

**MARCOS ROBERTO SOARES
TATIANE MARIA DE MELO**

**ATERRO ESTAQUEADO SOBRE SOLO MOLE
ESTUDO DE CASO**

BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

**DOCTUM – MINAS GERAIS
2014**

**MARCOS ROBERTO SOARES
TATIANE MARIA DE MELO**

ATERRO ESTAQUEADO SOBRE SOLO MOLE ESTUDO DE CASO

Monografia apresentado á banca examinadora do Curso de Engenharia Civil, do Instituto Tecnológico de Caratinga (ITC), da DOCTUM Caratinga, como requisito parcial de obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.
Orientador: Prof. José Salvador Alves
Disciplina de TCC II.

**DOCTUM – MINAS GERAIS
2014**

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter nos concebido a oportunidade de estarmos aqui hoje, ter nos protegido de todos os males, e nos abençoado em mais essa etapa de nossas vidas;

Aos meus pais Antônio e Lourdes, por todo amor e apoio. Aos meus irmãos Mateus e Milene e minha cunhada Giliane pelo carinho, e ao meu irmão Edvaldo por não medir esforço para me apoiar e sempre me ajudar quando preciso. (Tatiane Melo)

Ao Professor Jose Salvador Alves, que nos transmitiu tanta experiência, e nos orientou não só nessa monografia, mas em toda nossa jornada acadêmica e profissional (Tatiane Melo);

Aos professores da Doctum, por todo o conhecimento repassado a nós acadêmicos;

Aos nossos amigos e colegas de classe pela amizade e companheirismo, pelos bons e maus momentos que estivemos juntos;

Enfim, agradecemos a todos que estiveram conosco nesta longa e gratificante jornada da Faculdade, em que crescemos e aprendemos muito, nossos sinceros agradecimentos.

MARCOS ROBERTO SOARES
TATIANE MARIA DE MELO

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação da areia pela compactidade e consistência.....	15
Tabela 2: Classificação da argila pela sua consistência	15
Tabela 3: Sistema Unificado de Classificação dos Solos.....	17
Tabela 4: Pesos específicos dos materiais para aterros	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Recalque Total na Catedral Metropolitana da Cidade do México	20
Figura 2: Representação gráfica de recalque diferencial.	21
Figura 3: Praia do Bosqueirão, Santos.....	21
Figura 4: Torre de Pisa, Itália.	22
Figura 5: Palacio de Belas Artes, Cidade do México.....	22
Figura 6: Recalque entre a rua e o Palácio de Belas Artes.....	23
Figura 7: Sequência executiva de substituição de solo mole	25
Figura 8: Metodologia executiva de aterro de ponta	26
Figura 9: Aceleração de recalques com sobrecarga temporária	27
Figura 10: Bermas de equilíbrio	28
Figura 11: Esquema de um aterro sobre geodrenos..	29
Figura 12: Blocos de EPS na execução de um aterro leve.	30
Figura 13: Aterro Estaqueado.	31
Figura 14: Esquema de aterro estaqueado reforçado com Geossintético.....	32
Figura 15: Aterro estaqueado reforçado SESC/SENAC – RJ.	35
Figura 16: Localização do estudo de caso.	37
Figura 17: Localização do estudo de caso.	38
Figura 18: Localização do aterro estaqueado.	39
Figura 19: Solos encontrados no terreno do estudo de caso.	40
Figura 20: Parte do terreno do estudo de caso.	41
Figura 21: Execução do Aterro de Conquista.....	42
Figura 22: Drenos.....	42
Figura 23: Cravação de Estacas.	44
Figura 24: Localização das Estacas Condomínio 7.....	45
Figura 25: Execução de Capitéis.....	46
Figura 26: Aplicação da Geogrelha.	47
Figura 27: Esquema Aterro Estaqueado.	47
Figura 28: Localização das estacas da laje estaqueada.	48
Figura 29: Esquema representativo das lajes estaqueadas.....	48
Figura 30: Local onde foi realizado o aterro estaqueado	49

RESUMO

O maior problema ao se executar algum tipo de obra sobre solo mole é encontrar um tipo de fundação que consiga conter todos os recalques por adensamento desse solo e que seja viável com relação a tempo e custo de execução. Por isso deve-se estudar cuidadosamente cada caso antes de se escolher o método mais apropriado de infraestrutura a ser utilizada. Através da sondagem pode-se perceber que a profundidade das camadas de argila mole do estudo de caso é de aproximadamente 8 metros, e ainda pode-se verificar que o nível da água se encontra bem elevado, a pouco mais de 2 metros de profundidade, o que por si só já justifica a escolha de um método de fundação profunda; e por ser o solo mole altamente compressível, o método escolhido tem que ser eficiente na prevenção dos diversos tipos de recalques que podem ocorrer, outro fator determinante na escolha do método do aterro estaqueado foi devido ao fato da obra ter caráter emergencial, pois o aterro estaqueado além de ser uma fundação profunda capaz de atingir camadas de solo firme para transmitir as cargas e de conter os recalques por adensamento natural do solo durante o processo de drenagem da água pelos vazios, também é um método de rápida execução, pois não precisa aguardar que se complete todo o processo de adensamento para se executar a obra como em outros métodos abordados no capítulo 2, todos esses fatores juntos tornaram o aterro estaqueado o método ideal para a execução das obras de Infraestrutura do Condomínio Habitacional Terra Nova em Nova Friburgo/RJ. No sistema de aterro estaqueado também foi incluído um geossintético. A geogrelha tem capacidade para suportar até 400 KN de peso e foi incluída para ajudar na contenção dos recalques que ocorrerem abaixo do aterro estaqueado ao longo dos anos.

PALAVRAS-CHAVE: Solos moles, aterro, recalques.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
CONSIDERAÇÕES CONCEITUAIS	10
1. SOLOS	14
1.1. CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	14
1.1.1. CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA	14
1.1.2. SISTEMA UNIFICADO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS	16
1.1.3. SISTEMA RODOVIÁRIO DE CLASSIFICAÇÃO	17
1.1.4. CLASSIFICAÇÃO TÁTIL-VISUAL	18
1.2. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS TIPOS DE SOLOS	18
1.3. RECALQUES QUE PODEM OCORRER EM OBRAS SOBRE SOLOS MOLES	19
2. ATERROS SOBRE SOLOS MOLES	24
2.1. TIPOS DE ATERROS EXISTENTES	24
2.1.1. SUBSTITUIÇÃO DE SOLOS MOLES	24
2.1.2. ATERROS DE PONTA	25
2.1.3. ATERRO CONVENCIONAL COM SOBRECARGA TEMPORÁRIA	26
2.1.4. ATERROS CONSTRUÍDOS EM ETAPAS, ATERROS COM BERMAS LATERAIS E ATERROS REFORÇADOS	27
2.1.5. ATERRO SOBRE DRENOS VERTICAIS	28
2.1.6. ATERROS LEVES	29
2.1.7. ATERROS SOBRE ELEMENTOS DE ESTACAS	31
2.2. REFORÇOS COM GEOSSINTÉTICO EM ATERROS SOBRE SOLOS MOLES	32
2.3. APLICAÇÕES DE ATERROS	34
3. ANÁLISE DE ATERRO ESTAQUEADO EXECUTADO EM NOVA FRIBURGO/ RJ – ESTUDO DE CASO	37
3.1. LOCALIZAÇÃO E DADOS DA OBRA	37
3.2. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DO LOCAL	40
3.3. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA PRÁTICA EMPREGADA	41
3.4. RESULTADOS OBTIDOS	49
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXO 1: PROPRIEDADES INFERIDAS A PARTIR DA CLASSIFICAÇÃO SUCS	56
ANEXO 2: MAPA DE SONDAÇÃO	57
ANEXO 3: BOLETIM DE SONDAÇÃO	58

ANEXO 4: Localização das Estacas do Condomínio 5	59
ANEXO 5: Localização das Estacas do Condomínio 6	60

INTRODUÇÃO

Devido a grande ocupação urbana que vem ocorrendo nos últimos tempos, depara-se com a necessidade de encontrar alternativas que sejam viáveis com relação a prazo e custo, mas que também tenham pouco impacto ambiental para possibilitar construções nos mais variados tipos de terrenos. Justifica-se também a adoção do método de aterro estaqueado devido a sua velocidade de execução, que é bem maior que a dos métodos convencionais de aterro. Com base nesses motivos abordou-se nessa monografia as principais características dos tipos de solos e os tipos de infraestruturas que se pode utilizar para contenção deles, também foi apresentado um estudo de caso de um tipo de infraestrutura utilizada na contenção de um solo mole para a construção de acessos para um condomínio habitacional. O principal problema enfrentado com relação à infraestrutura em solos moles é encontrar um método que seja eficiente na contenção de todos os tipos de recalques que possam vir a ocorrer. Partindo desse principio tem-se como hipótese de pesquisa que o aterro estaqueado é o método mais eficiente com relação às condições apresentadas pela análise das características da obra do estudo de caso.

A metodologia aplicada á pesquisa é composta pelos seguintes itens:

TEÓRICO: seleção e adoção das obras que permitiram a construção de conceitos, tais como analisar os efeitos do uso do aterro estaqueado com relação à contenção de recalques em solos com camadas de argila muito mole, que se apresentam devido a recalques durante o adensamento do solo. Ainda nesse sentido valeremos da internet, já que é grande a oferta de artigos sobre técnicas de construção de aterros, aterros sobre camadas de solos moles e aterros com reforço de geossintéticos, assim como NBR's relacionadas aos métodos de execução de aterros.

SÍNTESE: necessário e resultante das análises que foram aplicadas aos seguintes elementos e/ou contextos referentes a utilizar a técnica de estaqueamento para a contenção dos recalques e uso de geotêxteis para auxiliar nessa contenção.

OBSERVAÇÃO: ações que se manifestarem ao longo de todas as pesquisas seguintes serão justificadas pelas vantagens que o sistema apresenta com relação ao tempo de execução do aterro. O estaqueamento na camada de solo mole

condiciona um melhor comportamento tensão-deformação da fundação, além de contribuir para a estabilidade global do sistema.

COMPOSIÇÃO DA MONOGRAFIA: a monografia foi estruturada tendo por base a redação de três capítulos. No primeiro, intitulado “SOLOS”, foram apresentadas as informações sobre os tipos de solos, suas principais características e sobre os recalques que podem ocorrer em obras sobre solos moles citando exemplos. No segundo, intitulado “ATERROS SOBRE SOLOS MOLES”, foram abordados os tipos aterro existentes para a contenção de solos moles, os reforços que podem ser aplicados em um aterro para melhorar o sistema e aplicações de aterros estaqueados. No terceiro, intitulado “ANÁLISE DE ATERRO ESTAQUEADO EXECUTADO EM NOVA FRIBURGO/ RJ – ESTUDO DE CASO” foi apresentado à localização do estudo de caso, os dados da obra executada, as características geotécnicas do local, a descrição do método utilizado e os resultados obtidos com a utilização desse método.

CONSIDERAÇÕES CONCEITUAIS

Devido ao grande crescimento do mercado da construção, depara-se com a necessidade de se construir em terrenos cada vez menos adequados aos diversos tipos de obras, e encontrar alternativas para se viabilizar obras nesses terrenos representa verdadeiros desafios para a engenharia, pois algumas vezes esses terrenos possuem péssimas características, como é o caso dos solos moles que possuem baixíssima resistência e alta compressibilidade.

Oliveira e Almeida (2004, p.275) ressaltam que:

Para a construção sobre solos compressíveis, duas condições devem ser atendidas: garantia da estabilidade, isto é, deve-se evitar a ruptura das fundações; e manutenção das deformações, tanto verticais (recalques) como horizontais, dentro de limites adequados de acordo com as características da obra.

Caputo (1987, p.418) explica que as principais dificuldades encontradas na construção de aterros sobre camadas moles são as seguintes:

- a) Avaliar os recalques diferenciais do pavimento, em decorrência das deformações da camada mole, pelo efeito do peso do aterro;
- b) Estimar o tempo necessário para que esses recalques se efetivem;
- c) Dar indicações sobre a eficácia dos processos executivos que, por um lado, assegurem a estabilidade do aterro e, por outro, reduzam os recalques ou acelerem o tempo de ocorrência.

As técnicas para a construção de aterro sobre solos moles mais convencionais podem levar muito tempo para atingir ganho considerável de resistência e rigidez do solo e podem não ser viáveis em alguns casos.

Sales (2002, p.15) afirma que as “soluções convencionais para a construção de aterros sobre solos moles nem sempre atendem aos requisitos de tempo e confiabilidade exigidos pela obra, além de algumas vezes, serem inviáveis do ponto de vista ambiental”.

De acordo com Macedo (2002, p.8) “Nos casos em que o solo de fundação se apresenta excessivamente mole, a construção de aterros diretamente sobre este solo pode ser impraticável. Em tais casos pode-se utilizar a técnica de inclusão de estacas com capitéis no solo mole”.

Borba (2002, p.9) relata que:

Aterros estaqueados são estruturas mistas que combinam uma solução de terraplanagem convencional, o aterro propriamente dito, com uma solução típica de fundação profunda, as estacas. Objetivando redistribuir as cargas não suportadas diretamente pelas estacas, o material geossintético é adicionado à base do aterro.

Macedo (2002, p.8) explica que:

A carga absorvida pelas estacas é substancialmente maior devido à existência dos capitéis na sua parte superior, que faz aumentar a concentração de carga devido ao efeito de arqueamento do solo do aterro. Estes capitéis absorvem as cargas e as transmitem às estacas, que por sua vez transmitem a um solo de fundação mais resistente. Esta técnica proporciona uma considerável diminuição dos recalques do aterro, bem como de seus deslocamentos horizontais.

Segundo Almeida e Marques (2010, p.162) “os capitéis podem ser das mais diversas formas: circulares, quadrados, esféricos, armados ou não. O formato ideal para o capitél com reforço de geossintético é o que não apresenta arestas vivas”.

A inclusão do geossintético “tem por objetivo enrijecer a base do aterro e melhorar a transferência da carga para as estacas, permitindo assim, um maior espaçamento entre elas e a redução do tamanho dos capitéis” (Macedo, 2002, p.22).

Este reforço com geossintéticos gera uma melhor distribuição de tensões no solo, diminuindo as deformações, além de aumentar o fator de segurança da obra, proporcionando uma redução no consumo do material de aterro e ainda uma melhor separação entre o material de aterro e o solo de fundação.

Segundo ALMEIDA e MARQUES (2010, p.162):

Os recalques de aterros estruturados com geogrelhas são muito menores do que os recalques por adensamento em aterros convencionais, ou seja, os volumes de terraplenagem são muito inferiores aos de um aterro convencional, já que não há submersão de material nem necessidade de sobrecarga.

O reforço com geossintético além de conter os recalques do aterro, também contribui para aumentar a resistência do sistema.

Segundo Spotti (2006, p.23):

O recente desenvolvimento das técnicas de construção de aterros estaqueados reforçados vem permitindo o aumento do espaçamento entre as estacas e a diminuição do tamanho dos capitéis, quando comparados aos aterros estaqueados sem reforços. A inclusão do reforço também contribuiu para a eliminação das estacas inclinadas no bordo do aterro estaqueado.

Sales (2002, p.15) afirma que “além de reforçar o arqueamento e suportar localmente as zonas em colapso, o geotêxtil também atua como reforço contra o espraiamento lateral do aterro”.

Segundo Borba (2007, p.1) “Aterros reforçados com geossintéticos sobre solos moles são cada vez mais utilizados com o objetivo de melhoria da estabilidade da obra”.

E Macêdo (2002, p.8) ressalta que “é comum à utilização de uma combinação de técnicas para aterros sobre solos moles”.

“De um modo geral, o estaqueamento na camada de solo mole condiciona um melhor comportamento tensão-deformação da fundação, além de contribuir para a estabilidade global do sistema” (Perboni, 2003, p.14).

Segundo Nascimento (2009, p.22):

A técnica apresenta como principal vantagem a significativa redução dos recalques construtivos quando comparados a obras de aterros convencionais ou sobre drenos verticais. Os recalques associados à técnica são referentes à deformação da geogrelha e, portanto, muito menores do que os de adensamento em aterros convencionais.

Outro fator importante é a diminuição do tempo de execução do aterro, já que não há necessidade de aguardar a dissipação do excesso de poro pressão e consequente mobilização da resistência na argila mole para o alteamento do aterro, podendo este ser feito em uma só etapa, já que não há preocupação com a instabilidade da argila mole.

Spotti (2006, p.1) informa que este tipo de aterro também é vantajoso do ponto de vista ambiental, pois segundo ele:

Técnicas convencionais necessitam de maiores volumes de aterro para se atingirem as cotas determinadas em projeto, devido aos recalques ocorridos em sua fase construtiva, ocasionando grandes impactos na retirada de material das jazidas e no aterro estaqueado, a carga gerada pelo aterro é transferida para camadas de solo mais competentes através das estacas, minimizando consideravelmente os recalques. Desta forma, consegue-se atingir as cotas de projeto com volumes menores de aterro, minimizando os distúrbios ao meio ambiente e economizando os recursos naturais.

As desvantagens do sistema se referem a custos de cravação das estacas, confecção dos capitéis e do reforço com geossintético, que tornam o aterro estaqueado mais oneroso que os métodos convencionais.

Conforme as pesquisas realizadas pode se chegar à conclusão que o aterro estaqueado é ideal para obras com prazos curtos de execução e/ou grandes profundidades de solo mole. Baseando-se nisso tomamos como marco teórico a afirmação de Almeida e Marques (2010, p.31) que ressaltam que “restrições de prazo podem inviabilizar técnicas como as de aterros convencionais ou sobre drenos verticais, favorecendo técnicas de aterros sobre elementos de estacas ou de aterros leves, os quais, entretanto tem custos elevados”.

Fatores ambientais, geográficos e restrições de espaço também podem interferir na escolha do tipo de aterro a ser empregado, por isso deve-se avaliar cada caso para definir qual o melhor método e metodologia construtiva a ser utilizada.

1. SOLOS

1.1. CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

Através de uma classificação adequada dos solos pode se conhecer as suas características e determinar como será o seu comportamento diante das condições necessárias em projetos de engenharia.

Existem diversas formas para a classificação dos solos, segundo Souza Pinto (2006, p.64) os solos podem ser classificados por sua origem, evolução, pela presença de matéria orgânica, pela estrutura e pelo preenchimento dos vazios.

Os principais sistemas de classificação dos solos utilizados no Brasil são: Classificação Granulométrica, Sistema Unificado de Classificação de Solos, Sistema Rodoviário De Classificação e Classificação Tátil-Visual.

1.1.1. Classificação Granulométrica

A classificação Granulométrica dos solos baseia-se no diâmetro dos grãos que o compõem. Segundo Souza Pinto (2006, p.65), os solos podem ser divididos quanto à classificação granulométrica em pedregulhos, areia, silte e argila.

a) PEDREGULHOS

Os grãos que apresentam predominantemente diâmetro maior que 4,8mm e menor 76 mm e podem ser subclassificados por sua textura, compacidade e forma dos grãos.

b) AREIAS

Os grãos que apresentam predominantemente diâmetro maior que 0,05 mm e menor que 4,8 mm e podem ser subclassificados por sua textura: em areia grossa (entre 2,0mm e 4,8mm), média (entre 0,42mm e 2,0mm) e fina (entre 0,05mm e

0,42mm); pela forma dos grãos e por sua compactidade e resistência a penetração conforme tabela abaixo:

Solo	Índice de resistência à penetração N	Designação ¹⁾
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa(o)
	5 a 8	Pouco compacta(o)
	9 a 18	Medianamente compacta(o)
	19 a 40	Compacta(o)
	> 40	Muito compacta(o)

Tabela 1: Classificação da areia pela compactidade e consistência

Fonte: NBR 6484:2001, p.17.

c) SILTES

Os grãos que apresentam predominantemente diâmetro maior que 0,005mm e menor que 0,05 mm e podem ser subclassificados por sua textura e compactidade e apresentam pouca coesão entre os grãos, desmanchando-se facilmente por pressão entre os dedos.

d) Argilas

Os grãos que apresentam predominantemente diâmetro menor a 0,005mm e podem ser subclassificadas por sua alta plasticidade, textura, umidade naturais e por sua consistência e resistência a penetração conforme tabela abaixo:

Solo	Índice de resistência à penetração N	Designação ¹⁾
Argilas e siltes argilosos	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média(o)
	11 a 19	Rija(o)
	> 19	Dura (o)

Tabela 2: Classificação da argila pela sua consistência

Fonte: NBR 6484:2001, p.17.

O índice de resistência à penetração pode ser definido através de sondagens a percussão em que a resistência do solo será obtida através do número de golpes necessários para a penetração dos últimos 30 centímetros de um amostrador de 45 centímetros no solo, esses golpes são dados por um martelo de peso 65 Kg caindo em queda livre de uma altura de 75 centímetros sobre o amostrador.

1.1.2. Sistema Unificado De Classificação De Solos

O Sistema Unificado de Classificação de Solos foi elaborado por Casagrande e classifica os solos em grossos e finos. Nos solos grossos a maioria dos grãos tem diâmetro superior a 0,074mm, dentro desse grupo se encontram pedregulhos, areias e solos pedregulhosos ou arenosos com pouca quantidade de silte e argila. Eles podem ser subdivididos pelo tipo de solo que apresentar maior porcentagem de grãos (em peso) e ainda em solos mal graduados e bem graduados, sendo os solos bem graduados aqueles em que as partículas menores ocupam os vazios deixados pelas maiores e os solos mal graduados aqueles em que em que a quantidade de finos está entre 5 a 10% do total de grãos (em peso).

E nos solos finos a maioria dos grãos tem diâmetro inferior a 0,074mm, dentro desse grupo estão siltes, argilas e turfas. E eles serão subdivididos pela atividade da argila, considerando o índice de consistência, o índice de plasticidade e o limite de liquidez do solo e pela presença de matéria orgânica. Essas características estão representadas na tabela 3.

SISTEMA UNIFICADO (SUCS)

SOLOS DE GRADUAÇÃO GROSSA mais de 50% retido na peneira n ^o 200	Pedregulhos 50% ou mais da fração graúda retida na peneira n ^o 4	Pedregulho sem finos	GW	Pedregulhos bem graduados ou misturas de areia e pedregulho com nenhum fino
			GP	Pedregulhos mal graduados ou misturas de areia e pedregulho com pouco ou nenhum fino
		Pedregulho com finos	GM	Pedregulhos siltosos ou misturas de pedregulho, areia e silte
			GC	Pedregulhos argilosos ou misturas de pedregulho, areia e argila
	Areias mais de 50% da fração graúda passando na peneira n ^o 4	Areias sem finos	SW	Areias bem graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum finos
			SP	Areias mal graduadas ou areias com pedregulhosas com pouco ou nenhum finos
		Areias com finos	SM	Areias siltosas – misturas de areia e silte
			SC	Areias argilosas – misturas de areia e argila
SOLOS DE GRADUAÇÃO FINA 50% ou mais passando na peneira n ^o 200	Siltes e Argilas $w_L \leq 50$	ML	Siltes inorgânicos – areias muito finas – areias finas siltosas e argilosas	
		CL	Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade – argilas pedregulhosas, arenosas e siltosas	
	OL	Siltes orgânicos – argilas siltosas orgânicas de baixa plasticidade		
	Siltes e Argilas $w_L \geq 50$	MH	Siltes – Areias finas ou siltes mecânicos – Siltes plásticos	
		CH	Argilas inorgânicas de alta plasticidade	
	Solos altamente orgânicos	OH	Argilas orgânicas de alta e média plasticidade	
	PT	Turfas e outros solos altamente orgânicos		

Tabela 3: Sistema Unificado de Classificação dos Solos

Fonte: Cantara, 2012, p.10.

O sistema de classificação SUCS também classifica os solos com relação as suas principais características mecânicas e com relação a sua aplicabilidade como material de construção, e avalia seu valor para fundações, características que serão abordadas no item 1.2.

1.1.3. Sistema Rodoviário De Classificação

Sistema Rodoviário de Classificação também se baseia na granulometria (diâmetro) dos grãos e no limite de consistência de forma parecida com o Sistema Unificado, mas ele considera como solos de granulação grosseira aquele em que menos de 35% dos grãos (em peso) tiver diâmetro inferior a 0,074mm.

Segundo Souza Pinto (2006, p.69 - 70), esses solos podem ser classificados em A1, A2 e A3, sendo pedregulhos e areias bem graduadas, areias e areias finas mal graduadas, respectivamente; e os solos que apresentam mais de 35% de grãos

com diâmetro inferior a 0,074mm, podem ser classificados em A4, A5, A6 e A7, sendo:

A-4: siltes e argilas com níveis variáveis de plasticidade.

A-5: siltes e argilas com alta plasticidade.

A-6: argilas que podem apresentar muita variação de volume com relação aos estados úmidos e secos.

A-7: argilas que podem apresentar muita variação de volume com relação aos estados úmidos e secos e apresentam alto limite de liquidez.

Ainda Segundo Souza Pinto, o grupo A1 pode ser subdividido em: A1a e A1b, diferenciados pela porcentagem dos diversos tipos de diâmetros dos grãos e o grupo A2, em: A2-4, A2-5, A2-6 e A2-7, diferenciados pelos índices de consistência.

1.1.4. Classificação Tátil-Visual

Por ser baseada no tato e na visão esse sistema necessita de um técnico experiente. Esse técnico fundamenta-se em algumas características peculiares dos tipos de solos para classificá-los, por exemplo: siltes apresentam pouca coesão e por isso desagregam-se facilmente quando pressionados entre os dedos, enquanto que as argilas por terem mais coesão entre os grãos apresentam mais resistência a essa desagregação, já as turfas ou solos orgânicos apresentam uma coloração escura específica desse tipo de solo, sendo facilmente classificadas.

1.2. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS TIPOS DE SOLOS

Conforme descrito no item 1.1 os solos podem ser classificados por sua consistência e granulometria em pedregulhos, areias, siltes e argilas, no entanto, o que importa para a engenharia é o seu comportamento diante de determinadas situações, e para determinar isso é necessária conhecer as principais características desses tipos de solos com relação a possíveis utilizações.

Através do Sistema Unificado de Classificação de Solos, elaborado por Casagrande, pode-se concluir que os tipos de solos grossos, que compreendem as

areias e os pedregulhos, têm boa trabalhabilidade como material de construção, podendo ser permeáveis ou não variando conforme a existência e as características dos finos presentes neles. Também apresentam boa resistência e compressibilidade desprezível quando compactados e saturados, apresentam características de drenagem de regular a má quando se trata de areias e pedregulhos siltosos ou argilosos e excelente quando se trata de areias e pedregulhos bem e mal graduados.

Já os solos finos, siltes e argilas, tem trabalhabilidade como material de construção de regular a má, podendo ser semipermeáveis a permeáveis ou impermeáveis, variando conforme sua consistência e também apresenta baixa resistência quando compactados e saturados, características de drenagem de regular a má e alta compressibilidade tornando-os suscetível a recalques e de pouco valor para fundações. Essas e outras características são explicadas no Anexo 1.

1.3. RECALQUES QUE PODEM OCORRER EM OBRAS SOBRE SOLOS MOLES

Os solos moles (argilosos), conforme descrito na tabela do anexo 1 apresentam alta compressibilidade e por isso estão sujeitos a sofrer recalques por adensamento, durante o processo natural de drenagem da água pelos vazios.

Se o processo de adensamento ocorrer de forma homogênea no solo, ocorrerá um recalque total do solo e a estrutura que estiver sobre ele poderá não sofrer maiores problemas. Um exemplo de recalque total em uma estrutura é a Catedral Metropolitana da Cidade do México, ela sofreu recalques de até 2,42 metros entre a torre Oeste e a região do altar mor (figura 1).

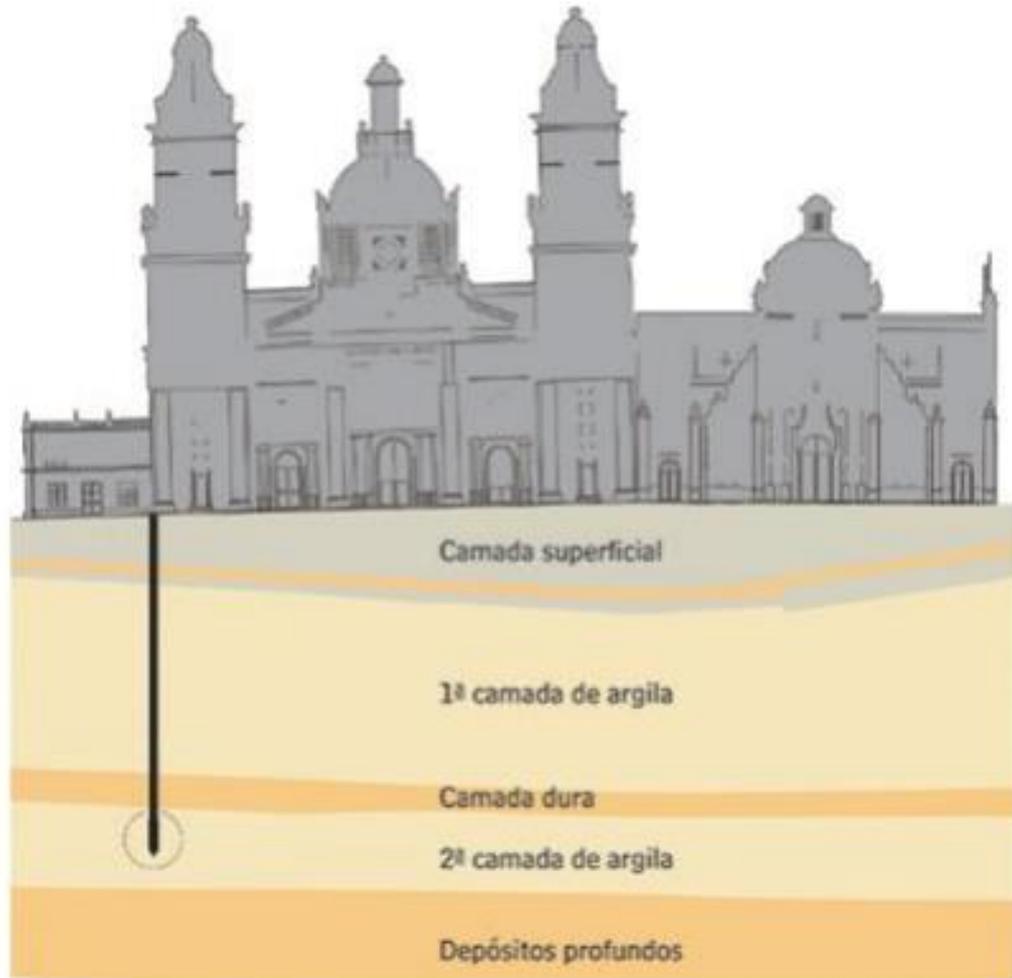


Figura 1: Recalque Total na Catedral Metropolitana da Cidade do México

Fonte: Gerscovich, Lima e Martins – UFRJ, 2011, p.6.

E se esse processo de adensamento não ocorrer de forma homogênea no solo, ou seja, uma parte tiver um recalque maior que a outra, ocorrerá um recalque diferencial que pode gerar danos à estrutura que estiver sobre ele, causando trincas fissuras ou até mesmo levar a ruína da estrutura, conforme figura 2. Exemplos conhecidos de recalques diferenciais são os prédios da orla de Santos (figura 3) com recalques máximos entre 40 e 120 cm e a Torre de Pisa (figura 4), que antes do processo de restauração ocorrido entre 1990 e 2001, estava com o topo 3,90 metros abaixo de onde ele estaria, se a torre estivesse totalmente na vertical.

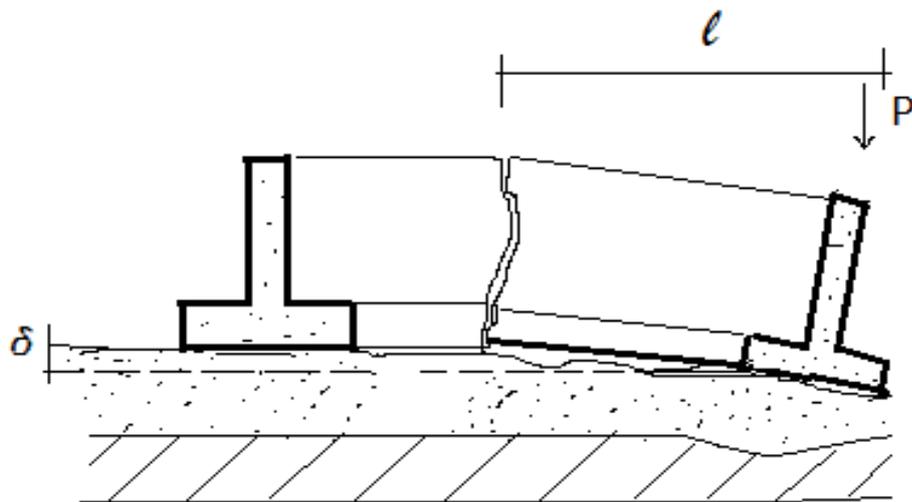


Figura 2: Representação gráfica de recalque diferencial.

Fonte: Fabricio e Rossignolo, 2007, p.29.



Figura 3: Praia do Bosqueirão, Santos.

Fonte: Gerscovich, Lima e Martins – UFRJ, 2011, p.10.



Figura 4: Torre de Pisa, Itália.

Fonte: Gerscovich, Lima e Martins – UFRJ, 2011, p.5.

O Palácio Belas Artes, na Cidade do México (figura 5) é um exemplo de recalque total da estrutura do prédio, e diferencial do prédio com relação à rua, pois todo o prédio sofreu um rebaixamento da ordem de 2 metros com relação à rua, conforme pode-se observar na figura 6.



Figura 5: Palácio de Belas Artes, Cidade do México.

Fonte: Gerscovich, Lima e Martins – UFRJ, 2011, p.8.



Figura 6: Recalque entre a rua e o Palácio de Belas Artes

Fonte: Gerscovich, Lima e Martins – UFRJ, 2011, p.8.

Conforme as imagens pode-se perceber que o recalque que causa mais problemas é o recalque diferencial, por ele ocorrer de forma não uniforme no solo. No caso dos exemplos citados, os recalques diferenciais causaram uma inclinação na estrutura, o da Torre de Pisa foi amenizado com a injeção de cimento de alta resistência abaixo de sua fundação, técnica que também foi utilizada na Catedral Metropolitana da Cidade do México, onde o recalque foi total e não causou grandes problemas na estrutura. Já nos prédios de Santos existem alternativas para recolocar os prédios nos lugares, através do levantamento do prédio com a utilização de macacos hidráulicos e do reforço da fundação com estacas. Já no Palácio de Belas Artes no México, como o recalque abaixo da estrutura foi total, não houve danos na estrutura e apenas adaptações para o acesso ao prédio foram necessárias.

2. MÉTODOS CONSTRUTIVOS DE ATERROS SOBRE SOLOS MOLES

2.1. TIPOS DE ATERROS EXISTENTES

Vários fatores podem influenciar na escolha do método construtivo mais apropriado para obras sobre solos moles. Segundo Almeida e Marques (2010, p.31) esses fatores são “características geotécnicas dos depósitos; utilização da área incluindo vizinhança; prazos construtivos e custos envolvidos”.

Conforme Almeida e Marques (2010, p.31 - 46) os métodos construtivos existentes para infraestruturas em solos moles são: substituição de solos moles e aterros de ponta; aterros convencionais com sobrecarga temporária; aterros construídos em etapas, aterros com bermas laterais e aterros reforçados; aterros sobre drenos verticais; aterros leves; e aterros sobre elementos de estacas (aterros estaqueados).

2.1.1. Substituição De Solos Moles

Consiste na retirada de uma parte da camada de solo mole ou de tudo e substituir pelo solo com que será feito o aterro, conforme exemplificado na figura 7. Ele é mais utilizado em depósitos de camadas de até 4 metros de espessura.

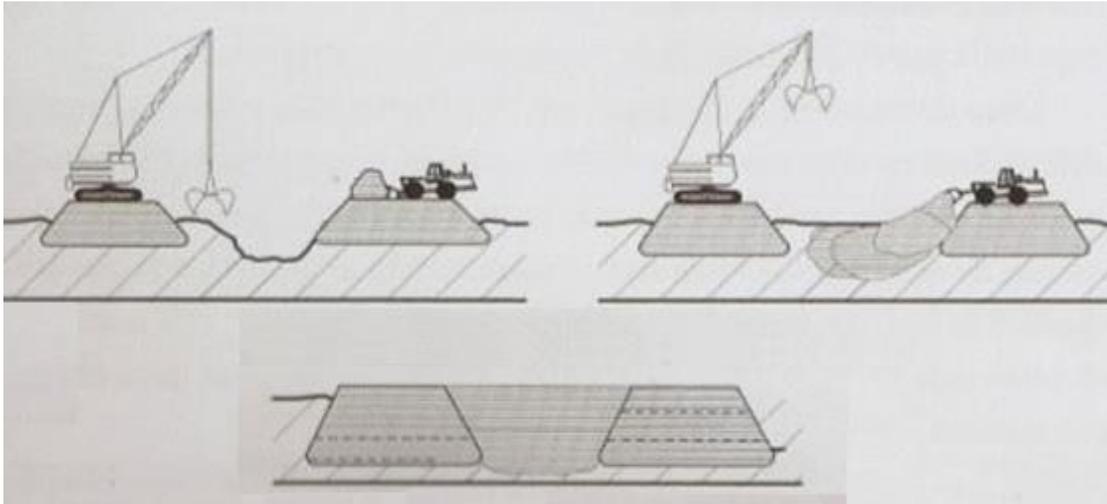


Figura 7: Sequência executiva de substituição de solo mole

Fonte: Almeida e Marques, 2010, p.33.

Suas principais características são que ele é eficaz na contenção de recalques, provoca um aumento no fator de segurança quanto à ruptura e é rápido, porém causa grande impacto ambiental e necessita de sondagem para aferição da quantidade de solo removido/remanescente (Almeida e Marques, 2010, p.32 - 46).

2.1.2. Aterros De Ponta

Os aterros de ponta podem ser usados para construção de aterros de conquista. Segundo Almeida e Marques (2010, p.34) o aterro de ponta consiste no:

Avanço de uma ponta de aterro em cota mais elevada que a do aterro projetado, que vai empurrando e expulsando parte da camada de solo mole, por meio da ruptura do solo de fundação argilosa de baixa resistência, deixando em seu lugar o aterro embutido.

Suas principais características são que ele é utilizado para depósitos de pequena espessura e depende muito da experiência local. Sua desvantagem é a dificuldade no controle de qualidade, pois não há garantia da remoção uniforme do material mole, o que pode causar recalques diferenciais e riscos de acidentes, necessitando de sondagem para aferição da espessura do solo removido/remanescente. Outra desvantagem são os elevados volumes de bota-fora e a dificuldade de sua disposição, por se tratar de material que não serve para

reaproveitamento e que pode estar contaminado, o que gera grande impacto ambiental (Almeida e Marques, 2010, p.34 - 48).

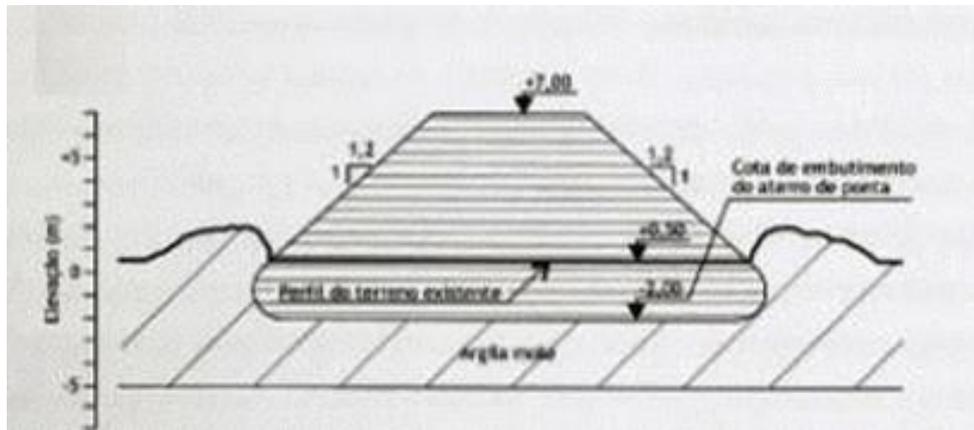


Figura 8: Metodologia executiva de aterro de ponta

Fonte: Almeida e Marques, 2010, p.35.

O aterro de conquista consiste na retirada de uma determinada espessura de solo e na sua substituição por um solo de maior resistência e tem como finalidade possibilitar o acesso de equipamentos em terrenos de solos moles.

2.1.3. Aterro Convencional Com Sobrecarga Temporária

Segundo Almeida e Marques (2010, p.36 - 37) esse tipo de aterro não usa dispositivo para controlar o recalque ou a estabilização. É utilizada uma sobrecarga temporária para acelerar o processo de recalque primário e compensar os secundários

Almeida e Marques (2010, p.37) afirmam que:

Uma desvantagem desse método construtivo é o prazo para a estabilização dos recalques, em geral muito elevado, em função da baixa permeabilidade dos depósitos moles. Assim, deve-se avaliar o planejamento das manutenções periódicas necessárias.

Outra desvantagem do uso da sobrecarga é o grande volume de terraplenagem associado a empréstimos e bota-fora. Quando os recalques estimados são alcançados, a sobrecarga temporária é retirada e o material removido pode ser utilizado como aterro em outro local.

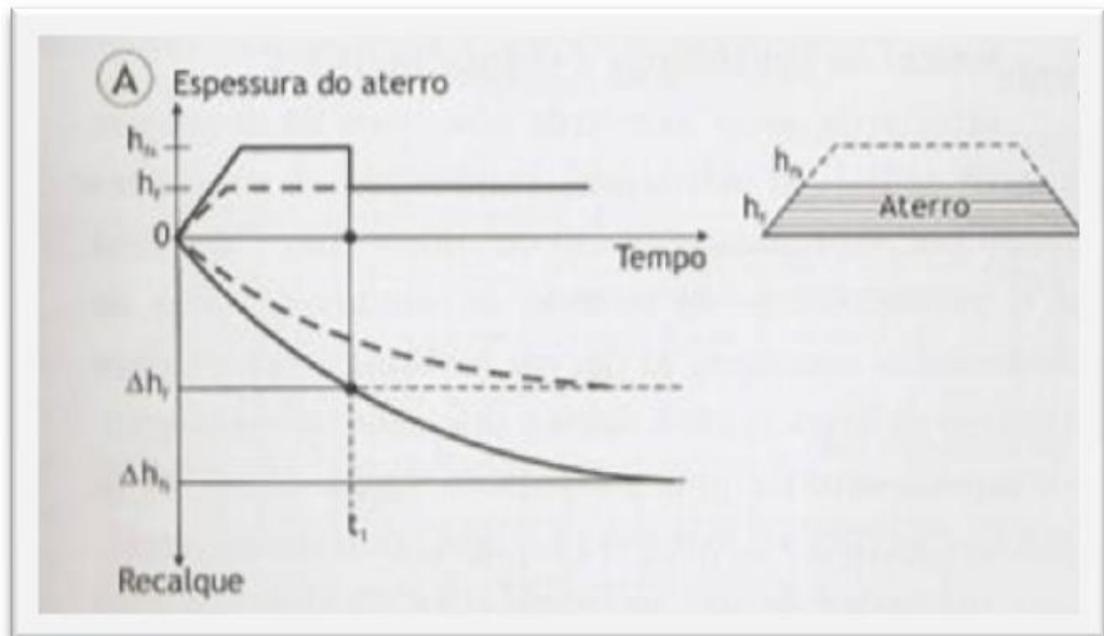


Figura 9: Aceleração de recalques com sobrecarga temporária

Fonte: Almeida e Marques, 2010, p.121.

Mesmo causando grandes impactos ambientais, por precisar de grandes volumes de sobrecarga, esse método ainda é muito utilizado em situações em que o prazo de execução da obra é longo, pois o seu custo é bem inferior ao dos métodos mais rápidos.

2.1.4. Aterros construídos em etapas, aterros com bermas laterais e aterros reforçados.

Segundo Almeida e Marques (2010, p.37 - 48), quando a camada superior dos solos moles não drenada possui uma resistência baixa, precisa-se estudar uma alternativa de redução da altura do aterro, no entanto essa alternativa não pode ser aplicada nos casos em que se necessitar uma de altura de aterro acima da cota de inundação da área ou em casos de greide, quando a altura já foi definida previamente. Nesses casos pode se aplicar o aterro em etapas, que consiste em um aterro com sobrecarga sendo executado aos poucos, devido ao baixo fator segurança à ruptura e que permiti um ganho de resistência gradativo. A cada etapa deve-se verificar a estabilidade do sistema e avaliar através de ensaios se os ganhos de resistência previstos em projeto estão acontecendo. Normalmente, os aterros em etapas são utilizados juntamente com drenos verticais. Porém, por ser

construído em etapas esse método é bastante demorado e por isso não é indicado para obras com prazos curtos para execução.

Almeida e Marques (2010, p.37) informam que nessas situações também podem ser utilizadas bermas de equilíbrio, pois assim como no aterro em etapas, elas possibilitam um aumento no fator de segurança a ruptura. E quando houver restrições quanto ao comprimento das bermas, poderão ser incluídos reforços com geossintéticos na base do aterro para melhorar o sistema.

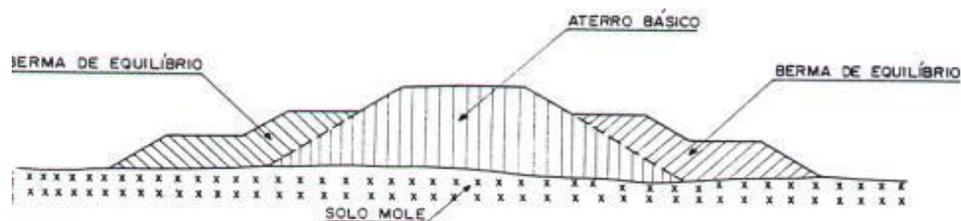


Figura 10: Bermas de equilíbrio

Fonte: Caputo, 1987, p.37.

Porém Almeida e Marques (2010, p.31) relatam que “restrições de espaço podem também inviabilizar o uso de bermas, particularmente no caso de vias urbanas”.

2.1.5. Aterro Sobre Drenos Verticais

Segundo Almeida e Marques (2010, p.38), os drenos verticais são “pré-fabricados, também denominados de geodrenos e drenos fibroquímicos. Os geodrenos consistem em um núcleo de plástico com ranhuras em forma de canaleta, envolto em um filtro de geossintético não tecido de baixa densidade”.

Os geodrenos normalmente estão associados a sobrecargas temporárias, onde primeiramente executa-se a camada drenante que funciona também como aterro de conquista (item 2.1.2), depois crava-se os drenos e faz-se o corpo do aterro. Durante a cravação, o dreno é conectado a sapata para garantir o seu

engaste no fundo da camada. É um método bastante rápido devido aos equipamentos de cravação utilizados (Almeida e Marques, 2010, p.38).

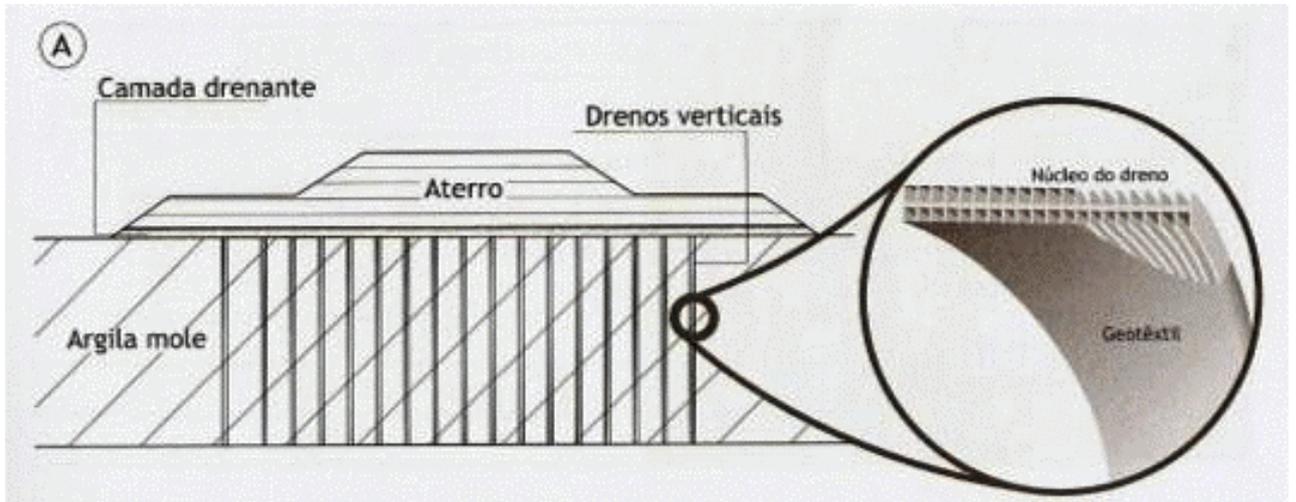


Figura 11: Esquema de um aterro sobre geodrenos.

Fonte: Almeida e Marques, 2010, p.39.

Ele é “utilizado para acelerar recalques, com grande experiência acumulada. Usa-se a sobrecarga temporária para diminuir os recalques primários e secundários remanescentes” (Almeida e Marques, 2010, p.47).

Ou seja, é um método bastante utilizado, e é muito comum usá-lo juntamente com outros métodos, com o objetivo de melhorar e acelerar o processo de adensamento.

2.1.6. Aterros Leves

Segundo Almeida e Marques (2010, p.38), os recalques primários que ocorrem no aterro sobre solo mole são devido ao acréscimo de carga causado pelo aterro construído, por isso utilizar um material leve em sua execução pode reduzir esses recalques.

“Essa técnica, denominada aterro leve, tem como vantagem adicional a melhoria das condições de estabilidade desses aterros, permitindo também a

implantação mais rápida da obra, diminuindo ainda os recalques diferenciais” (Almeida e Marques, 2010, p.38 - 39).

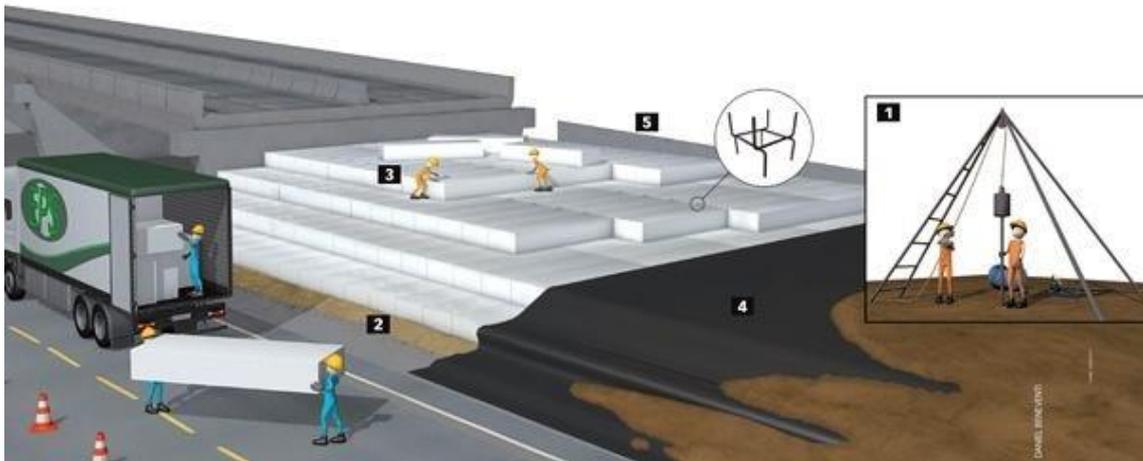


Figura 12: Blocos de EPS na execução de um aterro leve.

Fonte: ENGENIUM - Engenharia ambiental inteligente, acesso em 05/10/2014.

A escolha do material leve a ser utilizado é definida em função da comparação dos pesos específicos dos materiais disponíveis.

Material	Peso específico (kN/m ³)
Poliestireno expandido – EPS (isopor ou similar)	0,15 a 0,30
Tubos de concreto (diâmetro: 1 m a 1,5 m; espessura da parede: 6 cm a 10 cm)	2 a 4
Pneus picados	4 a 6
Argila expandida	5 a 10
Serragem	8 a 10

Tabela 4: Pesos específicos dos materiais para aterros

Fonte: Almeida e marques, 2010, p.40.

Conforme a tabela acima demonstra, o EPS tem menor peso específico e por isso é o material mais utilizado em aterros leves, além de ser ideal para obras com prazos curtos. No entanto, “o alto custo do EPS pode inviabilizar sua aplicação em áreas distantes da fábrica, em função do alto custo de transporte dos grandes volumes de EPS necessários para os aterros” (Almeida e Marques, 2010, p.40).

2.1.7. Aterros Sobre Elementos De Estacas

Aterros sobre elementos de estacas, também conhecido como Aterro Estaqueado ou Aterro Estruturado, consistem em um aterro que é suportado por estacas que transmitem as cargas para um solo de maior resistência abaixo dela. Além de um excelente método para a contenção de recalques também é indicada para obras com pouco tempo para sua execução.

A distribuição de tensões do aterro para as estacas é feita por meio de uma plataforma com capitéis, geogrelhas ou lajes. Esse tipo de solução minimiza ou mesmo – dependendo da solução adotada – elimina os recalques, além de melhorar a estabilidade do aterro, pois o seu alteamento pode ser realizado em uma só etapa, em um prazo relativamente curto. (Almeida e Marques, 2010, p.41)

No estaqueamento podem ser utilizados perfis metálicos e estacas pré-moldadas de concreto, sendo que para as bordas do aterro são mais indicadas às estacas de perfis metálicos, por apresentarem grande resistência à tração, apesar de terem um maior custo com relação às pré-moldadas de concreto.

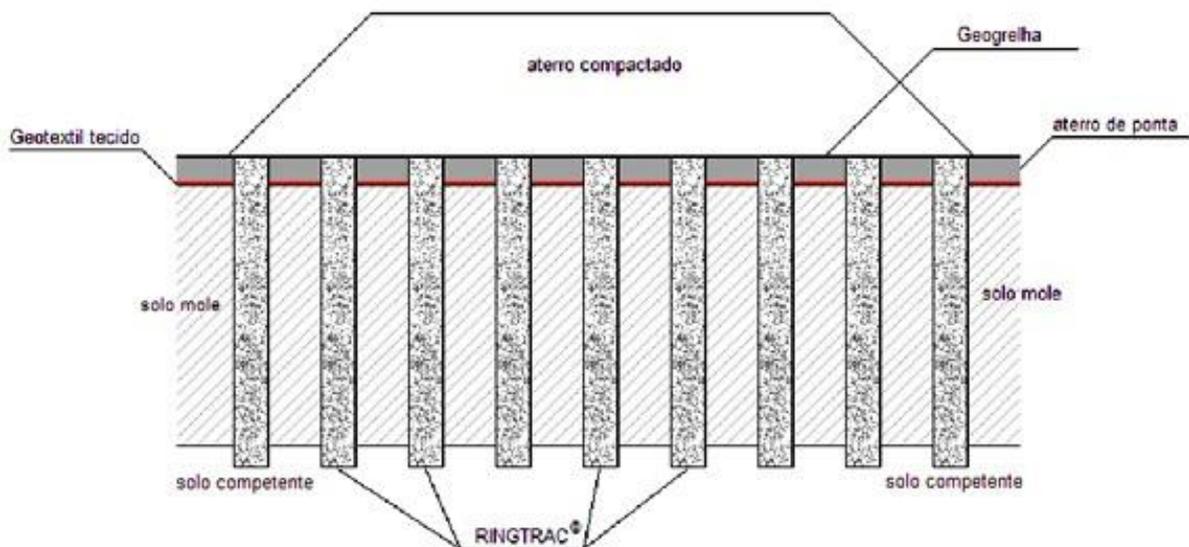


Figura 13: Aterro Estaqueado.

Fonte: Stabteco, tecnologia para solos moles, acesso em 05/10/2014.

2.2. REFORÇOS COM GEOSSINTÉTICO EM ATERROS SOBRE SOLOS MOLES

Devido a grande sensibilidade de aterros sobre solos moles a recalques é comum o emprego de reforços com geossintéticos para melhorar o sistema. Conforme abordado por Borges (1995, p.53):

A introdução de elementos resistentes num maciço terroso (natural ou artificial) não conduz, em geral, a um melhoramento das características próprias do solo (como acontece nos métodos de tratamento), mas sim a um melhoramento do comportamento mecânico global da estrutura, mediante a transferência de esforços do solo para os elementos de reforço.

Esse reforço aumenta a capacidade de carga da fundação porque ele “resiste ao empuxo da terra que se desenvolve dentro do aterro e resiste à deformação lateral da fundação, mudando a direção da tensão cisalhante, similarmente ao comportamento de uma sapata rugosa” (Almeida e Marques, 2010, p.145).

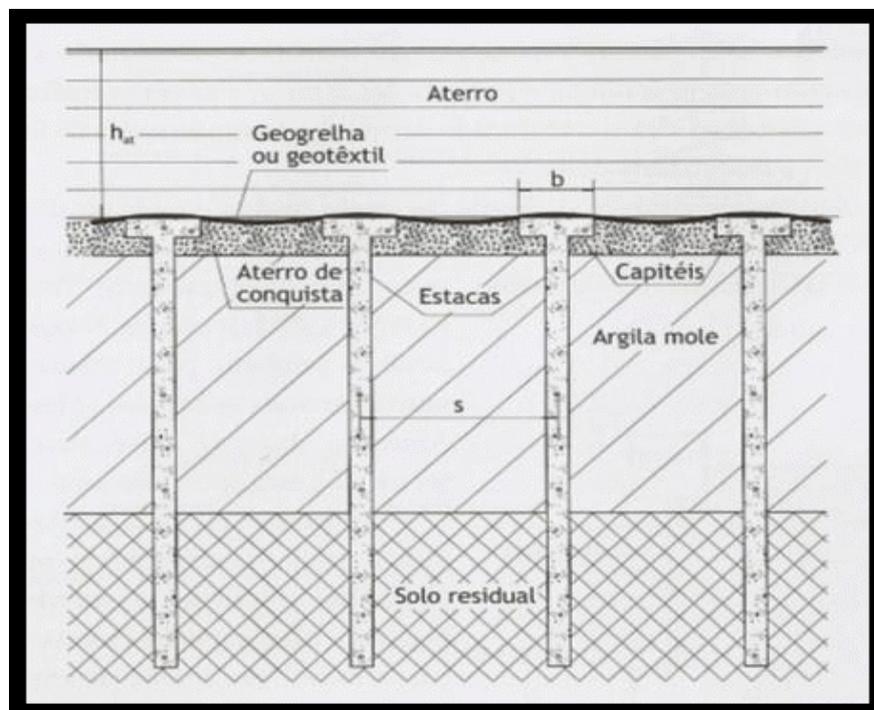


Figura 14: Esquema de aterro estaqueado reforçado com Geossintético

Fonte: Almeida e Marques, 2010, p.163.

Comparando-se aterros reforçados com aterros não reforçados pode-se perceber também que os aterros reforçados conseguem atingir altura maior e um considerável ganho no fator de segurança quanto à ruptura (Almeida e Marques, 2010, p.145).

Os geossintéticos mais utilizados em aterros sobre solos moles são:

Geogrelhas: materiais sintéticos em forma de grelha, desenvolvidos especificamente para reforço de solos, que podem ser unidirecionais, quando apresentam elevada resistência e rigidez à tração em apenas uma direção; ou bidirecionais, quando apresentam elevada resistência e rigidez à tração nas duas direções ortogonais.

Geotêxteis: materiais têxteis que, em função da distribuição das fibras ou filamentos, podem ser tecidos, com filamentos dispostos em duas direções ortogonais, ou não tecidos, com as fibras distribuídas aleatoriamente. (Almeida e Marques, 2010, p.134)

Segundo Cardoso (2009, p.7) “os polímeros mais utilizados na fabricação destes geossintéticos são o poliéster (PET), o polipropileno (PP) e o polietileno de alta densidade (PEAD), sendo que o poliéster atinge níveis de resistência mais elevados que os dois últimos”.

Segundo Borges (1995, p.57) para se escolher o geossintético mais adequado às características da obra, deve-se observar se ele satisfaz, além das condições econômicas, critérios de “resistência à tração adequada, suficiente interação solo-reforço, deformabilidade limitada a curto prazo, fluência e relaxação reduzidas e boa resistência à degradação”.

Em alguns tipos de aterros é permitida uma pequena deformação ao longo do tempo, para os aterros com reforço deve-se avaliar quanto é essa deformação permitida e especificar o reforço a ser utilizado, levando em consideração o módulo de rigidez e os fatores de redução em decorrência de danos mecânicos e danos ambientais (Almeida e Marques, 2010, p.160)

O reforço deve ser instalado o mais próximo possível do terreno natural, de forma a propiciar um maior fator de segurança em uma análise circular. Porém, em locais onde foram executados drenos verticais, em que o aterro de conquista é executado previamente, o reforço é executado acima do aterro de conquista. (Almeida e Marques, 2010-p.160)

Conforme afirmam Macedo (2002, p.22) e Spotti (2006, p.23) a inclusão do reforço com geossintético em aterros estaqueados também possibilita um maior

espaçamento entre as estacas e contribui para a redução nos volumes de terraplenagem, o que representa uma grande vantagem com relação aos aterros não reforçados. Macedo (2002, p.8) também afirma que é comum a utilização de uma combinação de técnicas para a execução de aterros sobre camadas de solos moles.

2.3. APLICAÇÕES DE ATERROS

Baseando-se nas comparações entre os tipos de aterros, pode-se analisar que os aterros estruturados ou estaqueados são os mais indicados quando trata-se de obras de contenções de solos moles com camadas espessas e que tenham necessidade de uma execução rápida e eficiente para a contenção de recalques. Nascimento (2009) fez uma comparação entre as varias alternativas e chegou à conclusão que o aterro estaqueado é menos oneroso do que o aterro sobre drenos para todas as espessuras de solo mole que ele analisou.

Vários outros pesquisadores já estudaram a aplicação de aterros estaqueados em obras sobre solos moles, entre eles: Almeida et. al. (2008), Cardoso (2009); Borba (2007); Spotti (2006) e Nascimento (2008).

Na publicação de Almeida et. al. (2008), ele avaliou o comportamento de dois aterros estruturados executados na Barra da Tijuca (RJ), onde a espessura da camada de aterro era em torno de 6 a 8 metros, justificando o uso do aterro estaqueado.

Cardoso (2009) estudou a aplicação da modelagem numérica para obter informações sobre a distribuição de tensões e deformações no aterro estaqueado construído na Sede Nacional do SESC/SENAC no Rio de Janeiro – RJ e apresentou também simulações numéricas paramétricas para avaliar a influência do espaçamento entre capitéis/estacas, da altura dos capitéis, da dimensão dos capitéis e da rigidez da geogrelha de reforço no comportamento do aterro estaqueado reforçado.

Borba (2007) analisou o desempenho de um aterro estaqueado reforçado experimental instrumentado, construído na Vila Pan Americana no Rio de Janeiro.

Ele analisou também algumas características de projeto adotadas nas diferentes obras de aterros estaqueados reforçados da literatura.



Figura 15: Aterro estaqueado reforçado SESC/SENAC – RJ.

Fonte: Spotti, 2006.

Spotti (2006) também estudou o aterro estaqueado na Sede Nacional do SESC/SENAC no Rio de Janeiro, mas voltando-se para o monitoramento dos recalques e das tensões através de instrumentações geotécnicas instaladas no aterro. E também apresentou exemplos de aterros estaqueados reforçados monitorados na Suécia (rodovia), Alemanha (ferrovia e dique periférico), Holanda (rodovia), Coreia do Sul (Universidade de Incheon), Inglaterra (rodovia), Austrália (rodovia) e Panamá (rodovia); e aterros estaqueados reforçados não monitorados na Alemanha (ferrovia), Malásia (ferrovia), Brasil (ferrovia), Inglaterra (pista de aeroporto e rodovia) e na Holanda (rodovia).

Nascimento (2008) comparou o aterro estaqueado com o aterro sobre drenos verticais para a construção de ferrovias sobre depósitos de argilas moles; e ele chegou à conclusão que o aterro estaqueado teria um prazo de conclusão quase 10 vezes menor que o sobre drenos verticais e também que o aterro sobre drenos

causa maior dano ao meio ambiente, por necessitar de mais aterro, gerando grandes impactos ambientais quanto a empréstimos e bota-foras.

3. ANÁLISE DE UM ATERRO ESTAQUEADO EXECUTADO EM NOVA FRIBURGO/ RJ – ESTUDO DE CASO

3.1. LOCALIZAÇÃO E DADOS DA OBRA

O estudo de caso realizado encontra-se no Distrito de Conselheiro Paulino, a 7 Km do Centro de Nova Friburgo na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, a aproximadamente 140 Km da capital carioca (figuras 16 e 17).

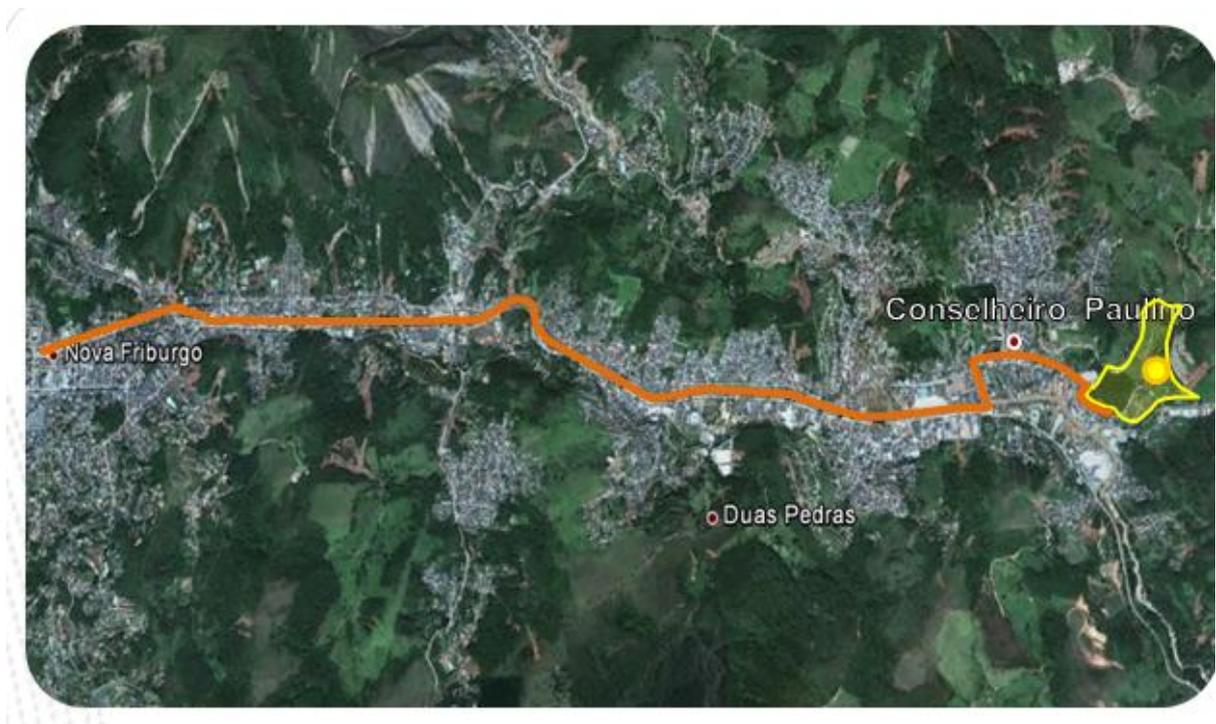


Figura 16: Localização do estudo de caso.

Fonte: Odebrecht Infraestrutura, 2014.



Figura 17: Localização do estudo de caso.

Fonte: Odebrecht Infraestrutura, 2014.

A obra realizada no local se trata de condomínios habitacionais, denominada Condomínio Terra Nova, e é uma obra de status emergencial, pois tem como objetivo a construção de moradias para as famílias que perderam suas casas na enchente que ocorreu em 2011. A construtora responsável pelas obras é a Odebrecht Infraestrutura, pertencente à Construtora Norberto Odebrecht. As obras desses condomínios iniciaram-se no começo 2013 e atualmente se encontram na fase final de construção, com previsão de entrega para o final deste ano (2014). Foram construídos 110 blocos, distribuídos em 9 condomínios, tendo 20 apartamentos em cada bloco, ou seja, a obra abrigará no total 2200 famílias.

O aterro estaqueado se encontra na região onde foi executada a pavimentação para acesso aos condomínios 5, 6 e 7, conforme a figura 18.



Figura 18: Localização do aterro estaqueado.

Fonte: Odebrecht Infraestrutura, 2014.

Nessa obra também foram utilizados métodos de laje estaqueada (conforme descrito no item 3.3), aterro com sobrecarga (conforme descrito no item 2.1.3) e também a técnica de substituição de solo mole (conforme descrito no item 2.1.1), todos com a finalidade de propiciar a construção dos condomínios sobre o solo mole existente no terreno.

3.2. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DO LOCAL

Conforme a sondagem apresentada no anexo 2, no local em que foi executada a obra existe uma camada de 3,90 metros de uma argila muito mole cinza, abaixo dessa argila tem mais 8,10 metros de areia fina e média siltosa pouco argilosa fofa, e abaixo dessa camada mais 6,00 metros de areia fina e média siltosa medianamente compacta, atingindo o limite de perfuração onde o solo se torna impenetrável à percussão na cota de -18 metros. As figuras 19 e 20 mostram como era o terreno e foram obtidas antes do início das obras.



Figura 19: Solos encontrados no terreno do estudo de caso.

Fonte: Odebrecht Infraestrutura, 2014.



Figura 20: Parte do terreno do estudo de caso.

Fonte: Odebrecht Infraestrutura, 2014.

Com base nas informações da sondagem, que apontou camadas espessas de solo mole e na necessidade de um método construtivo que além de conter os recalques, que normalmente ocorrem em solos moles, também fosse de execução rápida (pois a obra tem caráter emergencial), chegou-se a conclusão que a infraestrutura mais eficiente e viável a ser executada na região, onde ficaria os acessos aos condomínios 5, 6 e 7, seria o aterro estaqueado, pois conforme descrito no capítulo 2, mesmo ele sendo um processo mais caro a curto prazo, devido ao alto custo de aquisição e cravação das estacas, ele é um dos métodos mais eficientes na contenção dos recalques, além de ser o método de mais rápida execução.

3.3. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA PRÁTICA EMPREGADA

O processo de execução do aterro estaqueado consistiu primeiramente na execução de um aterro de conquista (conforme descrito no item 2.1.2), a principal função desse aterro é permitir o acesso de veículos de transporte das estacas e das máquinas de cravação nas partes mais distantes dos terrenos. O método consiste em retirar parte do solo mole existente no local e preencher com um solo de características mais resistentes a grandes movimentações de cargas sobre ele, conforme a figura 21.



Figura 21: Execução do Aterro de Conquista.

Fonte: Odebrecht Infraestrutura, 2014.

Ao longo de toda a extensão do aterro de conquista foram colocados drenos para facilitar a saída da água existente no solo mole durante as sobrecargas, sendo estas causadas pelas movimentações dos veículos sobre o terreno. A figura 22 mostra os drenos que foram colocados no local ao lado de onde foi executado o aterro de conquista.



Figura 22: Drenos.

Fonte: Odebrecht Infraestrutura, 2014.

Depois de executado o aterro de conquista e os sistemas de drenagem da água, foi possível o acesso a todas as áreas onde seria executado o aterro estaqueado. Para iniciar o processo de cravação das estacas, primeiro marcou-se os pontos de cravação com o auxílio da equipe de topografia, conforme especificado nos projetos, após a marcação dos pontos colocou-se o bate-estaca hidráulico próximo a esse ponto e posicionou-se a estaca totalmente na vertical, sobre o ponto marcado para a cravação e iniciou-se a cravação. Na ponta das estacas de pré-moldadas de concreto foi colocado um capacete metálico que tem como função absorver as cargas do impacto do martelo do bate estaca, evitando assim que ocorram danos à estaca, e na parte interna desse capacete metálico, sobre o topo das estacas foi instalado uma madeira macia de formato circular, com diâmetro igual ao das estacas a serem cravadas e que tem como função amortecer o atrito direto entre duas partes metálicas.

As estacas utilizadas tinham comprimentos de 5, 7, 10 e 12 metros, e como as profundidades de cravação especificadas em projeto tinham, em média, de 15 a 20 metros de profundidade, foi necessário utilizar duas ou mais estacas em cada cravação, sendo que primeiro cravava-se uma estaca deixando ela com aproximadamente 1 metro acima do solo, depois se posicionava a outra estaca por cima com o auxílio bate estaca e soldava uma estaca na outra.

Quando se atingia um ponto, em que, com 10 golpes a estaca descia menos de 7 milímetros, antes de chegar à profundidade especificada no projeto, interrompia-se a cravação e passava para a outra estaca, ponto esse denominado como nega das estacas.



Figura 23: Cravação de Estacas.

Fonte: Acervo do Autor.

O processo de cravação começou pelo condomínio 5 (Anexo 4), seguindo para o condomínio 6 (Anexo 5) e 7 (figura 24) logo em seguida, foram cravadas no total 1130 estacas no aterro estaqueado, sendo 173 estacas de perfis metálicos W360x57,8 e 957 estacas pré-moldadas de concreto de diâmetro de 38 cm. Distribuídas conforme representado nas respectivas figuras (a área correspondente ao aterro estaqueado encontra-se na cor marrom na figura):



Figura 24: Localização das Estacas do Condomínio 7.

Fonte: Odebrecht Infraestrutura, 2014.

Após a cravação de cada estaca, elas eram niveladas numa altura de aproximadamente 30 centímetros sobre o chão e já começava-se a execução dos capitéis de concreto armado (conforme descrito no item 2.1.7), sobre a cabeça das estacas. Cada estaca recebeu um capítél, eles foram confeccionados no formato retangular e com as bordas arredondadas, e tinha como função receber as cargas do aterro e passá-las para as estacas. O sistema consistia basicamente em uma armadura no formato de gaiola que encaixa sobre a estaca, colocava-se a forma e concretava.



Figura 25: Execução de Capitéis.

Fonte: Acervo do Autor.

Os capitéis também tem como função ser o apoio da geogrelha, e as bordas são arredondados exatamente para não causar danos na geogrelha quando ela for solicitada. A principal função da geogrelha é separar a fundação em duas partes, em que abaixo da geogrelha ocorriam os recalques, devido ao adensamento natural do solo, mas que devido à existência da geogrelha, esses recalques não eram passados para o aterro acima da geogrelha, ou seja, mesmo ocorrendo recalques abaixo da geogrelha, não haverá dano nenhum a estrutura que estiver sobre ela.

A geogrelha é um material geotêxtil e tem como principal característica a capacidade de aguentar muitas cargas sem sofrer quase nenhuma deformação. Ela suporta todas as cargas sobre ela e as transmite para os capitéis em que ela está apoiada. As geogrelhas que foram utilizadas nesse aterro estaqueado resistem a até 400 KN de peso.



Figura 26: Aplicação da Geogrelha.
Fonte: Odebrecht Infraestrutura, 2014.

Acima da geogrelha vem uma camada de aterro compactado até atingir a altura especificada em projeto, as alturas desse aterro foram em média de 2 metros. O solo utilizado nesse aterro é um solo de boa resistência e que não está sujeito a recalques por adensamento do solo, esse aterro é bem compactado e sobre ele vem a pavimentação das ruas de acesso do condomínio.

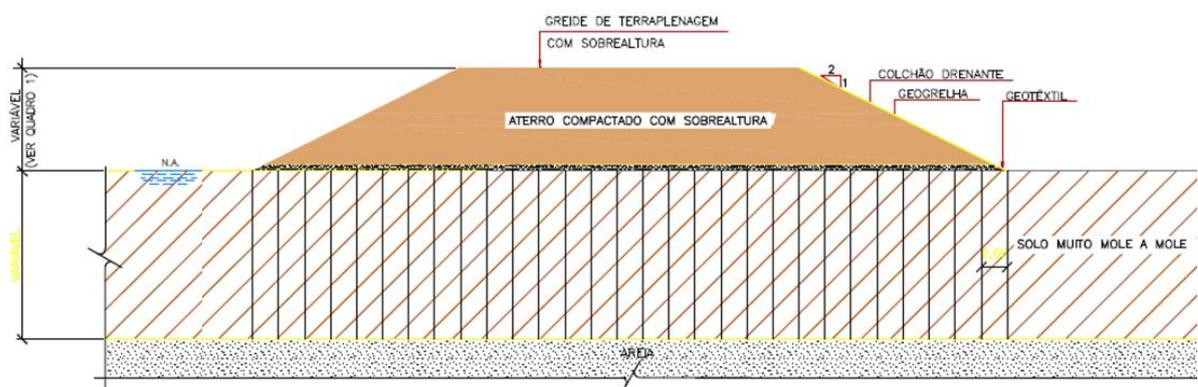


Figura 27: Esquema do Aterro Estaqueado.
Fonte: Odebrecht Infraestrutura, 2014.

Na parte em que foi executada a laje estaqueada o sistema se assemelha muito com o aterro estaqueado até na cravação das estacas e a partir daí em vez de

receber os capitéis e a geogrelha, a laje estaqueada recebe um radier, que já é a fundação dos prédios.

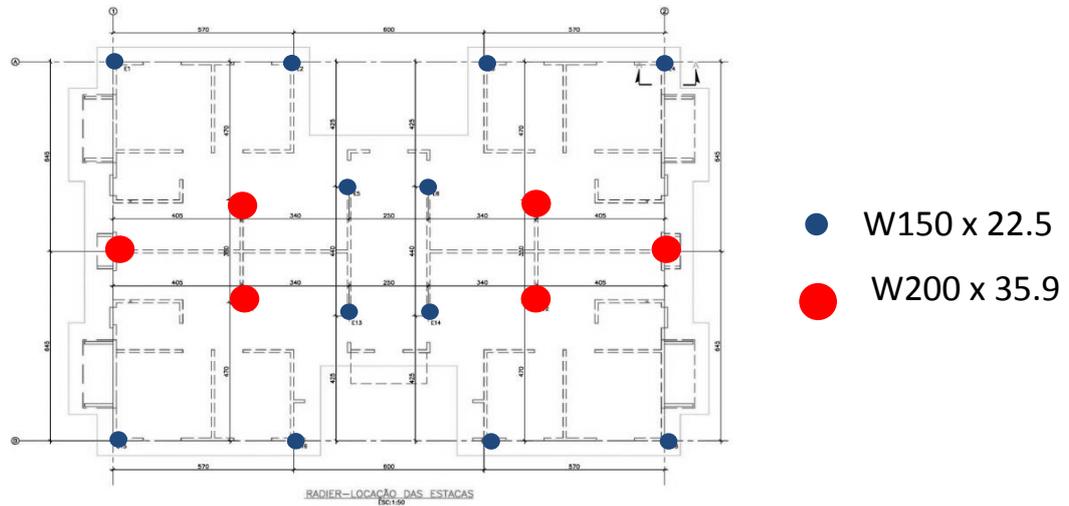


Figura 28: Localização das estacas da laje estaqueada.

Fonte: Odebrecht Infraestrutura, 2014.

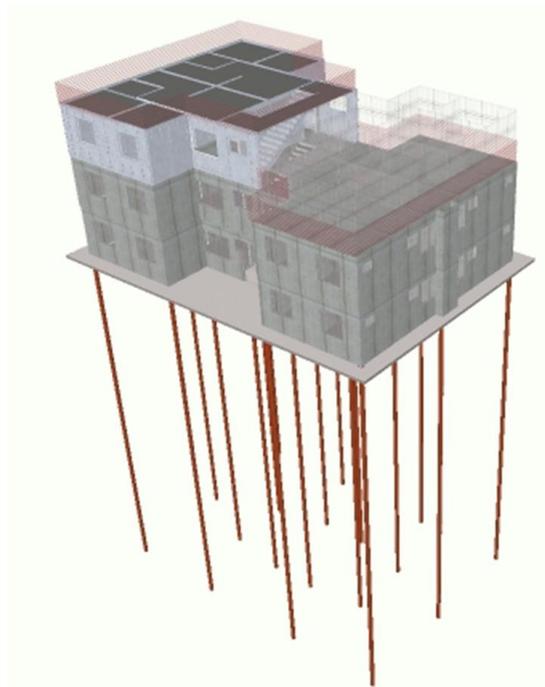


Figura 29: Esquema representativo das lajes estaqueadas.

Fonte: Odebrecht Infraestrutura, 2014.

Sobre cada prédio dos condomínios 5, 6 e 7 foram colocadas 18 estacas de perfil metálico, sendo 12 estacas W 150 x 22.5 e 6 estacas W 200 x 35.9.

3.4. RESULTADOS OBTIDOS

Com base no estudo de caso realizado pode-se observar que o método de aterro estaqueado foi eficiente na prevenção dos recalques que poderiam ocorrer devido o adensamento do solo mole; e por causa da utilização desse método toda a pavimentação de acesso aos condomínios foi executada dentro do prazo e custo previstos. Também se pode observar que a obra atendeu a todas as especificações exigidas pelo contratante, e que inclusive a empresa responsável pela obra recebeu certificados de PBQPH e ISO 9001 através das auditorias realizadas. A figura abaixo se trata do local onde foi realizado o aterro estaqueado, após a conclusão da pavimentação.



Figura 30: Local onde foi realizado o aterro estaqueado.

Fonte: Odebrecht Infraestrutura, 2014.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na pesquisa realizada podemos concluir que o aterro estaqueado foi a melhor escolha para o estudo de caso, pois ele é a melhor solução quando se trata de solos muito moles; e inclusive segundo alguns autores, pode ser a única solução viável quando a profundidade dessa camada de solo mole for muito espessa.

Também pôde-se observar no capítulo 2, que o sistema possui diversas outras aplicações além do estudo de caso apresentado no capítulo 3, dentre as aplicações possíveis foram citadas as de infraestruturas para ruas, rodovias, ferrovias, obras de construção civil, obras de artes, diques periféricos e até pistas de aeroporto.

As principais vantagens desse sistema com relação aos outros apresentados, é que ele possui uma execução rápida e que ainda pode ser mais reduzida aumentando-se a equipe de trabalho, opção esta que é viável quando se trata de obras de caráter emergencial, pois esse sistema possui como desvantagem os preços das estacas e os custos de cravação, que são elevados. E existe essa possibilidade de aumentar o tempo de execução, pelo fato do sistema não necessitar que se encerre uma parte para iniciar outra, pois todo o aterro pode ser executado em uma única etapa se necessário. A desvantagem de se executar em uma única etapa é que o custo inicial da obra será elevado, pois em métodos convencionais se levaria anos para gastar, o que é gasto em apenas algumas semanas no aterro estaqueado.

E ainda existe a garantia da eficácia do método na contenção de recalques e vantagens do ponto de vista ambiental, pois necessita de menos material para a execução do aterro, causando menos impacto no meio ambiente.

Ou seja, o método do aterro estaqueado é o mais indicado quando houver necessidade de um aterro sobre solo mole de execução rápida, eficaz e com baixo impacto ambiental. Mas deve-se sempre levar em consideração as características de cada obra para ter certeza que nada inviabilizará a sua utilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. S. S.; MARQUES, M. E. S. **“Aterros Sobre Solos Moles. Projeto e Desempenho”**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2010.

ALMEIDA, M. S. S. et al. **“Investigações de Campo e de Laboratório na Argila de Sarapuí”**. Revista Solos e Rochas, Vol. 28, Nº 1, 2005.

ANDRADE, M. E. S. **“Contribuição ao Estudo das Argilas Moles da Cidade de Santos”**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.

ARAGÃO, C. J. G. **“Propriedades Geotécnicas de Alguns Depósitos de Argilas Moles na Área do Grande Rio”**, Dissertação (Mestrado em) – DEC, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 1975.

BASTOS, C. **“Notas de aula de Compressibilidade dos Solos”**. URG, Rio Grande do Sul, 2008.

BORBA, A.M. **“Análise de Desempenho de Aterro Experimental na Vila Pan - Americana”**. Dissertação (Mestrado em) – UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

BORGES, J. M. **“Aterros Sobre Solos Moles Reforçados Com Geossintéticos, Análise e Dimensionamento”**. Dissertação (Doutorado em) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 1995.

CANTARA, H. **“Mecânica dos Solos e Geologia Classificação e Compactação do Solo”**. Notas de Aula – UNIP, Campus Brasília, DEC, Brasília, 2012.

CAPUTO, H. P. **“Mecânica dos Solos e Suas Aplicações – Vol.1: Fundamentos”**. 6. ed; Rio de Janeiro: Ed. LTC, 1988.

CAPUTO, H. P. **“Mecânica dos Solos e Suas Aplicações. Mecânica das Rochas – Fundações e Obras de Terra – Vol. 2”**. 6. ed; Rio de Janeiro: Ed. Livros Técnicos e Científicos, 1987.

CARDOSO, C. A. “**Estudos Numéricos de Aterros Estaqueados Reforçados com Geogrelha**”. Dissertação (Mestrado em), UFRJ/COPPE - Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2009.

COUTINHO, R. Q; OLIVEIRA, A. T.J. OLIVEIRA, J.T.R. “**Características Geotécnicas das Argilas Mole de Recife**”. Encontro de Propriedades de Argilas Moles Brasileira, ABMS-COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

DNER PRO 381/1998. “**Projeto de Aterros Sobre Solos Moles para Obras Viárias.**” Rio de Janeiro, 1998.

DNER/IPR. “**Relatório Sobre a Pesquisa de Aterro Sobre Solos Compressíveis – 2ª Fase – Aterro II Sobre Diversos Tipos de Elementos Drenantes Verticais.**” Rio de Janeiro, 1980.

DOMINGOS, G. S. “**Efeito Tridimensional e de Fluência nos Recalques de Fundações em Argila: O Método de Skempton e Bjerrum Revisitado**”. MSc, Coppe/UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

ENGENIUM – “**Engenharia Ambiental Inteligente**”, Disponível em: <<http://www.engenium.com.br/>> Acesso em: 05 de outubro 2014.

GERSCOVICH, D.M.S.; LIMA, I.; MARTINS, A.. “**Compressibilidade e Adensamento**”. Dissertação (Monografia em) – UERJ - Faculdade de Engenharia - Departamento de Estruturas e Fundações, Rio de Janeiro, 2012.

FABRICIO, M. M.; ROSSIGNOLO, J. A. “**SAP0653 – Tecnologia Das Construções II**”. Apostila de fundações, São Paulo, 2011.

FEIJO, R. L.; Martins, I. S. M. “**Relação entre Compressão Secundária, OCR e K_0** ”, COPPEGEO 93 – Simpósio Geotécnico em Comemoração aos 30 Anos da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1993.

KOSHIMA, AKIRA. et al. “**Fundações: Teoria e Prática**”. 2. ed; São Paulo: Ed. Pini, 1998.

MACÊDO, I.L. “**Análise Numérica da Construção de Aterros Sobre Solos Moles Próximos a Estruturas Existentes – Influência da Presença de Reforço Geossintético**”. Dissertação (Mestrado em) - UnB, Brasília, 2002.

MARTINS, I. S. M e Abreu, R. R. S. “**Uma Solução Aproximada para o Adensamento Unidimensional com Grandes Deformações e Submersão de Aterros**”. Revista Solos e Rochas, Vol. 25 (1), pp. 3-14, Rio de Janeiro, 2002.

MARTINS, I. S. M. “**Adensamento dos Solos**”. Notas de Aula. UFRJ-COPPE, Rio de Janeiro, 2000.

MARTINS, I. S. M. “**O Adensamento Secundário**”. Palestra no Clube de Engenharia, Rio de Janeiro, 2008.

NASCIMENTO, C. M. C. “**Avaliação de Alternativas de Processos Executivos de Aterros de Vias Urbanas Sobre Solos Moles**”. Dissertação (Mestrado em) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2009.

NBR 6484. “**Solo - Sondagens de Simples Reconhecimento com Spt - Método de Ensaio**”, 2001.

OLIVEIRA, H. M. & Almeida, M. S. S. “**Aplicações em Adensamento de Solos Compressíveis. In: Manual Brasileiro de Geossintéticos**”. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 2004.

ORTIGÃO, J. A. R. “**Aterro Experimental Levado à Ruptura Sobre Argila Cinza do Rio De Janeiro**”, 715 p. Tese (Doutorado em), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1980.

ORTIGÃO, J. A. R. “**Introdução à Mecânica dos Solos dos Estados Críticos**”. Rio de Janeiro: Ed. Livros Técnicos e Científicos Editores Ltda. 374p, 1993.

PASSOS, S S. “**Projeto e Avaliação do Desempenho de um Aterro sobre Argila Muito**”. Projeto de graduação - UERJ, Rio de Janeiro, 2012.

PERBONI, J. P. “**Análises de Estabilidade e de Compressibilidade de Aterros Sobre Solos Moles – Caso dos Aterros de Encontro da Ponte Sobre o Rio dos Peixes (BR 381)**”. Dissertação (Mestrado em) - UFOP, Ouro Preto, 2003.

PINTO, C. S. **“Curso Básico de Mecânica dos Solos”**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2000.

QUARESMA, A.R.; DÉCOURT, L.; QUARESMA FILHO, A.R.; ALMEIDA, M.S.S.; Danziger, F. **“Fundações – Teoria e Prática: Investigações Geotécnicas”**, São Paulo: Ed. Pini - ABMS/ABEF. p. 119-162, 1988.

RIBEIRO, L. F. M. **“Ensaio de Laboratório para Determinação das Características Geotécnicas da Argila Mole de Sergipe”**. 201f. Dissertação (Mestrado em) – PUC/Rio, Rio de Janeiro, 1992.

SALES, I. A. S. L. **“Estudos Numéricos e Analíticos de Aterros Estaqueados Reforçados”**. Dissertação (Mestrado em), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

SAMPA N.C. **“Redistribuição das Cargas na Fundação Devido ao Recalque dos Apoios e suas Consequências”**. Tese (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2012.

SANDRONI, S. S. **“Sobre a Prática Brasileira de Projetos Geotécnicos de Aterros Rodoviários em Terrenos com Solos Muito Moles”**. XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Curitiba, 2006.

SAYÃO, A.S. F. J. **“Ensaio de Laboratório na Argila Mole da Escavação Experimental De Sarapuí”**. 201f. Dissertação (Mestrado em) - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 1980.

SCHNAID, F. **“Ensaio de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações”**. São Paulo: Oficina de Textos, 189 p. 2000.

SOUZA PINTO, C. **“Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas”**. 3 ed; São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2006.

SOUZA PINTO, C. **“Curso Básico de Mecânica dos Solos”**. UERJ - Faculdade de Engenharia - Departamento de Estruturas e Fundações, São Paulo: Ed. Oficina de Testos, 2000.

SPANNEBERG, M. G. **“Caracterização e Comportamento de um Depósito de Argila Mole da Baixada Fluminense”**. Dissertação (Mestrado em), PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2003.

SPOTTI, A. P. **“Aterro Estaqueado Reforçado Instrumentado Sobre Solo Mole”**. Tese (Doutorado em), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

STABTECNO, **“Tecnologia para Solos Moles”**. Disponível em: <<http://www.stabtecno.com.br/>> Acesso em: 05 de outubro 2014.

VELOSO, D. A.; Lopes, F. R. **“Fundações : Critérios de Projeto – Investigações do Subsolo – Fundações Superficiais - Vol.1”**. 1. ed; São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2004.

ANEXO 1- PROPRIEDADES INFERIDAS A PARTIR DA CLASSIFICAÇÃO SUCS

SÍMBOLO DO GRUPO	TRABALHABILIDADE COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	PERMEABILIDADE QUANDO COMPACTADO	RESISTENCIA COMPACTADA E SATURADA	COMPRESSIBILIDADE COMPACTADA E SATURADA	γ_{dmax} kg/m ³ (PN)	VALOR COMO FUNDAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DE DRENAGEM
GW	Excelente	Permeável	Excelente	Desprezível	20,0 a 22,0		Excelente
GP	Boa	Desprezível	Boa	Desprezível	18,0 a 20,0		Excelente
GM	Boa	Semip. a perm.	Boa	Desprezível	19,0 a 22,00	Boa a excel.	Regular a má
GC	Boa	Impermeável	Reg. a boa	Muito pequena	18,5 a 21,0		Má
SW	Excelente	Permeável	Excelente	Desprezível	17,5 a 21,0		Excelente
SP	Regular	Permeável	Boa	Muito pequena	16,0 a 19,0	Má a boa	Excelente
SM	Regular	Semip. a perm.	Boa	Pequena	17,5 a 20,0	Má a boa	Regular a má
SC	Boa	Impermeável	Reg. a boa	Pequena	17,0 a 20,0	Má a boa	Má
ML	Regular	Semip. a perm.	Regular	Média	15,0 a 19,0	Muito má	Regular a má
CL	Regular a boa	Impermeável	Regular	Média	15,0 a 19,0	Má a boa	Má
OL	Regular	Semip. a perm.	Baixa	Média	13,0 a 16,0	Má	Má
MH	Má	Semip. a perm.	Baixa a reg.	Alta	11,0 a 15,0	Má	Regular a má
CH	Má	Impermeável	Baixa	Alta	12,0 a 17,0	Regular a má	Má
OH	Má	Impermeável	Baixa	Alta	11,0 a 16,0	Muito má	Má
PT	Compactação extremamente difícil. Não utilizados como aterro. Devem ser removidos das fundações. Recalques excessivos. Resistência muito baixa						

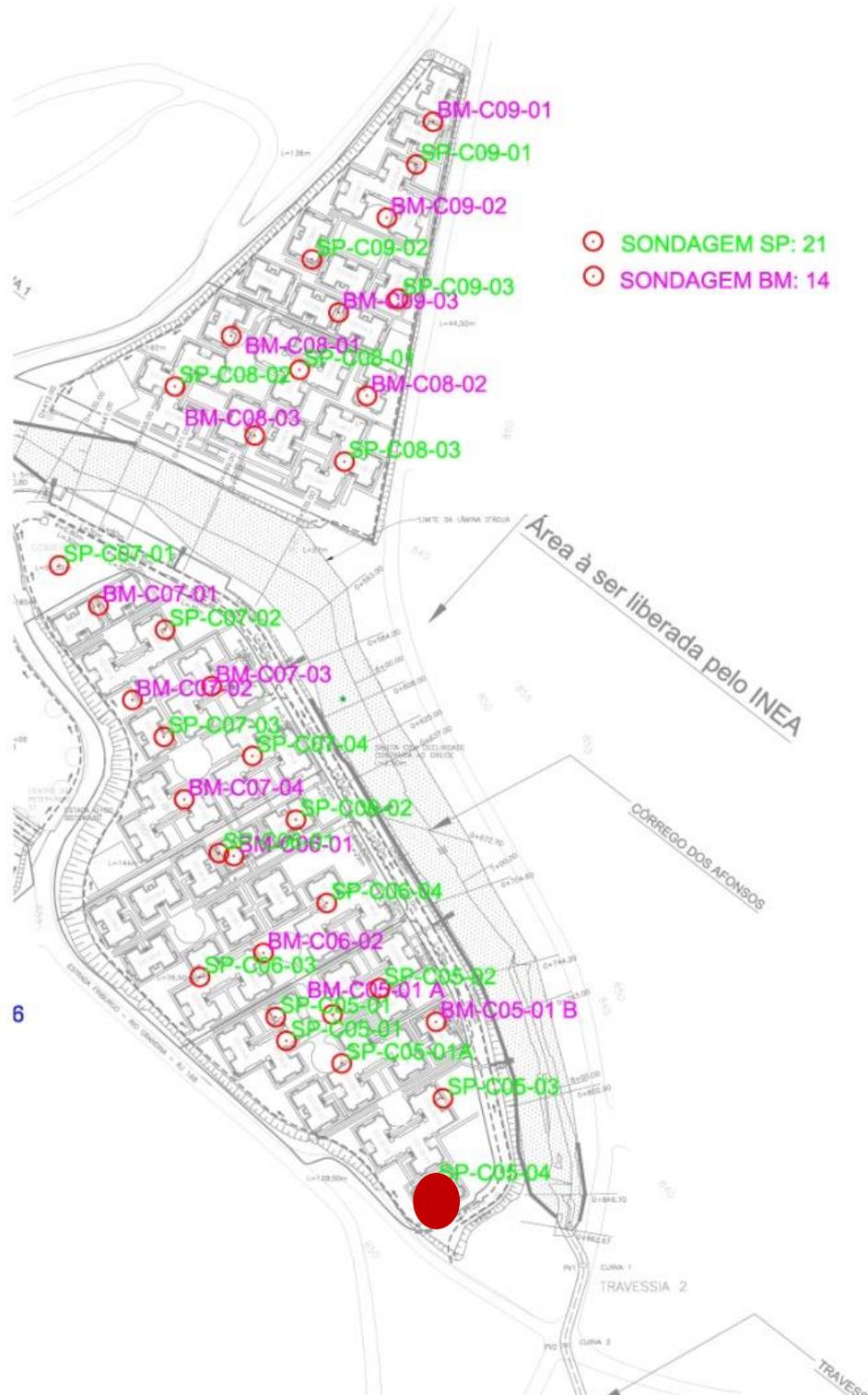
Obs.: PN = Proctor Normal

γ_{dmax} = Densidade aparente seca máxima

CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS		CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	
SÍMBOLO GRUPO	NOME DOS GRUPOS	SÍMBOLO GRUPO	NOME DOS GRUPOS
GW	Pedregulho bem graduado	CL	Argila pouco plástica
GP	Pedregulho mal graduado	ML	Silte
GM	Pedregulho siltoso	OL	Argila Orgânica Silte Orgânico
GC	Pedregulho argiloso	CH	Argila muito plástica
SW	Areia bem graduada	MH	Silte elástico
SP	Areia mal graduada	OH	Argila orgânica Silte orgânico
SM	Areia siltosa	PT	Turfa
SC	Areia argilosa		

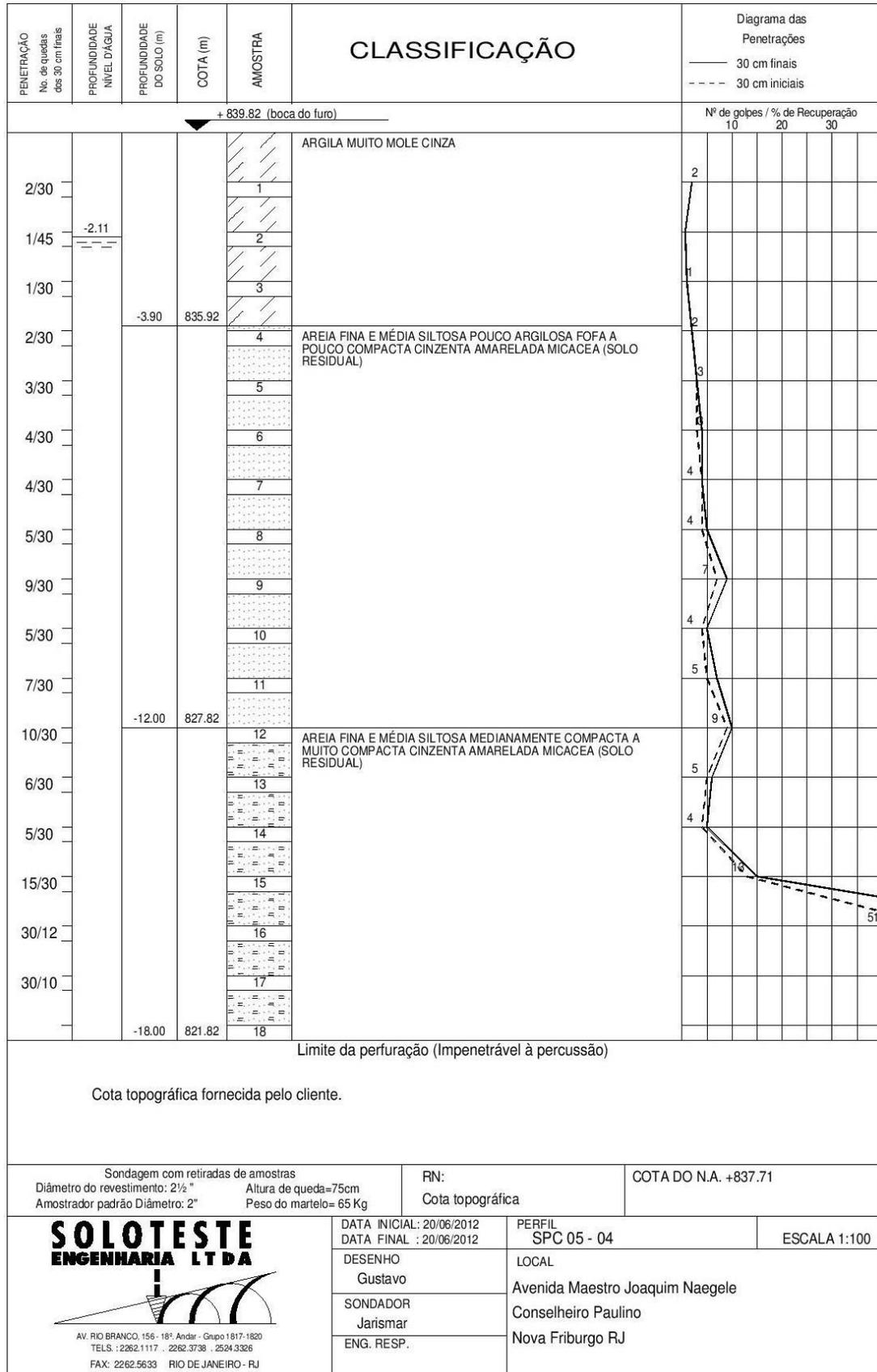
Fonte: Notas de Aula Prof. Cezar Bastos DMC/FURG.

ANEXO 2- MAPA DE SONDAGEM



Fonte: Odebrecht Infraestrutura, 2014.

ANEXO 3 – BOLETIM DE SONDAGEM



ANEXO 4 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTACAS DO CONDOMÍNIO 5.



Fonte: Odebrecht Infraestrutura, 2014.

ANEXO 5 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTACAS DO CONDOMÍNIO 6.



LEGENDA:

- | | | | |
|---|--|---|--------------------|
|  | - SOLUÇÃO (S1) |  | - ESTACA W360x57,8 |
|  | - ÁREA DE RESSALVAMENTO DOS MESES DE IMPLANTAÇÃO |  | - ESTACA PM 35cm |
|  | - ATERRO ESTRAQUEADO - SOLUÇÃO 2 (S2) |  | - ESTACA PM 34cm |
|  | - LAJE ESTRAQUEADA - SOLUÇÃO 3 (S3) |  | - ESTACA W200x53 |
|  | - ATERRO COM SOBRECARGA - SOLUÇÃO 4 (S4) | | |
|  | - SONDADEM A EXECUTAR | | |
|  | - SONDADEM EXECUTADA | | |

Fonte: Odebrecht Infraestrutura, 2014.