

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
VINÍCIUS DE CARVALHO E SILVA

**ANÁLISE DO USO DE ESTACAS MEGA COMO REFORÇO DE FUNDAÇÕES
SUPERFICIAIS: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE ARCOS/MG**

FORMIGA – MG
2015

VINÍCIUS DE CARVALHO E SILVA

ANÁLISE DO USO DE ESTACAS MEGA COMO REFORÇO DE FUNDAÇÕES
SUPERFICIAIS: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE ARCOS/MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Tiago de Moraes Faria Novais.

FORMIGA – MG

2015

S586 Silva, Vinícius de Carvalho e.
Análise do uso de estacas Mega como reforço de fundações superficiais: estudo de caso no município de Arcos/MG / Vinícius de Carvalho e Silva. – 2015.
60 f.

Orientador: Tiago de Moraes Faria Novais.
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro Universitário de Formiga–UNIFOR-MG, Formiga, 2015.

1. Fundação. 2. Reforço. 3. Estacas Mega. I. Título.

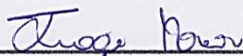
CDD 624.154

Vinícius de Carvalho e Silva

ANÁLISE DO USO DE ESTACAS MEGA COMO REFORÇO DE
FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE ARCOS/MG

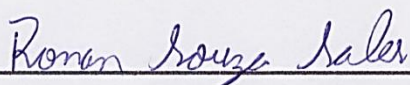
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG, como
requisito parcial para obtenção do título de bacharel
em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Tiago de Moraes Faria Novais

Orientador



Prof. Dr. Ronan Souza Sales

UNIFOR-MG



Prof.^a Ma. Christiane Pereira Rocha

UNIFOR-MG

Formiga, 12 de novembro de 2015.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Único que é digno.

Agradeço aos meus pais, Geraldo Trindade e Maria Elisa, que me apoiaram durante todo o curso e na realização deste trabalho.

À toda minha família.

Aos colegas e amigos que estiveram presentes, sustentando e ajudando durante este tempo.

Ao professor Tiago de Moraes, que me orientou e transmitiu seus conhecimentos, possibilitando o desenvolvimento do trabalho

Ao UNIFOR-MG por disponibilizar os laboratórios para a execução dos ensaios necessários.

Aos profissionais que transmitiram conhecimentos e disponibilizaram informações valiosas para este trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo de alguns métodos que visam a melhoria de desempenho de fundações que são elementos fundamentais para a interação entre a estrutura e o terreno. Em geral, nota-se que em muitas obras, a atenção que é direcionada às fundações e às características do terreno é insuficiente, isso devido à falta de conhecimento de alguns profissionais e também por avaliarem desnecessário um estudo para escolha do melhor tipo de fundação a ser realizada. A não avaliação das cargas da estrutura e das características do solo onde será executada a obra pode gerar alguns problemas afetando toda uma construção. Desta forma, torna-se necessária a avaliação quanto às possíveis causas destas patologias e a sua abrangência, e conseqüentemente realizar sua recuperação. Com a consulta de bibliografias existentes, foi realizada uma revisão das técnicas para reforço de fundação, como também o acompanhamento de um reforço de fundação com utilização de estacas Mega executado em uma residência no município de Arcos/MG, que apresentou patologias na sua estrutura devido à ocorrência de recalques diferenciais. Também foi feito recolhimento de dados e projetos disponíveis, para a avaliação da intervenção efetuada e comparativo entre diferentes métodos para reforço de fundação.

Palavras-chave: Fundação. Reforço. Estacas Mega.

ABSTRACT

This dissertation presents the study of some methods aimed at improving performance of foundations that are crucial to the interaction between the structure and ground. In general, we note that in many works, the attention is directed to foundations and terrain characteristics is insufficient, that due to lack of knowledge of some professionals and also evaluate any need for study to select the best type of foundation be performed. Failure assessment of loads of the structure and characteristics of the soil where the work is performed may cause some problems affecting an entire building. Thus, it becomes necessary to evaluate for possible causes of these diseases and its scope, and consequently carry out their recovery. With the consultation of existing bibliographies, a review of techniques for foundation reinforcement was performed, as well as tracking a foundation reinforcement with use of Mega piles executed at a residence in the village of Arcos/MG, who presented pathologies in its structure due the occurrence of differential settlements. It was also done gathering of available data and projects, to evaluate the intervention performed and comparing different methods for foundation reinforcement.

Keywords: Foundations. Reinforcement. Mega Piles.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estaca cravada à percussão	16
Figura 2 - Estaca escavada: hélice contínua	17
Figura 3 - Tubulão	18
Figura 4 - Sapatas isoladas	19
Figura 5 - Bloco cúbico e bloco escalonado	20
Figura 6 - Execução de estaca raiz	22
Figura 7 - Micro bate-estacas	24
Figura 8 - Reação contra estrutura existente.....	26
Figura 9 - Cargueira para cravação	27
Figura 10 - Aumento da base de tubulão.....	28
Figura 11 - Solo armado com elementos metálicos.....	30
Figura 12 - Obra (objeto de estudo).....	31
Figura 13 - Troncos de árvore no corpo do aterro	36
Figura 14 - Detalhamento dos blocos	37
Figura 15 - Patologias na estrutura.....	38
Figura 16 - Remoção do aterro.....	44
Figura 17 - Reforço provisório	44
Figura 18 - Construção de brocas e sapatas	45
Figura 19 - Nova estrutura.....	46
Figura 20 - Pistão hidráulico e bomba hidráulica	47
Figura 21 - Perfil metálico e cunhas para	47
Figura 22 - Retirada do bloco	48
Figura 23 - Perfis metálicos em substituição do pistão.....	49
Figura 24 - Estacas Mega e peça cilíndrica de aço	49
Figura 25 - Posicionamento da estaca e pistão, e	50
Figura 26 - Introdução do segmento.....	51
Figura 27 - Finalização do reforço	52
Figura 28 - Projeto de fundações da obra.....	60
Gráfico 1 - Gráfico da distribuição granulométrica do solo natural	40
Gráfico 2 - Gráfico do limite de liquidez do solo natural.....	41
Gráfico 3 - Gráfico da distribuição granulométrica do solo do aterro	42
Gráfico 4 - Gráfico do limite de liquidez do solo do aterro	43

Quadro 1 - Comparativo entre reforço com estacas Mega, estaca raiz e microestacas	53
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Medição do reforço realizado com estacas Mega.....	52
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Grau Celsius
ABEF	Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Cm	Centímetro
Cm ²	Centímetro quadrado
G	Gramma
Kg	Quilograma
Kgf	Quilograma-força
KN	Kilonewton
M	Metro
M/s	Metros por segundo
M ²	Metro quadrado
M ³	Metro cúbico
Mm	Milímetro
N°	Número
SPT	Standart Penetration Test
t	Tonelada
Tf	Tonelada-força

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS.....	13
2.1.1	Objetivo geral.....	13
2.1.2	Objetivos específicos	13
3	JUSTIFICATIVA	14
4	REFERENCIAL TEÓRICO	15
4.1	FUNDAÇÕES	15
4.1.1	Fundações profundas	15
4.1.2	Fundações rasas	18
4.2	Fundações sobre aterros	21
4.3	Reforço de fundações	21
4.3.1	Estaca raiz.....	22
4.3.2	Microestacas	23
4.3.3	Estacas Mega.....	25
4.3.4	Enrijecimento da estrutura	27
4.3.5	Estacas convencionais	27
4.3.6	Aumento da base da fundação.....	28
4.4	Reforço do solo	29
4.4.1	Jet Grouting	29
4.4.2	Geossintéticos.....	30
4.4.3	Solo armado.....	30
5	METODOLOGIA	31
5.1	Materiais para ensaio de granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade.....	32
5.1.1	Ensaio de análise granulométrica.....	33
5.1.2	Ensaio para determinação do limite de liquidez (LL)	33

5.1.3	Ensaio para determinação dos limites de plasticidade (LP).....	34
5.2	Características do terreno da obra (objeto de estudo)	34
5.3	Aterro da obra	35
5.4	Estrutura da obra.....	37
5.5	Recalque da fundação e manifestações patológicas	38
5.5.1	Análise dos danos e das causas.....	39
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
6.1	Caracterização do solo natural.....	40
6.2	Caracterização do solo do aterro	42
6.2.1	Intervenção na obra.....	43
6.2.2	Nova estrutura	45
6.2.3	Reabilitação da estrutura	46
6.2.4	Reforço da fundação com Estacas Mega	49
6.3	Comparativo entre métodos de reforço de fundação.....	53
7	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS	57
	APÊNDICE A.....	60

1 INTRODUÇÃO

O trabalho de transmitir as cargas de uma estrutura para o solo é realizado através das fundações. Porém, para realização desta estrutura é necessário um conhecimento das características do terreno garantindo a realização de um projeto de fundação de acordo com o solo encontrado e também planejar as técnicas para a execução. O fato é que em grande parte das obras, sendo de pequeno ou grande porte, estas verificações não são realizadas, e assim os problemas nas fundações acontecem devido ao mau comportamento do solo ou da própria fundação.

Como o aumento no número de novas construções é crescente, esta expansão muitas vezes é realizada em áreas onde antes não eram habitadas devido à localização ou dificuldades de se executar uma obra. Estes fatores, assim como a necessidade de controle de custos da obra e maior agilidade para sua conclusão, contribuem para que pormenores importantes na fase de projeto e execução, sejam ignorados ou não sejam tratados com a devida atenção, e conseqüentemente isto pode acarretar na ocorrência de patologias nas estruturas, demandando numa intervenção para reforço da fundação

Um dos meios empregados para realizar o reforço de fundação, acontece através da aplicação de estacas prensadas, segmentadas, denominada como estacas Mega que, quando empregadas, aumentam instantaneamente a segurança da obra (GOTLIEB, 1998). Além da segurança obtida, a utilização deste método, quando aplicado principalmente em obras de pequeno porte, resulta em vantagens que o torna viável quando comparado a outros métodos.

Sabendo que a aplicabilidade de cada técnica é relacionada às condições da estrutura e do solo, o conhecimento abrangente das diversas técnicas existentes que possibilitam o reforço de fundações é de fundamental importância para que a adoção de um destes, seja realizada de forma a garantir a eficiência da estrutura após a intervenção.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como principal objetivo a análise da técnica de reforço de fundação superficial em uma residência no município de Arcos/MG, quanto aos procedimentos e vantagens do seu emprego.

2.2 Objetivos específicos

Este trabalho teve como objetivos específicos:

- Acompanhamento e avaliação da técnica de reforço utilizada no caso estudado;
- Analisar o reforço realizado no estudo de caso e realizar comparativo com outros métodos destinados ao reforço de fundações.

3 JUSTIFICATIVA

Devido a fatores que englobam custos e necessidade de rapidez na execução dos serviços, pode-se verificar que em muitos casos, os estudos referentes às fundações a serem executadas e ao terreno onde será realizada a edificação, são ignorados. Em consequência disso, verifica-se em algumas obras a ocorrência de patologias nas estruturas devido ao mau comportamento das fundações, necessitando de reforços para melhoria do suporte de carga.

Dentre as diferentes técnicas que podem ser empregadas pra solucionar estas deficiências, o emprego de estacas Mega proporciona benefícios que viabilizam a sua utilização, principalmente em obras de menores dimensões, tendo em vista a economia e a simplicidade de execução.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 FUNDAÇÕES

Como definição, tem-se a fundação como a estrutura com finalidade de absorver as solicitações de carga a ela aplicada e assim transferi-las ao solo. Dentre os diversos tipos de fundações existentes, pode-se classifica-las em dois grandes grupos: fundações profundas (indiretas) e as fundações superficiais (rasas ou diretas). (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2010).

4.1.1 Fundações profundas

Este tipo de fundação, onde estão incluídas as estacas e os tubulões, atua transmitindo o carregamento ao terreno através da sua base, pela superfície lateral ou também pela combinação de ambas, sabendo que tanto a ponta quanto a base devem apoiar-se em uma profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e também obedecendo o mínimo de 3 m. (ABNT, 2010).

Como em alguns casos, as características do solo superficial de um terreno não apresentam a capacidade necessária para oferecer um suporte para a carga gerada por uma estrutura, faz-se então a escolha pela utilização de fundações profundas, encontrando um terreno propício para a execução e garantindo o melhor desempenho para a fundação.

Classificando-as, fundações profundas podem ser moldadas in loco, por exemplo: brocas, estacas Strauss, estaca hélice contínua. E também existem as fundações pré-moldadas, como estacas Mega e estacas de aço. (REBELLO, 2008).

4.1.1.1 Brocas

Este tipo de fundação profunda é executado de forma manual sempre acima do lençol freático, utilizando-se uma ferramenta chamada trado rotativo com diâmetro entre 15 e 25 cm, e sua execução pode ser adotada para cargas que variam de 50 a 100 kN. Pelo fato de ser realizado manualmente, a profundidade alcançada é limitada, sendo em torno de 3 m. Em geral, o preenchimento do corpo da broca se dá apenas

com concreto, colocando-se uma armação adicional como espera, para posterior ligação com a superestrutura. (ALONSO, 2010).

4.1.1.2 Estacas

São fundações realizadas mecanicamente, podendo ser moldadas in loco ou pré-moldadas, usando, dependendo do tipo de estacas, de elementos como: bate-estacas, hastes metálicas rotativas e tubos rotativos. (VELLOSO; LOPES, 2010).

Devido à necessidade, em alguns casos, do uso de maquinários consideravelmente de grande porte, nota-se que a aplicação deste tipo de fundações requer uma disponibilidade de uma área e terreno que atenda as condições para a sua execução, e também um cuidado maior quanto à preservação de construções vizinhas, quando da existência.

Segundo Falconi, Filho e Fígaro (1998), este tipo de fundação é dividido em dois grupos:

- Estaca cravadas: neste caso não é necessário a retirada do solo, pois as estacas são cravadas diretamente no solo, através de percussão mecânica (FIG. 1).

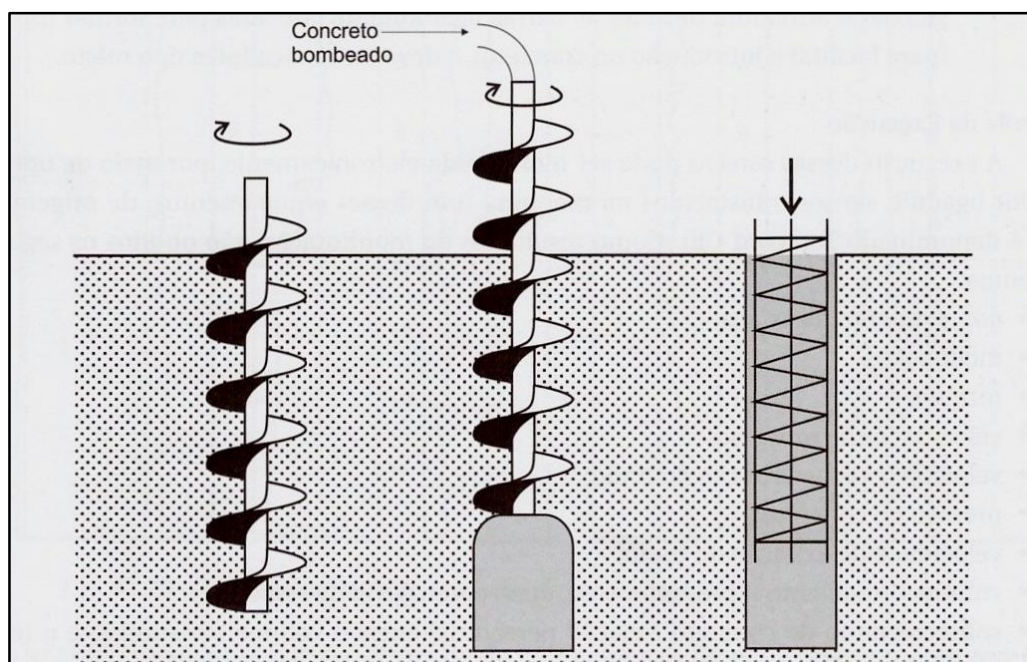
Figura 1 - Estaca cravada à percussão



Fonte: www.serki.com.br

- Estacas escavadas: este tipo de estaca é executado realizando-se primeiramente a retirada do solo, que pode ser feita de forma manual (trados) ou também mecanicamente (sondas e hélices contínuas). Após esta etapa, é feita a concretagem, com inserção de armação quando necessário (FIG. 2).

Figura 2 - Estaca escavada: hélice contínua

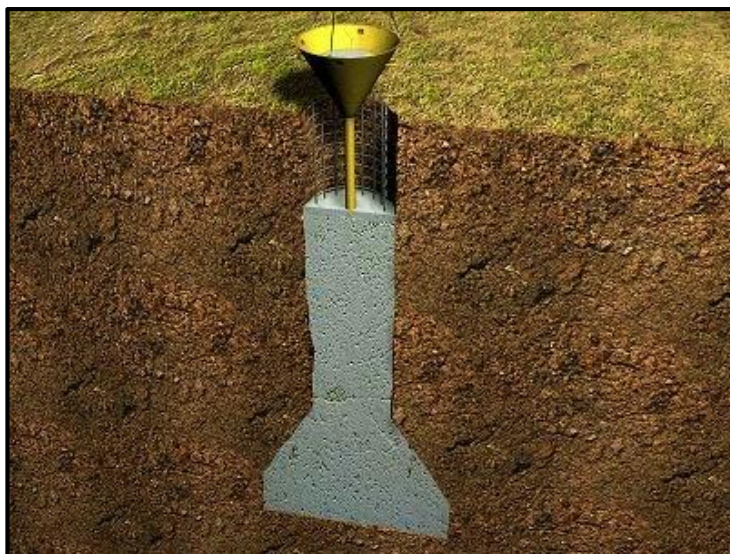


Fonte: Velloso; Lopes, 2010, p. 272.

4.1.1.3 Tubulões

Segundo Botelho e Marchetti (2011), os tubulões são executados à céu aberto ou sob ar comprimido, tanto de forma manual, como de forma mecânica. Esta fundação é constituída de um fuste, de diâmetro mínimo de 70 cm, e a base é alargada podendo ser em forma alongada (falsa elipse) ou circular (FIG. 3). Sua execução é indicada para obras de grande porte, onde gera-se grandes cargas na fundação e também quando existe um solo de boa resistência em uma profundidade menor.

Figura 3 - Tubulão



Fonte: www.brasil.geradordeprecos.info/

4.1.2 Fundações rasas

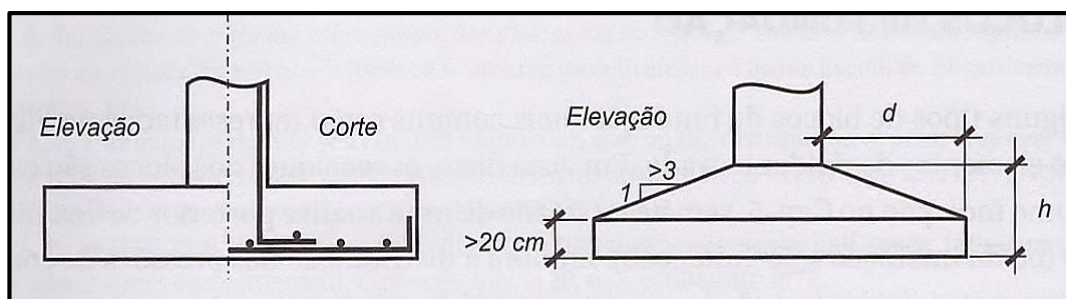
De acordo com a ABNT (2010), as fundações rasas são aquelas que transmitem as cargas da superestrutura ao solo pelas tensões distribuídas sob a base da mesma, sendo que para o seu projeto, deve-se determinar a tensão admissível ou a tensão resistente, de acordo com as considerações adotadas. Quanto a sua execução, deve ser feita de modo que a profundidade de assentamento no terreno seja inferior à duas vezes a sua menor dimensão.

Estão incluídos neste grupo de fundações: sapatas isoladas, sapatas corridas, sapatas associadas, blocos, radier. (ABNT, 2010).

4.1.2.1 Sapatas isoladas

Este tipo de fundação, segundo Velloso e Lopes (2011), pode apresentar altura constante ou variável (FIG. 4), e uma rigidez elevada, possuindo em planta formatos: retangulares, circulares ou de polígonos irregulares. A escolha deve ser feita observando os aspectos construtivos, as características do solo e também as dimensões do pilar.

Figura 4 - Sapatas isoladas



Fonte: Velloso; Lopes, 2011, p.132.

4.1.2.2 Sapatas corridas

As sapatas corridas, diferentemente das sapatas isoladas, têm a função de transferir para o terreno, cargas que estão distribuídas ao longo de uma determinada seção e suas dimensões também se diferem pois neste caso o comprimento da sapata é maior do que a largura. São exemplos deste tipo de carga, as paredes e também uma linha de pilares. (REBELLO, 2011).

Ainda segundo Rebello (2011), devido ao fato de o solo não apresentar uma homogeneidade e a sapata corrida ser uma estrutura fina e com uma rigidez pequena, ocorrendo um recalque diferencial no solo, a fundação sofrerá algumas deformações provocando trincas e até fissuras na estrutura suportada, que podem ser evitadas aumentando a rigidez da sapata através da sua construção num formato de "T" invertido.

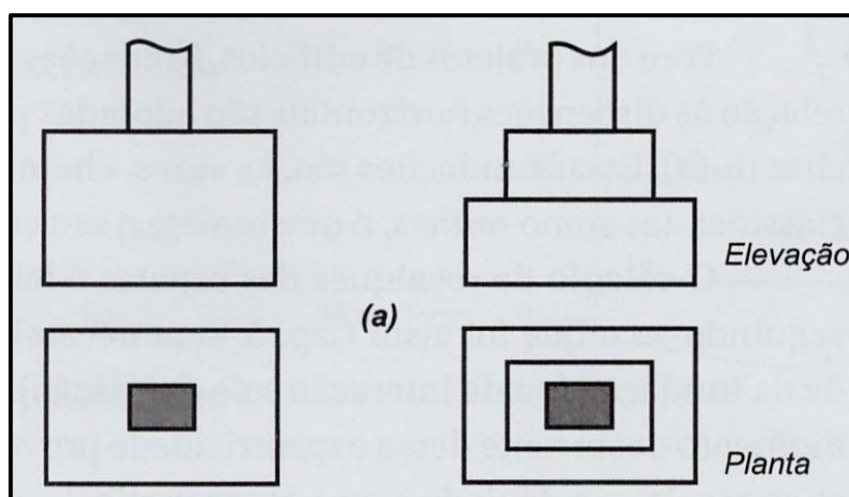
4.1.2.3 Sapatas associadas

De acordo com Teixeira e Godoy (1998), este tipo de sapata é utilizado quando as cargas estruturais forem altas em relação à tensão admissível do solo e também quando há pilares próximos entre si. Desta forma, para evitar que duas sapatas isoladas sejam construídas de forma que uma sobreponha a outra, cria-se então uma única sapata para ambos, de forma que o centro de gravidade da sapata e da carga dos pilares se coincidam, fazendo com que a distribuição de tensões ao solo aconteça uniformemente.

4.1.2.4 Blocos

A fundação com blocos atua de forma que o concreto da estrutura suporte os esforços de compressão e tração, dispensando assim o uso de armadura (VITÓRIO, 2003). Essa particularidade, faz com que sua altura seja dimensionada em função das tensões de tração a serem absorvidas, fazendo com que os blocos tenham uma altura elevada, se comparada a outras fundações rasas que dispõem de armaduras, como as sapatas. Podem ser projetados com formatos diferentes como escalonado, tronco de cone, pedestal e cúbico (FIG. 5).

Figura 5 - Bloco cúbico e bloco escalonado



Fonte: Velloso; Lopes, 2011, p. 131.

4.1.2.5 Radier

O radier é um grande bloco (laje maciça) de concreto, construído ao longo de toda extensão de uma construção, suportando todas as cargas existentes e transferindo-as ao terreno.

Executado em concreto armado, a fundação em radier, além de resistir aos esforços de compressão também deve resistir aos momentos gerados pelos pilares que apresentam diferentes carregamentos. Quando da existência de pressões do lençol freático, deve-se usar de armadura negativa na sua construção. (ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2003, p. 9).

4.2 Fundações sobre aterros

As fundações executadas neste tipo de terreno representam uma grande probabilidade de apresentarem problemas futuros, devido às características únicas que possuem este solo. (MILITITSKY; SCHNAID, 2008).

Ainda de acordo com os autores, os recalques das fundações realizadas sobre aterro, apresentam três principais causas:

- Deformação do corpo do aterro devido ao peso próprio;
- Deformação do solo natural abaixo do aterro, como consequência do acréscimo de tensões;
- Atividades bioquímicas decorrentes da degradação de matéria orgânica, em caso de aterros localizado sobre lixões ou aterros sanitários desativados.

4.3 Reforço de fundações

O reforço de fundações é uma medida adotada para intervir no sistema solo-fundação-estrutura, quando este já não está desempenhando de forma adequada, o suporte das cargas a ele atuante. Geralmente é ocasionado por:

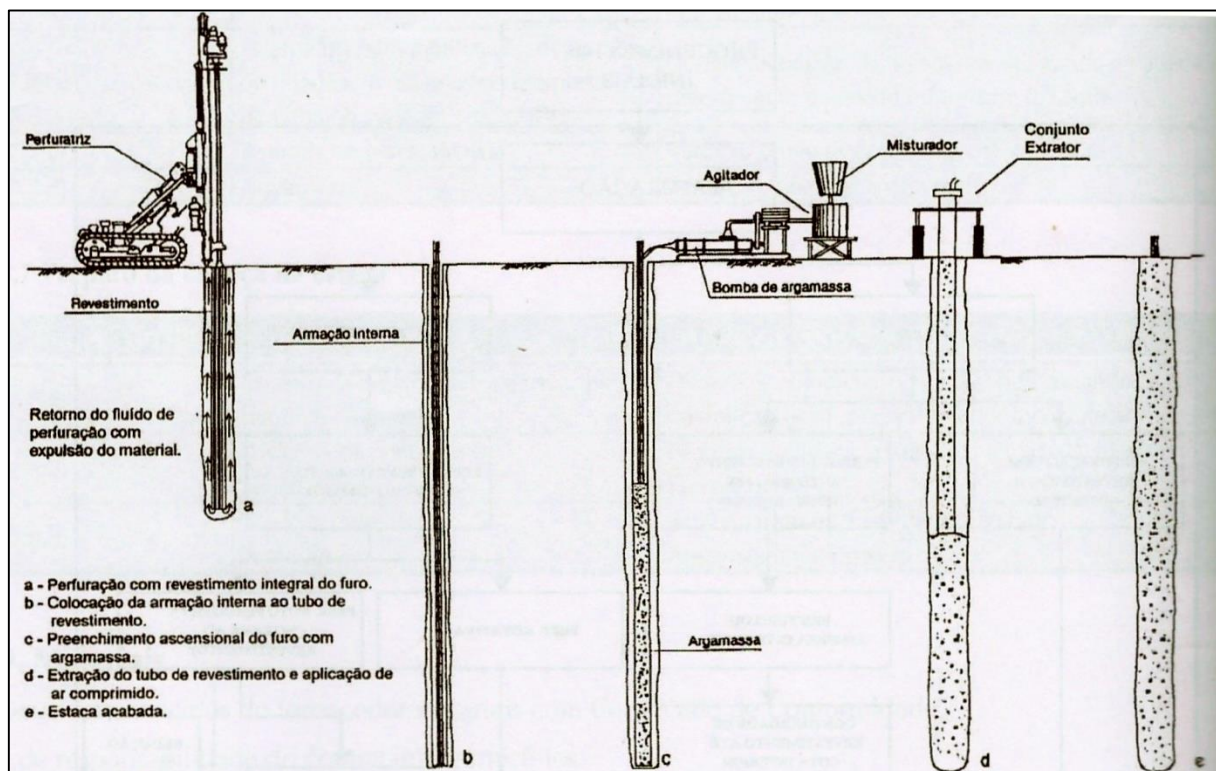
- Ausência ou má interpretação de investigações geotécnicas;
- Avaliação erradas sobre os esforços provenientes da estrutura;
- Erros de cálculos ou de execução;
- Influências externas de construções vizinhas, enchentes e escavações;
- Modificação do carregamento devido a mudança de utilização da estrutura;
- Acréscimo de área construída, aumentando assim a carga suportada.

Estes reforços podem ser permanentes, caracterizado por uma intervenção definitiva, devido ao problema apresentado pela fundação. Também podem ser provisórios, que são aqueles reforços que auxiliam na execução do reforço permanente. (GOTLIEB, 1998, p. 471 - 482).

4.3.1 Estaca raiz

Segundo ABEF (2012), executa-se esta estaca com um tubo rotativo, que possui na base, uma sapata de perfuração com diâmetro pouco maior que o tubo. A perfuração acontece juntamente com a circulação de água, que lava o solo presente no tubo. Atingindo a cota determinada no projeto, faz-se a instalação da armação, e posteriormente o preenchimento com argamassa de cimento e areia através de um tubo de injeção (FIG. 6). No caso de reforço de fundações a realização deste método pode ser feita tanto de forma vertical, como também de forma inclinada em relação à estrutura.

Figura 6 - Execução de estaca raiz



Fonte: ABEF, 2012, p. 188.

Os equipamentos utilizados nesta execução são:

- Perfuratriz rotativa hidráulica, mecânica ou a ar comprimido, montada sobre estruturas metálicas, dotadas ou não de esteiras para deslocamento;
- Conjunto misturador de argamassa, com motor elétrico ou à explosão;
- Bomba de injeção de argamassa, com motor elétrico ou a explosão;

- Compressor de ar, eventualmente utilizado;
- Bomba d'água, para limpeza dos detritos da perfuração do interior do tubo de revestimento;
- Conjunto extrator, dotado de macaco e conjunto de acionamento hidráulico, para extrair o tubo de revestimento do furo, após preenchido com argamassa;
- Reservatórios para acumulação de água, com capacidade para perfuração contínua de pelo menos uma estaca;
- Conjunto gerador, caso não haja energia disponível.

Os acessórios necessários são: tubos de revestimento, sapata de perfuração, cabeça de revestimento, mangotes de água e de injeção, mangueiras de água e de injeção, mangueiras de ar comprimido e sistema para lavagem. Eventualmente pode ser preciso usar broca de três asas ou tricône, e haste para tricône.

Quando há trechos do solo com a presença de rochas, tanto na passagem de matacões ou no embutimento no topo rochoso, a perfuração é realizada internamente no tubo de revestimento, provocando, portanto, uma redução no diâmetro neste trecho. Nestes casos os equipamentos usados são os mesmos apenas com o acréscimo do martelo de superfície e do compressor de ar. (ABEF, 2012).

4.3.2 Microestacas

As microestacas são estacas injetadas, assim como a estaca raiz, possuindo processo executivo semelhante, onde se faz a marcação ou implantação, perfuração, colocação da armadura, injeção e ligação à estrutura, e podendo ser realizado de forma vertical e inclinada. Esta cravação também pode ser feita com o auxílio de um pequeno bate-estaca (FIG. 7). Com a utilização deste bate-estaca, este método pode ser adotado em locais com pé direito baixo e com acesso limitado. Após a execução de todo o processo da microestaca, ela apresenta diâmetro finalizado que pode atingir até 15 cm. (WOLNEY, 2013).

Figura 7 - Micro bate-estacas



Fonte: Wolney, 2013, p. 28.

Estas estacas, segundo Rebello (2011) possuem características de resistência à tração igual à compressão, condicionando seu uso como tirantes. Desta forma, estes elementos também são indicados para execução de estabilização de taludes e também na construção de muros de arrimo.

Como além de se utilizar um bate-estacas para a execução das microestacas, também se tem a possibilidade do uso de um equipamento de roto-perfuração, semelhante ao do processo de uma estaca raiz, deve-se observar alguns aspectos importantes quanto a escolha deste método de reforço de fundação em uma obra.

As vantagens deste método são bem relevantes, e podem ser observadas quanto: aos equipamentos que apresentam médio porte, a possibilidade de execução em espaços de difícil acesso, baixa ocorrência de vibrações, agilidade e facilidade para realização do trabalho e também na mínima perturbação ao ambiente. Porém, de acordo com Machado ([2012?], p. 64), alguns detalhes devem ser considerados, pois estes, considerando-se algumas obras, podem ser pontos negativos deste método, como a necessidade de empresas que possuam equipamentos e mão de obra especializada e treinada, e a elevada esbelteza quando aplicado em solos com zonas ocas ou com presença de vazios.

4.3.3 Estacas Mega

No estudo de caso realizado para a confecção deste trabalho, o método adotado para a reabilitação das fundações, foi a utilização de estacas Mega, que consiste em um método para reforço de fundações em obras onde se verifica a ocorrência de desaprumo da estrutura devido a recalques diferenciais.

Como qualquer outra fundação, o uso de estacas Mega como reforço da fundação já existente, requer que haja um conhecimento quanto as características geológicas, e para isso é recomendado a realização de sondagens para caracterizar o perfil do terreno no local e evidenciar as camadas mais resistentes, que possibilite que as estacas tenham o desempenho esperado.

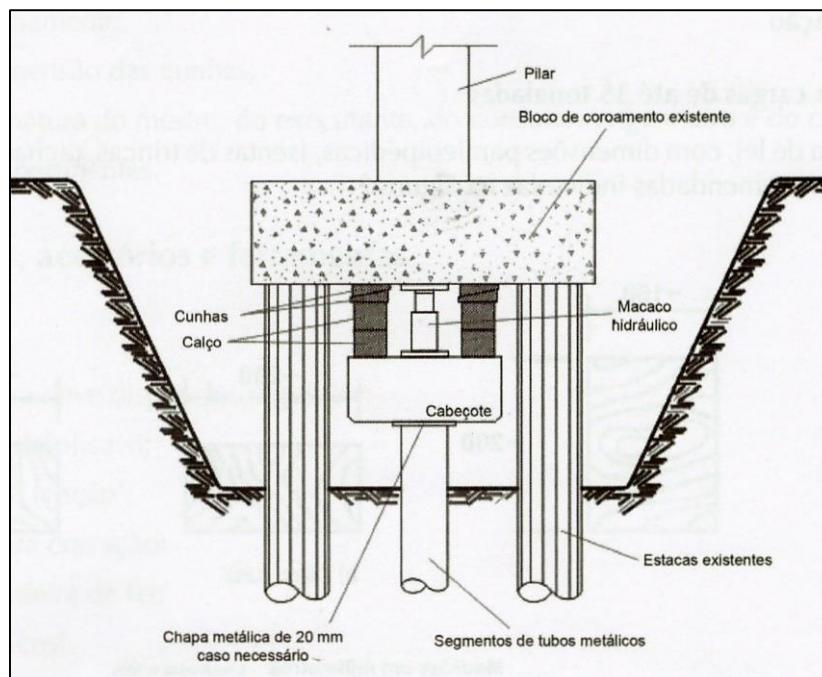
A localização dos pontos onde serão realizados os reforços, é a primeira etapa a ser feita. Assim, deve-se analisar a estrutura da obra para o conhecimento quanto aos esforços que são encontrados nos pontos onde as estacas serão aplicadas, obtendo informações necessárias para a escolha do macaco hidráulico a ser utilizado, considerando a capacidade de carga. (DONADON, 2009).

Após esta etapa é feito a escavação de uma vala com dimensões mínimas de 1,00x1,50 m e com profundidade que ofereça as condições para o emprego dos equipamentos e da equipe que realizará o trabalho.

De acordo com Gotlieb (1998), esta técnica de reforço de fundações, que também é denominada como estacas prensadas, utiliza-se de pequenos elementos de estacas de concreto ou estacas metálicas, com dimensões entre 0,5 a 1 m, que são cravados no solo com o auxílio de um macaco hidráulico, que deve ser escolhido de acordo com tipo de dimensão da estaca, característica do solo, carga específica do projeto e peculiaridade do local. Este macaco hidráulico reage contra a estrutura ou fundação já existente (FIG. 8).

As estacas de concreto aplicadas neste processo, são geralmente vazadas, e ao terminar o processo de instalação das mesmas, insere-se barras de aço dentro destes espaços ou até mesmo faz-se a concretagem, proporcionado assim, a continuidade entre os segmentos. (GOTLIEB, 1998, p. 471 - 482).

Figura 8 - Reação contra estrutura existente



Fonte: ABEF, 2012, p. 252

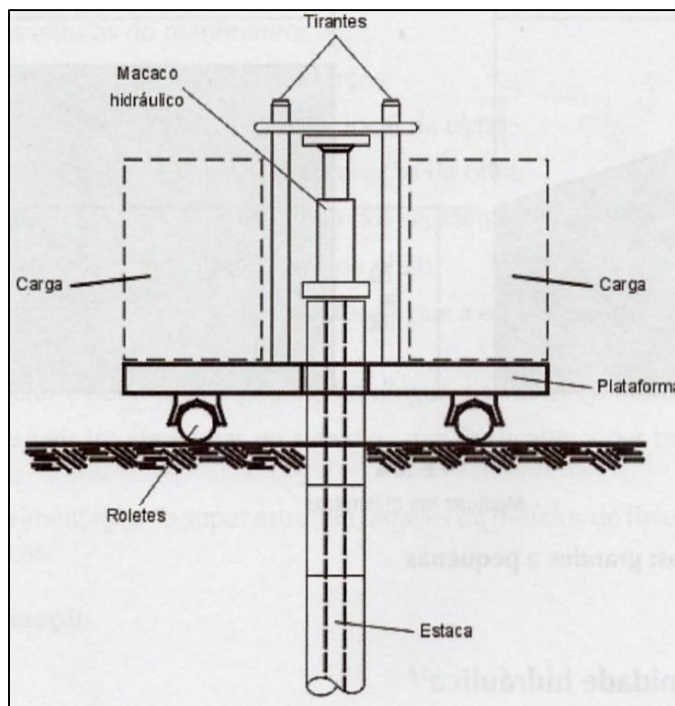
A execução deste tipo de reforço de fundação, apresenta algumas vantagens, que podem ser observadas como:

- A possibilidade do seu emprego em áreas de difícil acesso ou em terrenos irregulares;
- Facilidade de manuseio dos materiais e equipamentos necessários;
- Necessidade de número pequeno de profissionais para execução do trabalho;
- Prosseguimento da execução da obra durante a realização do reforço, no caso de construções em andamento;
- Não acarreta vibrações ao solo, com reduzido risco de instabilidade.

Este método, que é utilizado como reforço de fundações pois usa a estrutura já existente para a reação durante a cravação, também é usado raramente como fundação original. Nestes casos, executa-se uma fundação direta, considerando a capacidade de o solo suportar as cargas da edificação, e em seguida crava-se as estacas Mega. (ABEF, 2012).

No caso da não existência de uma estrutura para que ocorra a reação durante a cravação da estaca, o que é o caso da utilização das estacas Mega como fundação, faz-se o uso de uma cargueira de cravação (FIG. 9).

Figura 9 - Cargueira para cravação



Fonte: ABEF, 2012, p. 253

4.3.4 Enrijecimento da estrutura

Em casos onde ocorrem recalques diferenciais, um método para realizar a minimização deste problema pode ser através do enrijecimento da estrutura. Este processo é feito construindo-se vigas de rigidez que fazem a interligação entre as fundações existentes, ou também com a introdução de algumas peças estruturais que conduzem ao travamento da estrutura. (GOTLIEB, 1998, p. 471 - 482).

4.3.5 Estacas convencionais

Existe a possibilidade do emprego das estacas convencionais com utilização de bate-estacas para a realização de reforços, porém este método requer que o local possua um pé direito em torno de 5 m, que possibilite a instalação do bate-estacas, o que geralmente não é encontrado. (GOTLIEB, 1998, p. 471 - 482)

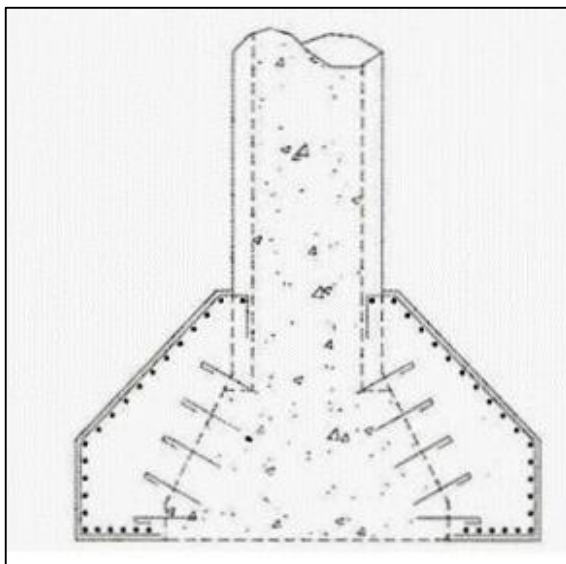
4.3.6 Aumento da base da fundação

O aumento da base de uma fundação é utilizado como reforço, quando o terreno o qual a fundação apoia-se, não oferece características suficientes de resistência para garantir que as cargas impostas a ele sejam suportadas.

Este método de reforço é realizado em fundações diretas (sapatas), mas também pode ser utilizado em tubulões, pois ambos fazem a transferência de carga para o solo através da superfície horizontal de contato entre a fundação e o solo. (GOTLIEB, 1998, p. 471 - 482).

Segundo Gotlieb (1998), este reforço constitui-se da ampliação da seção em planta da sapata ou da base do tubulão, onde são inseridas ferragens na fundação existente, e depois de apicoar a superfície, faz-se a concretagem especial garantindo a ligação entre o concreto já existente e o novo (FIG. 10). Este procedimento é feito quando o terreno onde a fundação está apoiada, já não propicia uma resistência suficiente para suportar a carga sobre ele atuante.

Figura 10 - Aumento da base de tubulão



Fonte: Eddy (2013).

4.4 Reforço do solo

O reforço do solo consiste na utilização de técnicas que fazem com que as características de resistência e de compressibilidade do solo tenham uma melhoria, contribuindo diretamente para o comportamento das fundações que estão construídas sobre este solo. (GOTLIEB, 1998, p. 471 - 482).

4.4.1 Jet Grouting

De acordo com Carreto¹ (1999 apud GONÇALVES, 2009, p. 17-20), esta técnica é realizada para se obter a estabilização de solos sem a necessidade de uma escavação feita previamente, pois a utilização dos jatos horizontais é feita diretamente no interior do solo. Estes jatos horizontais atuam com uma velocidade em torno de 250 m/s e a elevada energia cinética gerada, é usada para desagregar a estrutura do terreno natural.

Estas partículas do solo que desagregaram do terreno se misturam com a calda de cimento que é injetada pelos jatos, e conseqüentemente esta mistura do solo com a calda de cimento gera um corpo com boas características de resistência, estabilidade, e também com permeabilidade menor.

O processo desta técnica se resume em três etapas:

- Corte: onde um ou mais jatos horizontais de elevada velocidade fazem a quebra da estrutura inicial do solo;
- Mistura e substituição parcial: parte dos fragmentos do solo são substituídos e outra parte é misturado com a calda de cimento;
- Cimentação: ocorre a aglutinação das partículas do solo devido ao endurecimento da calda, tornando-se um corpo consolidado.

¹ CARRETO, J. M. R. (1999). **Jet grouting**: A Problemática do Dimensionamento e Controlo da Qualidade. Dissertação (Mestrado em Mecânica dos solos) - Universidade Nacional de Lisboa Mecânica dos Solos, FCT/UNL. Lisboa, 1999.

4.4.2 Geossintéticos

Os geossintéticos são produtos poliméricos, que podem ser naturais ou sintéticos, industrializados para a sua aplicação em obras geotécnicas. Quando empregados no solo, atuam tendo como principais funções: proteção, filtração, reforço, drenagem, impermeabilização e controle de erosão superficial. (ABNT, 2003 apud FERNANDES, 2014, p. 6)².

Dentre estas várias funções exercidas pelos geossintéticos, eles podem ser nomeados e classificados como, por exemplo: geobarra, geocélula, geocompostos, geoespaçadores, geoexpandido, geoforma, geogrelha, geomanta.

4.4.3 Solo armado

Este método acontece através do emprego de materiais com resistência à tração elevada, fazendo com que sejam restringidas as deformações do maciço devido ao peso próprio. Nesta técnica, a transferência de carga acontece pelo atrito entre o solo e o material utilizado, que em geral são fitas metálicas (FIG. 11). (ABRAMENTO; KOSHIMA; ZIRLIS, 1998, p. 641 - 688).

Figura 11 - Solo armado com elementos metálicos



Fonte: www.terraarmada.com.br

² ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12553**: Geossintéticos - Terminologia. Rio de Janeiro, 2003.

5 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foi realizado o estudo de caso em uma residência localizada no município de Arcos/MG (FIG. 12). Esta obra está situada em um terreno que possui área de 900 m², sendo que a área total construída é de 482 m², sendo edificada com de 2 pavimentos.

Figura 12 - Obra (objeto de estudo)



Fonte: O autor (2015).

Através de bibliografia sobre reforço de fundações, materiais fornecidos por empresas atuantes na área de fundação e também a partir de outros trabalhos já realizados, foi desenvolvido o referencial bibliográfico referente às técnicas de reforço de fundação, apresentando os respectivos métodos de execução e onde se faz sua aplicação, e conseqüentemente suas vantagens e desvantagens.

A metodologia deste trabalho também consiste na caracterização do tipo de solo natural, como também do solo utilizado no aterro da obra. Para esta caracterização dos solos realizou-se ensaios laboratoriais para análise granulométrica, como também ensaios para obtenção dos limites de liquidez e de plasticidade.

Realizou-se o levantamento da documentação, projetos arquitetônicos e estruturais e relatórios técnicos da residência, cedidos pela empresa executora da

obra, para o estudo do tipo de fundação executada inicialmente e também para análise de dados relevantes referentes ao fato ocorrido.

Para o estudo da intervenção realizada na fundação, foi feito o acompanhamento do processo de recuperação desta estrutura, com utilização de registros fotográficos, além da obtenção de informações técnicas relacionadas ao método empregado, com os profissionais que participaram durante todo o trabalho. Com este acompanhamento e também com os conceitos teóricos apresentados, fez-se a avaliação do método utilizado para reabilitação da fundação e também análise comparativa de outras possíveis técnicas existentes para solução do problema.

5.1 Materiais para ensaio de granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade

De acordo com a ABNT (1984), os materiais necessários para o ensaio granulométrico por peneiramento, ensaio de limite de liquidez e plasticidade, são:

- Estufa que mantenha temperatura entre 105 °C e 110 °C;
- Balança que pese nominalmente 1,5 kg, com resolução de 0,1 g, e balança que pese nominalmente 200 g com resolução de 0,01 g;
- Recipientes que evitem perda de umidade da amostra;
- Peneiras de 50, 38, 35, 19, 9,5, 4,8, 2,0, 1,2, 0,6, 0,42, 0,25, 0,15 e 0,075 mm;
- Agitador mecânico de peneiras com dispositivo para fixação de até seis peneiras, inclusive tampa e fundo;
- Escova com cerdas metálicas;
- Almofariz e mão de gral;
- Espátulas de lâmina flexível com 80x20 mm;
- Repartidor de amostras;
- Bisnaga;
- Bandejas;
- Cápsula de porcelana com diâmetro de 120 mm;
- Aparelho de Casagrande e Cinzéis;
- Gabarito cilíndrico com 3 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento;
- Placa de vidro esmerilhada.

5.1.1 Ensaio de análise granulométrica

Inicialmente para execução do ensaio de granulometria, foram realizados os procedimentos para o preparo prévio do material, determinando a quantidade de amostra a ser utilizada no ensaio de análise granulométrica. (ABNT, 1986).

Segundo a ABNT (1984), com a amostra tomada, faz-se o destorroamento e em seguida é passada na peneira de 2 mm, sendo que o material retido é lavado e depois levado para estufa a uma temperatura de 105 °C / 110 °C, e após a secagem faz o peneiramento deste material utilizando as peneiras de 50, 38, 25, 19, 9,5 e 4,8 mm. Da mesma forma, o material passante na peneira de 2 mm é lavado e depois levado à estufa para secagem, e após este processo a amostra passa pelo processo de peneiramento nas peneiras de 1,2, 0,6, 0,42, 0,25, 0,15 e 0,075 mm.

Após o peneiramento e aferindo a massa retida em cada peneira, a distribuição granulométrica da amostra é apresentada através de um gráfico, dispondo no eixo das abscissas o diâmetro dos grãos, e no eixo das ordenadas a porcentagem de material passante em cada peneira (ABNT, 1984).

5.1.2 Ensaio para determinação do limite de liquidez (LL)

O limite de liquidez pode ser definido como o menor teor de umidade em que uma amostra de solo ainda se comporta como elemento plástico. (ALMEIDA, 2005).

A amostra a ser utilizada para a realização do ensaio é obtida através do processo com secagem prévia, onde é tomada uma fração do material para a realização dos procedimentos descritos pela ABNT (1986).

Após a homogeneização, obtendo uma característica plástica, parte desta amostra é levada para o aparelho de Casagrande, moldando-a na concha com espessura de 10 mm e depois faz-se uma ranhura na parte central do molde. Em seguida, realiza-se golpes da concha contra a base do aparelho deixando-a cair em queda livre e anotando o número de golpes necessários para unir as bordas inferiores da ranhura. Parte do material que se uniu é transferido para recipientes para determinação da umidade, e o restante do material é levado para nova homogeneização por 3 minutos. (ABNT, 1984).

O procedimento é realizado obtendo-se cinco pontos de ensaio que devem estar no intervalo entre 15 e 35 golpes. Com os resultados do ensaio, constrói-se um

gráfico dispondo no eixo das abscissas o número de golpes, e no eixo das ordenadas os teores de umidade correspondente, ajustando uma reta pelos pontos obtidos e nesta reta obter o valor equivalente a 25 golpes, sabendo que se uma amostra não atingir fechamento com mais de 25 golpes ou se não for possível fazer a abertura, esta amostra é considerada como não apresentando limite de liquidez. (ABNT, 1984).

5.1.3 Ensaio para determinação dos limites de plasticidade (LP)

O limite de plasticidade, como o limite de liquidez, também foi convencionado por Atterberg, definindo que uma amostra de solo está em seu estado plástico, quando pode se moldar um cilindro de 10 cm de comprimento e 3 mm de diâmetro com esta amostra, sendo necessário obter no mínimo três valores de umidade, tendo como resultado final, a média entre estes valores obtidos (ALMEIDA, 2005).

Após obter a amostra do ensaio conforme ABNT (1986), o ensaio é realizado com a homogeneização da mesma até que apresente uma consistência plástica. Logo após, retira-se cerca de 10 g desta amostra dando um formato de uma bola, e em seguida rola-se a mesma sobre a placa de vidro, pressionando com a palma da mão, dando um formato cilíndrico na amostra, sendo que este cilindro se fragmentando com 3 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento, é transferido para recipientes para determinação da umidade (ABNT, 1984).

5.2 Características do terreno da obra (objeto de estudo)

O conhecimento quanto ao terreno onde será executada uma edificação é um fator essencial para elaboração de um projeto de fundações, proporcionando a adoção da técnica mais adequada a ser realizada e a mais econômica. (CAPUTO, 2012). Como o solo é um aglomerado de partículas e comumente não apresenta uma homogeneidade, é comum as variações nas características de um solo, mesmo em pontos pouco distantes entre si, o que acarreta em alguns cuidados que devem ser tomados ou que seja feita uma alteração de projeto.

Conforme a ABNT (2010), alguns itens devem ser considerados, numa investigação preliminar, para o bom desempenho de uma fundação, que incluem: visita ao local, feições topográficas, presença de aterro ou solo contaminado,

condições das construções vizinhas, fundações executadas nas proximidades, presença de minas d'água ou matacões.

Na obra, objeto de estudo deste trabalho, o terreno possui uma área de 900 m² caracterizado por uma superfície irregular, onde a parte ao fundo e à direita, apresenta uma diferença de nível de 7 metros, em relação à parte frontal do terreno.

Com esta composição do terreno, parte da edificação foi construída sobre o solo natural e outra parte sobre o corpo do aterro realizado. Nesta situação, a adoção de um mesmo tipo de fundação para toda a obra pode não ser a melhor opção, pois a parte da estrutura sobre corte do terreno pode ser atendida por uma fundação superficial, porém na parte da edificação sobre o aterro, esta mesma opção pode não ser eficiente, necessitando de uma fundação profunda para apoio em um solo resistente. (MARCELLI, 2007).

5.3 Aterro da obra

A realização de obras em terrenos irregulares, é uma prática comum na engenharia, onde é necessário a realização de cortes em determinada parte do terreno, ou a construção de aterros gerando uma regularização do terreno e também facilitando o trabalho e o uso de equipamentos.

No caso da construção de aterros, alguns aspectos devem ser analisados, pois um aterro após executado, deve apresentar as características necessárias para um desempenho satisfatório, sendo fundamental observar a seleção do solo, a sua deposição no local e também os métodos para a compactação. (CRAIG, 2012).

Haja vista a necessidade de se compactar o solo, diminuindo o número de vazios, para que o aterro ofereça as condições ideais para o uso, é essencial que se atente a algumas etapas importantes para se obter esta qualidade do aterro.

- Escolha da área de empréstimo, onde deve se observar o volume de material disponível, os tipos de solo presente e os teores de umidade;
- Acerto da umidade;
- A escavação e o transporte, onde é preciso atentar quanto à drenagem do solo e as espessuras das camadas que serão depositadas para realizar a compactação;

- Compactação do solo, que deve ser executada considerando o tipo de solo empregado, as espessuras das camadas e o número de passadas que o equipamento utilizado deve realizar.

Esta última atividade, de acordo com Ricardo e Catalani (2007), juntamente com a camada de suporte do aterro, são os dois principais problemas em relação à estabilidade do mesmo. Ainda que a compactação fosse realizada de forma adequada, se o aterro estivesse sobre uma camada que não oferecesse bom suporte, isso resultaria em eventuais recalques.

Conforme informações coletadas, na obra em estudo neste trabalho, a execução do aterro não sucedeu conforme as especificações demonstradas anteriormente. O aterro foi construído com um volume aproximado de 1464 m³ em parte terreno, porém o solo utilizado não foi preparado da forma devida, e as compactações que devem ser feitas em camadas, também não foram realizadas.

Além da inexistência de uma compactação do solo, também pode-se observar no corpo do aterro, a presença de lixos e de outros materiais como galhos e troncos de árvores, o que caracteriza a não observação da qualidade da área de empréstimo do solo para construir o aterro (FIG. 13). Estes materiais podem prejudicar tanto numa eventual compactação, quanto na execução da fundação.

Figura 13 - Troncos de árvore no corpo do aterro



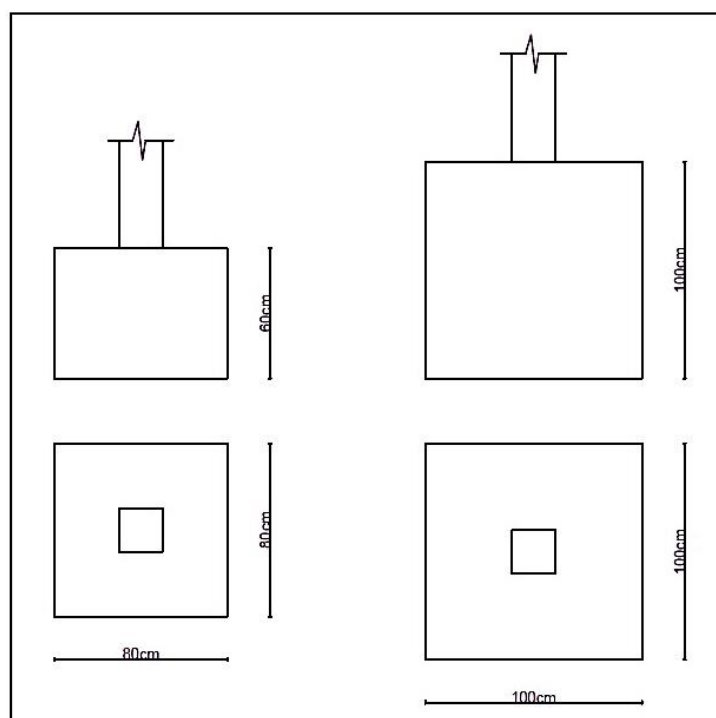
Fonte: O autor (2015).

5.4 Estrutura da obra

O projeto realizado para a transferência das cargas da estrutura ao solo, previu a execução de fundações rasas composta por blocos ao longo de toda a construção, como representado no APÊNDICE A. Assim, estes blocos absorvem as cargas da superestrutura, onde o esforço sobre a laje é distribuído para as vigas e posteriormente transferido aos pilares, e em seguida transferindo-as ao solo.

A FIG. 14, ilustra o detalhamento dos blocos de fundação que foram projetados para a obra (objeto de estudo). Com um número de 54 blocos, três destes blocos (B32, B38, B40) foram dimensionados de forma que sua base apresentava dimensões de lados iguais com medida de 80 cm, e altura com valor de 60 cm. Os demais blocos, com dimensões um pouco maiores, com a base de lados iguais de 100 cm, e a altura também de 100 cm.

Figura 14 - Detalhamento dos blocos



Fonte: O autor (2015).

Nota: Detalhamento feito a partir do projeto estrutural da obra.

5.5 Recalque da fundação e manifestações patológicas

Durante a construção da residência, foi constatado em determinado momento, danos na parte arquitetônica da obra com o surgimento de trincas e rachaduras em parte das alvenarias executadas e também a movimentação das mesmas, gerando em alguns pontos o desprendimento de tijolos que a constituíam. Posteriormente, esta ocorrência de trincas também pôde ser verificada em parte da estrutura, como em vigas e em pilares, onde em algumas localidades apresentou-se de forma bem graduada, expondo também parte da armadura da estrutura (FIG. 15).

Figura 15 - Patologias na estrutura



Fonte: O autor (2015).

Esta ocorrência em uma obra, onde apenas uma parte da edificação é acometida de patologias, pode ser explicado pela movimentação normal do solo que ocorre sob a fundação, necessitando de uma intervenção para controle do ocorrido. (GOTLIEB, 1998, p. 471 - 482).

Segundo Cintra, Aoki e Albiero (2011), os recalques são provenientes das deformações por diminuição de volume e/ou mudança de forma do maciço de solo. Sendo uma atividade natural, quando acontece de maneira uniforme em toda a construção, dificilmente provocará algum dano estrutural na obra, pois este fenômeno

deve ser considerado, porém os recalques diferenciais causam preocupação maior, podendo ocasionar danos numa edificação.

5.5.1 Análise dos danos e das causas

O que foi verificado na presente obra é que parte da fundação foi construída sobre aterro, e os blocos nesta localização não foram executado sobre uma camada de solo com as condições ideais para suporte da carga. Desta maneira, ocorreu um recalque diferencial, contribuindo para o surgimento dos problemas na estrutura.

Como todas as manifestações incomuns que podemos encontrar em uma construção, as causas podem ser diversas, portanto os danos ocorridos são um conjunto de fatores que se acumulam. No objeto de estudo, através do acompanhamento e informações coletadas, pôde-se avaliar que as possíveis causas que contribuíram para o surgimento das patologias foram:

- Qualidade do solo do aterro, que não foi selecionado para estudo das características e qualidade;
- Aterro executado de forma inadequada, sem realização de compactação em camadas, não oferecendo as condições necessárias para a execução da obra;
- Erro de projeto, onde foi dimensionado fundações superficiais englobando toda a obra;
- Execução da fundação, onde alguns blocos foram construídos sobre o aterro (profundidade inadequada), que não ofereceu suporte suficiente para a estrutura.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

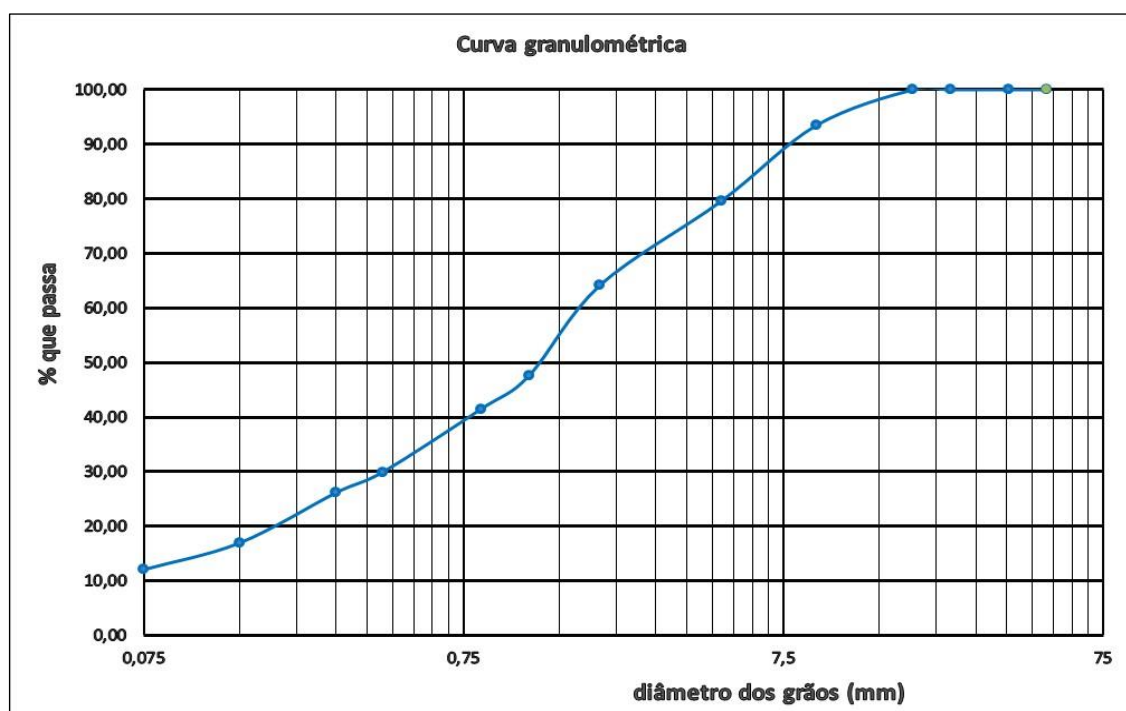
Baseando-se nos valores obtidos nos ensaios laboratoriais para avaliação das amostras do solo natural e do aterro, presentes na obra (objeto de estudo), construiu-se os gráficos de composição granulométrica e limite de liquidez, e obteve-se a porcentagem média referente ao limite de plasticidade de cada solo.

Com o surgimento dos danos à obra devido ao recalque diferencial, realizou-se os trabalhos necessários para a reabilitação da estrutura e reparo das patologias, e conforme o acompanhamento realizado, foram aqui descritos, os processos que constituíram as intervenções na estrutura. Também fez-se um comparativo entre métodos de reforço de fundação, para melhor demonstração de suas características e formas de aplicação.

6.1 Caracterização do solo natural

Através dos ensaios realizados em laboratório, obteve-se os valores do material passante nas peneiras e assim criou-se o gráfico, apresentando a distribuição granulométrica do solo presente na amostra (GRAF. 1).

Gráfico 1 - Gráfico da distribuição granulométrica do solo natural

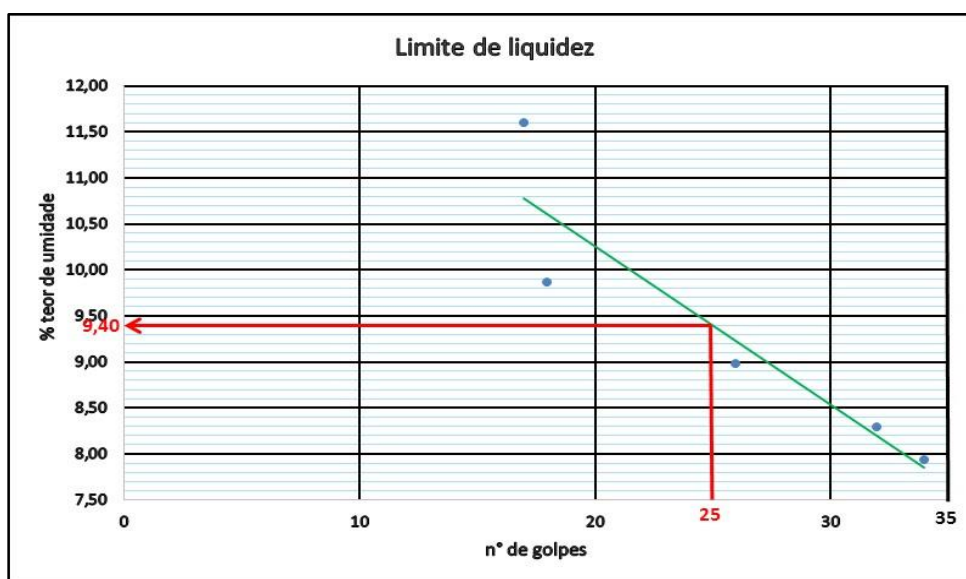


Fonte: O autor (2015).

A partir do gráfico, pôde-se classificar o solo, como pertencente ao subgrupo A-1-b, caracterizado como um material com presença principalmente de areia grossa com ou sem aglutinante de solo bem graduado. (BRASIL, 2006).

Como no ensaio granulométrico, o GRAF. 2 apresenta os resultados obtidos a partir dos ensaios de limite de liquidez, possibilitando identificar a porcentagem do teor de umidade correspondente ao número de 25 golpes. (ABNT, 1984).

Gráfico 2 - Gráfico do limite de liquidez do solo natural



Fonte: O autor (2015).

De acordo com o gráfico, observa-se que o valor de umidade correspondente a um número de 25 golpes é igual à 9,40%, adotando como valor, como indica a ABNT (1984), o valor inteiro mais próximo, que é $LL = 9\%$.

Obteve-se também, através de ensaios para determinação do limite de plasticidade, um valor médio de três valores, equivalente a $LP = 4\%$. Assim, com estes valores determinou-se o índice de plasticidade, através da expressão: $IP = LL - LP$.

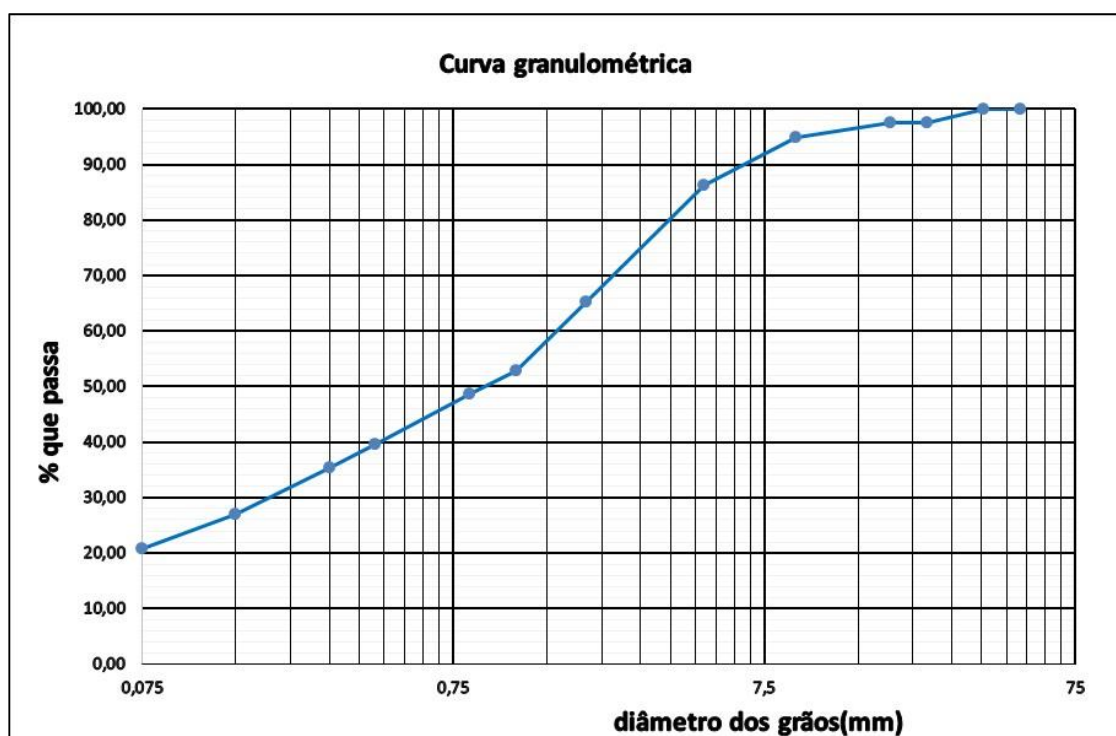
$$IP = 9 - 4 \Rightarrow IP = 5\%$$

Segundo CAPUTO (2012), a plasticidade é a maior ou menor capacidade que um solo apresenta para ser moldado com certas condições de umidade, sem ocorrer variação de volume. No ensaio realizado e através da expressão, chegou-se a um valor de $IP = 5\%$, caracterizando como um solo fracamente plástico.

6.2 Caracterização do solo do aterro

Da mesma forma como feito com a amostra de solo natural, através do ensaio granulométrico, elaborou-se o gráfico com a distribuição granulométrica referente a amostra do solo do aterro (GRAF. 3).

Gráfico 3 - Gráfico da distribuição granulométrica do solo do aterro

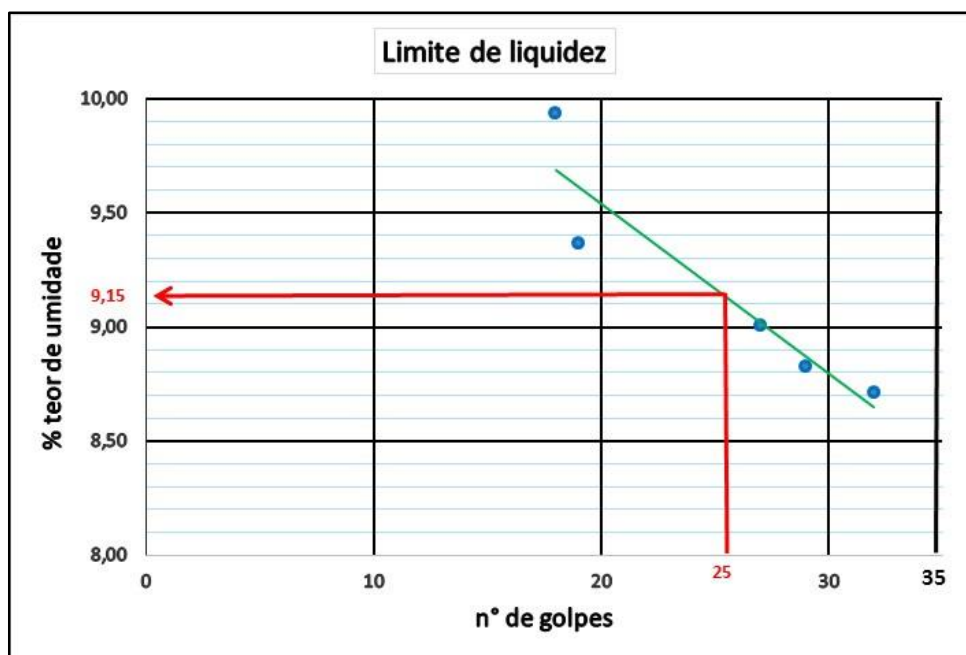


Fonte: O autor (2015).

A amostra de solo do aterro resultou em um gráfico onde, de acordo com as porcentagens passadas nas peneiras, é classificado como pertencente ao subgrupo A-2-4. Inclui-se neste grupo, solos passando na peneira de 0,075 mm com uma porcentagem máxima de 35%, e uma porção menor retida na peneira de 0,42 mm, apresentando características dos grupos A-4 ou A-5, abrangendo materiais como pedregulho e areia grossa, com teor de silte maior que o grupo A-1 e com índice de plasticidade superior a 6. Este grupo também possui areia fina com silte não plástico, apresentando valores maiores dos que são estabelecidos para o grupo A-3. (BRASIL, 2006).

O gráfico feito a partir dos ensaios realizados, apresenta a percentagem correspondente a um número de 25 golpes, caracterizando o limite de liquidez da amostra do solo do aterro (GRAF. 4).

Gráfico 4 - Gráfico do limite de liquidez do solo do aterro



Fonte: O autor (2015).

O teor da umidade equivalente ao número de 25 golpes, conforme o gráfico, é 9,15%, adotando o valor inteiro mais próximo $LL = 9\%$.

O limite de plasticidade para esta amostra foi obtido com um valor médio, equivalente a $LP = 2\%$. Com estes valores de LL e LP , o índice de plasticidade é igual:

$$IP = 9 - 2 \Rightarrow IP = 7\%$$

Com este valor encontrado na expressão, tem-se que esta amostra do solo caracteriza-se como um solo medianamente plástico.

6.2.1 Intervenção na obra

Como a evolução das patologias aconteceu de forma bem acentuada, foi necessário a adoção de algumas medidas para intervir neste processo. Em função disto, primeiramente foi feito a retirada de parte do volume do aterro que foi realizado

no início da obra, possibilitando assim uma visualização das condições que a fundação se encontrava (FIG. 16).

Figura 16 - Remoção do aterro



Fonte: O autor (2015).

Simultaneamente com a remoção do aterro, foi executada a retirada das alvenarias que estavam danificadas devido ao recalque ocorrido. Conforme mostra na FIG. 17, fez-se a aberturas destes vãos, seguido de um reforço provisório da estrutura, utilizando escoras de eucalipto.

Figura 17 - Reforço provisório



Fonte: O autor (2015).

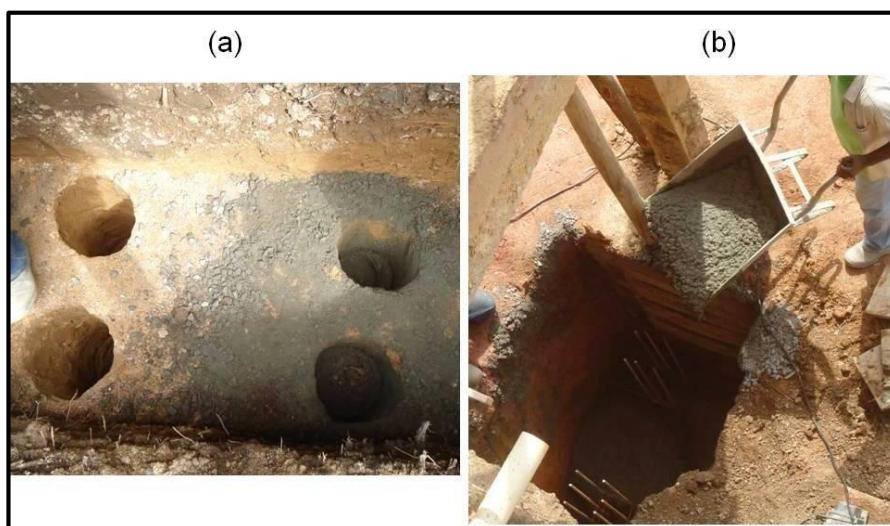
6.2.2 Nova estrutura

Os maiores danos estruturais e arquitetônicos ocorridos na edificação estavam compreendidos na área entre os blocos B1, B2, B3, B6 e B7. Neste local, o recalque apresentou o maior valor, sendo que através da medição do nível da estrutura, o bloco B3 teve um recalque de 18 cm e o bloco B7 um recalque de 4 cm, evidenciando a necessidade de uma reabilitação visando o nivelamento da estrutura.

Para esta etapa, a primeira medida a ser tomada nesta área mais atingida, foi a construção de uma nova estrutura de fundação, constituída de sapatas com dimensões de 1,30 x 0,80 x 0,30 cm apoiada sobre brocas e também na construção de pilares e vigas para um suporte maior à estrutura já existente.

Após a abertura das valas, as brocas foram feitas com um diâmetro de 25 cm, atingindo uma profundidade de 2,30 m em relação ao nível do terreno natural, onde se encontrou um solo mais resistente para apoio das mesmas (FIG. 18a). Com isso, o processo continuou com a construção das sapatas e com o posicionamento das esperas dos pilares a serem construídos, seguido da concretagem (FIG. 18b).

Figura 18 - Construção de brocas e sapatas



Fonte: O autor (2015).

Após a construção das sapatas, foram executas as novas vigas com dimensões de 45 x 30 cm, situadas entre os blocos B1 e B2, B2 e B3 e B7, e B6 e B7, aderindo aos pilares existentes. Da mesma forma, os pilares, que foram executados com dimensões de 25 x 25 cm, se aderiram às vigas, constituindo assim uma estrutura

homogênea, trabalhando em conjunto, sendo que, foi necessário que dois destes novos pilares, não fossem executados atingindo sua total altura, criando um vão de aproximadamente 1 m, para a utilização do macaco hidráulico (FIG. 19).

Figura 19 - Nova estrutura



Fonte: O autor (2015).

6.2.3 Reabilitação da estrutura

Com as intervenções realizadas, através da construção de uma nova fundação em uma cota do terreno com condições para suporte da carga, e também com as novas vigas e pilares, obteve-se uma estabilidade da parte da obra em questão, onde inicialmente evidenciou danos à estrutura devido a movimentação da mesma, com o deslocamento do solo.

Para o nivelamento da estrutura, na região do bloco B3, conforme se apresentava inicialmente antes do recalque ocorrido, foi utilizado um pistão com capacidade máxima de 25 t. Para o funcionamento do pistão hidráulico, este acoplou-se por meio de mangueiras de alta pressão, à uma bomba hidráulica com capacidade de 400 kgf/cm², onde dá início ao trabalho (FIG. 20).

Figura 20 - Pistão hidráulico e bomba hidráulica



Fonte: O autor (2015).

No espaço de 1 m, criado entre a estrutura nova e a já existente, foi posicionado o pistão já devidamente acoplado a moto bomba para efetuar o procedimento de nivelamento. O pistão apresentava um comprimento de 55 cm, antes de sua extensão, então para o seu apoio tanto no pilar tanto na viga da estrutura, foram utilizados como auxiliares do trabalho, cunhas metálicas e de madeira, e também um perfil metálico "I" de 50 cm de comprimento.

Este perfil metálico "I" utilizado, foi posicionado perpendicularmente sobre o pistão, ficando entre a viga e o equipamento, evitando que a força exercida pelo pistão ocorresse de forma concentrada em um único ponto da viga, o que poderia causar maiores danos a estrutura (FIG. 21).

Figura 21 - Perfil metálico e cunhas para auxílio do pistão



Fonte: O autor (2015).

Na tentativa de nivelamento da estrutura, notou-se que ao elevar a mesma com o pistão hidráulico, ocorria o retorno ao ponto inicial, indicando uma carga elevada à ser suportada pelo equipamento. Então, primeiramente foi necessária uma diminuição da carga gerada pela estrutura, realizada através da retirada do bloco B3, já prevista, em consequência dos danos apresentados, e que foi substituído pelas sapatas construídas (FIG. 22).

Figura 22 - Retirada do bloco



Fonte: O autor (2015)

O reforço provisório com as escoras de eucalipto, realizado nos vãos onde se retirou as alvenarias para auxiliar no nivelamento, era substituído simultaneamente com a elevação da estrutura, pois conforme esta movimentação ocorria, aumentava-se a distância entre as vigas.

Com o completo nivelamento da parte da estrutura deslocada devido ao recalque, utilizou-se de perfis metálicos posicionados sobre os pilares, substituindo o pistão. Estes perfis que passaram a suportar a carga antes imposta sobre o pistão, permaneceram como parte do próprio pilar, sendo posteriormente concretados tornando-se parte da estrutura do pilar (FIG. 23).

Figura 23 - Perfis metálicos em substituição do pistão



Fonte: O autor (2015).

6.2.4 Reforço da fundação com Estacas Mega

O nivelamento foi realizado na região do bloco B3, que foi a parte mais afetada, porém as patologias também foram observadas na edificação, na localidade onde a fundação foi executada sobre o aterro da obra. Desta forma, o reforço com a aplicação de estacas Mega, foi realizado nos blocos (B1, B2, B4, B6, B7, B10, B15, B16, B17, B18, B19, B23) que estavam sobre este aterro, transferindo as cargas da estrutura à uma profundidade com uma camada mais resistente do solo.

Além do pistão e da bomba hidráulica, durante o reforço utilizou-se de estacas de concreto pré-moldadas, vazadas, com seção quadrada de dimensão 17 x 17 cm e comprimentos de 20, 30, 40, 50 e 60 cm, com armação formada de 4 barras de aço 12,5 mm e estribos de barras 6,3 mm a cada 15 cm e também, peças cilíndricas de aço, com diâmetro de 3 cm, e comprimentos de 60 e 70 cm (FIG. 24).

Figura 24 - Estacas Mega e peça cilíndrica de aço



Fonte: O autor (2015).

Inicialmente, executou-se a escavação de uma vala sob o bloco, que de acordo com ABEF (2012), deve ter dimensões mínimas de 1,00 x 1,50 m, com profundidade suficiente a garantir a movimentação do executor e dos equipamentos. No caso estudado, a profundidade da vala teve dimensão aproximada de 1,20 m que condicionou o posicionamento do segmento da estaca (verticalmente com auxílio de prumo) e do pistão.

O processo de prensagem das estacas acontece conforme a bomba, na qual o pistão está conectado, injeta óleo para o cilindro de menor diâmetro do interior do pistão. Esta injeção provoca o aumento de pressão interna do cilindro fazendo com que este seja ejetado, assim reagindo contra a estrutura do bloco e fazendo a prensagem da estaca no solo. (DONADON, 2009).

Conforme acontece esta prensagem da estaca posicionada no solo, consequentemente o pistão também se desloca para baixo, o que resulta em um aumento do espaço entre o bloco e o pistão. Desta forma, para dar continuidade na execução e garantir o contato no bloco efetuando a reação, usou-se de calços de madeira colocados sobre o cilindro do pistão (FIG. 25).

Figura 25 - Posicionamento da estaca e pistão, e uso de calços de madeira



Fonte: O autor (2015).

A prensagem de uma estaca é executada, até o ponto em que se verifica que a sua parte superior está em um nivelamento próximo ao solo. Com isso realiza-se a introdução dos segmentos cilíndricos de aço na parte vazada da estaca, que de

acordo com Tavares (2014), fazem a ligação entre a estaca já prensada e a próxima estaca, garantindo uma continuidade entre os segmentos de estaca, tornando-a um único elemento, contribuindo também para que a verticalidade da prensagem seja mantida (FIG. 26).

Figura 26 - Introdução do segmento cilíndrico



Fonte: O autor (2015).

A profundidade a ser atingida pelas estacas deve ser aquela em que o solo ofereça resistência suficiente para suporte da carga da estrutura sobre a fundação. Assim este processo de prensagem das estacas no solo é finalizado quando nota-se que a fundação não continua a penetrar no solo, reagindo assim contra a estrutura da edificação movimentando-a para cima. (DONADON, 2009).

Após a prensagem das estacas, a execução deu seguimento colocando-se no topo da última estaca prensada, uma outra estaca de forma perpendicular, efetuando o papel de uma viga. Em seguida, outras duas estacas são posicionadas verticalmente nos extremos desta "viga" fazendo a ligação do bloco com as estacas, e conseqüentemente absorvendo os esforços, podendo assim efetuar a retirada do pistão hidráulico.

A FIG. 27, mostra que, para o preenchimento dos espaços que ficaram entre o bloco e as estacas, devido ao tamanho padrão das estacas, foram utilizadas cunhas metálicas. (ABEF, 2012).

Figura 27 - Finalização do reforço



Fonte: O autor (2015).

O processo, após a retirada do pistão hidráulico, foi finalizado com a concretagem da vala aberta para a execução do trabalho.

A TAB. 4 mostra a medição obtida após a realização do reforço com estacas Mega:

Tabela 1 - Medição do reforço realizado com estacas Mega

BLOCO	QUANTIDADE DE ESTACAS	PROFUNDIDADE (m)
B1	9	3,5
B2	9	3,6
B4	6	2,1
B6	7	2,8
B7	9	3,3
B10	9	3,8
B15	6	2,1
B16	9	3,6
B17	7	2,6
B18	7	2,6
B19	8	3,2
B23	7	2,6
TOTAL	93	35,8

Fonte: O autor (2015).

6.3 Comparativo entre métodos de reforço de fundação

Com base na análise das características dos métodos aqui já apresentados e com o estudo de caso realizado, elaborou-se o QUADRO 1 onde tem-se o comparativo entre uso de estacas Mega, estaca raiz e microestacas que podem ser empregados com esta finalidade de reforço de fundação, expondo as vantagens e desvantagens do seu emprego, e suas formas de aplicação.

Quadro 1 - Comparativo entre reforço com estacas Mega, estaca raiz e microestacas

Característica	Estaca Mega	Estaca Raiz	Microestacas
Moldadas	Pré-moldada	in loco	in loco
Dimensões	Usual 20x20 cm	Ø 8 a 41cm	Ø até 16cm
Capacidade de carga	25 tf	50 tf (Ø20 cm)	40tf (Ø16 cm)
Método de execução	Prensada	Perfuração e injeção	Perfuração e/ou percussão, e injeção
Direção executada	Vertical	Vertical e inclinada	Vertical e inclinada
Vibrações	Inexistente	Baixa	Baixa
Equipamentos principais	Pequeno porte: macaco hidráulico e compressor	Médio porte: perfuratriz e conjunto misturador/injetor de argamassa	Médio porte: perfuratriz e/ou mini bate-estacas e conjunto misturador/injetor de argamassa
Dificuldade no transporte	Não	Sim	Sim
Aplicação (terreno)	Limitada	Todo tipo de solo	Todo tipo de solo
Produtividade em obras de grande porte	Baixa	Alta	Alta
Mão de obra	Especializada	Especializada	Especializada
Nº de profissionais envolvidos	3	8 a 10	6 a 8
Interrupção das atividades na obra	Desnecessária	Desnecessária	Desnecessária
Consumo de água	Inexistente	Elevado	Elevado
Custo para obras de pequeno porte	Baixo	Elevado	Elevado

Fonte: O autor (2015).

Baseando-se no quadro acima que apresenta o comparativo entre três dos métodos de reforço de fundação, pôde-se averiguar a existência de poucas semelhanças entre os itens comparados, sendo que uma maior similaridade é observada entre o processo de estaca raiz e microestacas, que possuem método executivo semelhante.

É possível ver vantagens do método da estaca prensada em relação às estacas injetadas principalmente em itens relacionados ao transporte de materiais, consumo de água e custo, o que é relevante em obras de pequeno porte. Já o método de estacas injetadas se enquadra melhor num processo onde necessita-se de uma maior agilidade na execução e em casos onde seja necessário o emprego de estacas de forma inclinada.

7 CONCLUSÃO

As patologias que surgem nas infraestruturas das diversas edificações, de pequeno ou grande porte, ocorrem muita das vezes devido a atenção mínima que é dada ao reconhecimento das características do terreno, a ausência de sondagens e também por uma execução inadequada. Junto a isso, pode-se observar que muitos dos problemas são identificados somente após uma evolução das patologias, evidenciando assim a importância de um conhecimento dos profissionais em relação às possíveis formas de intervenção e como consequência, realizar a escolha correta para recuperação da estrutura.

Apesar de não ter sido feita novas sondagens na obra (objeto de estudo), a aplicação de estacas Mega mostrou-se aplicável ao caso e também verificou-se a eficiência do método ao final dos trabalhos, que teve em média, a execução do reforço de três blocos por dia. Além disso, após a execução do reforço observou-se a estabilidade da estrutura não havendo outra ocorrência de recalque nas localidades antes afetadas, possibilitando o prosseguimento na construção da residência sem nenhum outro incidente em relação às fundações.

No comparativo realizado entre a estaca Mega e as estacas injetadas (raiz e microestacas), pode-se observar que as semelhanças são evidenciadas em apenas dois itens comparados, como na necessidade de mão de obra especializada e na possibilidade de realização dos serviços sem que seja necessário a interrupção das atividades na obra ou em uma empresa.

As estacas injetadas apresentam pontos importantes que são observados na possibilidade de serem aplicadas em terrenos com presença de matacões, executando de forma vertical e inclinada, e vale destacar também que apresentam uma produtividade maior em relação à estaca Mega. Esta alta produtividade mostra a viabilidade da aplicação deste método em casos de obras industriais, onde é necessária uma agilidade nos serviços para não comprometer a produção, e também quando houver necessidade de uma rápida intervenção na estrutura.

Na necessidade de especialização para execução do serviço, atentando ao estudo de caso que foi realizado em um município onde não possui empresas que prestam estes serviços, e também em uma visão geral, nota-se que a escolha pelo reforço com estacas Mega, além de eficaz, se torna altamente vantajoso em casos de pequenas obras, uma vez que os materiais a serem transportados são segmentados

e de pequeno porte, e também o número de profissionais envolvidos é pequeno. Estes aspectos tornam o custo deste método, menor em relação às estacas injetadas, tornando-o uma escolha que garante a redução de custos, algo que é indispensável em qualquer atividade, principalmente dentro da engenharia.

REFERÊNCIAS

- ABRAMENTO, M.; KOSHIMA, A.; ZIRLIZ, A. C. Reforço do terreno. In: HACHICH, W. et tal. **Fundações**: Teoria e prática. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998. p. 641-688.
- ALMEIDA, G. C. P. de. **Caracterização física e classificação do solo**. 2005. 145 p. Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF, Faculdade de Engenharia, Departamento de Transportes. Juiz de Fora. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/rosane/downloads/material%20de%20apoio/APOSTILA_SOLOS.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2015.
- ALONSO, U. R. **Exercícios de fundações**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 206 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E GEOTECNIA - ABEF. **Manual de execução de fundações e geotecnia**: práticas recomendadas. 1. ed. São Paulo: PINI, 2012. 499 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.
- _____. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.
- _____. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.
- _____. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.
- BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto armado eu te amo**. v. 2. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Blucher, 2011. 333 p.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**: Fundamentos. v. 1. 6. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 234 p.
- _____. **Mecânica dos solos e suas aplicações**: Mecânica das rochas – Fundações - Obras de terra. v. 2. 6. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 498 p.
- CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. **Fundações diretas**: projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 140 p.
- CRAIG, R. F. **Craig**: Mecânica dos solos. 7. ed. São Paulo: LTC, 2012. 365 p.
- DONADON, E. F. **Comportamento de estacas “Mega” de concreto, implantadas em solo colapsível**. 2009. 147 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2009. Disponível em: <

<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000470125>>. Acesso em: 10 maio 2015.

EDDY, H. G. **Tipos de soluções - Reforço de fundações**. Disponível em: <<http://construcaociviltips.blogspot.com.br/search/label/FUNDA%C3%87%C3%95ES?updated-max=2013-04-25T09:37:00-07:00&max-results=20&start=20&by-date=false>>. Acesso em: 20 maio 2015.

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Departamento de Engenharia de Construção Civil; **Fundações**. São Paulo: [s.n.] 2003. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABIHgAD/fundacoes>>. Acesso: em 22 ago. 2015.

ESTACAS cravadas. Disponível em: < <http://www.serki.com.br/servicos/estavas-cravadas/> >. Acesso em: 15 maio 2015.

FALCONI, F. F.; FILHO, J. de S.; FÍGARO, N. D. Execução de fundações profundas. In: HACHICH, W. et tal. **Fundações: Teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998. p. 336 - 337.

FERNANDES, I. **Fundações diretas em aterros reforçados com geossintéticos**. 2014. 116 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de Brasília-UNB, Brasília, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/16975>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

GONÇALVES, J. M. R. **Reforço de solos de fundação com colunas de jet-grouting e plataformas de transferência de carga em betão armado**. 2009. 130 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Universidade do Porto - FEUP, Porto, 2009. Disponível em: <<http://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/58775/1/000129221.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2015.

Gerador de preços.Brasil. **Tubulão a céu aberto de concreto armado**. Disponível em:<http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra_nova/Fundacoes/Profundas/Tubulos/Tubulao_a_ceu_aberto_de_concreto_armado.html >. Acesso em: 30 maio 2015.

GOTLIEB, M. Reforço de fundações. In: HACHICH, W. et tal. **Fundações: Teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998. p. 471 - 482.

MACHADO, R. **Micro-estacas**. Lisboa: [s.n.], [2012?] Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/gonsantos93/10-micro-estacas>>. Acesso em: 05 ago. 2015.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil: Causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. São Paulo: PINI, 2007. 259 p.

MILITITISKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. **Patologia das fundações**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 207 p.

REBELLO, Y. C. P. **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento**. 3. ed. São Paulo: Zigurate Editora e Comercial Ltda, 2008. 239 p.

RICARDO, H. de S.; CATALANI, G. **Manual prático de escavação**: terraplanagem e escavação de rochas. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: PINI, 2007. 653 p.

TAVARES, L. S. N. **Reforço Estrutural de Fundações e sua Importância para a Reabilitação e Conservação do Patrimônio Histórico**. 2014. 83 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/121984/TCC_rep.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 10 set. 2015.

TEIXEIRA, A. H.; GODOY, N. S. Análise, projeto e execução de fundações rasas. In: HACHICH, W. et tal. **Fundações**: Teoria e prática. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998. p. 227 - 229.

TERRA ARMADA SUSTAINABLE TECHNOLOGY. Disponível em: <<http://www.terraarmada.com.br/produtos.php?x=249752>>. Acesso em: 29 maio 2015.

VELLOSO, D. de A.; LOPES, F. de R. **Fundações**: critérios de projeto – investigação do subsolo – fundações superficiais. v. 1. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2011. 225 p.

_____. **Fundações**: fundações profundas. v. 2. Nova ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 569 p.

VITÓRIO, A. **Fundamentos da Patologia das Estruturas nas Perícias de Engenharia Civil**. Recife, [s.n.], 2003. 58 p. Disponível em: <http://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Fundamentos_Patologia_Estruturas_Pericias_Engenharia.pdf>. Acesso em 20 ago. 2015.

WOLNEY, D. Microestacas: Obras utilizam de sua metodologia para o trabalho de fundações. **Fundações & Obras geotécnicas**, p. 26 - 31, maio. 2013.

APÊNDICE A

Figura 28 - Projeto de fundações da obra

