paes que ajudou disponibilizando os dados referentes a obra estudada.

“A persistência é o caminho do êxito.”

(Charles Chaplin)

RESUMO

Para que se possa projetar uma obra com segurança é indispensável o conhecimento das características mais relevantes do subsolo do ponto de vista da construção civil. Em se tratando de fundações, o engenheiro de fundações deve ter em mãos os relatórios de sondagem, e assim ter autonomia suficiente para optar pelo tipo de fundação que seja mais viável, tanto do ponto de vista econômico como técnico.

Este trabalho, é resultado do estudo de caso, da interação da fundação estaca tipo broca na construção do castelo d'água, no Campus da UFRB em Cruz das Almas-BA. Trabalho este desenvolvido a partir de levantamentos bibliográficos, onde buscou-se conhecer os diferentes métodos de investigação do subsolo, e as características dos diferente tipos de fundação bem como suas restrições e vantagens, e assim fazer um comparativo entre os dados teóricos e de campo.

Utilizando os dados de campo obtidos, foi elaborado um mapa estratigráfico do solo, visando analisar as camadas constituintes do solo e assim verificar a compatibilidade deste com o tipo de fundação escolhida.

Devido ao fato da obra ter uma considerável carga concentrada, além do empuxo exercido pela água e da carga de vento, além de ser uma estrutura elevada, foi necessário o uso de uma fundação profunda, devido a esta absorver as tensões e retransmiti-las ao solo ao longo de todo o elemento de fundação, conferindo uma maior estabilidade a estrutura.

Palavras-Chaves: Fundação tipo broca. Investigação geotécnica. Sondagem a percussão.

ABSTRACT

In order to design a work safely is essential knowledge of the most relevant characteristics of the underground construction point of view. In the case of foundations, the engineer foundations must have at hand the survey reports, and so have sufficient autonomy to choose the type of foundation that is more viable from an economic point of view as a coach.

This work is the result of the case study, the type drill stake foundation of interaction in the construction of the castle of water, on the campus of UFRB in Cruz das Almas, Bahia. Work that developed from literature surveys, which sought to know the different subsurface investigation methods, and characteristics of different types of foundation as well as its limitations and advantages, and so do a comparison between the theoretical and field data.

Using the obtained field data, we designed a stratigraphic map of the soil in order to analyze the constituent layers of the soil and so check the compatibility with the chosen type of foundation.

Because of the considerable work has concentrated load, plus the thrust exerted by water and wind load, besides being a high structure, the use of a deep foundation is required, due to this absorb the stresses and relay them to the ground throughout the foundation element, conferring greater stability to the structure.

Keywords: Foundation drill type. Geotechnical investigation. Sounding percussion.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação do solo quanto ao SPT.....	19
Tabela 2: Quadro de elementos de fundação.....	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sondagen a percussão	19
Figura 2: Relatório de Sondagem	23
Figura 3: Classificação das fundações.....	25
Figura 4: Classificação de estacas	28
Figura 5: Perfuração de estaca tipo broca.....	30
Figura 6: instalação da armadura estaca tipo broca.....	31
Figura 7: Execução da estaca tipo broca	32
Figura 8: Mapa estratigrafico	34
Figura 9: Processo de construção do castelo d'água	35
Figura 10: Bloco de Coroamento.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

cm – Centímetro.

fck – Resistência característica do concreto à compressão.

kg – Quilograma.

kg/m³ – Quilograma por metro cúbico.

kgf – Quilograma força.

kgf/cm² – Quilograma força por centímetro quadrado.

m – Metro.

m– Metro.

min. – Minuto.

mm – Milímetro.

MPa – Mega Pascal.

N – Índice de resistência a penetração.

SPT – Standart Penetration Test.

t – Tonelada.

UFRB – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa	16
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos Específicos.....	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Investigação Geotécnica.....	18
2.2 Sondagem a percussão	19
2.3 Fundação	24
2.3.1 Classificação das fundações	25
2.3.2 Cuidados gerais na execução	29
3. METODOLOGIA.....	30
4. ESTUDO DE CASO	31
4.1 Características do solo	31
4.2 Características da obra	31
4.3 Características dos elementos de fundação.....	32
4.3.1 Etapas de execução	33
4.3.2 Propriedades dos materiais	36
5. CONCLUSÃO.....	37
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
7. ANEXO.....	40
7.1 Mapa Estratigráfico dos Perfis Geotécnicos	40
8. APÊNDICE	41
8.1 Projetos de Fundação.....	41

1 INTRODUÇÃO

A fundação é um elemento estrutural responsável por transmitir as cargas de uma edificação as camadas mais resistentes do solo. Pode-se observar na literatura que existem vários tipos de fundações, que se diferem em capacidade de carga e custo de execução, cabendo ao engenheiro responsável escolher o tipo mais adequado.

A escolha da fundação mais apropriada depende dos conhecimentos prévios em relação as características da obra, como propriedades do solo e condições de execução. De posse destas informações será possível optar pelo tipo que apresente maior viabilidade técnica e econômica, proporcionando assim a redução dos custos de execução de toda obra.

A escolha correta do tipo de fundação a ser utilizado em uma determinada edificação, permite que esta atenda todas as solicitações provenientes das cargas atuantes na estrutura. Ao optar por um tipo de fundação adequada, o responsável técnico estará viabilizando uma maior racionalização de custos, além de uma possível redução no tempo de execução. No entanto, se for escolhida um tipo de fundação que não se adeque as necessidades da obra, alguns problemas podem ocorrer, pois a fundação utilizada pode não ser capaz de suportar as cargas resultantes da estrutura o que acarretará a ocorrência de recalques impossibilitando a utilização da mesma, além da possibilidade de ocorrer um aumento considerável nos custos de execução, pois em alguns casos pode ser necessário o abandono da fundação ou até a demolição da mesma.

A obra utilizada como estudo de caso optou pela estaca broca como elemento de fundação por se tratar de uma fundação profunda, com boa capacidade de suporte e com um custo executivo relativamente viável quando comparado a outros tipos de fundação de similar capacidade de carga. Este tipo de estaca é escavada com o auxílio de broca, manual ou mecânica. Embora tenha o diâmetro reduzido, a estaca broca resiste a cargas consideráveis devido ao fato de transmitir as cargas ao longo de todo o elemento de fundação, sendo desta forma, muito mais resistente do que as fundações superficiais como as sapatas por exemplo.

1.1 Justificativa

O controle de qualidade das fundações deve ser iniciado com a escolha da melhor solução técnica e econômica, passando pelo detalhamento de um projeto executivo e finalizando com o controle de campo da execução do projeto. Para tal, é necessária uma revisão bibliográfica acerca do assunto, a fim de que todos os parâmetros necessários para a análise do solo e do projeto sejam levados em consideração no dimensionamento, de modo que a melhor técnica seja aplicada ao caso em estudo.

A obra enfocada como estudo de caso, foi a construção do castelo d'água no Campus da UFRB em Cruz das Almas-BA, tendo como finalidade suprir o déficit de abastecimento na UFRB, atendendo assim todas as demandas de consumo. Este reservatório foi projetado em frente ao Pavilhão de Aulas 1, sendo sustentado por uma torre de suporte, que além de dá sustentação ao reservatório, tem por finalidade elevar o reservatório a uma altura considerável possibilitando a uniformidade no abastecimento.

Desta forma, surge a ideia de realizar um estudo sobre a aplicação da fundação tipo broca aplicada na construção do castelo d'água no Campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, em Cruz das Almas-BA, analisando assim sua viabilidade técnica e econômica.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

- Avaliar a viabilidade técnica e econômica da fundação em estaca tipo trado (broca) aplicada no castelo d'água no Campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, em Cruz das Almas-BA.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar estudos bibliográficos referentes aos métodos de investigação geotécnica, contextualizando os principais conceitos com os dados de campo (relatórios de sondagem à percussão e dados da fundação da estaca tipo broca);
- Realizar estudo do solo para analisar a adequação do tipo de fundação aplicado na obra em questão;

- Realizar comparativo entre os dados teóricos e os dados obtidos na análise de campo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Baseado no aporte teórico de autores como, Azeredo (1988), Caputo (2006), Velloso e Lopes (2004), serão apresentados a seguir os principais conceitos referentes a investigação do subsolo e fundações, dando maior destaque a sondagem à percussão e a fundação tipo broca, que foram utilizados na obra estudada.

2.1 Investigação Geotécnica

O conhecimento adequado das condições do subsolo do local onde será executado uma obra, é fator essencial para que o responsável técnico possa desenvolver alternativas que possibilitem a escolha de soluções tecnicamente seguras e economicamente viáveis. O conhecimento das condições do subsolo é obtido a partir de um planejado programa de investigação geotécnica, que leva em consideração a importância e o tipo de obra, bem como a natureza do subsolo.

Segundo Velloso e Lopes (2004), um programa de investigação deve prosseguir das seguintes etapas:

- **Investigação preliminar**

Etapas que tem como objetivo conhecer as principais características do subsolo, em geral, são executadas apenas sondagens a percussão, salvo em casos que se saiba a priori da ocorrência de bloco de rochas, neste caso faz-se o uso de sondagens mistas.

- **Investigação complementar ou de projeto:**

Nesta etapa procura-se esclarecer as feições relevantes do subsolo e caracterizar as propriedades dos solos mais importantes do ponto de vista do comportamento das fundações.

- **Investigação para fase de execução:**

Esta etapa visa confirmar as condições de projeto em áreas críticas da obra, assim consideradas pela responsabilidade das fundações ou pela grande variação dos solos na obra.

Para que as etapas citadas acima procedam-se de forma eficiente, é necessário optar por um método de investigação que mais se adeque ao caso. Para Velloso e Lopes (2004) os principais métodos de investigação do subsolo são:

- Poços;
- Sondagem a trado;

- Sondagens a percussão-SPT;
- Sondagens rotativas;
- Sondagens mistas;
- Ensaio de cone (CPT);
- Ensaio pressiométrico (PMT).

Na obra em estudo o método de investigação aplicado foi a sondagem a percussão.

2.2 Sondagem a percussão

A sondagem a percussão ou sondagem de simples reconhecimento (figura 1), é um processo que visa o reconhecimento do subsolo, é realizado através de perfurações no solo, sua execução consiste na retirada de amostras do solo e determinação da medida de resistência a penetração.



Figura 1: Sondagem a percussão

Fonte: <http://construinfo.blogspot.com.br/2012/05/sondagem-percussao-spt.html>

De acordo com a NBR 6484(2001), as principais finalidades da sondagem a percussão, para aplicação na engenharia civil são:

- Determinação dos tipos de solo em suas respectivas profundidades de ocorrência;
- Posição do nível da água;

- Determinação dos índices de resistência à penetração (N) em cada metro.

De acordo com (Caputo, 1988) O procedimento de execução de uma sondagem de simples reconhecimento se divide nas seguintes fases:

- **Abertura do furo**

A abertura do furo consiste na etapa inicial da sondagem, esse procedimento provoca a desagregação do terreno visando a extração de amostras. A perfuração é realizada com o auxílio de equipamentos e máquinas. Antes de iniciar a abertura do furo, deve-se marcar os pontos onde será feita a perfuração, essa marcação geralmente é feita com piquetes de madeira.

Feita a marcação inicia-se a abertura do furo com o auxílio de um trado escavadeira de 100 mm de diâmetro até alcançar o primeiro metro de perfuração, a partir daí até alcançar o nível da água é utilizado um trado helicoidal.

- **Ensaio de penetração**

O ensaio de penetração consiste basicamente na introdução de um tubo no terreno, mediante a queda de um corpo de 65 kg a uma altura de 75 cm. Esse ensaio tem como finalidade a coleta de amostras, bem como medir a resistência de penetração do solo.

Esse método apresenta algumas vantagens, por ser econômico, de rápida execução e aplicável na maioria dos solos, contudo não pode ser aplicado a pedregulhos devido a difícil penetração deste tipo de solo. Este ensaio é realizado nos 30 cm finais de cada metro de perfuração, o resultado será o número de golpes necessários para penetrar esses 30 centímetros.

Com o valor do SPT obtido em cada metro, os solos são classificados quanto a compactidade dos solos grossos ou consistência dos solos finos, conforme mostrado na tabela 1.

Tabela 1. Classificação do solo quanto ao SPT

SOLO	SPT	DESGNAÇÃO
Areia e silte arenoso	<4	Fofa
	5-8	Pouco compacta
	9-18	Mediamente compacta
	19-40	Compacta
	>40	Muito compacta
Argila e silte argiloso	<2	Muito mole
	3-5	Mole
	6-10	Média
	11-19	Rija
	>19	Dura

Fonte: Caputo, 1988

- **Amostragem**

A amostragem é etapa que consiste na coletas de amostras para posterior análise do solo no local e envio ao laboratório para análise táctil-visual, é uma etapa repetitiva realizada a cada metro de perfuração, a coleta é realizada com o auxílio de um amostrador padrão de diâmetro externo de aproximadamente 50 mm.

- **Avaliação do nível da água**

A avaliação do nível da água é uma das etapas mais importantes da sondagem, pois o nível do lençol freático é um dos fatores que mais vão influenciar na escolha do tipo de fundação a ser aplicado em uma obra, pois diversos tipos não podem ser aplicado abaixo deste.

O nível da água é determinado durante a perfuração, sendo que a presença deste é notada a partir do momento que se percebe a alteração no teor de umidade do solo. No momento em que o solo se encontrar molhado deve se interromper a perfuração e deve-se observar a elevação do nível da água no furo, devendo se efetuar leituras a cada 5 min, durante no mínimo 15 min.

- **Identificação e classificação das amostras**

De acordo com a NBR 7250,(1982), as amostras devem ser, examinadas, procurando identifica-las no mínimo através das seguintes características: granulometria, plasticidade, compacidade no caso de solos grossos, consistência no caso de solos finos, cor e origem.

- **Relatório**

Os resultados da sondagem devem ser apresentados na forma de um relatório e anexos (figura 2). Segundo a NBR 6484,(2001), o relatório de sondagem deve conter as seguintes informações:

- Nome do interessado/contratante;
- Local e natureza da obra;
- Descrição sumária do método e dos equipamentos empregados na realização das sondagens;
- Total perfurado, em metros;
- Declaração de que foram obedecidas as normas brasileiras relativas ao assunto;
- Outras observações e comentários, se julgados importantes;
- Referências aos desenhos constantes no relatório.

Com o relatório contendo todas essas informações o engenheiro estará apto a escolher dentre os principais tipos de fundações a que mais se adeque as exigências de uma determinada obra. Sendo assim enfatizando a importância de se conhecer as características dos principais tipos de fundações será apresentado a seguir as propriedades mais relevantes dos diferentes tipos de fundação bem como os parâmetros que regem a escolha do tipo mais adequado para cada caso.

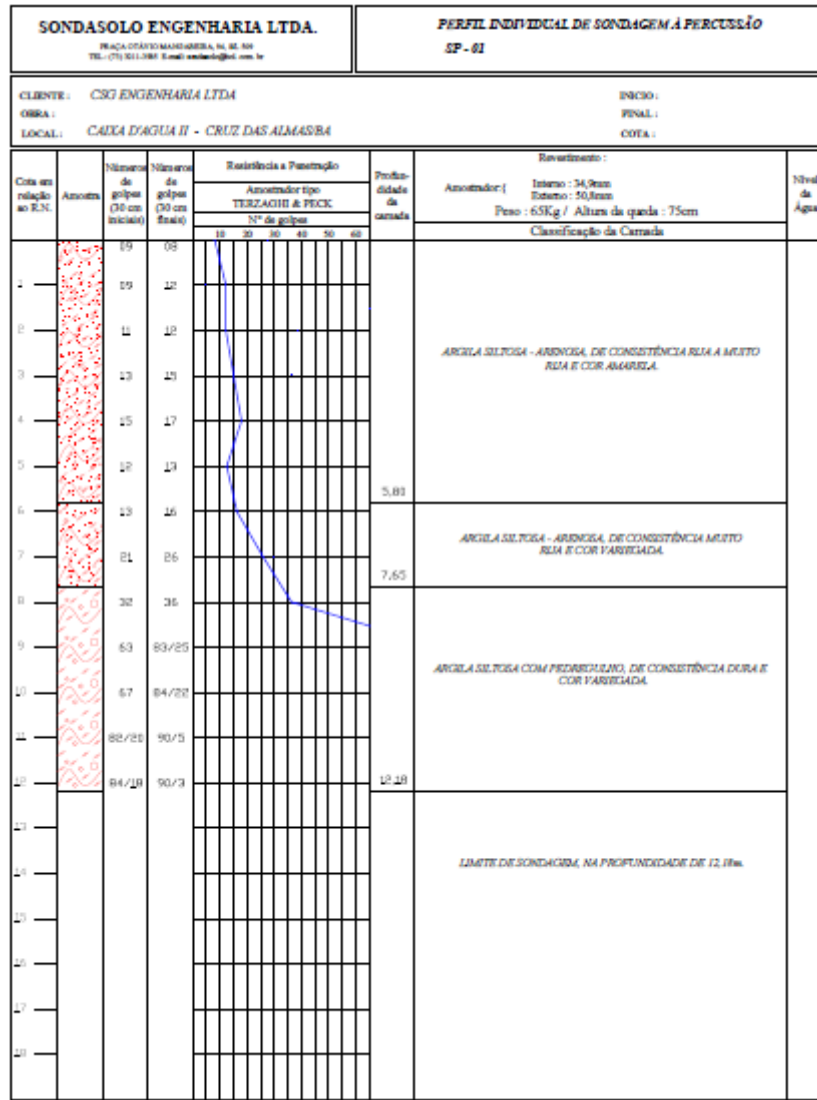


Figura 2: Relatório de Sondagem

Fonte: Sondasolo Engenharia Ltda

2.3 Fundação

De forma bastante simples, a fundação pode ser definida como um elemento estrutural que fica abaixo do solo, tendo como função suportar e transmitir as cargas da edificação para o terreno onde ela se apoia.

Segundo Velloso e Lopes (2004) antes de se elaborar um projeto de fundação, os seguintes elementos devem ser levados em consideração:

- Topografia da área;
 - Levantamento topográfico ;
 - Dados sobre taludes e encostas no terreno;
 - Dados sobre erosões;
- Dados geológicos-geotécnicos;
 - Investigação do subsolo;
 - Outros dados geológicos Geotécnicos (mapas, fotos áreas,etc);
- Dados da estrutura a construir;
 - Tipo e uso que terá a nova obra;
 - Sistema estrutural;
 - Sistema construtivo;
 - Cargas;
- Dados sobre as construções vizinhas;
 - Número de pavimentos, carga média por pavimento;
 - Tipo de estruturas e fundações;
 - Desempenho das fundações;
 - Possíveis consequências de escavações e vibrações provocadas pela nova obra.

Alguns requisitos devem ser atendidos para se obter uma fundação de qualidade sendo eles:

- Estarem assente em profundidade adequada para que sua estrutura não seja interferida por escavações e instalações adjacentes.
- Devem resistir às rupturas dos solos.
- Os recalques sofridos devem ser de mesma dimensão com a adaptação das estruturas.

2.3.1 Classificação das fundações

A classificação das fundações (figura 3) está diretamente ligada com a profundidade do solo resistente, onde a base da mesma se apoiará, sendo assim as fundações se subdividem em dois grandes grupos:

- Fundações superficiais;
- Fundações profundas.

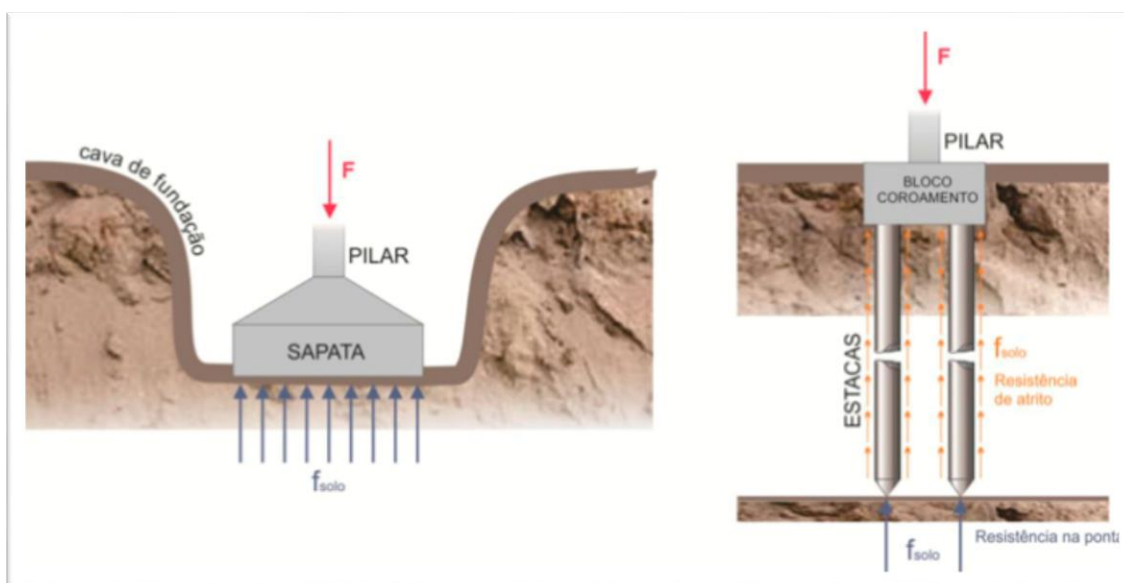


Figura 3: Classificação das Fundações

Fonte: Construir fácil RJ

2.3.1.1 Fundações Superficiais

Segundo a NBR 6122 (2010), fundações superficiais são aquelas em que a carga é transmitida ao terreno, predominantemente pelas pressões distribuídas sob a base da fundação, em que a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação.

As fundações superficiais são utilizadas quando o solo apresenta alta resistência, sem restrição de emprego de cargas elevadas. Dentre as fundações superficiais temos:

- **Blocos:** São elementos estruturais de grande rigidez, que suportam predominantemente esforços de compressão simples provenientes das cargas dos

pilares. Este tipo de fundação é utilizado quando há atuação de pequenas cargas, como por exemplo um sobrado.

- **Sapatas:** Com altura menor que o bloco, caracteriza-se pela utilização do concreto armado, sendo as tensões resistidas não mais pelo concreto, mas sim pelo aço nelas contidas. Segundo a norma existem os seguintes tipos de sapatas:
 - Isolada;
 - Associada;
 - Corrida;
 - Alavancada.
- **Radier:** Fundação que recebe a carga de todas as cargas da obra e redistribui os esforços de maneira uniformemente distribuída ao longo de todo o elemento de fundação, o qual funciona como uma “laje armada”.
- **Tubulões:** São elementos estruturais da fundação que transmitem a carga ao solo resistente por compressão, através da escavação de um fuste cilíndrico e uma base alargada tronco-cônica a uma profundidade igual ou maior do que três vezes o seu diâmetro. Alguns autores definem os tubulões como elementos de fundação profunda devido ao fato de avançarem cotas além dos 3 m de profundidade (cota limite das fundações superficiais), mas esse tipo de fundação é definido de fato como uma fundação superficial, haja vista transmitir os esforços da edificação apenas pela base alargada, e não ao longo do fuste cilíndrico, que seria a maneira que caracterizaria essa fundação como profunda.

De acordo com o método de escavação os tubulões se classificam em:

- A céu aberto;
- A ar comprimido.

2.3.1.2 Fundações Profundas

Segundo a NBR 6122/2010 fundação profunda é 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, devendo sua ponta ou base estar assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3,0 m. Dentre as fundações profundas podemos citar:

- **Estacas:** Elemento de fundação profunda, executado por ferramenta ou equipamentos, implantados no solo por meio de percussão, ou com a prévia perfuração do solo com posterior concretagem.

Existe uma enorme variedade de estacas empregadas como elementos de fundação nos diversos tipos de obra (figura 4), diferindo-se entre si basicamente pelo método executivo e materiais de que são constituídas. Vários são os critérios para a classificação das estacas, dentre os quais se destacam:

- Quanto aos efeitos produzidos no solo:

- Grande deslocamento;
- Pequeno deslocamento;
- Sem deslocamento.

- Quanto ao processo de execução:

- Estacas moldas em in loco

- Franki;
- Strauss;
- Escavada a Trado (manual ou mecânico);
- Hélice contínua;
- Estaca raiz.

- Estacas pré-moldadas

- Estaca de madeira;
- Estacas de concreto;
- Estacas metálicas.

- Quanto a forma de funcionamento

- Estacas de ponta;
- Estaca de atrito ou flutuante;
- Estaca mista.

- Quanto a forma de carregamento

- Estaca de compressão;
- Estaca de tração;

— Estaca de flexão.

Para escolher o tipo de estaca que mais se adequa a uma determinada obra, deve-se levar em consideração alguns aspectos, sendo eles:

- Esforços nas fundações;
- Características do subsolo;
- Característica da obra;
- Características de construções vizinhas.

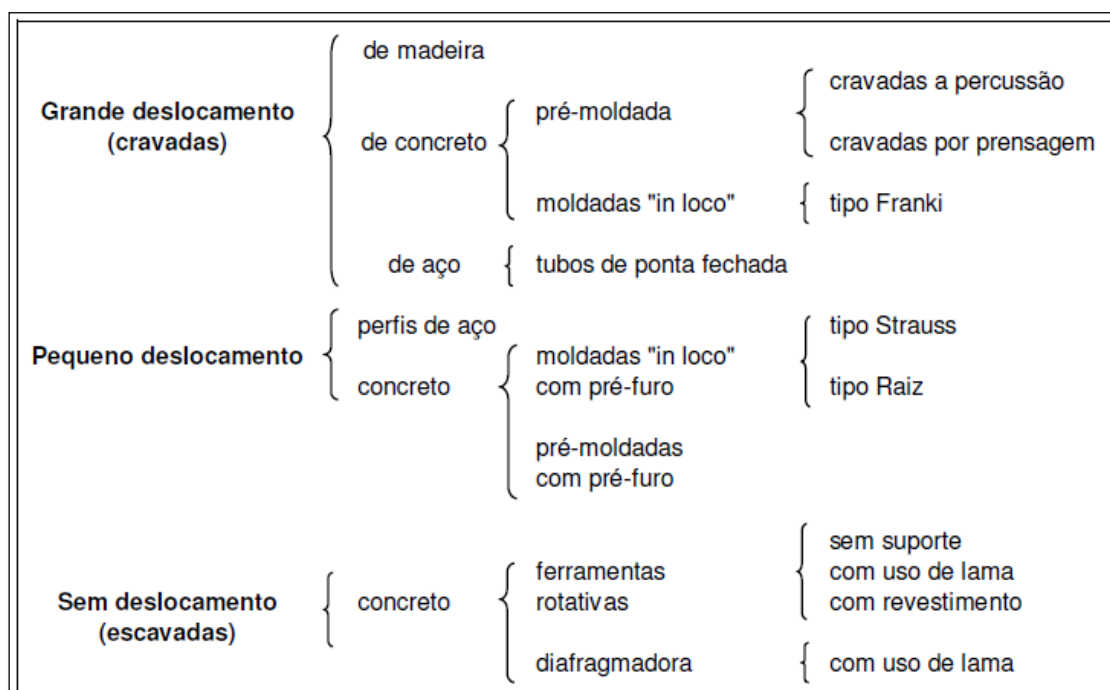


Figura 4: Classificação de estacas

Fonte: Veloso e Lopes: in Hachich et al, 1998

Fundação tipo Estaca Broca

Segundo a NBR 6122 (2010), as estacas do tipo broca são estacas moldadas in loco, por meio da concretagem de um furo executado por trado, sendo empregados onde o perfil do subsolo tem características tais que o furo se mantenha estável sem necessidade de revestimento ou de fluido estabilizante, com a profundidade sendo limitada ao nível do lençol freático. Os trados utilizados podem ser do tipo helicoidal (utilizado para solos

predominantemente argilosos) ou concha (utilizado para solos predominantemente arenosos). Posteriormente a escavação do furo, é executada a concretagem.

Dentre as principais vantagens da estaca tipo broca, podemos citar:

- Simples execução;
- Baixo custo, em relação a outros tipos de fundações profundas de similar capacidade de carga;
- Não provoca vibrações durante o processo executivo.

Contudo as estacas tipo broca apresentam algumas desvantagens, o que pode restringir a sua utilização. Algumas dessas restrições são apresentadas a seguir:

- Não existe garantia da verticalidade;
- Há perigo de estrangulamento do fuste;
- Sendo executada manualmente só pode ser executada acima do lençol freático;
- Trabalha apenas a compressão;
- Comprimento máximo de 8 metros;
- Há perigo de entrar solo no concreto na etapa de concretagem.

2.3.2 Cuidados gerais na execução

Para que se possa obter uma estaca de qualidade, algumas etapas devem ser realizadas com bastante cuidado, dando maior atenção aos seguintes procedimentos:

- Locação do centro das estacas;
- Profundidade de escavação;
- Tipo de solo retirado como amostra;
- Manter verticalidade;
- Lançamento do concreto para não se misturar com o solo.

3. METODOLOGIA

O trabalho tem como base de pesquisa o estudo de caso da interação do solo do Campus da UFRB de Cruz das Almas com os elementos de fundação utilizados (estacas broca) na obra da construção do castelo d'água.

Para obtenção dos dados, foi feita uma revisão bibliográfica acerca do tipo de fundação profunda analisada (estaca tipo broca), bem como uma análise de dados de campo, como os projetos de fundação e os perfis geotécnicos do solo, e com base nestes, foi elaborado um mapa estratigráfico do solo, para servir como base de dados na análise das camadas constituintes do solo, verificando sua compatibilidade com o tipo de fundação escolhida.

Com base nos projetos estruturais e de fundação foram inferidas todas as características técnicas dos elementos de fundação, como os consumos de cimento e aço, bem com características construtivas, como dimensões, forma e quantitativos de cada um dos elementos executados.

Após inferir todos os dados referentes ao solo e a estrutura de fundação, foi feita a compatibilização para averiguar se de fato houve a melhor escolha entre a fundação adotada e o solo da área, ou seja, se estas interagem positivamente de modo a minimizar a ocorrência de inconvenientes como recalques desolo e patologias construtivas pós-execução.

4. ESTUDO DE CASO

4.1 Características do solo

Foram executados apenas 2 furos de sondagem pelo fato da área construída ser de apenas $16m^2$, pois, segundo a NBR 6484 o número de furos de sondagem depende da área a ser construída, sendo previsto no mínimo dois furos para áreas de até $200m^2$.

Com base nos perfis geotécnicos percebe-se que todo o perfil é composto de material predominantemente argiloso, com pequenas variações de outros materiais (silte e areia) (anexo 7.1). Além disto, até a cota analisada não foi encontrado o nível freático, podendo-se notar também que todas as camadas tem uma boa capacidade resistente do ponto de vista de consistência (rijo-duro).

O solo analisado apresenta predominância de materiais finos como os dispostos nas camadas do perfil analisado. Os solos finos, devido a pequena dimensão de suas partículas, tem pequenos poros entre seus sólidos, e estes vazios de dimensões reduzidas minimizam a potencialidade da drenagem, com está acontecendo muito lentamente, fazendo com que as deformações do solo aconteçam de maneira plástica, ou seja, mesmo após a aplicação da carga, o solo continua a se deformar, haja vista que a deformação só acontece de fato, quando toda a água excedente é eliminada dos vazios do solo. Este processo de drenagem lenta (adensamento do solo), ocasiona riscos de recalques e posterior ocorrência de patologias como trincas e fissuras nos elementos estruturais.

Quanto maior for a resistência do solo, menor será a dissipação da energia, pois um solo com maior resistência terá uma melhor organização estrutural, e conseqüentemente menor número e dimensão de vazios entre os sólidos, e desta forma, menor será a área do solo a sofrer a deformação. Embora o perfil geotécnico analisado seja predominantemente argiloso, este tem boa resistência ao longo das camadas de base da fundação, deformando em proporções consideráveis.

4.2 Características da obra

A obra em estudo faz parte do pacote de obras de infraestrutura da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e está localizada no Campus de Cruz das Almas-BA. Esta se encontra em processo de construção em frente ao Pavilhão de Aulas 1, como pode se observar na figura 4.



Figura 5: Processo de construção do castelo d'água

Fonte: Do Autor.

A construção do castelo d'água tem como finalidade suprir as demandas de consumo de água no Campus e estabelecer a uniformidade no abastecimento. Esta obra está orçada no valor de R\$ 428.292,88 por cada castelo d'água construído no Campus, sendo que foram construídos um total de três. O castelo d'água a ser construído é constituído de dois reservatórios, o superior com capacidade de armazenamento de 127.160 l e o inferior com capacidade de 172.840 l.

4.3 Características dos elementos de fundação

A fundação utilizada na construção do castelo d'água foi a estaca tipo broca, sendo que foram executadas quatro estacas em um único bloco de coroamento (figura 9), assentes a uma cota de 8m de profundidade, dentro de camadas de compatível capacidade resistente, conforme análise do perfil geotécnico. A fundação foi executada de forma mecanizada utilizando trado do helicoidal, foi utilizado esse tipo de trado, por ser indicado

para escavar solos argilosos, haja vista que todo perfil analisado apresentou essa característica granulométrica.

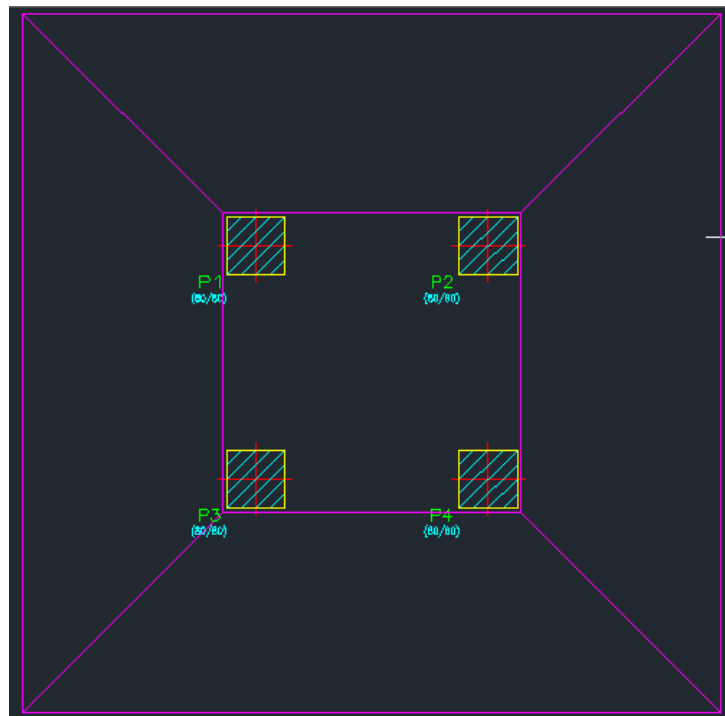


Figura 6: Bloco de coroamento

Fonte: EMPROTEC Engenharia

4.3.1 Etapas de execução

A seguir serão apresentadas todas as etapas de execução da estaca tipo broca.

- **Perfuração**

Primeiramente, foi feita a locação no terreno dos pontos de execução das estacas e através de gabarito de madeira foram marcados os eixos dos elementos de fundação. A perfuração foi feita com trado curto acoplado a uma haste até a profundidade especificada em projeto e feita por rotação / compressão do tubo, seguindo-se da retirada do solo que se encontra dentro deste.

Durante a perfuração foi confirmada as características do solo, através da comparação com a sondagem mais próxima. A figura 5 apresenta o processo de perfuração, da estaca tipo broca.



Figura 7. Perfuração de estaca tipo broca

Fonte. Do autor

- **Colocação das armaduras**

Em geral, estas estacas não são armadas, utilizando-se somente ferros de ligação com o bloco. Porém, quando necessário a estaca pode ser armada para resistir aos esforços da estrutura. A armadura foi colocada na perfuração com um guindaste contendo distanciadores para garantir o recobrimento do concreto. A figura 6 apresenta a instalação da armadura de estaca tipo broca.



Figura 8: Instalação da armadura de estaca tipo broca

Fonte: Do autor

▪ **Concretagem**

O concreto foi lançado do topo da perfuração com auxílio de um funil (tremonha). A tremonha deve ter comprimento mínimo de 1,5 m, e sua funcionalidade foi orientar o fluxo do concreto ao longo do elemento de fundação.

Segundo a NBR 6122 (2010), o concreto utilizado deve satisfazer as seguintes exigências:

- Consumo de cimento: não inferior a 300 kg/m³;
- Abatimento: entre 80 a 120 mm para estacas não armadas e de 120 a 140cm para estacas armadas
- Agregado: diâmetro máximo 19mm (brita 1);
- $F_{ck} \geq 20\text{Mpa}$ aos 28 dias.

A figura 7 apresenta todo o processo de execução da estaca tipo broca.

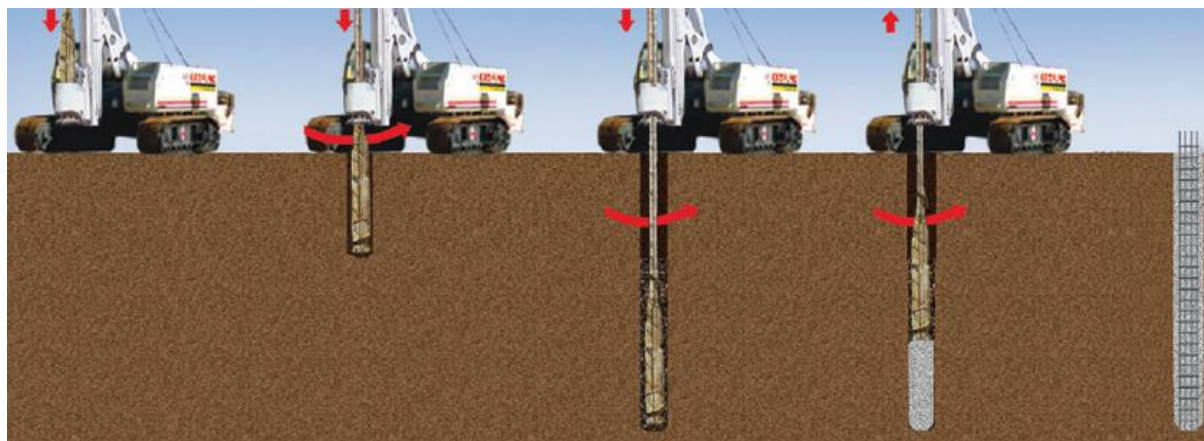


Figura 9: Execução estaca tipo broca

Fonte: Geofund Fundações especiais

A tabela 2 apresenta quantitativo dos elementos de fundação, tais como as dimensões e altura dos elementos, além das especificações das armaduras utilizadas.

Tabela 2: Quantitavo dos elementos de fundação

QUADRO DE ELEMENTOS DE FUNDAÇÃO						
Referências	Dimensões (cm)	Altura (cm)	Armadura inf. X	Armadura inf. Y	Armadura sup. X	Armadura sup. Y
(P1-P2-P3-P4)	960x960	140 / 85	50Ø20c/19	50Ø20c/19	40Ø20c/24	40Ø20c/24

Fonte: EMPROTEC Engenharia

4.3.2 Propriedades dos materiais

- **Concreto:** O concreto utilizado na obra foi o C30, apresentando as seguintes características:
 - Resistência característica ao 28 dias, superior ou igual a 30Mpa.
 - Resistência característica (FCK) mínimo= $350 \frac{KGF}{CM^2}$;
 - Consumo mínimo de cimento = 350kg cimento / m^3 de concreto;
 - Fator água-cimento máximo = 0,50.

5. CONCLUSÃO

Com base nos dados do perfil geotécnico e nas cargas atuantes na estrutura, foi adotada para a referida obra a estaca tipo broca como elemento de fundação, por ser um tipo de fundação de bom desempenho do ponto de vista resistente, além de ser de fácil e rápida execução. As fundações profundas tem uma maior capacidade resistente quando comparada às fundações superficiais, pois absorvem os esforços da estrutura e retransmitem estes para o solo além de todo o elemento de fundação, aumentando a área de contato entre a fundação e o solo, fazendo desta forma com que o solo se acomode de maneira mais estável minimizando a ocorrência e intensidade das deformações ao longo do perfil geotécnico.

Foi adotada a fundação do tipo broca, por este tipo de fundação profunda do tipo escavada, ter uma maior parcela de resistência de ponta devido a ser concretada 'in loco', devido a obra aplicar uma carga concentrada relativamente alta ao solo, e por se tratar de um reservatório que se apoia em uma estrutura elevada e conseqüentemente a obra estará submetida às cargas devido a ação do vento. Embora no mercado exista uma série de outras metodologias de fundação profunda de similar e maior capacidade resistente, esta adotada se adequou perfeitamente aos custos disponíveis para a execução da obra, bem como para a capacidade resistente a que se propõe.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto e execução de fundações Procedimento**. NBR 6122. Rio de Janeiro 2010.

_____. **NBR 6484** – Sondagem de simples reconhecimento com SPT. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 7250** – Identificação e descrição de amostras se solo. Rio de Janeiro, 2010.

AZEREDO, Hélio Alves de. **O Edifício Até sua Cobertura**. São Paulo. Ed. Edgar Blucher Ltda.,1977.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996. v. 3.

CONSTRIRINFOR. Sondagem a Percussão. Disponível em: <http://construinform.blogspot.com.br/2012/05/sondagem-percussao-spt.html>. Acesso em: 20/10/2015.

CONSTRUIRFACILRJ. Tipos de fundação. Disponível em: <http://construfacilrj.com.br/tipos-de-fundacoes-de-edificios/>. Acesso em 05/12/2015.

GEOFUND FUNDAÇÕES. **Execução estaca tipo broca**. Disponível em: <http://www.geofund.com.br/?feed=rss2&cat=6>. Acesso em: 29/10/2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARA. Investigação Geotécnica. Disponível em: <http://www.lmsp.ufc.br/arquivos/graduacao/fundacao/apostila/02.pdf>. Acesso em 17/11/2015.

PINTO, Carlos de Sousa. Curso básico de mecânica dos solos: com exercícios resolvidos: em 16 aulas. 3. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2006. 367 p. ISBN 9788586238512

VARGAS, Milton. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: McGraw-Hill, 1981. 509 p.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações: critérios de projeto, investigação de subsolo, fundações superficiais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

7. ANEXO

7.1 Mapa Estratigráfico dos Perfis Geotécnicos

8. APÊNDICE

8.1 Projetos de Fundação

8.2 Perfis de Sondagem