



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

ELISANDRA GUESSER

ESTUDO E ANÁLISE DO GEODRENO A VÁCUO EM OBRAS COM SOLO MOLE

Palhoça

2019

ELISANDRA GUESSER

ESTUDO E ANÁLISE DO GEODRENO A VÁCUO EM OBRAS COM SOLO MOLE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador: Fernanda Soares de Souza Oliveira, Msc.

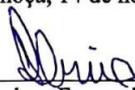
Palhoça
2019

ELISANDRA GUESSER

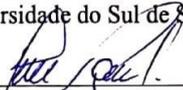
ESTUDO E ANÁLISE DO GEODRENO A VÁCUO EM OBRAS COM SOLO MOLE

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 14 de novembro de 2019.



Professora e orientadora Fernanda Soares de Souza Oliveira, Msc.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Huri Alexandre Raimundo, MSc.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Eng. civil Miryan Yumi Sakamoto

Prosul

Aos meus pais,
dedico.

AGRADECIMENTOS

Costumo dizer que Deus sempre foi muito bom comigo e, realmente, foi e é. Não poderia deixar que começar meus agradecimentos sem agradecer a ele pelo dom da vida, pela família que me proporcionou e por todas as oportunidades. Obrigada meu Deus!

Acredito que todas as conquistas nunca são mérito de uma só pessoa, então gostaria de deixar meus agradecimentos aos meus maravilhosos pais, sim eu tive muita sorte, vocês sempre serão minha razão de vida, minha inspiração e meu espelho. Obrigada por me proporcionarem este momento, por tornarem tudo sempre mais fácil e por trabalharem tanto para sempre me proporcionar o melhor, amo vocês incondicionalmente. Às minhas irmãs que, muitas vezes, não me compreendem mas tentam. A minha segunda família, a família Todestado que sempre me acolhe com tanto carinho e amor, que está sempre do meu lado me ajudando, aconselhando, meu muito obrigada, tia Maria, Tio Marcos e Jéssica. Não poderia deixar de agradecer também à minha madrinha por todos os almoços enquanto estagiava em Antônio Carlos e por todas as palavras de apoio. A todos os outros que de alguma forma sempre se preocuparam e me incentivaram.

De forma geral, gostaria de agradecer a todos os professores da Unisul, sem dúvida foram cinco anos de muita luta, choro, estresse, mas também de muita alegria e vocês sempre serão lembrados por mim com muito carinho. De forma alguma poderia deixar de falar dela que deve muita paciência, dedicação, que sempre me tratou com tanto amor e carinho, Professora Fernanda, meu muito obrigada por tudo que a senhora fez por mim, por acreditar e me ajudar em tudo, você sem dúvida foi um anjo que Deus colocou em meu caminho, minha gratidão eterna, ao senhor Geraldo da Tecnogeo que tornou meu trabalho de conclusão possível. À senhora Raymi, pela revisão textual. Ao professor Huri e a Engenheira Miryan por aceitarem fazer parte da banca. Enfim, muito obrigada a todos.

A Unisul me proporcionou muito conhecimento e além disso me trouxe pessoas que quero levar para sempre comigo. Meninas, vocês com certeza tornaram tudo mais fácil, muito obrigada por tudo Ana, Cris, Cassi e Maria. Não poderia faltar você minha grande parceira de tudo, obrigada por sempre estar comigo, Isa.

Meu último agradecimento vai para pessoa que entrou no meio do tumulto e que sem dúvida se tornou meu maior companheiro e incentivador, estando ao meu lado falando que eu conseguiria, que tudo daria certo. Muito obrigada, meu amor Marcelo, por estar comigo e sempre me apoiar. Te amo muito.

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso objetiva buscar o aperfeiçoamento das construções por meio de novas tecnologias com o intuito de solucionar os problemas com solo mole encontrados nas obras. O geodreno a vácuo é uma dessas tecnologias que busca viabilizar o recalque dos solos moles em pouquíssimo tempo e apresenta a garantia de que esse já chegou ao limite; não vindo, portanto, influenciar posteriormente na obra. Além disso, procurou-se apresentar os resultados das soluções por meio da análise da utilização desta solução em duas obras as quais tratam acerca da ampliação de uma rodovia localizada na América do Sul e na construção de um aterro teste para edificação de um aeroporto na cidade do México. Ambas as obras estão localizadas em locais com a presença de solos moles, pode-se observar isso por meio dos ensaios realizados. Os resultados dos recalques serão analisados mediante instrumentos de monitoração de campo que apresentam o comportamento do solo antes da construção, durante e um tempo depois.

Palavras-chave: Geodreno a vácuo. Recalque. Tecnologia.

ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma de trabalho.	17
Figura 2 – fluxograma.	19
Figura 3 - Estrutura e composição dos solos.	20
Figura 4 - Classificação dos solos por granulometria desenvolvidas pelo USDA, ASTM e MIT.	27
Figura 5 - Curva granulométrica	28
Figura 6 - Diferentes granulometrias.....	28
Figura 7 - Esquema do sistema SUCS.....	29
Figura 8 - Permeâmetro de carga constante.	36
Figura 9 - Permeâmetro de carga variável.....	36
Figura 10 - Valores de permeabilidade de solos.....	33
Figura 11 - Analogia mecânica para o processo de adensamento segundo Terzaghi.....	38
Figura 12 - Esquema de montagem de ensaio de adensamento	40
Figura 13 - Gráfico: deformação em função do tempo	41
Figura 14 - Camada de solo em adensamento.	42
Figura 15 - Instrumentos para o ensaio SPT	43
Figura 16 - Componentes do Piezocone.....	45
Figura 17 - Apresentação dos resultados do ensaio CPT.	45
Figura 18 - Cravação da palheta.....	46
Figura 19 - Seção esquemática de um projeto de monitoramento sobre solos moles.	47
Figura 20 - Representação esquemática de piezômetro.....	48
Figura 21 - Inclinômetro – Princípio de funcionamento	49
Figura 22 - Detalhe de uma placa de recalque.....	50
Figura 23 - Exemplo de localização de instalação de Placa de recalque.....	51
Figura 24 - Representação das partes de um extensômetro simples.....	51
Figura 25 - Perfilômetro	52
Figura 26 - escoamento final das águas nos colchões drenante.....	53
Figura 27 - Soluções de estabilização ou controle de recalques de aterros sobre solos moles.....	55
Figura 28 – Aterro leve com isopor.....	56
Figura 29 - Aceleração de recalques com sobrecarga temporária.	56
Figura 30 - Detalhe de projeto com bermas de equilíbrio.	57
Figura 31 - Reforço com geossintéticos na base de aterros de solo mole.	57

Figura 32 - Esquema representativo do processo construtivo das colunas granular encamisadas.	58
Figura 33 - Fluxo da água intersticial após a utilização dos drenos.	59
Figura 34 - Esquema do carregamento por vácuo CPDV.	63
Figura 35 - Dimensionamento da pressão do vácuo aplicada no solo.	64
Figura 36 - Trajetória de tensões de pré-carregamento com sobrecarga de aterro (ABC) e com vácuo (AD).	66
Figura 37 - Movimento do solo sobre carregamento de aterro e vácuo.	66
Figura 38 - Esquema em planta.	67
Figura 39 - Esquema da seção do km 0+120.	68
Figura 40 - Execução da camada de proteção das mangueiras do sistema de vácuo.	69
Figura 41 - Resultados das sondagens feitas no depósito.	70
Figura 42 - Resultados CPTu 1.	71
Figura 43 - Resultados palheta depósito.	72
Figura 44 - Resultados placas de recalque.	73
Figura 45 - Resultados inclinômetro 2	74
Figura 46 - Imagem aérea do aterro	75
Figura 47 - Vista em planta	75
Figura 48 - Drenos cilíndricos	76
Figura 49 - Detalhe esquemático do sistema de tratamento por sobrecarga a vácuo	77
Figura 50 - Bombas para aplicação de pressão a vácuo	77
Figura 51 - Tubo flexível e conexão com PVDs	78
Figura 52 - Zona de aplicação de cada bomba	78
Figura 53 - Exploração geotécnica realizada no local do teste.	79
Figura 54 - Caracterização geotécnica do local na seção de teste.	81
Figura 55 - Perfil geológico-geotécnico do local.	81
Figura 56 - Localização da instrumentação na seção de teste	83
Figura 57 - Pressão dos poros medida nos piezômetros elétricos e tipo Casagrande na ilha 2 (no centro do aterro) e pressão nas bombas de vácuo (no início dos tubos de distribuição).	84
Figura 58 - Foto área do local do teste	85
Figura 59 - Perspectiva de como o solo do local ficou.	85
Figura 60 - Colapso medido nas placas de assentamento (SP) localizadas no aterro	86
Figura 61 - Deslocamentos laterais medidos em diferentes profundidades nos inclinômetros IV-2 e IV-3.	87

Figura 62 - Rachaduras causadas pela pressão de vácuo no contorno do aterro de teste87

TABELAS

Tabela 1 - Classificação segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo	23
Tabela 2 - Representação esquemática das estruturas do solo	24
Tabela 3 - Classificação SUCS.....	30
Tabela 4 - Classificação para ensaios de permeabilidade em solo.....	34
Tabela 5 - Equações para determinação da condutividade hidráulica do solo	37
Tabela 6 - Classificação dos solos segundo seu coeficiente de permeabilidade	32
Tabela 7 - Classificação de solos segundo a NBR 6484	44
Tabela 8 - Métodos construtivos para obras sobre solos moles e suas respectivas aplicações no Brasil.....	60
Tabela 9 - Atividades do procedimento construtivo da seção de teste.....	79
Tabela 10 - Modelo geotécnico definido no local da seção de teste	80
Tabela 11 - Resumo das propriedades geológico-geotécnicas das argilas moles do NAICM. 82	
Tabela 12 - Datas importantes da seção de teste	83

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo geral	15
1.2.2	Objetivos específicos	15
1.3	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	16
1.4	MÉTODO DA PESQUISA.....	16
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	FORMAÇÃO DO SOLO.....	20
2.1.1	Fatores de formação do solo.....	21
2.1.1.1	Clima	21
2.1.1.2	Material de origem	21
2.1.1.3	Relevo.....	21
2.1.1.4	Organismos.....	21
2.1.1.5	Tempo.....	22
2.1.2	Características dos solos	22
2.1.2.1	Textura.....	22
2.1.2.2	Estrutura do solo.....	23
2.1.2.3	Porosidade	25
2.1.2.4	Densidade	25
2.1.3	Classificação do solo quanto á formação.....	25
2.1.3.1	Solos residuais	25
2.1.3.2	Solos sedimentares	26
2.1.3.3	Solos orgânicos.....	26
2.1.4	Classificação do solo quanto à granulometria	26
2.1.5	Classificação dos solos pelo sistema SUCS.....	28
2.2	SOLO MOLE.....	31
2.3	PERMEABILIDADE E PERCOLAÇÃO DA ÁGUA.....	31
2.3.1	Ensaio de campo	34
2.3.1.1	Infiltração	34
2.3.1.2	Bombeamento.....	35

2.3.1.3	Rebaixamento	35
2.3.1.4	Recuperação	35
2.3.2	Ensaio de laboratório	35
2.3.3	Equações empíricas	36
2.4	ADENSAMENTO DOS SOLOS	37
2.5	ENSAIOS DE CAMPO PARA SOLO MOLE.....	42
2.5.1	Ensaio SPT – Standard Penetration Test.....	42
2.5.2	Ensaio De Piezocone (CPTU)	44
2.5.3	Ensaio Palheta (VST - Vane Shear Test)	46
2.6	INSTRUMENTAÇÃO DE CAMPO PARA SOLO MOLE	47
2.6.1	Piêzômetros	48
2.6.2	Inclinômetros	49
2.6.3	Placas de recalque	50
2.6.4	Extensômetros.....	51
2.6.5	Perfilômetro	52
2.7	COLCHÃO DRENANTE.....	52
2.8	MECANISMOS PARA MELHORAR O ADENSAMENTO DOS SOLOS.....	54
2.8.1	Remoção Total ou Parcial do Solo Mole	55
2.8.2	Aterros leves.....	55
2.8.3	Aplicação de sobrecargas temporárias.....	56
2.8.4	Aterros com Bermas de Equilíbrio.....	57
2.8.5	Aterros Reforçados com Geossintéticos	57
2.8.6	Aterros Estruturados por Colunas Granulares.....	58
2.8.7	Emprego de Drenos Fibroquímicos	58
2.9	GEODRENO A VÁCUO	61
2.9.1	Sistema de aplicação a vácuo em camada estanque.....	61
2.9.2	Sistema de aplicação individual de vácuo nos drenos verticais	62
3	ESTUDO DAS OBRAS	67
3.1	ESTUDO DE CASO OBRA DA AMÉRICA DO SUL	67
3.1.1	A construção da obra	68
3.1.2	Ensaio de campo	69
3.1.3	Instrumentações de campo	72
3.2	ESTUDO DE CASO DO ATERRO EXPERIMENTAL PARA O PROJETO DO NOVO AEROPORTO INTERNACIONAL DA CIDADE DO MÉXICO	75

3.2.1	A construção da obra	75
3.2.2	Ensaio de campo	79
3.2.3	Instrumentações de campo	82
4	CONCLUSÃO E SUGESTÕES	88
4.1	CONCLUSÕES	88
4.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	89
	REFERÊNCIAS	90

1 INTRODUÇÃO

Para qualquer obra de engenharia, deve-se analisar o solo, caracterizando-o sob o ponto de vista geotécnico, a fim de avaliar seu comportamento e prever sua reação aos carregamentos derivados da obra em estudo.

O estudo dos solos é essencial para que se consiga ter um bom desempenho e para que não venha ocorrer imprevistos durante a construção ou até mesmo ao longo da vida útil da construção.

Um dos problemas que se evidencia nos tempos atuais, é cada vez mais a presença de obras de engenharia em locais com solos moles.

Os solos moles se referem a um processo de transporte de solos e deposição em sedimentos, sendo extremamente saturados e com grande concentração de argila em sua composição. Além de apresentar baixa capacidade de suporte, baixa permeabilidade e elevada compressibilidade. Isso faz com que este solo, quando submetido a grandes cargas, sofra adensamento, sendo um dos problemas mais frequentes na engenharia geotécnica.

Sobre este tema, observa-se:

Compressibilidade é uma característica de todos os materiais de quando submetidos a forças externas (carregamentos) se deformarem. O que difere o solo dos outros materiais é que ele é um material natural, com uma estrutura interna o qual pode ser alterada, pelo carregamento, com deslocamento e/ou ruptura de partículas. Portanto, devido a estrutura própria do solo (multifásica), possuindo uma fase sólida (grãos), uma fase fluida (água) e uma fase gasosa (ar) confere-lhe um comportamento próprio, tensão-deformação, o qual pode depender do tempo (MARANGOM, 2018, p. 61).

O adensamento do solo é um processo que não ocorre do dia para a noite, ele acontece por meio de ações repetitivas por um longo tempo. Este fenômeno nada mais é que a aplicação de uma força sobre um solo. Esta força causa deformações plásticas e, conseqüentemente, a diminuição dos vazios existentes no solo. O adensamento do solo é um problema para as obras de engenharia, com isso se torna importante a determinação das propriedades desse solo. Essas podem ser determinadas por meio de diversos ensaios, a fim de tornar possível prever o comportamento dos diferentes tipos de solo.

Ao se trabalhar em substratos compostos por solos moles, desprezando o quesito existência, tem-se duas possibilidades: ou a eliminar a influência deste na solução de engenharia, ou amenizar os efeitos do adensamento. Não é de hoje que várias tecnologias são utilizadas e essas dependem muito do local da obra, do tempo que se tem para alcançar o objetivo e, principalmente, do investimento. Dentre as soluções possíveis, estão a remoção total

ou parcial do solo, os aterros leves, as sobrecargas temporárias, as bermas de equilíbrio, o reforço com geossintéticos, as colunas granulares, os drenos fibroquímicos e uma tecnologia muito recente, ainda pouco utilizada, o geodreno a vácuo.

O geodreno a vácuo utiliza-se de drenos verticais ligados a uma bomba, a qual exerce pressão e faz com que a água saia do solo com uma maior rapidez e, com isso, cause o adensamento do solo em menos tempo que as demais metodologias.

1.1 JUSTIFICATIVA

O geodreno a vácuo apresenta um desempenho excelente em termos de resultado final, pois consegue fazer com que os recalques aconteçam em um curto prazo, o que é extraordinário para as obras que apresentam solos moles em seus terrenos. Com esta tecnologia consegue-se resultados imediatos e eficazes. Assim, torna-se mais fácil solucionar problemas que antes levavam um tempo e um empenho maior dos envolvidos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Estudar e analisar o desempenho do geodreno a vácuo em obras de engenharia em regiões de solo mole.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Analisar o uso do geodreno a vácuo em duas grandes obras de engenharia;
- Estudar o sistema de geodreno a vácuo em solos moles; e
- Analisar a eficácia do sistema do geodreno a vácuo.

1.3 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Esta pesquisa é focada em mostrar o desempenho de uma nova tecnologia da engenharia geotécnica denominada geodreno a vácuo. Este tema foi escolhido por ser uma solução relativamente nova e com pouca utilização prática no Brasil, haja vista que o custo é muito alto. Por este motivo são poucas as empresas que o executam e que apresentam profissionais treinados nesta tecnologia. Por outro lado, é um método muito utilizado na Europa por apresentar grande desempenho em pouco tempo, podendo, assim, as obras serem executadas com menos transtornos causados pelo adensamento do solo.

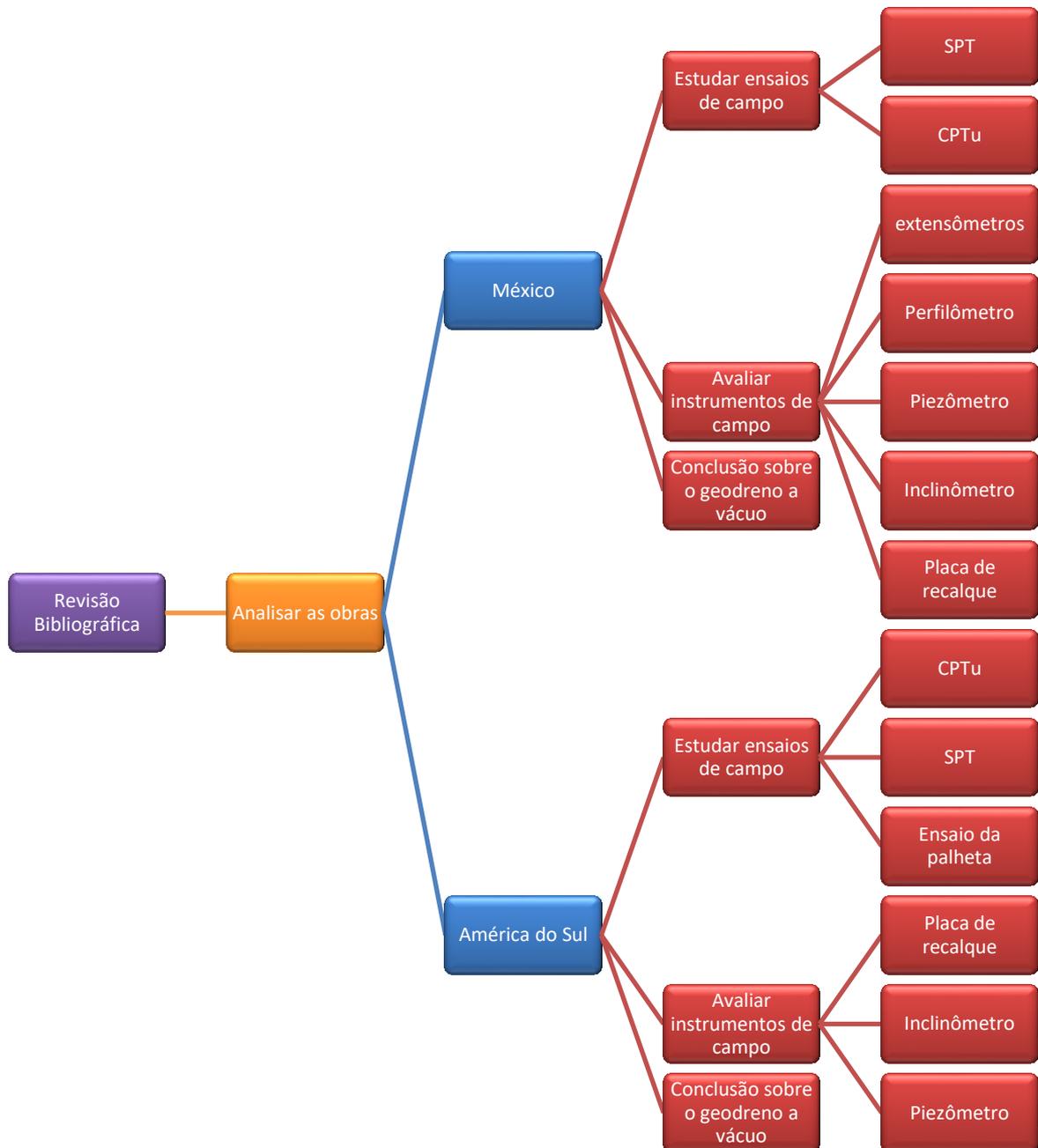
1.4 MÉTODO DA PESQUISA

O método de pesquisa utilizado neste trabalho é a análise de duas obras que adotaram como solução o geodreno a vácuo: uma México e na América do Sul.

Por meio dos dados de ensaios do solo (SPT e CPTu) destas obras, serão efetuadas análises para descrever o perfil de solo mole encontrado em cada local. Posteriormente, serão analisados os ensaios de campo (piezômetro e placa de recalque), para estudar e analisar o adensamento do solo mole e, conseqüentemente, os resultados do geodreno a vácuo.

A figura 1 demonstra o fluxograma de etapas idealizado para o trabalho.

Figura 1 - Fluxograma de trabalho.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A introdução, a justificativa, os objetivos, a delimitação do trabalho e o método são abordados no Capítulo 1. No Capítulo 2, é feita uma revisão bibliográfica sobre todos os assuntos que estão relacionados ao geodreno a vácuo. Sendo estes os solos e as diferentes granulometrias e formas, a percolação e a permeabilidade, o adensamento e os ensaios, os instrumentos utilizados em campo e os ensaios e, por fim, as diferentes tecnologias que podem ajudar no adensamento mais rápido do solo.

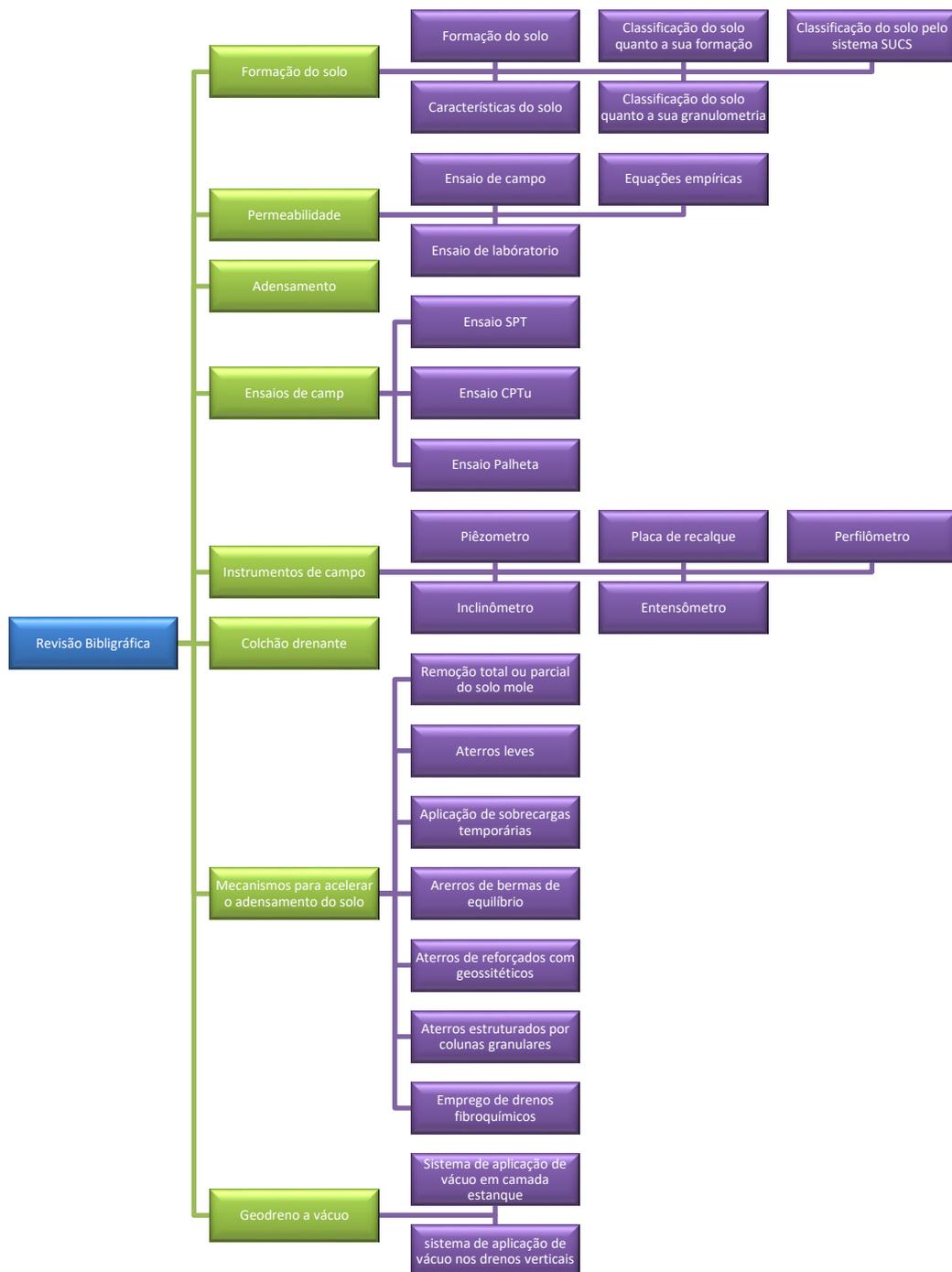
No capítulo 3, apresentam-se os resultados encontrados nas obras, bem como os ensaios e as instrumentações de campo utilizados. Mostra-se como se efetuou a construção de cada obra e para o que cada uma delas será utilizada, assim como uma análise dos resultados apresentados.

No capítulo 4 tem-se às considerações finais, com o intuito de responder aos objetivos da pesquisa e mostrar se esses foram alcançados. Também foram apresentadas sugestões para pesquisas futuras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com a finalidade de desenvolver um conhecimento mais aprofundado dos assuntos que influenciam o desenvolvimento e a necessidade de se utilizar o geodreno a vácuo, na sequência, serão apresentados conceitos geotécnicos que se fazem necessários para um melhor entendimento do tema do trabalho. A figura 2 detalha a revisão bibliográfica.

Figura 2 – fluxograma.

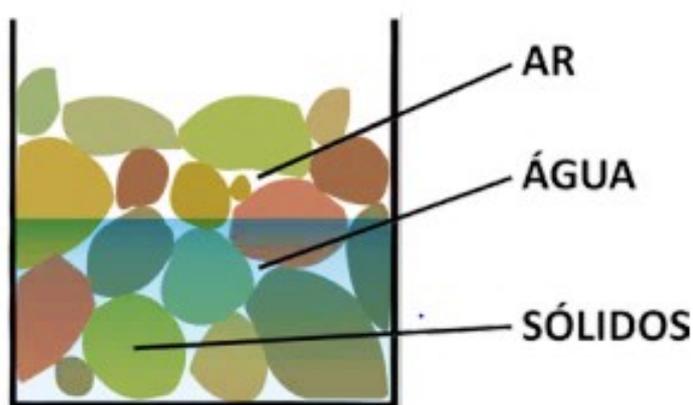


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

2.1 FORMAÇÃO DO SOLO

Pode-se denominar como solo tudo aquilo que apresenta matérias com uma degradação facilitada, que esteja na presença do ar, do sol, da água e dos seres vivos (TOLEDO, 2019). Para Souza e Bastos (2015, p 10) “O solo é um material natural e heterogêneo e por ser formado pela aglomeração de minerais, os quais na desintegração das rochas passam a formar os solos, formam um sistema de três fases (Figura 3) ”.

Figura 3 - Estrutura e composição dos solos.



Fonte: Souza & bastos (2015).

Ao se analisar a vida na Terra, consegue-se dizer que direta ou indiretamente os organismos são dependentes do solo. E este se denomina como um corpo natural apresentando características como surgimento demorado, sem reprodução e que “morre” facilmente (LIMA & LIMA, 2019).

Os solos têm como base para a formação um conjunto de processos, de diferentes naturezas como físico, químico e biológicos. A interação entre as partículas, o vento, a temperatura e a pressão são alguns processos físicos, já a presença de água, ácidos, sais e bases está dentro do processo químico. Conseqüentemente, a atuação dos micro-organismos, da matéria orgânica e das raízes de plantas se englobam no processo biológico. Por meio da junção destes processos, ocorre a fragmentação das rochas formando partículas menores e, portanto, diferentes tipos de solos (ANDREOLI, ANDREOLI, & JUNIOR, 2019).

2.1.1 Fatores de formação do solo

Os diferentes tipos de solos apresentam em sua composição fatores que influenciam no decorrer de sua formação e com isso geram várias composições diferentes. Dentre estes fatores, estão o clima, o material de origem, o relevo, os organismos e o tempo cronológico (LIMA & LIMA, 2019).

2.1.1.1 Clima

Por meio da energia solar, da umidade e da precipitação, o clima interfere na formação dos solos. Este fator tem grande influência sobre os outros já que pode controlar a intensidade e o tipo dos demais processos (GUERRA & BOTELHA, 1996).

2.1.1.2 Material de origem

Os materiais de origem são os maiores definidores dos diferentes tipos de solo. Por meio da decomposição de diferentes rochas, nascem os diferentes tipos de solo, os quais podem ser constituídos de materiais de natureza mineral ou também de materiais orgânicos (LIMA & LIMA, 2019).

2.1.1.3 Relevo

Segundo Pes e Arenhardt (2015), este fator apresenta maior domínio sobre a distribuição de água e luz solar. Desta maneira, os locais em que se encontra uma inclinação maior apresenta uma menor quantidade de solo, pois a água tende a permanecer menos tempo e causar menor erosão. Por outro do lado, os locais planos apresentam maior profundidade de solo, uma vez que a água tende a percolar lentamente e esse tende a receber a erosão.

2.1.1.4 Organismos

Dentre os muitos fatores que influenciam a formação dos solos está o trabalho dos organismos. De acordo com Rhoden, et al. (2019), eles têm importância, pois ajudam na quebra de ligações químicas entre minerais fazendo com que ocorra a degradação das rochas.

2.1.1.5 Tempo

O tempo tem um grande poder sobre as diferentes características dos solos, visto que quanto maior o tempo de exposição do clima e dos organismos sobre a rocha mais intemperizada ela será, ou seja, serão solos que quase não apresentarão minerais herdados da rocha, portanto serão profundos e ácidos (RHODEN, et al., 2019).

2.1.2 Características dos solos

Sabe-se que são de grande importância os estudos das características dos solos, dentre estes o estudo das características físicas que corroboram para a identificação das limitações e do potencial do solo em um local (DIAS, BRUM, MACHADO, & BRANDÃO, 2019).

As propriedades físicas do solo influenciam a função do ecossistema e a escolha do melhor manejo a ser adotado. O sucesso ou fracasso de projetos agrícolas ou de engenharia muitas vezes é dependente das propriedades físicas do solo utilizado. A ocorrência e crescimento de diferentes espécies vegetais e o movimento de água e solutos estão diretamente relacionados às propriedades físicas do solo (SILVA, 2010, p. 1).

Dentre as propriedades físicas do solo, pode-se ressaltar a textura, a estrutura do solo, a porosidade e as reações mecânicas do solo quando exposto a forças externas. As duas primeiras propriedades são as que apresentam uma maior importância. Por meio dessas, consegue-se analisar como as partículas são e como estão dispostas, como elas interagem com os agregados, como a água se comporta neste solo e como ele reage com a aplicação de forças (REINERT & REICHERT, 2006).

2.1.2.1 Textura

A textura dos solos pode ser definida como a formação que ele apresenta quanto às partículas, sendo considerado o tamanho e como elas se encontram. Esta propriedade é de extrema importância já que por meio delas se consegue diferenciar os solos e, também, por ser uma característica estável (NETO, 2019).

Os solos podem ser divididos de diversas maneiras, uma das divisões será apresentada na tabela 1 (NETO, 2019).

Tabela 1 - Classificação segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Areia Grossa	- 2 a 0,2 mm ou 2000 a 200 μm
Areia fina	- 2 a 0,2 mm ou 2000 a 200 μm
Silte	- 0,05 a 0,002 mm ou 50 a 2 μm
Argila	- Menor do que 2 μm

Fonte: Adaptado de Reinert & Reichert (2006).

2.1.2.2 Estrutura do solo

Segundo Capeche (2008), pode-se classificar os solos quanto à estrutura, esta classificação pode ser usada como uma maneira de diferenciá-los. A forma dos solos está relacionada como ele teve origem, estes podem apresentar estrutura laminar, prismática ou colunar, em blocos e granular.

Os solos laminares apresentam um crescimento horizontal maior que o vertical, sua formação se dá por meio da junção de solo e agregados. Este tipo de solo é encontrado nas primeiras camadas do solo e apresenta como características um formato de lâminas (CAPECHE, 2008).

Os solos prismáticos ou colunares são caracterizados por apresentar um maior desenvolvimento para a parte vertical, sendo essa, geralmente plana. A junção de solo com os agregados pode levá-lo a apresentar formas diferentes deste caso, podendo ser prismática quando este solo contiver uma superfície de forma plana e/ou colunar quando apresentar uma superfície de forma arredondada (CAPECHE, 2008).

Os solos que contém todos os lados de uma partícula iguais, podem ser de bloco angular – quando apresentarem partes pontudas - ou de bloco subangular – quando houver uma forma quase circular (CAPECHE, 2008).

Os solos granulares são geralmente parecidos e com uma superfície quase circular (CAPECHE, 2008). A tabela 2 apresenta um esquema entre as estruturas do solo e os tipos de solo.

Tabela 2 - Representação esquemática das estruturas do solo

Representação esquemática de estrutura	Tipo de solo
	Laminar
	Prismática
	Colunar
	Bloco angular
	Bloco subangular
	Granular

Fonte: Adaptado Capeche (2008).

2.1.2.3 Porosidade

O solo é composto de pequenos vazios os quais são encontrados em sua estrutura e chamados de poros. É nesses espaços que a água e o ar ficam retidos. Com isto, pode-se dizer que a porosidade de um solo é a relação entre volume de solo não ocupado por partículas sólidas e os espaços em que a água e o ar ficam retidos (JARBAS et al., 2002 apud YOSHIOKA; LIMA, 2005).

A porosidade do solo está diretamente ligada ao desempenho dele, já que trabalha em conjunto com a textura e com as estruturas, tendo uma grande influência sobre a drenagem, a retenção do perfil e a aeração (CARMO et al., 2018).

2.1.2.4 Densidade

A densidade é descrita como a relação entre a massa seca de um solo e o volume deste mesmo solo (REINERT & REICHERT, 2006), como afirma Silva:

Solos com maior proporção de espaço poroso em relação ao volume de sólidos possuem menor densidade que solos mais compactados e com menor espaço poroso. Consequentemente, qualquer fator que influencie o espaço poroso afetará a densidade do solo. A amplitude de variação da densidade para diversos tipos de solos e condições (SILVA, 2010, p. 21).

2.1.3 Classificação do solo quanto á formação

A classificação dos solos se torna importante, pois por meio dela pode-se entender como ele se comporta. Isso é possível graças a diversas pesquisas realizadas e com experiências adquiridas (BRADY & WEIL, 2000).

Segundo Santos, et al. (2006), por meio da análise das informações morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas consegue-se classificar um solo. Também são usadas características do local como clima, vegetação, relevo, material originário e condições hídricas.

Observando a formação dos solos, pode-se classificar estes, em residual, transportado ou sedimentar e orgânico (MARANGON, 2008).

2.1.3.1 Solos residuais

Os solos residuais são aqueles encontrados no mesmo local em que houve a formação. Para que seja formado é de grande importância que a velocidade da degradação da rocha ocorra

de forma mais intensa que a velocidade de retirada dos agentes externos. Há alguns fatores que influenciam a decomposição das rochas, entre eles a temperatura, a chuva e a vegetação (PINTO, 2006).

Ainda se pode, de acordo com Ortigão (2007), dividir os solos residuais, analisando seu intemperismo, em três tipos: residual maduro, saprolito e rocha alterada:

Rocha alterada – solo encontrado sobre a rocha sã, apresenta características como um solo muito fragmentado por onde passa um fluxo grande de água.

Solo Saprolito – este solo encontra-se sobre a rocha alterada e tem aspectos de um material arenoso.

Solo Residual Maduro - tem a denominação de solo mais intemperizado e apresenta uma grande presença de argila em sua composição.

2.1.3.2 Solos sedimentares

Este tipo de solo tem como atributo para sua formação a ajuda de agentes transportadores, tais como: água, vento, gravidade e geleiras. Em vista disso, apresentam-se diferentes tipos de textura, mudando de acordo com o momento em que este material foi deslocado e com quem o deslocou. *Aluvionares* – solos que ocorrem com o transporte pela água; *eólicos* – o transporte deste solo ocorre pelo vento; *coluvionares* - a ação da gravidade é responsável por este solo e *glaciares* – quando o solo é criado por meio da ação das geleiras, são as denominações dos diferentes tipos de solos sedimentares (CAPUTO, 1998).

2.1.3.3 Solos orgânicos

Por meio de restos de vegetais e animais e, também, com a junção do solo acontece a formação dos solos orgânicos, apresentando cor escura e odor forte. A *turfa* é um exemplo de solo orgânico, pois constam em sua composição florestas soterradas em um grau de decomposição elevado (MACHADO, 2019).

2.1.4 Classificação do solo quanto à granulometria

Esta classificação pode ser encontrada por meio da análise granulométrica, que nada mais é que a relação entre o tamanho das partículas apresentadas por uma porcentagem de solo seco (DAS, 2011).

Existem diferentes métodos para classificar o solo quanto a sua granulometria. A figura 4 apresenta alguns desses métodos: (SOUZA & BASTOS, 2015).

Figura 4 - Classificação dos solos por granulometria desenvolvidas pelo USDA, ASTM e MIT.

Classificação USDA

Pedregulho	Areia				Silte	Argila
	Grossa	Média	Fina	Grossa		
100	2	0,5	0,25	0,1	0,05	0,002

mm

Classificação ASTM

Pedregulho	Areia	Silte	Argila
100	2	0,075	0,0005

mm

Classificação MIT

Pedregulho	Areia			Silte			Argila		
	Grossa	Média	Fina	Grossa	Média	Fina	G	M	F
100	2		0,06				0,002		0,0002

mm

Fonte: Souza & Bastos (2015).

Dentre as classificações apresentadas, pode-se ressaltar a escala granulométrica brasileira (ABNT) (PINTO, 2006), a qual define os solos da seguinte maneira:

Bloco de rocha – Fragmentos de rocha transportados ou não, com diâmetro superior a 1,0 m.

Matacão – fragmento de rocha transportado ou não, comumente arredondado por intemperismo ou abrasão, com uma dimensão compreendida entre 200 mm e 1,0 m.

Pedra de mão fragmento de rocha com diâmetro compreendido entre 60 mm e 200 mm.

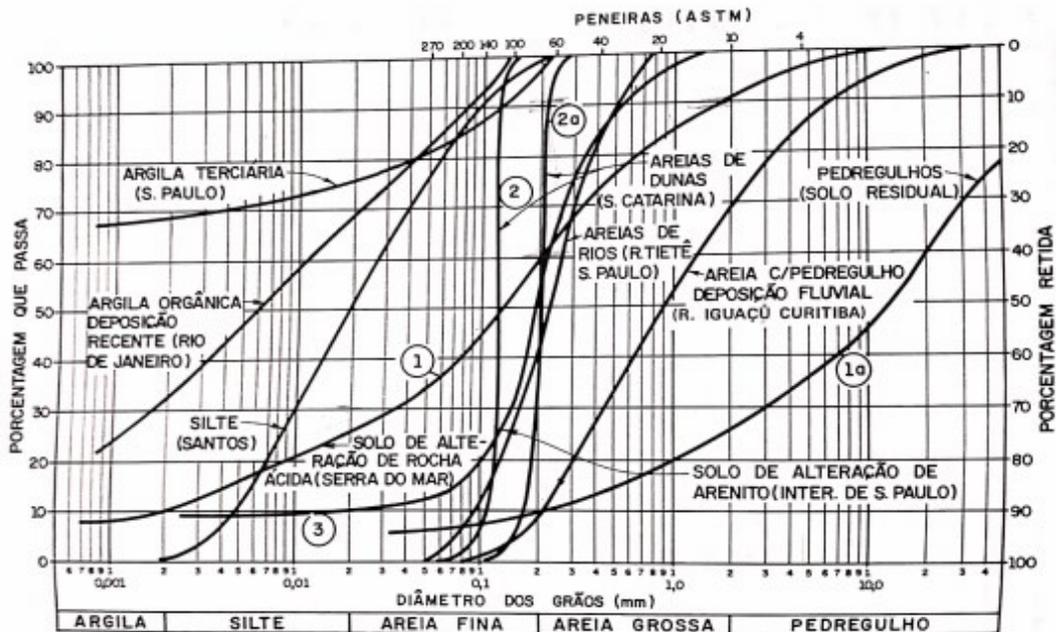
Pedregulho – solos formados por minerais ou partículas de rocha, com diâmetro compreendido entre 2,0 e 60,0 mm. Quando arredondados ou semiarredondados são denominados cascalhos ou seixos. Divide-se quanto ao diâmetro em: pedregulho fino – (2 a 6 mm), pedregulho médio (6 a 20 mm) e pedregulho grosso (20 a 60 mm).

Areia – solo não coesivo e não plástico formado por minerais ou partículas de rochas com diâmetros compreendidos entre 0,06 mm e 2,0 mm. As areias de acordo com o diâmetro classificam-se em: areia fina (0,06 mm a 0,2 mm), areia média (0,2 mm a 0,6 mm) e areia grossa (0,6 mm a 2,0 mm).

Silte – solo que apresenta baixo ou nenhuma plasticidade, baixa resistência quando seco ao ar. Suas propriedades dominantes são devidas à parte constituída pela fração silte. É formado por partículas com diâmetros compreendidos entre 0,002 mm e 0,06 mm (MOURA, 2015, p. 36).

De acordo com Pinto (2006), com essa análise consegue-se criar uma curva granulométrica demonstrada na figura 5.

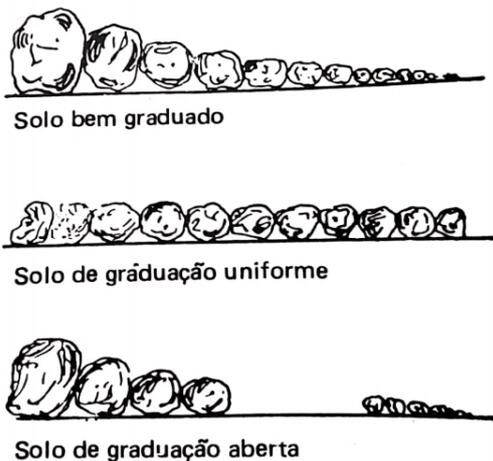
Figura 5 - Curva granulométrica



Fonte: Vargas (1977).

Após análise da curva, consegue-se avaliar os diferentes tipos de granulometria que se tem, como a granulometria contínua ou descontínua, uniforme, bem graduada ou mal graduada. A figura 6 mostra as diferenças (PINTO, 2006).

Figura 6 - Diferentes granulometrias



Fonte: Pinto (2006).

2.1.5 Classificação dos solos pelo sistema SUCS

Este sistema de classificação dos solos foi criado para a utilização em aeroportos, laboratórios e em campo, sendo que, nos dois últimos, houve uma adaptação das agências

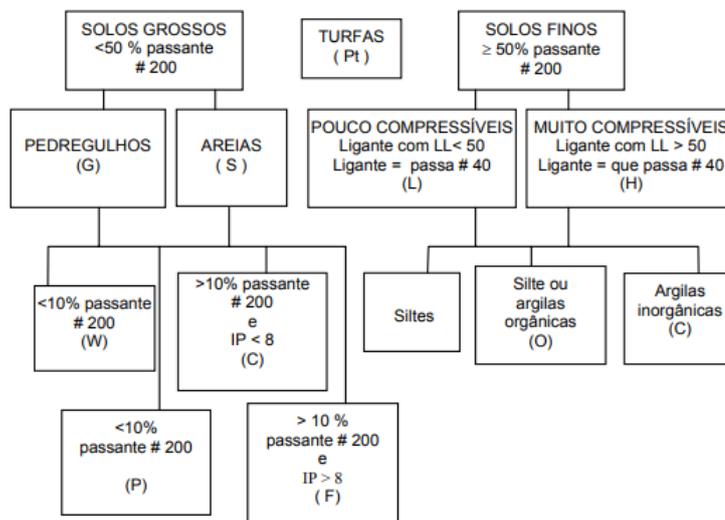
americanas "Bureau of Reclamation" e "U.S. Corps of Engenneers", fazendo com que este sistema possa ser utilizado de forma mais sistemática. O sistema SUCS nada mais é que um melhoramento de sistema de classificação Casagrande (ALMEIDA, 2005).

A classificação dos solos por este sistema foi feita por meio de símbolos e de nomes, haja vista que os grupos de solos são simbolizados por um ar de letras, essas todas normatizadas. Este sistema apresenta uma inovação trazendo os solos orgânicos como um grupo com características e comportamentos próprios, com isso os solos como argila e silte orgânicos ganham algumas mudanças. A tabela 3 mostra como esta classificação acontece e como é apresentada uma grande precisão (ALMEIDA, 2005).

Os solos estão distribuídos em 6 grupos: pedregulhos (G), areias (S), siltes inorgânicos e areias finas (M), argilas inorgânicas (C), e siltes e argilas orgânicos (O). Cada grupo é então dividido em subgrupos de acordo com suas propriedades índices mais significativos. Os pedregulhos e areias com pouco ou nenhum material fino são subdivididos de acordo com suas propriedades de distribuição granulométrica como bem graduado (GW e SW) ou uniforme (GP e SP). Se o solo (grosso) contém mais que 12% de finos, suas propriedades devem ser levadas em conta na classificação. Como a fração fina nos solos pode ter influência substancial no comportamento do solo, os pedregulhos e areias têm outras duas subdivisões. Se o solo (grosso) contém 5% a 12% de finos, deverá ser representado por símbolo duplo: primeiro o do solo grosso (GW, GP, SW, SP), seguido pelo que descreve a fração fina: $\frac{3}{4}$ Aqueles com fração fina silte são GM ou SM. $\frac{3}{4}$ Se os finos contêm argilas plásticas, os solos são GC ou SC. $\frac{3}{4}$ Se os finos são orgânicos, acrescentar "com finos orgânicos". $\frac{3}{4}$ Se em pedregulho a areia >15%, acrescentar "com areia". $\frac{3}{4}$ Se em areia o pedregulho ultrapassa 15%, acrescentar "com pedregulho" (ALMEIDA, 2005, pg. 117).

O esquema a da figura 7 ajuda a exemplificar como funciona este sistema (ALMEIDA, 2005).

Figura 7 - Esquema do sistema SUCS



Fonte: Almeida (2005) apud Pinto (2006).

Tabela 3 - Classificação SUCS

Processo para identificação no campo				Grupo	Designação característica
PEDREGULHOS Mais de metade da fração grosseira e maior que a # n° 10	PEDREGULHOS Puros (pouco ou nenhum fino)	Grãos cobrindo toda a escala de granulação com quantidade substancial de todas as partículas intermediárias		GW	Pedregulhos bem graduados, misturas de areia e pedregulho com pouco ou nenhum fino.
		Predominância de um tamanho de grão ou graduação falhada (ausência de alguns tamanhos de grão)		GP	Pedregulhos mal graduados, misturas de pedregulho e areia com pouco ou nenhum fino.
	PEDREGULHOS COM FINOS (apreciável quantidade de finos)	Finos não plásticos (ML ou MH).		GF	Pedregulhos siltosos, misturas de pedregulho, areia e silte mal graduados.
		Finos plásticos (CL ou CH)		GC	Pedregulhos argilosos, misturas de pedregulho, areia e argila bem graduados.
AREIAS Mais que metade da fração grosseira menor que a # n° 10	AREIAS PURAS (pouco ou nenhum fino)	Grãos cobrindo toda a escala de granulação com quantidade substancial de todas as partículas intermediárias		SW	Areias bem graduadas, areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
		Predominância de um grão ou graduação falhada		SP	Areias mal graduadas, areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
	AREIAS COM FINOS (quantidade de finos)	Finos não plásticos (ML ou MH)		SF	Areias siltosas, misturas mal graduadas de areia e silte.
		Finos plásticos (CL ou CH ou OH)		SC	Areias argilosas, misturas bem graduadas de areia e argila.
Processo de identificação executado sobre a fração < # n° 40				A abertura da malha # n° 200 corresponde aproximadamente à menor partícula visível a olho nu	
ENSAIO EXPEDITO →	RESISTÊNCIA a SECO (esmagamento pelos dedos)	DILATÂNCIA (DILAÇÃO) (sacudindo na palma da mão)	RIGIDEZ (consistência na proximidade do LP)		
SILTES E ARGILAS Limite de Liqueidez menor que 50	Nenhuma a pequena	Rápida a lenta	Nenhuma	ML	Siltos inorgânicos e areias muito finas, alteração de rocha, areias finas, siltosas ou argilosas com pequena plasticidade.
	Média a elevada	Nenhuma a muito lenta	Média	CL	Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras.
	Pequena à média	Lenta	Pequena	OL	Siltos orgânicos e siltos argilosos orgânicos de baixa plasticidade
SILTES E ARGILAS Limite de liqueidez	Pequena a média	Lenta a nenhuma	Pequena a média	MH	Siltos inorgânicos, micáceos ou diatomáceos, finos arenosos ou solos siltosos, siltos elásticos.
	Elevada a muito elevada	Nenhuma	Elevada	CH	Argilas inorgânicas de alta plasticidade, argilas gordas.
	Média a elevada	Nenhuma a muito lenta	Pequena a média	OH	Argilas orgânicas de média e alta plasticidade
TURFAS	Facilmente identificáveis pela cor, cheiro, porosidade e frequentemente pela textura fibrosa.			Pt	Solos com elevado teor de matéria orgânica

Fonte: Milton Vargas (1977) apud Almeida (2005).

2.2 SOLO MOLE

Pode-se classificar um solo mole, como um solo com predominância de material argiloso, com resistência baixa, saturação elevada e compressibilidade alta. Este material de acordo a NBR 7250 apresenta resultados de NSPT entre 3 e 5 (MARANGON, 2019).

Os depósitos de solos moles podem ser encontrados em diferentes localizações sendo estas: baixadas fluviais, lacustres ou marinhas. Estes em sua maioria são compostos por argilas saturadas, porém também podendo se encontrar camadas de areia. Quanto a espessura pode-se dizer que esta é bastante variável (NASCIMENTO, 2009).

2.3 PERMEABILIDADE E PERCOLAÇÃO DA ÁGUA

O solo em sua estrutura contém vazios, estes quase sempre ocupados pela água. Por sua vez, quando ocorre uma sobrecarga nesta estrutura a água tende a se deslocar para o interior do solo (DIEMER, 2008). A passagem de água entre os vazios do solo é chamada de permeabilidade, por meio do estudo desta característica do solo consegue-se classificar os solos com que a água tem mais facilidade de percolação e nos que ela demora para se locomover (SAMPAIO, 2004).

Para a classificação deve-se levar em conta as propriedades do solo estudadas no item anterior, como a granulometria do solo, a estrutura e o grau de saturação, pois elas apresentam grande influência na permeabilidade (RODRIGUEZ et al., 2015). A permeabilidade tem grande influência nos solos e pode causar deformidade nas construções devido a possíveis análises não realizadas (ROMAIRO, FREIRE, MELO, ROCHA, & ALMEIDA, 2019).

A infiltração e escoamento da água pelo solo, também contribuem para o ciclo da água, em geral quando a quantidade de água é superior à capacidade que os poros dos solos permitem, esta transborda e dá origem a aquíferos, e a água que se infiltra no subsolo é absorvida pelas raízes das plantas e liberadas no ar pelo processo de transpiração (ROMAIRO, FREIRE, MELO, ROCHA, & ALMEIDA, 2019 apud LACERDA, 2007, p. 1).

A definição de permeabilidade pode ser dada de acordo com Tonin (2019), como o escoamento de água para dentro dos solos. A água tende a escoar com mais facilidade nos solos granulares, o índice de vazios das argilas tende a ser maior, ao contrário dos solos argilosos, uma vez que na superfície exibem uma carga elétrica nos minerais, com isso a absorção de moléculas de água torna-se mais difícil (KRAINER, 2011).

A permeabilidade do solo pode ser encontrada por meio do coeficiente de permeabilidade, o qual sofre influência por muitos fatores, entre eles a estratificação do terreno, o grau de saturação, o índice de vazios e a temperatura (AGDA, 2019). Já o índice de vazios mostra que o solo mais permeável, é o mais fofo, contudo a temperatura revela que o coeficiente de permeabilidade é maior quando a viscosidade do solo é menor e isso ocorre quando a temperatura é elevada. Já com estratificações do terreno, consegue-se calcular uma média da permeabilidade de um maciço, que depende da orientação das camadas e da direção do fluxo, tendo em vista que quanto mais saturado um solo, maior seu coeficiente de permeabilidade (MARANGON, 2008).

De acordo com Neves (1987), conforme citado por Sampaio (2004), existem várias formas de se encontrar o coeficiente de permeabilidade, entre elas estão os ensaios de campo, como o de infiltração, bombeamento, rebaixamento e recuperação, os ensaios laboratoriais por intermédio da utilização de permeâmetros e ainda com equação empíricas, que utilizam correlações da granulometria do solo.

Segundo Caputo (1998), o cálculo do coeficiente de permeabilidade é realizado por meio da lei experimental de Darcy, que se relaciona à velocidade de percolação da água e aos gradientes hidráulicos.

A velocidade de percolação, na zona não saturada, varia em função das propriedades do meio poroso, das características do fluido e do teor de umidade volumétrica do material. Quanto maior a umidade, maior a condutividade hidráulica, pois a área útil condutora de água vai se tornando menor à medida que o teor de água decresce. É, então, fácil constatar que na zona saturada, a velocidade varia somente em função das propriedades do meio poroso e das características do fluido (STEPHENS 1996 apud AGUIAR, 2001, p. 9).

Com os diferentes graus de permeabilidade, consegue-se classificar o solo (DIEMER, 2008) como mostra a tabela 6:

Tabela 4 - Classificação dos solos segundo seu coeficiente de permeabilidade

Grau de permeabilidade	Valor de k (cm/seg)
Elevada	Superior a 10^{-1}
Média	10^{-1} a 10^{-3}
Baixa	10^{-3} a 10^{-5}
Muito baixa	10^{-5} a 10^{-7}
Praticamente impermeável	Menor de 10^{-7}

A figura 10 relaciona o coeficiente de permeabilidade com o tipo de solo (MELO, 2017).

Figura 8 - Valores de permeabilidade de solos



Fonte: Melo (2017).

Analisando a velocidade de escoamento, pode-se concluir que para pedregulhos e areias grossas torna-se inviável o cálculo da permeabilidade, já que para esses materiais o fluxo da água é muito intenso (DIEMER, 2008). É preciso saber que a percolação é o movimento que a água faz após infiltrar-se no solo, ocorrendo de cima para baixo do perfil (BRADY & WEIL, 2000).

Gomes & Costa (2019) diz que se faz importante o estudo do fenômeno da percolação, por estar presente em diversos problemas, como drenagem superficial, rebaixamento do nível de água subterrânea, cálculo de vazões, análise de recalques, estudos de estabilidade de taludes, entre outros.

A percolação também apresenta mais facilidade de acontecer nos solos que exibem um maior espaço vazio, ou seja, uma porosidade maior podendo ter a característica de deixar com que os líquidos escoem com mais facilidade. Conseqüentemente, aqueles solos que apresentam menores vazios os líquidos devem ter mais dificuldade para escoar (FOGAÇA, MARTINS, AMORIM, & ALMEIDA, 2014). Além disso, a percolação apresenta um fenômeno que causa muitos problemas para a engenharia. Acontece graças a interações entre as partículas de solo e água, criando um atrito viscoso. Este fenômeno gera a chamada força de percolação que nada mais é que a energia medida pela perda de carga e a força correspondente (ROMANINI, 2017).

Durante o movimento da água vão-se gerar tensões de natureza atrítica na estrutura sólida do meio poroso que, em seguida, vão ser equilibradas por forças resistentes mobilizadas no mesmo meio. Assim, tendo em conta o princípio de igualdade do par ação-reação, poderá dizer-se que estas forças resistentes, associadas à reação do meio sobre o escoamento, equilibram forças iguais e diretamente opostas que refletem a ação do movimento da água sobre o meio. Estas forças são as forças de percolação (MATOS FERNANDES 2006 apud FRANCO, 2015, p. 11).

2.3.1 Ensaio de campo

Como qualquer método, os ensaios de campo têm vantagens e desvantagens. Entre as vantagens estão a ocorrência sem a perturbação do solo e ser em efetuados com grande quantidade de solo. Dentro das desvantagens, estão a realização com controle não tão eficiente quanto os de laboratórios (SILVA, 2015).

Os ensaios de campo são menos precisos do que os de laboratório. Entretanto, eles se realizam no solo em situação real. Os ensaios de laboratório são precisos no que se refere à amostra ensaiada, mas muitas vezes as amostras não são bem representativas do solo (FERREIRA, 2014, apud PINTO, 2006, p. 31).

Pode-se classificar os ensaios de acordo com os níveis, sendo constantes ou variáveis, pela forma de realização e também pela pressão aplicada como mostra a tabela 4 (FERRAZ, MIYASHITO, RIYIS, & CUNHA, 2015).

Tabela 5 - Classificação para ensaios de permeabilidade em solo.

Maneira de realização	Pressão aplicada	Denominação dos ensaios	Método de prospecção
Nível constante	carga	infiltração	sondagens, poços e cavas
	descarga	bombeamento	poços e sondagens
Nível variável	carga	rebaixamento	sondagens e poços
	descarga	recuperação	poços e sondagens

Fonte: Ferraz, Miyashito, Riyis, & Cunha (2015) apud Azevedo & Albuquerque Filho (2013).

Vale ressaltar que os ensaios de nível constante são recomendados para solos permeáveis e os de nível variável para solos com pouco permeabilidade (FANTINATTI, NETO, TIBANA, & ALMEIDA, 2019).

2.3.1.1 Infiltração

Segundo Azevedo e Filho (2013), os ensaios de filtração ou também conhecidos como furos de sondagens a percussão são largamente utilizados (apud FERRAZ, MIYASHITO, RIYIS, & CUNHA, 2015). Para este ensaio, deve-se realizar um furo e esse ser preenchido com água totalmente. O primeiro momento em que este se encontra cheio é onde se considera o

instante zero. Dali em diante, o furo tem que permanecer cheio até o final do ensaio. O preenchimento deve ser feito com cautela, é necessário também contabilizar o volume de água durante um tempo. Com isso, realiza-se um gráfico em que se consiga analisar quando ocorre a estabilização da vazão e quando será utilizada no cálculo da permeabilidade ou vazão constante (OLIVEIRA & FILHO, 1996).

2.3.1.2 Bombeamento

De acordo com Silva (2015), o ensaio de bombeamento consegue medir a permeabilidade do solo por meio da retirada de água de um furo, sendo que o nível da água deve permanecer constante. É necessária a instalação de piezômetros em locais próximos para a realização de medição de carga hidráulica (apud FERNANDES, 2006).

2.3.1.3 Rebaixamento

Neste ensaio, realiza-se um furo de sondagem e alimenta-se este com água até o final. Deve-se deixar o nível da água constante por 10 minutos e depois não realizar mais o fornecimento. Com isso, acompanhar o rebaixamento devendo ser realizado até que chegue a 20% da carga inicial ou 30 minutos de duração (SOBRINHA, 2012).

2.3.1.4 Recuperação

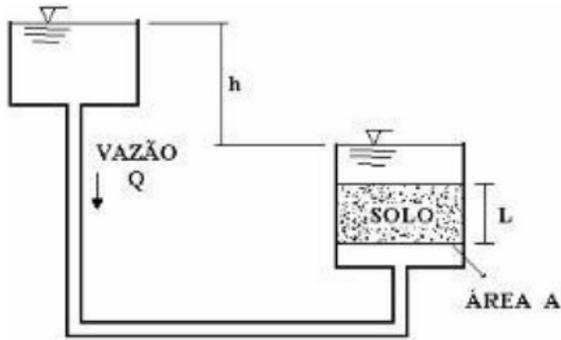
Para este ensaio é necessária a determinação de dois pontos de referência, por meio desses pontos será realizada a medição do tempo, sendo a carga final maior que a inicial. O cálculo do coeficiente de permeabilidade também é possível neste ensaio (FANTINATTI, NETO, TIBANA, & ALMEIDA, 2019).

2.3.2 Ensaio de laboratório

Nos ensaios de laboratório, é necessária a retirada de uma amostra indeformada em campo por meio de poços de investigação ou de amostras em furos de sondagem. Nesse ensaio, existem dois métodos para a determinação do coeficiente de permeabilidade: o constante como mostra a figura 8 e o variável conforme a figura 9 (FERRAZ, MIYASHITO, RIYIS, & CUNHA, 2015).

No ensaio de carga constante, o coeficiente de permeabilidade é encontrado por meio da análise do volume de água que sai da amostra em um determinado tempo, indicado para solos arenosos e que possuem uma grande permeabilidade (FERRAZ, MIYASHITO, RIYIS, & CUNHA, 2015).

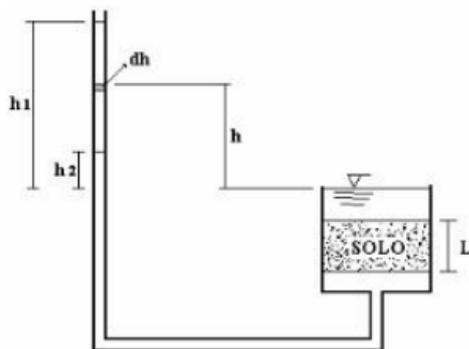
Figura 9 - Permeômetro de carga constante.



Fonte: Melo (2017).

O de carga variável é recomendado para solos como silte e argila que apresentam uma granulometria mais fina. O coeficiente de permeabilidade para este ensaio é encontrado por meio da carga hidráulica exercida sobre a amostra que se modifica com o tempo (FERRAZ, MIYASHITO, RIYIS, & CUNHA, 2015).

Figura 10 - Permeômetro de carga variável.



Fonte: Melo (2017).

2.3.3 Equações empíricas

O coeficiente de permeabilidade é desenvolvido neste método por meio da correlação com índice de vazios dos solos. Esses coeficientes podem ser encontrados de diferentes formas

como mostra a tabela 5. Deve-se ressaltar que os valores encontrados são de grande variação porque são influenciados por muitos fatores (URIBE, 2016).

Tabela 6 - Equações para determinação da condutividade hidráulica do solo

Autor	Relação Empírica	Considerações
Taylor (1948)	$\log k = \log k_0 - \frac{e_0 - e}{c_k} \quad c_k = \frac{e_0}{2}$ <p><i>k</i> = condutividade hidráulica para uma índice de vazios; <i>k</i>₀ = condutividade hidráulica in situ para um índice de vazios <i>e</i>₀; <i>c</i>_k = índice de variação da condutividade hidráulica.</p>	Para <i>e</i> < 2,5
Mesri & Olson (1971)	$\log k = A' \log e + B'$ <p>A e B são constantes empíricas.</p>	
Samarasinghe et al., (1982)	$k = c - \left(\frac{e^n}{1 + e} \right)$ <p><i>e</i> = índice de vazios; <i>C</i> e <i>n</i> são constantes determinadas de forma experimental</p>	Argila normalmente adensada
Raju et al. (1995)	$\frac{e}{e_l} = 2,23 + 0,204 \log k$ $k \text{ em } \frac{cm}{s};$ <p><i>e</i>_l índice de vazios no limite líquido</p>	Argila normalmente adensada
Tavenas et al. (1983)	$k = f$ <p><i>f</i> = função do índice de vazios e de <i>PI</i> + <i>CF</i> <i>PI</i> é o índice de plasticidade (em decimais), <i>e</i> <i>CF</i> é a fração de argila (em decimais)</p>	

Fonte: Uribe (2016) apud Das (2008).

2.4 ADENSAMENTO DOS SOLOS

Como já mencionado, Pinto (2006) resalta que “com muita frequência, a água ocupa a maior parte ou a totalidade dos vazios do solo”. Assim, consegue explicar a importância do estudo da percolação da água, já que é causadora dos recalques que, conseqüentemente, causam a diminuição dos vazios e da expulsão a água (apud POSSAMAI, 2016).

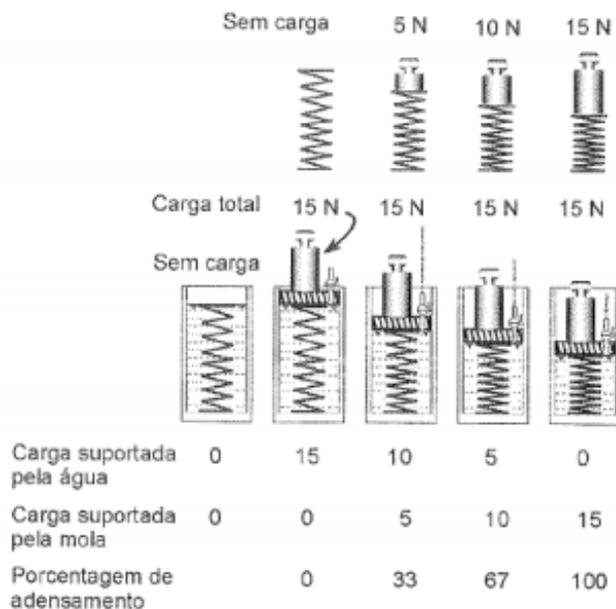
O fenômeno do adensamento é a saída da água do solo, fazendo com que haja mudança de volume. Isso acontece quando uma sobrecarga é colocada sobre o solo, a qual faz com que os vazios que tenham no solo sejam preenchidos, gerando a expulsão da água (FURLAN, 2000).

Quando sujeito a esforços, todo material sofre algum tipo de deformação, que pode ocorrer de dois tipos: de volume quando sujeita a compressão, nesse caso o solo mantém a

forma constante e muda seu volume ou de deformação quando ocorre a distorção, fazendo com que o solo mude sua forma e mantenha o volume (TONIN, 2013).

Segundo Pinto (2006), o processo de adensamento pode ser explicado por meio de um método criado por Taylor, o qual leva em conta a teoria de Terzaghi. Este método diz que se deve observar a estrutura sólida de um solo como uma mola, quando esta mola recebe uma carga pode-se perceber que sua deformação será imediatamente proporcional á carga como mostra a figura 11.

Figura 11 - Analogia mecânica para o processo de adensamento segundo Terzaghi



Fonte: Taylor (1948) adaptada por Pinto (2006).

Uma mola dentro de um pistão cheio da água é um bom exemplo para se exemplificar um solo saturado. Com essa demonstração, é possível observar o comportamento da mola (solo) quando aplicado uma força. A primeira informação que se consegue tirar é que no instante em que a carga é aplicada a mola permanece no mesmo local, isso ocorre porque a água ainda suporta a carga. No instante seguinte, como mostra a figura 11, a água é expulsa para fora do pistão e, conseqüentemente, ocorre a primeira deformação. Observando-se esse momento, consegue-se perceber que parte da carga é suportada pela água e parte pela mola. Dando seqüência ao experimento, nota-se que água continua a sair e que a mola passa a suportar cada vez uma força maior e, portanto, sofrer deformação (PINTO, 2006).

O fenômeno do adensamento é baseado em suposições que representam uma aproximação da realidade. Foi TERZAGHI (1943) quem propôs a teoria do

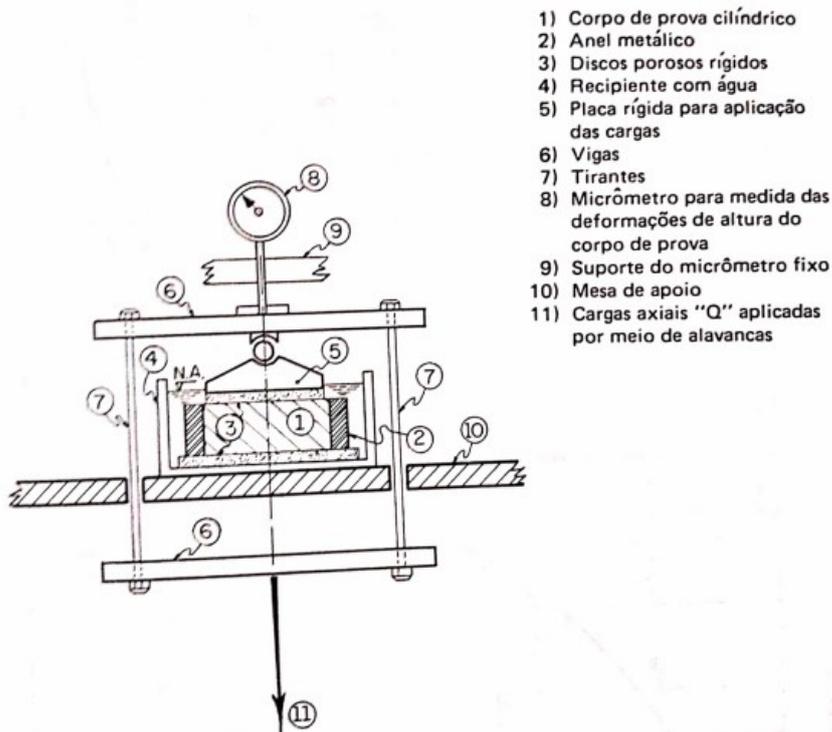
adensamento, também chamada de teoria clássica, que é largamente difundida. Suas hipóteses são:

1. O solo que está sofrendo o processo do adensamento e considerado homogêneo e saturado;
2. O sistema sólido-água é perfeitamente incompressível;
3. A massa infinitesimal comporta-se como massa representativa da massa total;
4. A compressão é unidimensional e vertical;
5. O fluxo é unidimensional e vertical;
6. A lei de Darcy é válida;
7. Constância de algumas propriedades (como a permeabilidade e a compressibilidade);
8. A curva e vs. $\log cr'$ é uma linha reta para qualquer incremento de tensão com valores maiores que a tensão de pré-adensamento (FURLAN, 2000, p. 15 e 16).

Terzaghi analisou as diferentes forças da natureza que atuam sobre o solo e descobriu uma forma de calcular o adensamento por intermédio da soma da tensão efetiva e da pressão da água, encontrando a pressão normal total do solo (RAMOS, 2014). Para saber mais acerca do adensamento, nota-se que é de grande importância se fazer estudos sobre os solos, a fim de prevenir qualquer tipo de recalque. Por esse motivo, utiliza-se o ensaio de adensamento, pois, dessa forma, consegue-se prever-se as deformações do material (RAMOS, 2014).

O objetivo do ensaio de adensamento é determinar as características do solo que sofrem recalques (CAPUTO, 1998). Vargas (1977) diz que, para a sua realização, é necessária uma amostra do terreno, que deve ser manuseada com cuidado para que sejam mantidas suas características, como teor de umidade, massa específica e sua estrutura. A figura 12 mostra o aparelho utilizado para o ensaio de adensamento, o qual apresenta um anel metálico, com um diâmetro maior que a altura, é neste que se deve colocar e confinar a amostra, em discos rígidos de material poroso. Após este procedimento, inunda-se a amostra e aplica-se uma carga sobre uma placa rígida que é colocada em cima da placa superior.

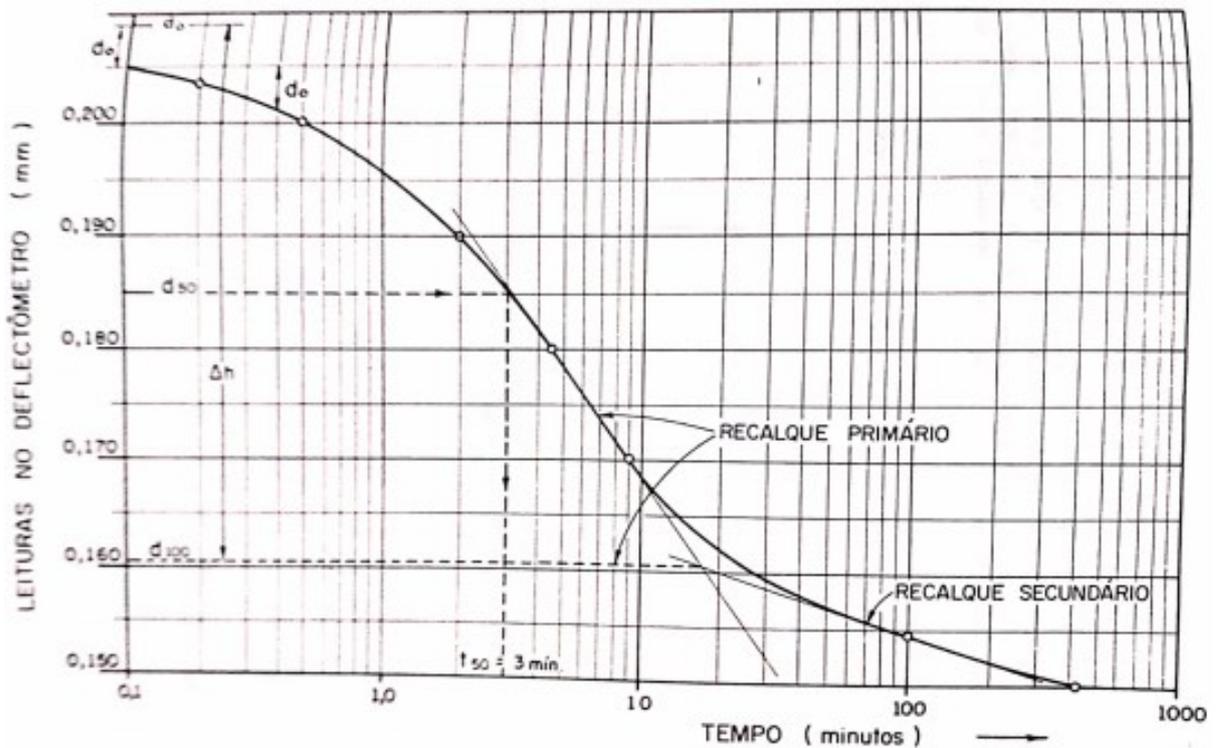
Figura 12 - Esquema de montagem de ensaio de adensamento



Fonte: Vargas (1977).

A carga aplicada sobre a placa que induz a saída água por meio dos discos porosos. Pode-se ressaltar que, neste ensaio, o anel metálico não permite que ocorram deformação laterais, acontecendo apenas adensamento. Com isso, durante um tempo, observa-se a deformação que ocorre na amostra e, então, monta-se um gráfico (deformação em função do tempo) como mostra a figura 13 (VARGAS, 1977).

Figura 13 - Gráfico: deformação em função do tempo

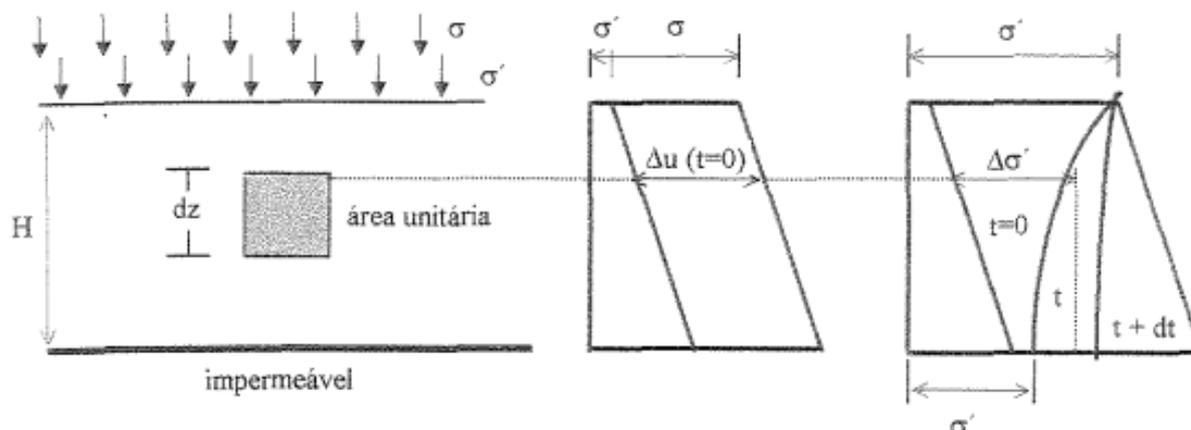


Fonte: Vargas (1977).

Por meio do ensaio, consegue-se determinar o grau de adensamento, que é a relação entre uma profundidade, um tempo e uma deformação final (SUWIDAN, 2012).

Este grau de adensamento varia de acordo com a variação de tempo. As variações do solo podem ser observadas mediante uma carga aplicada a um solo saturado, quando aplicada no instante $t = 0$. Pode-se observar que a pressão que chega à água é a mesma que a carga exerce, com isso se deduz que a pressão neutra é quem suporta as cargas. Já no instante $t = t$ a pressão neutra sofreu dissipação e, assim, a pressão exercida na água é menor fazendo com que a água livre seja expulsa para fora do solo. A figura 14 mostra as curvas de tensão e tempo, a partir deste momento, a tensão efetiva já existente vai-se tornando cada vez maior até se tornar igual a sobrecarga (FURLAN, 2000).

Figura 14 - Camada de solo em adensamento.



Fonte: Furlan (2000) apud Seraphim (1997).

De acordo com Sandoval (2016), conforme citado por Pinto (2006), o método de Terzaghi tem a função de identificar os adensamentos e o tempo em que estes estão, além de apresentar os dados para que se possa tomar alguma decisão perante o acontecimento como o grau de adensamento, as deformações, o índice de vazios, as tensões efetivas e as pressões neutras.

2.5 ENSAIOS DE CAMPO PARA SOLO MOLE

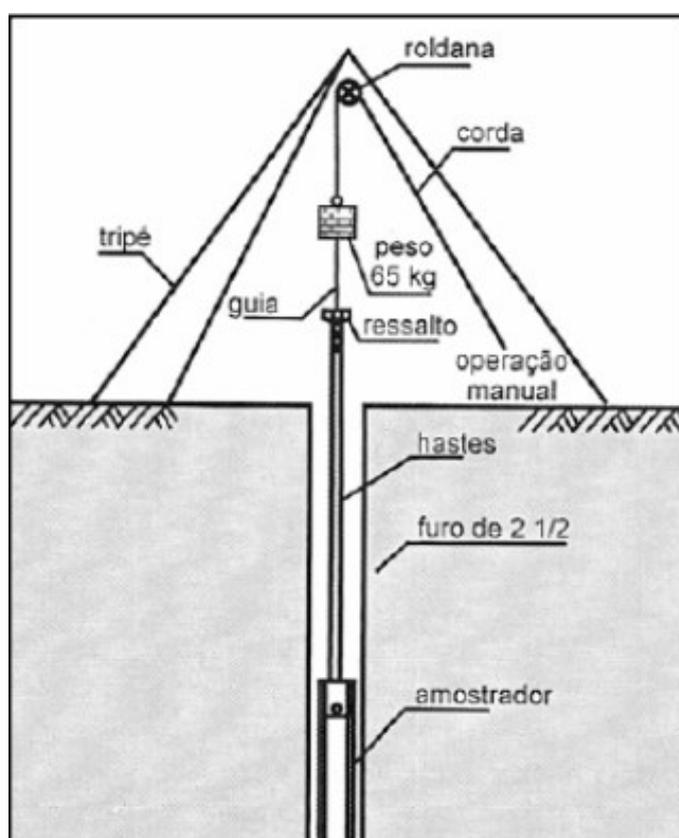
Segundo Massocco (2013), pode-se dizer que os ensaios de campo mostram com mais precisão as propriedades do solo e apresentam uma análise melhor de como esse é. Os instrumentos utilizados nestes ensaios envolvem a penetração no solo ou sensores elétricos (apud SCHNAID, 2012). Estes podem ser caracterizados como ensaios feitos no local da obra, por meio dos dados encontrados, consegue-se dimensioná-lo. Dentre os ensaios mais utilizados, estão o SPT, CPTU e a Palheta, os quais serão descritos nos itens a seguir:

2.5.1 Ensaio SPT – Standard Penetration Test

De acordo com Silva (2015), o SPT é um dos ensaios mais utilizados para a determinação da capacidade de carga dos solos e para o mapeamento dos locais de obra. Este ensaio ocorre em campo e é realizado por um equipamento que penetra no solo e retira amostras. Por meio disso, consegue-se caracterizar o solo quanto à granulometria, à coesão e à compactação. O SPT apresenta um custo menor em relação a muitos ensaios de investigação e por apresentar um manuseio fácil, torna-se uma grande escolha nas obras.

Para sua realização do ensaio, emprega-se o instrumento mostrado na figura 15. O ensaio inicia com a queda do martelo de 65 kg, numa altura de 75 cm, sucessivas vezes, até que se atinja a profundidade de 15 cm. Esses primeiros 15 cm devem ser desconsiderados, já que ela pode representar um solo que tenha ocorrido perturbação. Os próximos 30 cm são de extrema importância, pois por meio desses serão realizadas a contagem do número de golpes, ou seja, quantas vezes precisou-se golpear o solo para chegar até os 30 cm, lembrando que estas medições devem ser feitas em duas etapas, fazendo primeiro 15 cm e depois mais 15 cm (SILVA, 2015).

Figura 15 - Instrumentos para o ensaio SPT



Fonte: Massocco (2013) apud SCHNAID (2000).

- Segundo a NBR 6484/2001:
- Deve ser coletada, para exame posterior, uma parte representativa do solo colhido pelo trado-concha durante a perfuração, até 1 metro de profundidade.
 - A cada metro de perfuração, a partir 1 m de profundidade, devem ser colhidas amostras dos solos por meio do amostrador padrão, com execução de SPT.
 - O amostrador padrão deve ser conectado à composição de cravação e descer livremente no furo de sondagem até ser apoiado suavemente no fundo.
 - Após o posicionamento do amostrador padrão conectado à composição de cravação, coloca-se a cabeça de bater e, utilizando-se o tubo de revestimento como referência, marca-se na haste, com giz, um segmento de 45 cm divididos em três trechos iguais de 15 cm.

- Em seguida, o martelo deve ser apoiado suavemente sobre a cabeça de bater, anotando-se eventual penetração do amostrador no solo.
- Não tendo ocorrido penetração maior ou igual a 45 cm, prossegue-se a cravação do amostrador padrão até completar os 45 cm de penetração por meio de impactos sucessivos do martelo padronizado caindo livremente de uma altura de 75 cm, anotando-se, separadamente, o número de golpes necessários à cravação de cada segmento de 15 cm do amostrador padrão (apud SILVA, 2015, p. 7).

Com a tabela 7, consegue-se classificar o solo quanto ao índice de penetração, nessa tabela consta na NBR 6484/2001 (MASSOCCO, 2013).

Tabela 7 - Classificação de solos segundo a NBR 6484

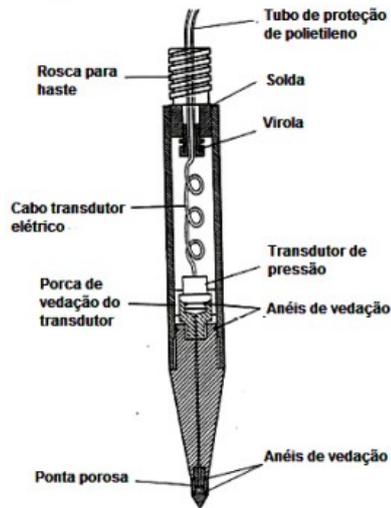
Solo	Índice de resistência à penetração	Designação
Areia e Silte arenoso	<4	Fofa
	5 até 8	Pouco compacta
	9 até 18	Mediamente compacta
	19 até 40	Compacta
	>40	Muito compacta
Argila e Silte argiloso	<2	Muito mole
	3 até 5	Mole
	6 até 10	Média
	11 até 19	Rija
	>19	Dura

Fonte: Massocco (2013).

2.5.2 Ensaio De Piezocone (CPTU)

O ensaio de Piezocone é reconhecido internacionalmente, com diversas publicações sobre seu embasamento teórico. Sua realização é rápida e econômica (LEMOS, 2014, apud ROBERTSON, 2009). Emprega-se, neste ensaio, um equipamento com uma ponteira em que se consegue medir o atrito lateral e a resistência da cravação. Além disso, esta ponteira possui uma pedra porosa que fica ligada ao transdutor de pressão e com isso realiza a medição da poropressão durante o ensaio (FONINI & ROJAS, 2005). A figura 16 mostra este sistema.

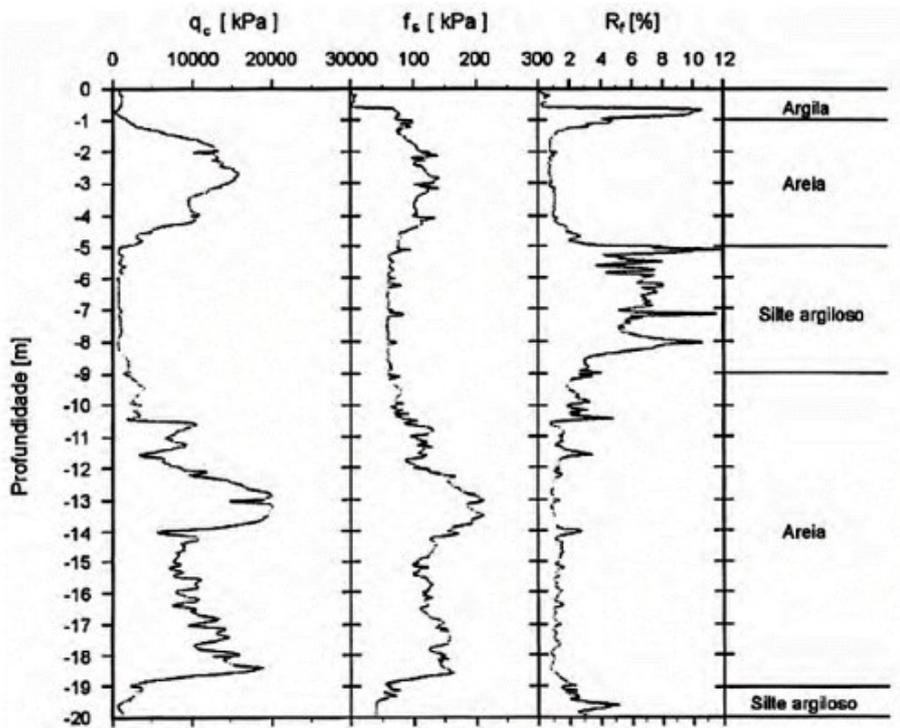
Figura 16 - Componentes do Piezocone.



Fonte: Cunha (2016) apud Lunne et al. (1997).

Os resultados encontrados mediante o ensaio são geralmente colocados em função da profundidade da sondagem. A figura 17 revela como estes dados são dispostos (CUNHA, 2016).

Figura 17 - Apresentação dos resultados do ensaio CPT.



Fonte: Cunha (2016) apud Schnaid e Odebrecht (2012).

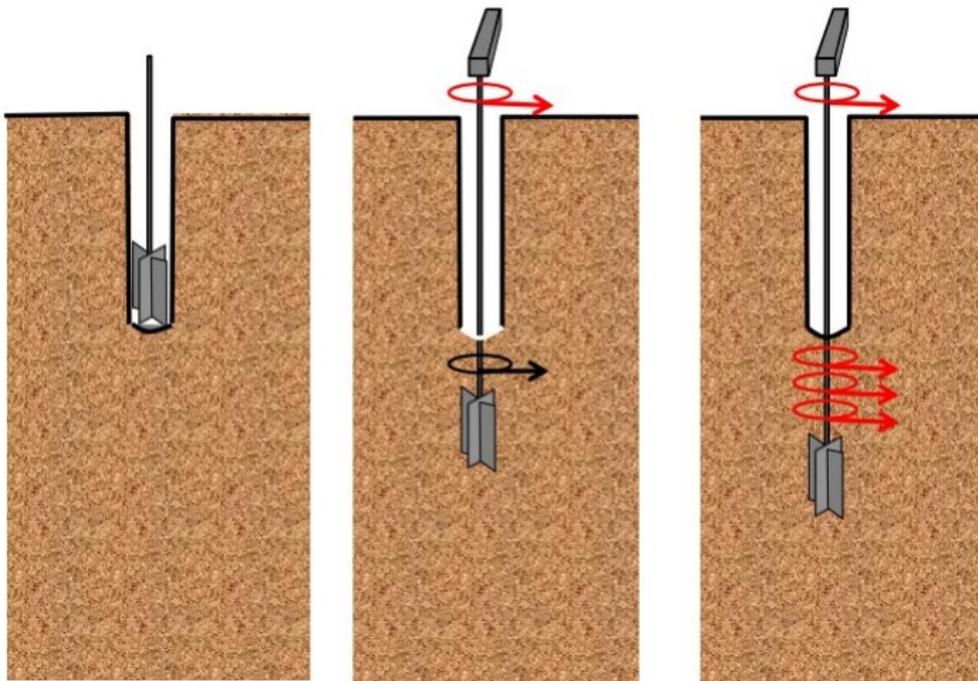
2.5.3 Ensaio Palheta (VST - Vane Shear Test)

Por meio da inserção de uma palheta no solo, o ensaio da palheta consegue determinar a resistência do solo ao cisalhamento. Sob condições não drenantes, sendo realizado in situ por rotação. Para a realização do ensaio da palheta, crava-se uma palheta de forma cruciforme em argilas saturadas como mostra a figura 18, após a cravação coloca-se o aparelho de torque e medição, em seguida com os parênteses zerados aplica-se um de torque com velocidade de 6° por minuto. O tempo máximo entre fim da cravação e o início da rotação deve ser de 5 minutos (RIBEIRO, 2015).

De acordo com Ribeiro (2015), a altura (H) e o diâmetro (D) da palheta cruciforme devem ter relação igual a 2, sendo que a norma NBR 10905 estabelece $D = 65 \text{ mm}$ e $H = 130 \text{ mm}$ (apud OLIVEIRA, 1997).

Ribeiro (2015) ressalta que se deve conhecer o local do ensaio previamente, para saber o tipo de solo que há no local, podendo dessa forma avaliar melhor os resultados do ensaio (apud SCHNAID, 2000).

Figura 18 - Cravação da palheta



Fonte: Moura (2016).

2.6 INSTRUMENTAÇÃO DE CAMPO PARA SOLO MOLE

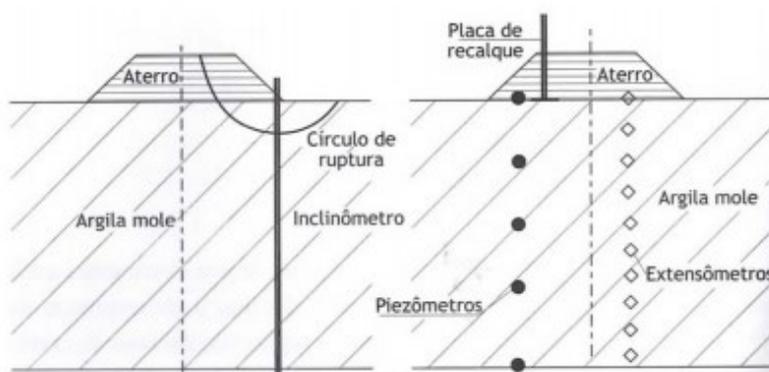
Por meio dos instrumentos de campo, analisa-se o comportamento do adensamento do solo mole, esse pode ser feito pelo monitoramento das deformações. Segundo Almeida e Marques (2010), “a interpretação da instrumentação geotécnica instalada em campo pode ser utilizada para avaliação do desempenho do adensamento do aterro em solos moles”. A utilização destes equipamentos é indicada principalmente para obras de solo mole, já que essas obras tratam de construções mais sensíveis e com mais dificuldade (BARAN, 2014).

Dentre as importâncias de se analisar os aterros sobre solo mole estão analisar se o projeto pode ser executado, avaliar se solo está pronto para receber carregamento e tirá-lo quando for preciso e observar se a obra não prejudicará outras próximas (FILHO 2017 apud ALMEIDA e MARQUES, 2010).

Para atingir esses objetivos, o projeto de instrumentação proposto deve atender aos seguintes critérios: (i) Ter conhecimento da grandeza da medida que o instrumento fornecerá e a faixa de variação esperada; (ii) As análises devem ser feitas logo após as leituras, a fim de que haja tempo adequado para decisões com relação à obra; (iii) A especificação técnica da instrumentação deve informar como os instrumentos serão instalados, sua locação e profundidade, a periodicidade das leituras e de que forma as medidas serão realizadas. Além disso, também deve ser informado o prazo para a apresentação das análises, os valores de alerta e as decisões associadas a esses valores; (iv) A locação dos instrumentos deve ser feita por coordenadas e altimetria. Eles devem ser instalados, de preferência, próximos a locais onde foram realizadas sondagens e demais ensaios (F Filho 2017 apud ALMEIDA e MARQUES, 2010, p.44).

A figura 19 exhibe alguns instrumentos que empregados em obra e onde são utilizados, e a seguir estes serão explicados (FILHO, 2017).

Figura 19 - Seção esquemática de um projeto de monitoramento sobre solos moles.



Fonte: Filho (2017) apud Almeida e Marques (2010).

2.6.1 Piézômetros

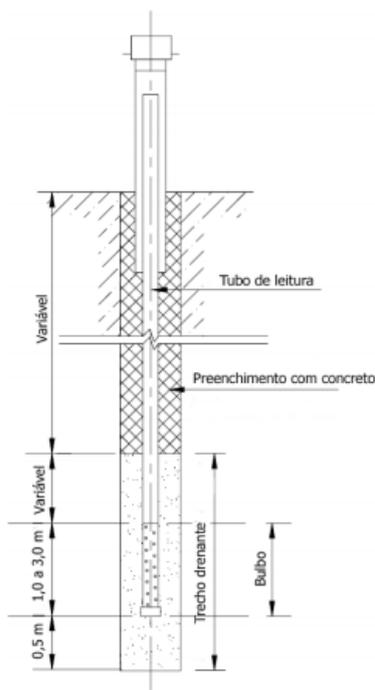
Este instrumento consegue extrair a pressão hidrostática da água submersa, além de mostrar onde se encontra o nível d'água e se há variação nesse (ROCHA, 2014). A informação retirada dos piezômetros ajuda a avaliar a estabilidade de taludes, garante a possibilidade de se construir em qualquer lugar e analisar a construção de aterros (ROCHA, 2014).

Os piezômetros são instrumentos utilizados para avaliação do comportamento do nível de água. Segundo Machado (2007) a variação dos registros piezométricos pode ocorrer quando se verifica uma das seguintes condições:

- Aumento da vazão de percolação;
- Elevação do nível de água de montante e jusante;
- Aumento da permeabilidade de materiais a montante do piezômetro;
- Redução da permeabilidade de materiais a jusante do piezômetro (CERQUEIRA, et al., 2016, p.2)

Este instrumento é basicamente formado por bulbo e um tubo piezométrico, como revela a figura 20. O piezômetro deve ser instalado em um furo de sondagem, sendo monitorado desde a superfície até o local (KRAUSPENHAR, Jr, LEE, & WU apud FERC 2008).

Figura 20 - Representação esquemática de piezômetro.



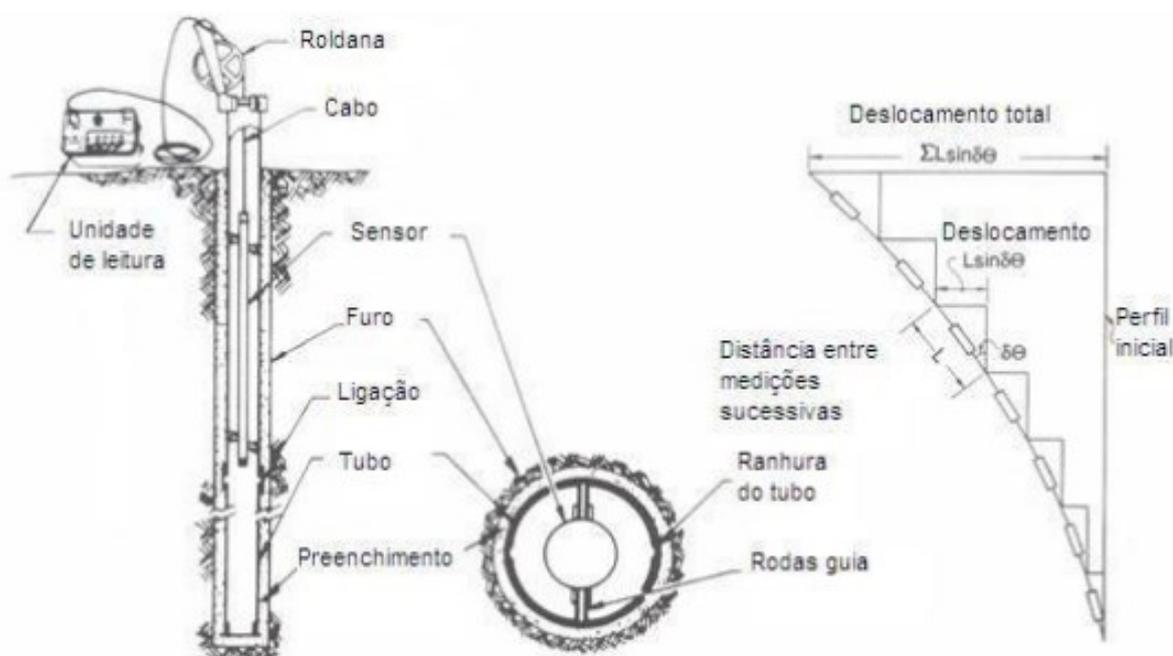
Fonte: Krauspenhar, Jr, Lee, & Wu apud Ferc (2008).

2.6.2 Inclinômetros

Por intermédio deste instrumento, consegue-se analisar os deslocamentos horizontais que ocorrem no interior da massa de solo. O tubo inclinométrico é colocado junto à sonda, e com isso, alcançam-se os resultados (PINTO, MELLO, FILHO, & MARQUES, 2015).

Este equipamento é formado por um tubo, que deve ser colocado junto ao solo ou aterro, uma sonda, que contém leitores, um aparelho em que se encontram as leituras e os dados e um cabo eléctrico que liga todos os componentes. Mediante a figura 21, visualizam-se os equipamentos (RAPOSO, 2011).

Figura 21 - Inclinómetro – Princípio de funcionamento



Fonte: Dunnicliff (1988) apud Raposo (2011).

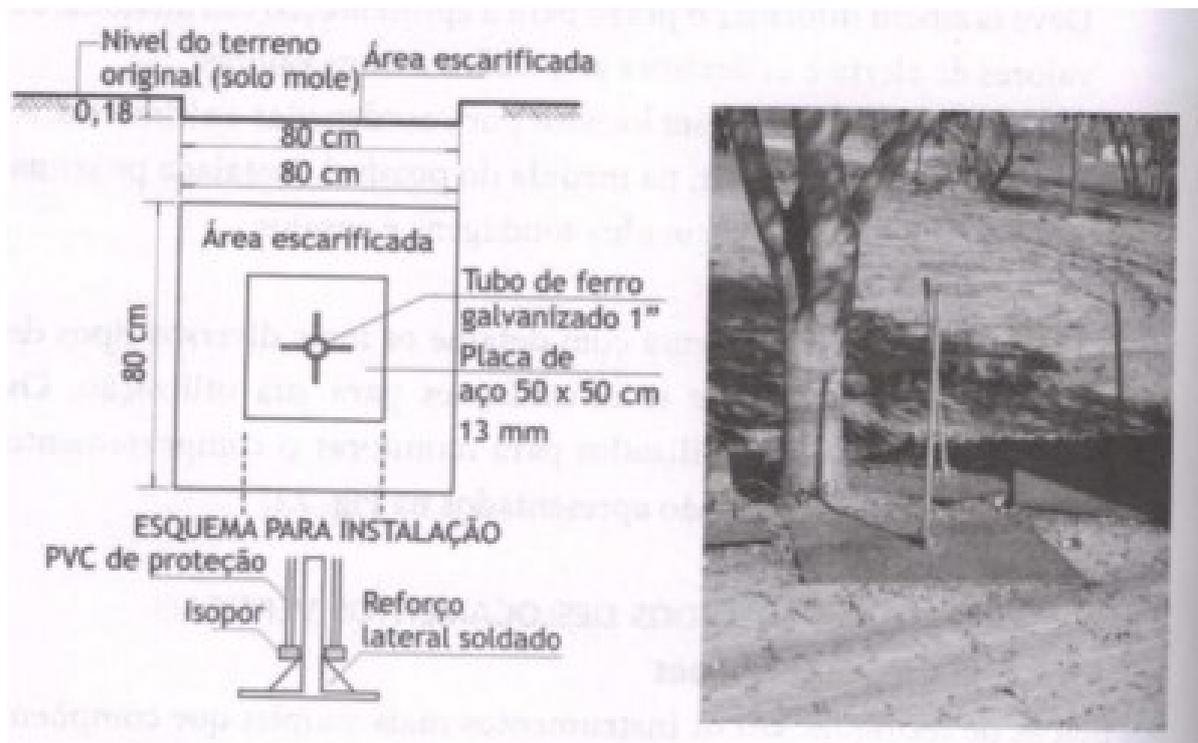
Ao se iniciar o procedimento de imersão do tubo no solo, deve-se colocar uma nata de cimento para que este fique preso no local. Mediante as ranhuras contidas dentro do equipamento, consegue-se realizar as medições da inclinação. Existem diferentes diâmetros de tubos, este deve ser escolhido pela análise de qual obra ele irá ser utilizado. Este equipamento pode ser instalado antes de uma obra, durante esta ou até mesmo depois (RAPOSO, 2011).

Com o inclinômetro, consegue-se determinar se há movimentos de massa, analisar se as estrutura de contenção estão sofrendo deflexão e avaliar as taxas de movimentos horizontais (PINTO, MELLO, FILHO, & MARQUES, 2015, apud Dunnicliff 1988).

2.6.3 Placas de recalque

Este instrumento tem como função mostrar os deslocamentos verticais. Para a utilização deste equipamento, é necessário um ponto de referência que não se desloque, pois por meio desse são feitas as medições. A figura 22 revela como este equipamento é simples e também suas partes (FILHO, 2017 apud ALMEIDA e MARQUES, 2010).

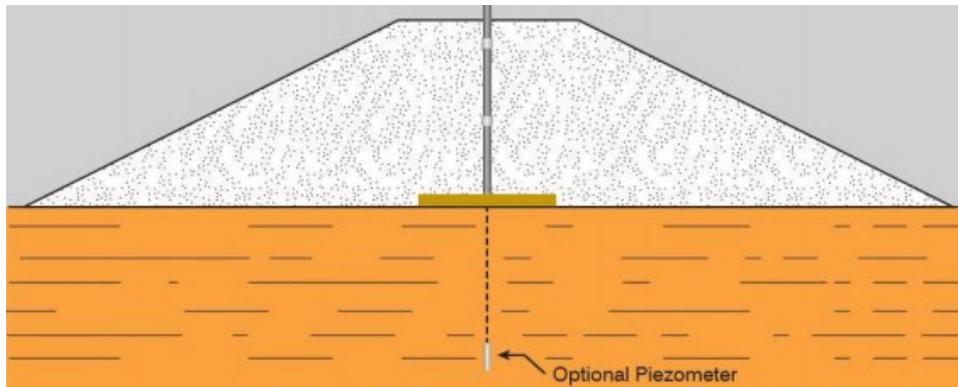
Figura 22 - Detalhe de uma placa de recalque.



Fonte: Filho (2017) apud Almeida e Marques (2010).

Para que esse equipamento apresente um bom resultado, faz-se necessário um isolamento ao seu redor cuja área deve conter 2x2 metros. Este procedimento torna-se indispensável para que não haja nenhum tipo de interferência no equipamento como danos à haste ou perturbação na leitura. A placa de recalque é instalada na base do aterro, afastada das bordas, como apresenta a figura 23, logo após ocorre o depósito de material para o aterro, esse deve ser realizado minuciosamente a fim de que não interfira na posição do equipamento. A leitura do instrumento vai depender do andamento da obra e do cronograma a ser realizado (BEZERRA, 2018).

Figura 23 - Exemplo de localização de instalação de Placa de recalque.



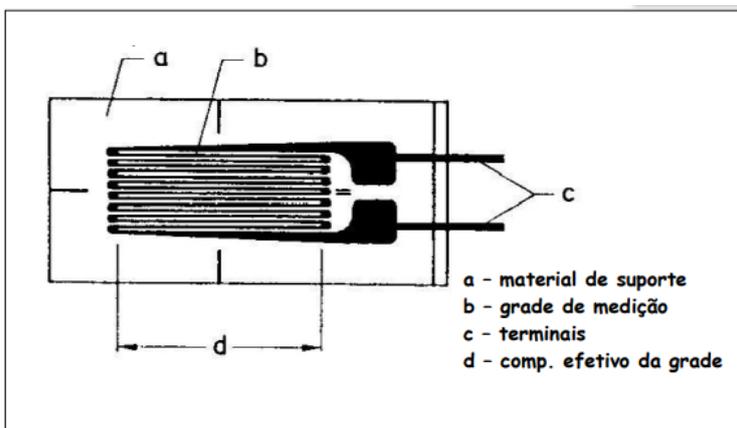
Fonte: Bezerra (2018).

2.6.4 Extensômetros

Dentre os vários instrumentos utilizados em obras está o extensômetro, que tem como função medir as deformações por meio da variação nas dimensões, convertendo-as em resistência elétrica. Tem como diferencial a ampla utilização, sendo de fácil manutenção e de utilização até em ensaios destrutivos. Além disso, esse equipamento também apresenta uma alta precisão (ANDOLFATO; CAMACHO; BRITO, 2004).

O extensômetro é formado por uma base de poliamida ou epox, um filamento metálico, este parece uma grade. Sua base contém sensores que ajudam a posicionar a peça. A figura 24 mostra as partes deste equipamento (OLIVEIRA, 2010).

Figura 24 - Representação das partes de um extensômetro simples.

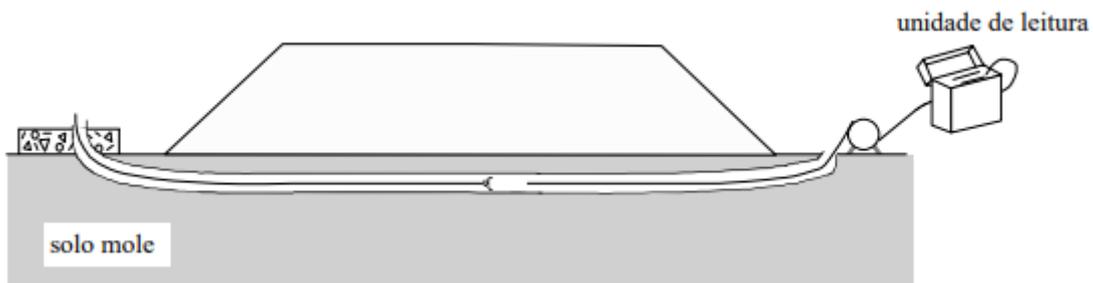


Fonte: Grupo de Análise e Projeto Mecânico (2004) apud Oliveira (2010).

2.6.5 Perfilômetro

Este instrumento tem como principal função analisar os recalques que ocorrem em um aterro de forma contínua. Por meio de seus resultados, consegue-se montar um perfil horizontal. Para a utilização deste equipamento como auxílio nas obras necessita-se da instalação de um tubo para que se consiga colocar os sensores, este tubo deve ter no mínimo 50 mm, ser de ferro galvanizado de preferência e conter uma corda para que se possa fazer a retirada dos sensores. Na figura 25, observa-se um esquema que mostra como este instrumento funciona e do é contido (DNER, 1998).

Figura 25 - Perfilômetro



Fonte: DNER (1998).

Analisando a figura acima, percebe-se que há um sensor elétrico de pressão, esse tem como função medir em cada local o valor da pressão hidrostática que o reservatório deposita sobre o conjunto, o reservatório encontra-se a uma altura conhecida (DNER, 1998).

2.7 COLCHÃO DRENANTE

O colchão drenante é uma tecnologia muito utilizada para o escoamento da água retirada pelos mecanismos empregados para acelerar o adensamento. A areia que se utiliza deve ser selecionada, sendo de granulometria média ou grossa e sem a presença de materiais orgânicos ou qualquer tipo de material que possa impedir a drenagem. A camada de areia a ser colocada sobre o solo mole deve ser calculada de acordo com o aterro, sendo 25 cm a espessura mínima (DER/PR, 2005).

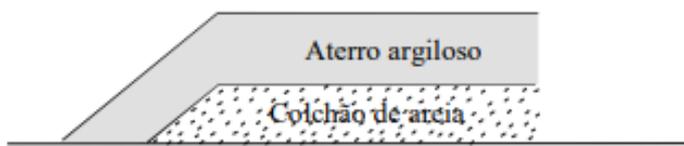
A água coletada pelos drenos é conduzida para o exterior do estrato através das fronteiras drenantes, devido ao excesso de pressão existente no solo, tendo o terreno

a necessidade de ter um colchão drenante para dar vazão a água para o exterior do aterro (CARDOSO, 2013, p.20).

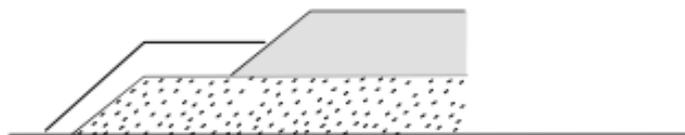
É importante ressaltar que os colchões drenantes devem conter capacidade para que a água escorra livre, sendo essencial observar que este colchão tenha tamanho além do aterro, drenos longitudinais de pé e tubos drenantes, como mostra a figura 26 (DNER, 1998).

Figura 26 - Escoamento final das águas nos colchões drenante.

Erro comum



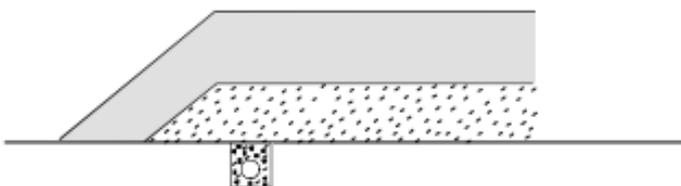
Soluções



Bica corrida



Dreno



2.8 MECANISMOS PARA MELHORAR O ADENSAMENTO DOS SOLOS

O adensamento do solo é um dos maiores motivos para que haja recalques, já que este fenômeno gera a saída da água do solo e com isto os vazios acabam sendo menores. Permeabilidade do solo é um fator que influencia no acontecimento do adensamento, com isso pode-se concluir que as argilas adensam mais rápido pois a permeabilidade é alta (LEIROS, 2017).

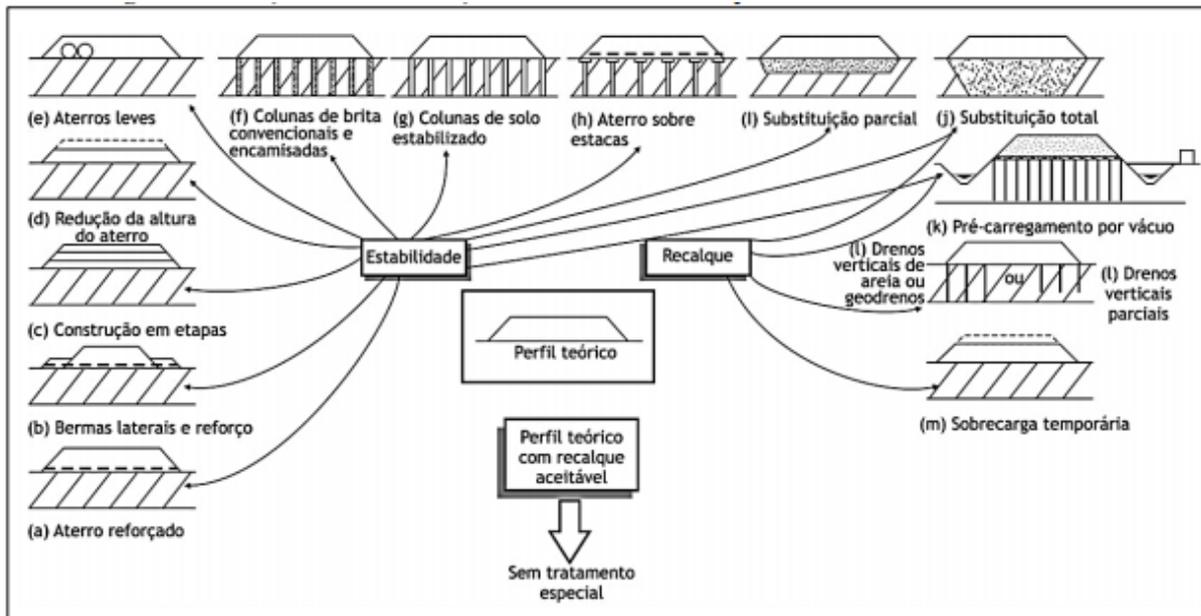
O estudo e a compreensão do comportamento dos solos é uma necessidade que tem suas origens desde os primeiros registros do início da humanidade. Com o crescimento populacional em grandes cidades e a necessidade de expansão territorial, o espaço construtivo vem se tornando cada vez mais restrito, tornando necessárias construções sobre solos com características geológico-geotécnicas não ideais e assim impulsionando a busca por alternativas para uma segura utilização de solos de baixa capacidade de suporte (FLORA, ZYDECK, & HARTMANN, 2017, p. 1).

As argilas saturadas são conhecidas por apresentarem baixa permeabilidade e resistência ao cisalhamento, além de alta compressibilidade. Por este motivo, elas são conhecidas por causarem muitos problemas em projetos ou até mesmo em obras já prontas, já que os adensamentos deste solo podem ocorrer durante anos. Com isso, torna-se muito importante o trabalho do engenheiro geotécnico, este tem como função estudar estes problemas e criarem alternativas para que os causados pelo adensamento sejam os menores possíveis (FILHO, 2017).

Para se analisar a melhor forma de sanar este problema, devem-se observar os seguintes quesitos: os depósitos disponíveis e suas características geotécnicas, o que se pode encontrar de insumos, quanto tempo pode-se levar no projeto e um dos principais é o custo que se pode ter. A figura 27 mostra as diversas soluções que se há para estabilizar ou controlar os recalques nos aterros com solo mole (SANDOVAL, 2016).

Restrições de prazo podem inviabilizar as técnicas convencionais de execução de aterros sobre solos moles, favorecendo as técnicas mais avançadas do ponto de vista construtivo, e ainda, as antigas técnicas de remoção do solo mole de fundação se tornam cada vez mais restritas, em virtude das espessas camadas de solo mole e da inexistência de áreas disponíveis para o descarte desses materiais. Outro ponto importante, é que muitas vezes há também a restrição de espaço, que pode inviabilizar o uso de bermas de equilíbrio (CARVALHAIS, 2017, p. 21).

Figura 27 - Soluções de estabilização ou controle de recalques de aterros sobre solos moles.



Fonte: Almeida e Marques (2010) apud Filho (2017).

2.8.1 Remoção Total ou Parcial do Solo Mole

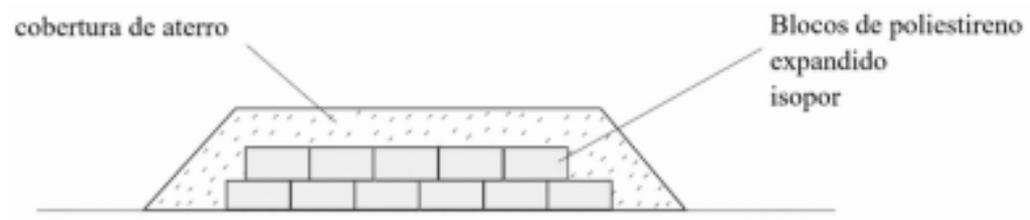
Esta metodologia consiste em remover o solo mole, ou seja, o solo ruim do local e preencher este com um solo adequado. Utiliza-se este tipo de procedimento para solos que apresentem espessura menor ou igual a três metros e extensão menor que 200 metros. Para que este processo seja escolhido, devem-se analisar alguns parâmetros como a existência de uma reserva de material próxima e um local em que se possa colocar o material retirado (SANDOVAL, 2016).

A remoção do material pode ser feita através do uso de escavadeiras, expulsão pelo próprio peso do aterro ou através do uso de explosivos. Deve-se também atentar para a legislação ambiental quanto ao despejo do material removido (BOUCH, 2017, p. 6).

2.8.2 Aterros leves

Mediante a utilização de materiais mais leves, consegue-se amenizar as tensões verticais que os aterros causam. Um dos materiais mais utilizados para tentar diminuir os recalques são os EPS (Poliestireno Expandido). Este material costuma ter um grande custo, embora se consiga reduzir o tempo de reparo do adensamento em obra. A figura 28 mostra como este material é inserido no aterro (DOMINONI, 2011).

Figura 28 – Aterro leve com isopor.

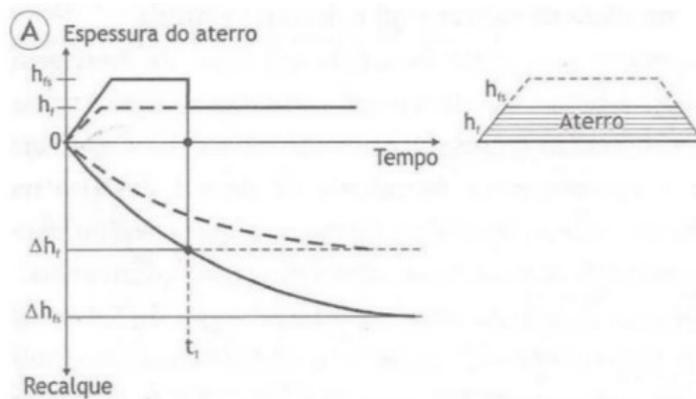


Fonte: Sandoval (2016) apud DNER-PRO 381 (1998).

2.8.3 Aplicação de sobrecargas temporárias

Com a colocação de um aterro sobre o aterro convencional durante um certo tempo, consegue-se diminuir o tempo de acontecimentos do adensamento primário e há um ganho sobre os recalques secundários (apud ALMEIDA e MARQUES, 2010). Depois de se encontrarem os resultados, retira-se o aterro. A figura 29 mostra os desempenhos deste processo (FILHO, 2017).

Figura 29 - Aceleração de recalques com sobrecarga temporária.



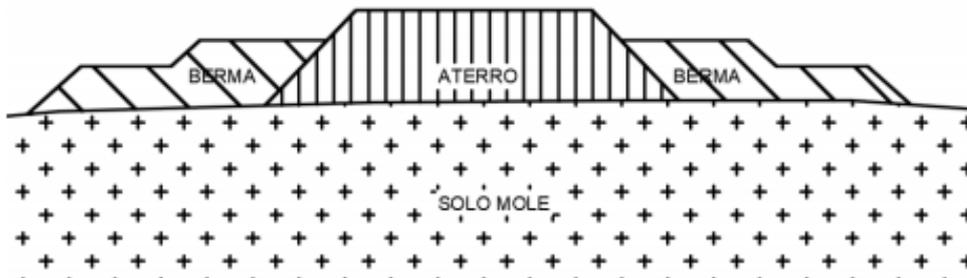
Fonte: Filho (2017) apud Almeida e Marques (2010).

Esse processo possui duas grandes desvantagens: o prazo para estabilização dos recalques é elevado, em função da baixa permeabilidade dos solos moles, e grande volume de material associado a empréstimo e bota-fora (FILHO, 2017, p. 23).

2.8.4 Aterros com Bermas de Equilíbrio

Para a realização das bermas de equilíbrio, são necessários um local com um grande espaço nas laterais do aterro, além de uma quantidade deste material, como mostra a figura 30. Por meio do aterro lateral (bermas), esta metodologia tenta causar uma maior estabilização global (DOMINONI, 2011).

Figura 30 - Detalhe de projeto com bermas de equilíbrio.

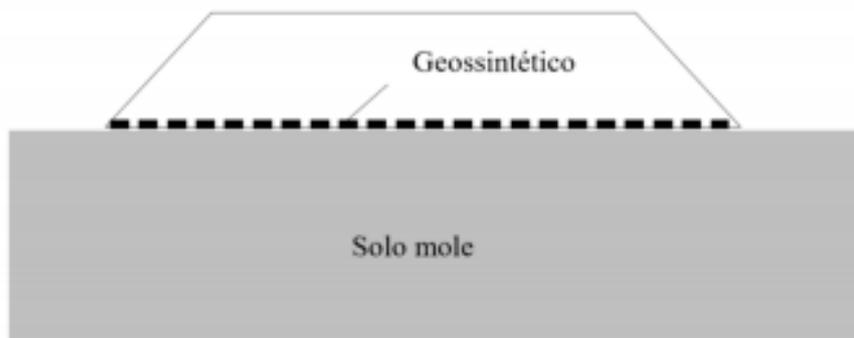


Fonte: Bouch (2017).

2.8.5 Aterros Reforçados com Geossintéticos

Por intermédio da colocação de geossintéticos entre o aterro e o solo mole consegue-se diminuir os deslocamentos laterais e fazer com que a resistência à tração seja maior. Pode-se ressaltar que este processo não muda em nada os recalques. A figura 31 demonstra em que local esse material é instalado (SANDOVAL, 2016).

Figura 31 - Reforço com geossintéticos na base de aterros de solo mole.



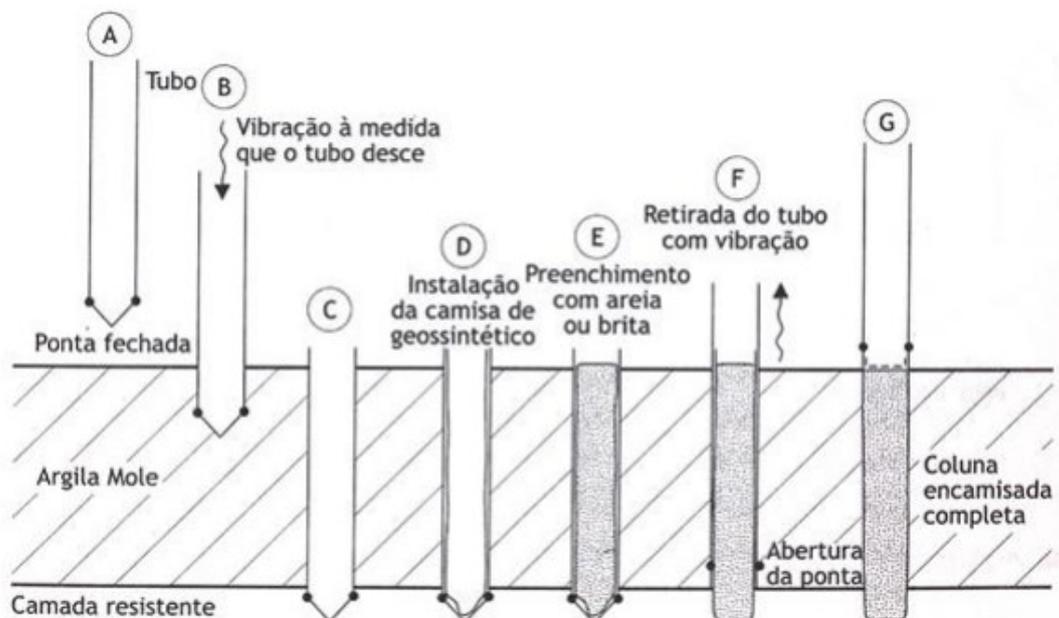
Fonte: Sandoval (2016) apud Dner (1998).

2.8.6 Aterros Estruturados por Colunas Granulares

Este método usa matérias granulares como areia ou brita para drenar o solo. Por meio da inserção destes materiais nas camadas de solo, consegue-se realizar a retirada de água e, assim, fazendo com que a resistência da argila aumente, acelerando os recalques. Além disso, este processo aumenta a resistência ao cisalhamento do conjunto solo-coluna, fazendo com que se possa fazer aterros mais altos e com fator de segurança maior (CARDOSO, 2013 apud ALMEIDA & MARQUES, 2010).

A figura 32 mostra o processo de construção das colunas granulares encamisadas.

Figura 32 - Esquema representativo do processo construtivo das colunas granular encamisadas.



Fonte: Cardoso (2013) apud Almeida e Marques (2010).

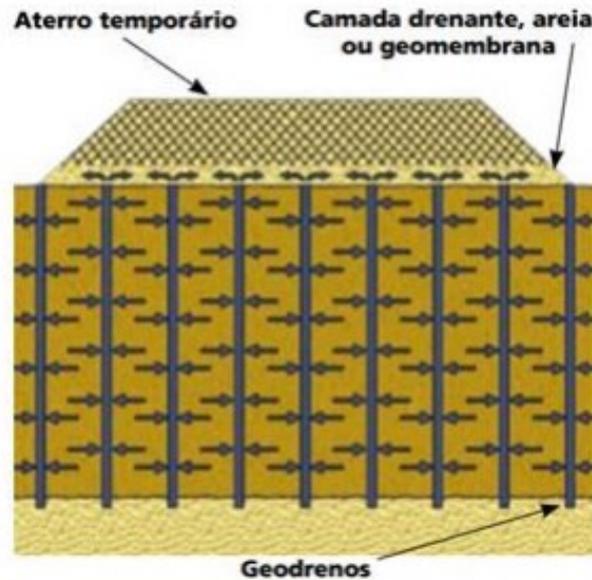
2.8.7 Emprego de Drenos Fibroquímicos

A principal função do emprego de drenos é fazer com que o caminho de drenagem dos solos seja menor, isso ocorre por que os drenos fazem com que este caminho reduza pela metade (CARVALHAIS, 2017).

Os drenos verticais de areia foram pioneiramente utilizados em fins de 1920, no estado da Califórnia, USA. Nos anos 1970 começou-se empregar os drenos pré-fabricados (drenos fibroquímicos ou geodrenos), que consistem em um núcleo de PVC ou PEAD com filtro de geotêxtil ao redor (CARVALHAIS, 2017, p. 30).

Os geodrenos tornam mais rápido o adensamento e os recalques em solos moles. É necessário se observar que os drenos não possuem a função de estabilizar os aterros sobre o solo mole. A figura 33 mostra onde estes ficam localizados (CARVALHAIS, 2017).

Figura 33 - Fluxo da água intersticial após a utilização dos drenos.



Fonte: Carvalhas (2017).

Por meio da tabela 8, pode-se observar um resumo de todos os processos para acelerar o adensamento dos solos, este quadro contém as características, as indicações bibliográficas e como são utilizados estes métodos no Brasil (FILHO, 2017).

Tabela 8 - Métodos construtivos para obras sobre solos moles e suas respectivas aplicações no Brasil.

Metodologias Construtivas	Características	Experiências brasileiras
Remoção da camada mole total ou parcial	Eficaz, rápido, grande impacto ambiental; necessária sondagem para definir quantidade do solo remanescente.	Vargas (1973); Cunha e Wolle (1984); Barata (1977)
Expulsão de solo com ruptura controlada (aterro de ponta)	Utilizado para depósitos de pequena espessura e depende de experiência no local; necessária sondagem para definir quantidade do solo remanescente.	Zayen et al. (2003)
Aterro Convencional	Estabilização lenta de recalques	Pinto (1994)
Construção em etapas	Normalmente utilizado com a associação de drenos verticais; é preciso monitorar do ganho de resistência; por longo período de tempo necessário	Almeida, Davies e Parry (1985); Almeida et al.(2008b)
Drenos verticais e sobrecargas com aterros	Sobrecarga temporária utilizada para acelerar recalques; depende dos custos do bota-fora.	Almeida et al. (2001); Sandroni e Bedeschi (2008); Almeida, Rodrigues e Bittencourt (1999)
Bermas de equilíbrio e/ou reforço	Frequentemente adotada; pode haver restrição de espaço e resistência à tração do reforço deve ser testada <i>in situ</i>	Palmeira e Fahel (2000); Magnani, Almeida e Ehrlich (2009)
Uso de materiais leves	Ideal para prazos curtos; possui custos relativamente elevados.	Sandroni (2006b); Lima e Almeida (2009)
Aterros sobre estacas	Ideal para prazos curtos; podem ser utilizados diversos tipos de materiais e layouts.	Almeida et al.(2008a); Sandroni e Deotti (2008)
Colunas granulares (estacas granulares)	Recalques acelerados devido à natureza drenante do material utilizado; geogrelhas podem ser utilizadas acima das estacas granulares.	Mello et al. (2008); Garga e Medeiros (1995)
Pré-carregamento por vácuo	Pode substituir parcialmente a sobrecarga temporária por pressão hidrostática; deslocamentos horizontais são muito menores que os carregamentos convencionais	Marques e Leroueil (2005)

Fonte: Filho (2017) apud Almeida e Marques (2010).

2.9 GEODRENO A VÁCUO

Pode-se dizer que para acelerar o adensamento existem inúmeros tipos de metodologias, as quais podem ser, a construção de aterros com sistemas de drenos verticais. Entretanto, para escolher qual o melhor método deve-se analisar diversos fatores como reservas de materiais próximos, locais para se realizar o bota-fora, o tempo em que se pode levar para solucionar o problema, o tamanho dos deslocamentos horizontais que pode ocorrer. Dentre estes, ainda se destaca a utilização do carregamento a vácuo com ou sem a presença do carregamento tradicional (DEOTTI, 2015).

A técnica do carregamento por vácuo baseia-se, essencialmente, em aplicar o vácuo em uma camada de argila, reduzindo a pressão atmosférica no seu interior e desta forma reduzindo a poro-pressão (através de um sistema de bombeamento), causando somente incrementos isotrópicos de tensão efetiva, os quais induzem recalques, assim como deslocamentos horizontais para dentro da região sob aplicação de vácuo (DEOTTI, 2015, p. 28).

Segundo Yanez (2016), de acordo com Pinto (1996), os drenos a vácuo possuem alguns benéficos perante a sobrecarga física, entre elas estão:

- Não há necessidade de se preocupar com a estabilidade do aterro.
- Não precisa de local para o despejo de materiais.
- Tem uma rápida instalação, aplicação e remoção.

A escolha de qual método de geodreno a vácuo deve-se utilizar ocorre de acordo com o local de obra, segundo Deotti (2015), existem dois métodos:

2.9.1 Sistema de aplicação a vácuo em camada estanque

O sistema de aplicação a vácuo em camada estanque exibe como solução para acelerar o adensamento a sucção da água e do ar mediante a drenos verticais ligados a uma bomba e com a presença de uma camada permeável estanque. O sistema de vácuo com camada estanque apresenta algumas restrições para ser possível ter seu desempenho com sucesso (DEOTTI, 2015).

A primeira análise que deve ocorrer é onde se encontra a camada permeável do terreno, se essa aparecer na superfície deve-se realizar: (DEOTTI, 2015).

A estanqueidade do sistema, neste caso, é usualmente garantida através da instalação de uma membrana PVC sobre o terreno ou aterro de areia. Ao redor da área em tratamento são escavadas trincheiras até o nível da camada impermeável inferior e/ou do lençol freático. A instalação da membrana precisa ser feita certificando-se que suas bordas mantenham-se constantemente submersas, dentro das trincheiras, garantindo, portanto, a estanqueidade do sistema (DEOTTI, 2015, p. 29 e 31).

Segundo Indraratna et al. (2005), uma forma de aumentar a tensão e de diminuir os deslocamentos horizontais é a junção de dois tipos de carregamento, o carregamento tradicional e o vácuo. Para que esta junção funcione é necessário tomar muito cuidado para que não aconteçam nenhum tipo de falha no sistema ou na membrana, pois se isso acontecer não é fácil de identificar ou reparar. Assim fazendo com que o sistema não atinja seu propósito (DEOTTI, 2015).

Outro fator que influencia na eficiência do sistema é a presença de lentes de material permeável. Pois se os drenos perfurarem este material ou se chegarem perto, retiraram a água desta camada, fazendo com que o sistema não atende os requisitos (DEOTTI, 2015).

2.9.2 Sistema de aplicação individual de vácuo nos drenos verticais

Deotti (2015) apresenta a metodologia empregada para a utilização do geodreno a vácuo, que pode-se dizer que é uma tecnologia nova, uma vez que para este sistema não se utilizam membranas ou colchões de areia. A ligação dos drenos acontece diretamente com o solo a ser drenado. Esta ligação necessita de um sistema com bombas que é instalado em cada dreno do local.

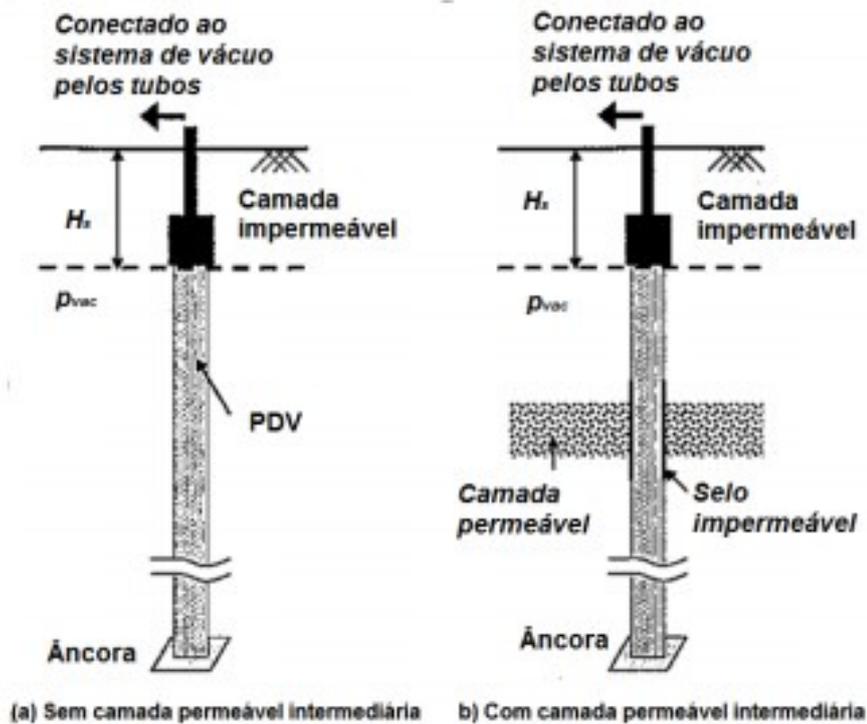
Este método apresenta um bom desempenho em diferentes perfis, como aqueles que apresentam um lençol freático abaixo da superfície, mas também com materiais permeáveis (DEOTTI, 2015 apud CHAI et al., 2010).

Deve-se utilizar materiais impermeáveis durante o processo de drenagem quando o perfil do solo apresentar areia, por exemplo, que é um material permeável, isso tem que ocorrer para que o resultado final apresente eficácia (DEOTTI, 2015).

Tal sistema é comumente aplicado em combinação com a utilização de uma camada de solo superficial ou subterrânea, que age hermeticamente, não sendo assim necessária a utilização de membranas geossintéticas para garantir a estanqueidade. Cada dreno é ligado ao sistema de bombeamento de forma individual, o que pode ser mais trabalhoso durante o período de construção e durante a execução do aterro acima do vácuo. Contudo, a versatilidade de aplicação em diferentes condições de subsolo, inclusive situações submersas, torna o sistema uma alternativa ao sistema tradicional com membrana ou camada selante (DEOTTI, 2015 apud CHAI e CARTER, 2011, p. 31).

Durante o processo, deve-se observar a espessura, essa se localiza entre a aplicação do vácuo e a camada permeável (DEOTTI, 2015), como mostra a figura 34:

Figura 34 - Esquema do carregamento por vácuo CPDV.



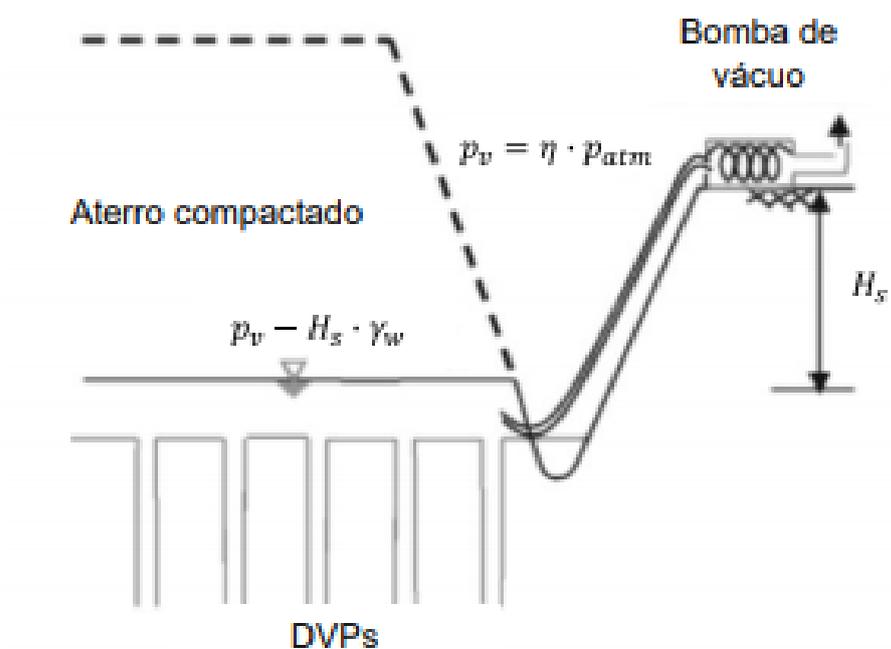
Fonte: Deotti (2015) apud chai e Cater (2011).

Para que o sistema de geodreno a vácuo funcione, deve-se empregar tubos conectados à bomba, os quais trarão a água até o nível do solo em que se encontram valas para conduzir a água. A utilização deste modelo deve ser adotada quando o preço de uma sobrecarga for grande, quando a camada for superficial e quando a espessura do aterro possuir até quatro metros (SANDOVAL, 2016).

No sistema de geodreno a vácuo, há uma pressão de bombeamento, essa pressão deve ser menor que a pressão atmosférica que é de 100 kPa quando o local de obra estiver no nível do mar ou menor que 90kPa quando a obra estiver até 1.000 metros. No entanto, se forem analisadas as pressões geralmente utilizadas ficam entre 60 kPa e 80 kPa, isso porque durante o processo ocorrem perdas como nas conexões, nas mangueiras, nos drenos verticais e até mesmo na bomba. Essas perdas podem ser tanto do sistema quanto do solo. Adota-se a pressão de 80 kPa geralmente quando a construção a ser inserida no local apresenta uma carga superior a 80 kPa. Para o cálculo, deve-se levar em consideração a pressão atmosférica utilizada e a

altura de sucção ou o local de instalação da bomba e o nível do lençol freático, como mostra a figura 35 (YANEZ, 2016).

Figura 35 - Dimensionamento da pressão do vácuo aplicada no solo.



Fonte: Yanez (2016), apud chai et al. (2014)

Para a construção do sistema de geodrenos a vácuo, é preciso considerar alguns requisitos como o espaçamento entre os drenos, o tempo de carregamento, a profundidade e a pressão a ser aplicada (Figura 35). Estes requisitos devem ser avaliados um a um e estão ligados diretamente com o local da obra e as limitações do lugar. “O processo de adensamento de sistemas envolvendo a utilização de carregamento por vácuo pode ser previsto através da adaptação das teorias clássicas do adensamento” (DEOTTI, 2015 apud TERZAGHI e BARRON, p. 32).

A seguir são apresentados alguns parâmetros que devem ser observados para a simulação e análise do sistema (DEOTTI, 2015):

a) Área de sucção da bomba.

Esta área depende do solo encontrado no local, a espessura e o sistema de bombas empregado. Para se utilizar somente uma bomba, esta área deve estar entre 600 m² e 1500 m² (DEOTTI, 2015).

b) Espaçamento entre drenos

Para se escolher os espaçamentos dos drenos, deve-se analisar o tempo de estabilização que se deseja e o coeficiente de adensamento do solo (DEOTTI, 2015).

c) Zona amolgada.

Ao inserir os drenos no solo, ocorre o amolgamento dos solos próximos, este processo causa a diminuição da permeabilidade e causa uma maior compressibilidade do solo (DEOTTI, 2015).

d) Diâmetros.

Os espaçamentos entre os drenos e como estes estão colados no terreno, categorizam o diâmetro influência, já o diâmetro equivalente é o que se utiliza para se realizarem os cálculos (DEOTTI, 2015).

e) Profundidade de escavação.

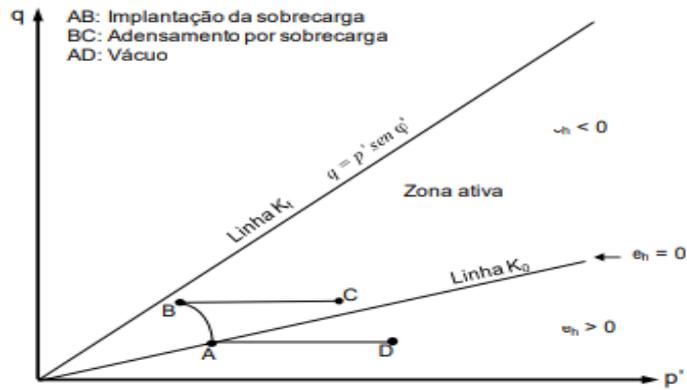
Em projetos envolvendo o carregamento a vácuo, geralmente, a pressão do vácuo é usualmente aplicada na superfície do terreno e sua distribuição final no solo depende das condições de contorno relacionadas ao fluxo. Considerando um problema 1D em um depósito de solo uniforme, se a fronteira inferior do depósito não for drenada, a pressão final do vácuo no depósito será uniforme. No caso de fronteira inferior drenante, não é possível manter a eficiência do sistema próximo à região drenante e, desta forma, a distribuição da pressão do vácuo $R = 0,565 \text{ l}$; $d_e = 2R = 1,13 \text{ l}$ d $R = 0,525 \text{ l}$; $d_e = 2R = 1,05 \text{ l}$ d 36 ao final do adensamento será linear com valor máximo na superfície do solo e zero no fundo da camada (DEOTTI, 2015 apud CHAI et. al. 2005, p. 35 e 36).

f) Estimativas das deformações horizontais.

Quanto às deformações, existem diversos métodos analíticos para sua determinação, porém deve-se ressaltar que este método é semi-teórico e não apresenta embasamento suficiente. Então, aconselha-se a empregarem ferramentas numéricas (DEOTTI, 2015).

Ao observar a figura 36, consegue-se analisar a diferença entre uma sobrecarga física e uma virtual, como o caso do geodreno a vácuo. Enquanto a força de sucção causa uma zona passiva, como mostra a trajetória AD, a sobrecarga provoca o inverso, como mostra a trajetória ABC (YANEZ, 2016).

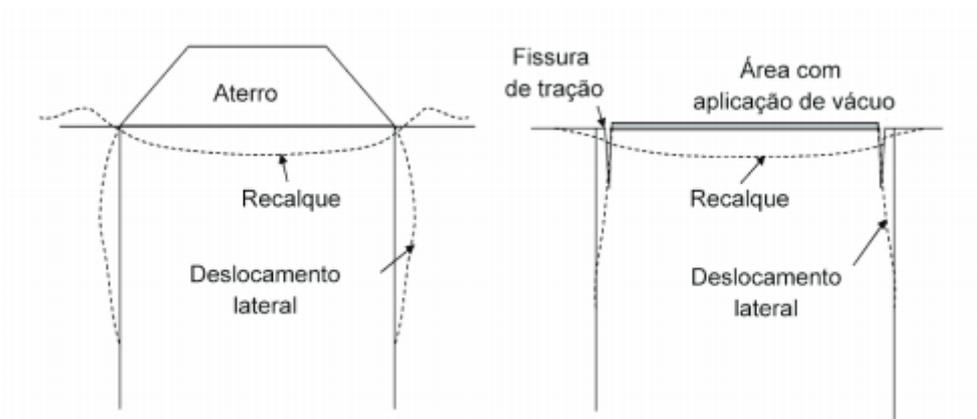
Figura 36 - Trajetória de tensões de pré-carregamento com sobrecarga de aterro (ABC) e com vácuo (AD).



Fonte: Yanez (2016), apud Masse et al. (2001).

A sucção por vácuo pode causar fissuração próximas ao local em que é utilizada. A figura 37 demonstra este caso (YANEZ, 2016).

Figura 37 - Movimento do solo sobre carregamento de aterro e vácuo.



Fonte: Yanez (2016) apud Masse et al. (2001).

3 ESTUDO DAS OBRAS

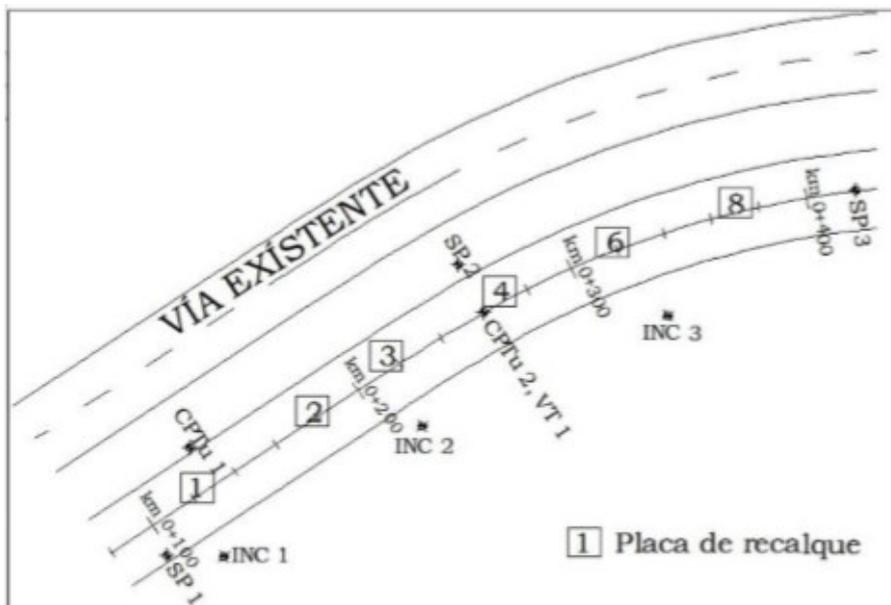
3.1 ESTUDO DE CASO OBRA DA AMÉRICA DO SUL

Serão apresentados os resultados de um estudo para construção de uma nova faixa de uma rodovia. Esta obra de infraestrutura está localizada na América do sul. Este estudo trata-se da implantação de drenos verticais a vácuo, que expõem um sistema de dreno a dreno. O sistema foi implantado em um local que apresentava solos moles.

A obra tem como principal função a ampliação da via de uma rodovia, sendo que opera com apenas uma pista há mais de 30 anos.

O estudo de caso em questão pode ser melhor observado por meio das figuras 38 e 39. A figura 38 retrata um esquema em planta da obra, com a parte que se encontra sobre o depósito de solo mole, também são demonstrados os ensaios de campo e as instrumentações que se utilizaram.

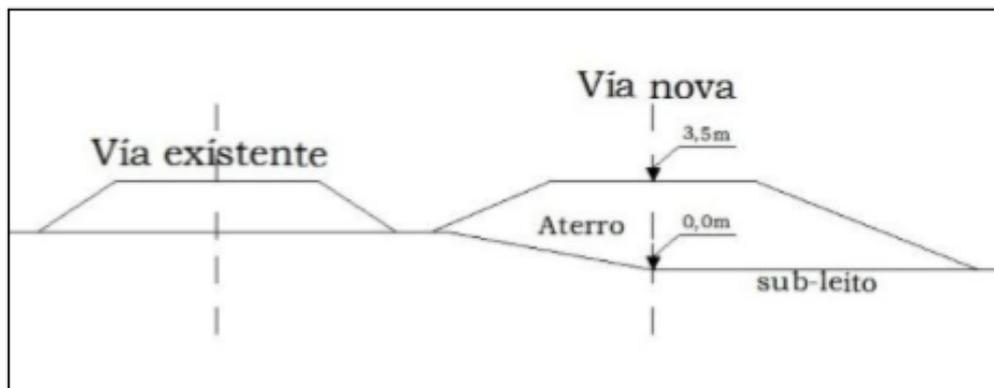
Figura 38 - Esquema em planta.



Fonte: Correa et al. (2016).

A figura 39 exibe um esquema de seção transversal da obra, que corresponde ao Km 0+120, sendo este demonstrando a via já existente, a via em construção e as respectivas cotas.

Figura 39 - Esquema da seção do km 0+120.



Fonte: Correa et al. (2016).

3.1.1 A construção da obra

É de grande importância que os procedimentos construtivos sejam muito bem planejados e executados, de modo que não venham a causar nenhum tipo de modificação no local da obra. Deve-se manter as características do depósito original, para que assim não haja explosão ou rupturas, ou até mesmo amolgamento do material durante a construção do depósito. Todos os passos desta construção devem ser pensados para que, de maneira alguma, a fundação do terreno seja modificada.

Para a execução do primeiro aterro, os descarregamentos de material devem ficar longe da área dos depósitos de solo mole. Outro fator importante para esta construção é os drenos, que devem ter uma profundidade entre 0,50m e 1,0m acima da base da camada, porque se abaixo do solo mole existirem camadas de areia ou cascalhos (materiais permeáveis) as bombas do vácuo irão drenar este material.

Assim nota-se que na execução de qualquer obra, é essencial o conhecimento do solo, por isso se realiza o procedimento chamado de prospecções. Este trata-se da cravação do geodreno, porém sem ele, apenas inserindo no solo a ferramenta de cravação, denominada mandril. Ressaltando que estas prospecções devem ser realizadas perto dos pontos de sondagens SPT. Dessa forma, consegue-se fazer um estudo da espessura do bolsão, assim fazendo com que os drenos consigam agir sobre toda a camada de solo mole, sem que atinjam as camadas permeáveis.

Na figura 40 pode-se ver alguns processos da construção do aterro, dentre eles as mangueiras do sistema de vácuo (tipo dreno a dreno) e a efetuação da camada de material granular que fazem a proteção das mangueiras do vácuo. Como já mencionados, na figura 40, é possível ver o estoque de materiais fora do depósito de solo mole, ou seja, em área de corte.

Para a locomoção deste material, usa-se um trator D5. Também é possível ver os tubos de recalque (os tubos brancos).

Figura 40 - Execução da camada de proteção das mangueiras do sistema de vácuo.



Fonte: Correa et al. (2016).

Esta obra teve duração de 17 meses, ocorrido neste tempo a observação do terreno, a construção do aterro e a observação do aterro após o término do processo.

3.1.2 Ensaios de campo

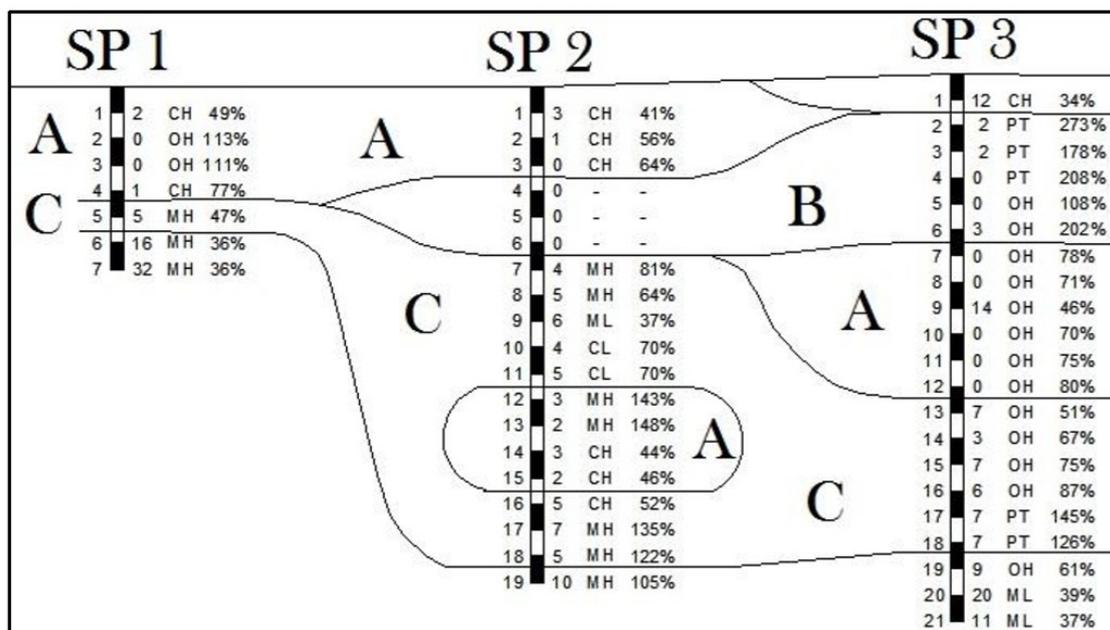
Os ensaios de campo realizados nesta obra foram o SPT e CPTu, os quais serão demonstrados a seguir.

Na figura 41, encontram-se os ensaios de SPT, sendo esses realizados com a umidade natural em todas as amostras. Estes resultados puderam ser obtidos graças as três sondagens a percussão que efetivaram no trecho nos quilômetros 0 + 120, entre o 0 + 260 e 0 + 280 e no quilômetro 0 + 420.

Por meio das sondagens, concretizaram-se análises dos solos presentes no local e classificados conforme mostra a figura 41 pelo sistema SUCS. Assim, encontraram-se três tipos de solos diferentes, sendo estes caracterizados por serem materiais de compressibilidades desiguais. Analisando os resultados apresentados, encontram-se as seguintes classificações CH, OH, MH, ML, CL e PT. Entre eles, os que apresentavam maior presença no local eram os siltosos e/ou argilosos, com a presença de diversos tipos de conteúdo, como matéria orgânica,

ou até mesmo, materiais turfosos intercalados. Segundo os pares de letras apresentados por meio das sondagens, os materiais encontrados mais especificamente são: siltes orgânicos e siltes argilosos orgânicos de baixa plasticidade - OH, siltes inorgânicos e areias muito finas, alteração de rocha, areias finas, siltosas ou argilosas com pequena plasticidade - ML, argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras - CL, Siltes orgânicos e siltes argilosos orgânicos de baixa plasticidade - OL, Siltes inorgânicos, micáceos ou diatomáceos, finos arenosos ou solos siltosos, siltes elásticos - MH, Argilas inorgânicas de alta plasticidade, argilas gordas -CH, Argilas orgânicas de média e alta plasticidade e Solos com elevado teor de matéria orgânica – PT.

Figura 41 - Resultados das sondagens feitas no depósito.



Fonte: Correa et al. (2016).

Os materiais encontrados receberam a nomenclatura de A, B e C, sendo denominadas de acordo com o número de golpes dos ensaios SPT. O Nspt (número de golpes no ensaio SPT) do material A é de 0 a 3, com umidades variando de 44% e 148% e este material completa os seguintes grupos MH, CH e OH. O material B que apresenta os grupos PT e OH, mostraram uma umidade entre 178% e 273% e um Nspt de 0 a 2. Com isso, consegue-se dizer que estes dois materiais apresentam característica de solos “muito moles”. Enquanto o material denominado como C apresenta resultados como Nspt de 4 a 7 golpes e umidades menores do que 145%, o que caracteriza um material compressível, porém não mole igual aos demais. Neste material encontra-se os grupos PT, OH, MH, CL, CH e ML.

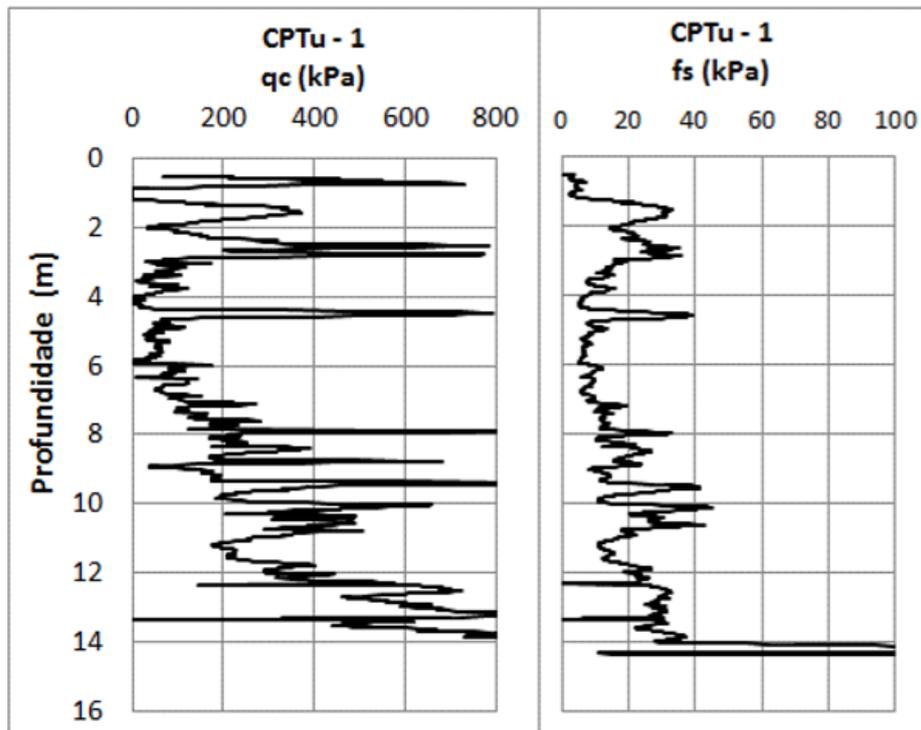
Por meio dos resultados apresentados, observa-se que este depósito apresenta uma grande variação, que pode ser notada na profundidade que os materiais ocorrem e, também, nas camadas que estes exibem.

É de grande importância ressaltar que durante os procedimentos realizados foram encontrados pedaços de madeiras. Assim, podendo-se concluir que os valores encontrados nos ensaios de Nspt podem vir a ser menores.

Como já mencionado no início deste tópico, realizaram-se também ensaios de CPTu, sendo um entre os quilômetros 0 + 120 e 0 + 140 e outro no quilômetro 0 +160. O resultado do ensaio CPTu 1 pode ser observado na figura 42.

Analisa-se o SPT 1 e CPTu 1 realizados nos quilômetros 0 + 100 e entre os quilômetros 0 + 120 e 0 + 140, verifica-se que entre eles a distância horizontal é inferior a 35 metros, embora esta distância seja relativamente pequena, as profundidades das camadas de solo localizadas no ensaio são muito distintas uma das outras. Mediante a estudos do solo, realizados no local, encontrou-se uma profundidade de cinco metros, por meio da sondagem SP 1; já o ensaio de CPTu 1 deparou-se com uma espessura de 12 metros. Com isso, consegue-se ressaltar a grande variação de solo no local da obra. A seguinte situação pode ser comprovada tanto nos ensaios quanto no processo de instalação dos drenos verticais.

Figura 42 - Resultados CPTu 1.

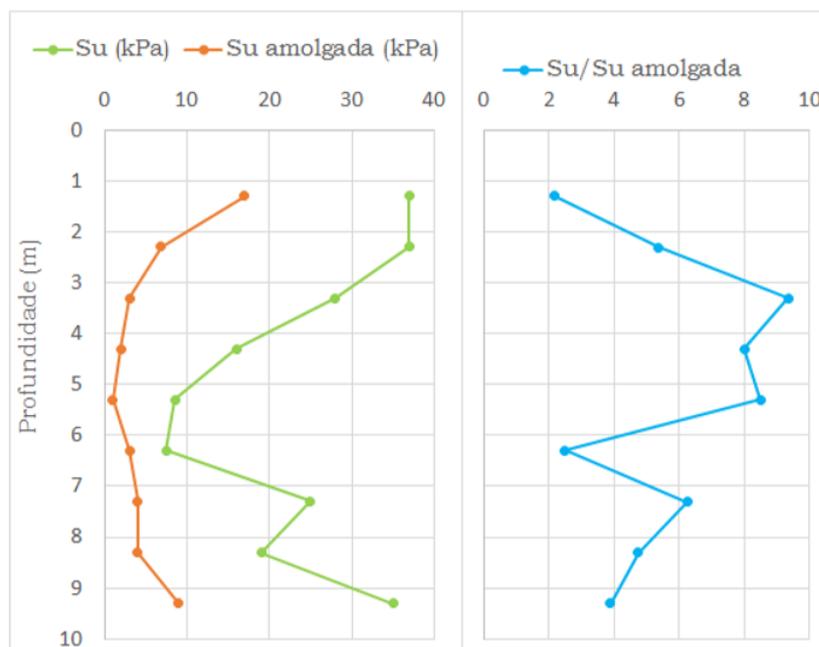


Fonte: Correa et al. (2016).

Além desses, realizou-se o ensaio da palheta, cujos resultados estão demonstrados na figura 43.

Este ensaio traz a resistência ao cisalhamento não drenado do local, em que se ressalta a grande variabilidade da resistência, essa se encontra entre 35kPa e um pouco menos de 10kPa. Comparando-se às resistências não drenadas e á não drenada amolgada também se encontra uma grande variabilidade. A altura varia entre 3,0m e 6,0m de profundidade, este é considerada alta.

Figura 43 - Resultados palheta depósito



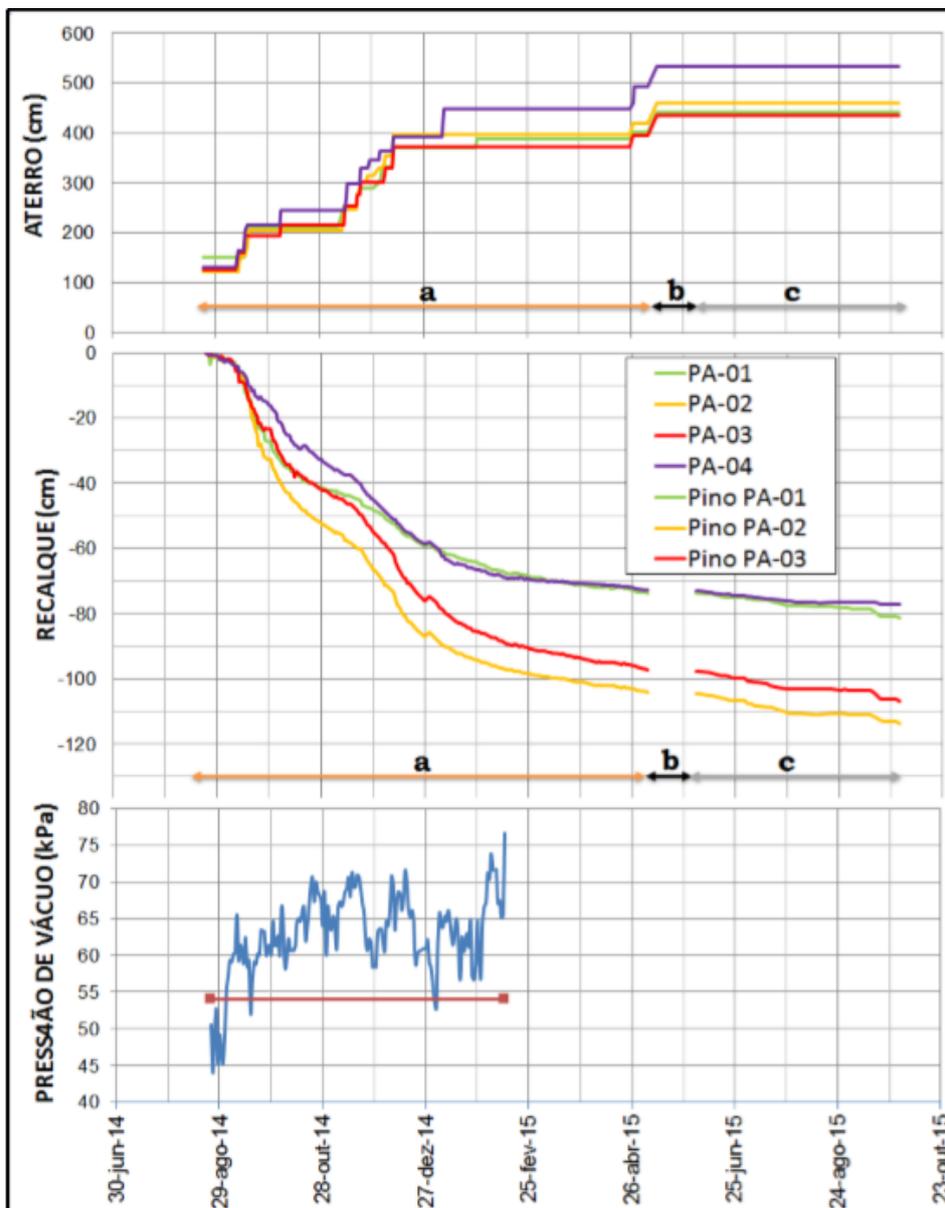
Fonte: Correa et al. (2016).

3.1.3 Instrumentações de campo

Para o monitoramento deste trecho da estrada, utilizaram-se seis placas de recalque e três inclinômetros. Instalaram-se os equipamentos, respectivamente, nos quilômetros 0 + 120, 0 + 180, 0 + 220, entre os quilômetros 0 + 260 e 0 + 280, 0 + 320 e entre os quilômetros 0 + 360 e 0 + 380 e os inclinômetros foram inseridos entre os quilômetros 0 + 100 e 0 + 120, 0 + 200 e 0 + 210 e 0 + 320 e 0 + 340. A estrutura do pavimento foi realizada após o recalque primário atingir 95% do valor estimado e as placas de recalque foram desmontadas. Na sequência, realizava-se a instalação dos pinos de recalques, estes procuram ser colocados bem próximos ao local em que se encontravam as placas de recalque.

Por meio dos instrumentos instalados, montou-se um gráfico da evolução altura do aterro e das leituras de pressão nas bombas de vácuo versus tempo, mostrado na figura 44. Nela, constam os resultados das placas de recalque 1 a 4 e os pinos de recalque. No gráfico elaborado, a letra “a” mostra os resultados do tempo em que a placa de recalque estava instalada, já a letra “b” demonstrada a trajetória da construção do pavimento (sub-base, base e camadas de concreto asfáltico) e a letra “c” traz as leituras dos recalques já com o pavimento pronto, por meio dos pinos de recalque.

Figura 44 - Resultados placas de recalque.



Fonte: Correa et al. (2016).

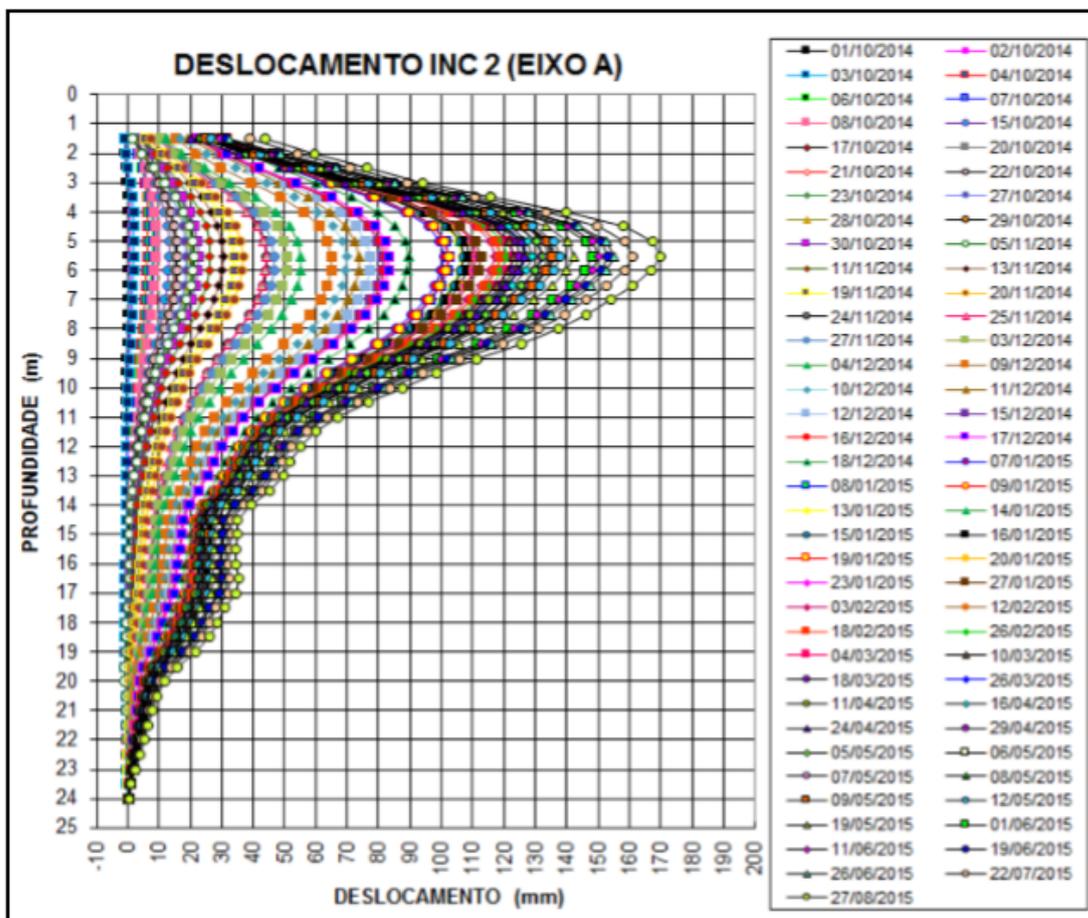
Observando-se as três etapas, pode-se dizer que, antes da construção e durante o aterro sofre variação, já após a construção permanece constante, apresentando uma altura total de um

pouco mais que 5 metros. Quanto ao recalque, nota-se que no percurso “a” esse sofre uma grande variação saindo de 0 até -103 cm, enquanto no percurso “c” ele quase se mantém constante, sofrendo uma variação de -103 até -112 cm, ocorrendo uma variação durante o período de observação de 9 cm. A pressão é utilizada somente durante a etapa “a”, ou seja, a etapa de construção, essa atinge seu momento máximo no final da utilização mais ou menos no meio de janeiro de 2015 chegando a 77 kPA.

Para a construção desse aterro, levou-se 467 dias, sendo que 284 dias foram para etapa “a”, 30 dias para a “b” e 153 dias para a “c”, ressalta-se que durante a atividade “a” 171 dias em que houve a aplicação de vácuo no local.

Os resultados do inclinômetro 2 são demonstrados na figura 45, escolheu-se por apresentar os maiores deslocamentos como se observa durante todo o procedimento. No entanto, o maior valor encontra-se no dia 27/08/2015 com um deslocamento de 1,71 cm. Na ilustração, demonstram-se os resultados do eixo A, já que no eixo B consiste dos deslocamentos horizontais, ou seja, no sentido da pista são desprezíveis (como esperado).

Figura 45 - Resultados inclinômetro 2



Fonte: Correa et al. (2016).

3.2 ESTUDO DE CASO DO ATERRO EXPERIMENTAL PARA O PROJETO DO NOVO AEROPORTO INTERNACIONAL DA CIDADE DO MÉXICO

Neste estudo de caso vão ser apresentados resultados de um aterro experimental, localizado na cidade do México. Esta obra trata-se de um projeto para a construção de um novo Aeroporto Internacional.

A obra foi realizada para analisar a aplicabilidade da técnica de pré-carga direta, combinada com a consolidação por meio de dreno a vácuo, sendo construída uma seção teste sobre a área do antigo Lago Texcoco. Utilizaram-se estas tecnologias para tentar melhorar a argila encontrada no local.

A figura 46 mostra uma imagem aérea do local em que se implantou a tecnologia em estudo.

Figura 46 - Imagem aérea do aterro

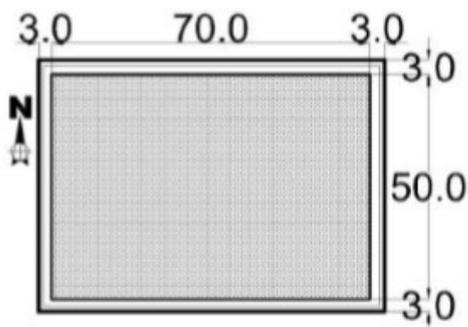


Fonte: Acosta et al. (2017).

3.2.1 A construção da obra

Para a construção deste aterro teste, procurou-se desenvolver o projeto em que se simula o mais precisamente possível um aterro de um aeroporto. Utilizou-se uma área de 3500 m² com dimensões de 50 X 70 em sua coroa e de 56 X 76 em sua base como ilustra a figura 47.

Figura 47 - Vista em planta



Fonte: Acosta et al. (2017).

O aterro final consta de uma altura de 2 m entre o ponto final e o traçado natural do terreno, sendo constituída de quatro camadas, contendo uma inclinação de 1, 5:1.

O material escolhido para realizar o aterro de sobrecarga foi o Tezontle, um material característico da região, esse é derivado de materiais vulcânicos e apresenta um baixo peso específico de 12kN/m^3 , além de uma grande porosidade.

Como já se mencionou este projeto, utilizou-se da tecnologia do geodreno a vácuo para tentar resolver o problema do solo encontrado no local. Assim para conseguir atingir um resultado mais rápido e melhor que os outros aterros testem dimensionou os espaçamentos, comprimentos e os demais atributos do sistema por meio das investigações geológico-geotécnicas efetuadas no local. Com isso, instalaram-se 3045 drenos cilíndricos pré-fabricados, estes sendo do tipo estrela em seção transversal envoltos em um geotêxtil, assim como mostra a figura 48.

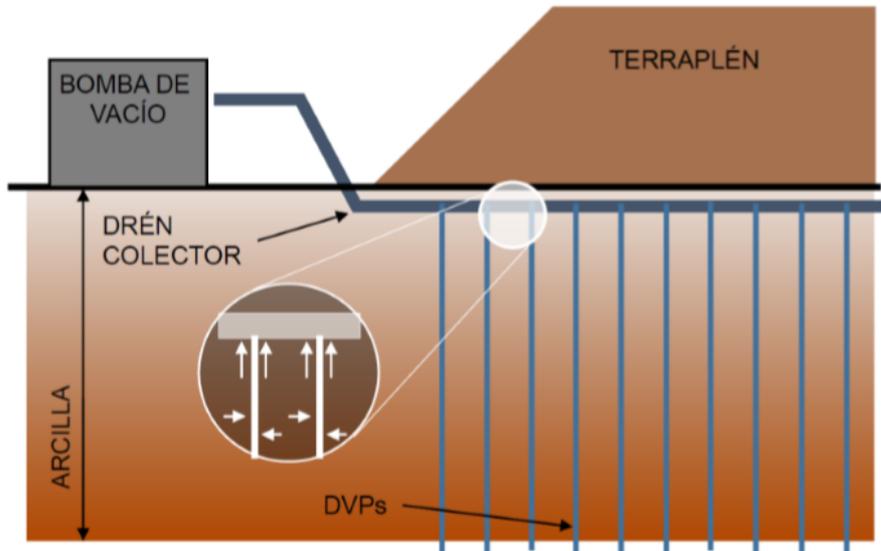
Figura 48 - Drenos cilíndricos



Fonte: Cammarota et al. (2018).

Realizou-se o sistema em três anéis, contendo uma separação de $1,2 \times 1,2$ m e uma profundidade de 28 m chegando ao nível do terreno natural, por isso foram instalados na parte oeste, leste e central do aterro na fase em que havia apenas duas camadas de tezontle ainda. A figura 49 apresenta um esquema, ilustrando o sistema do vácuo.

Figura 49 - Detalhe esquemático do sistema de tratamento por sobrecarga a vácuo



Fonte: Cammarota et al. (2018).

Por meio da figura 49 consegue-se perceber como o sistema funciona, os drenos verticais são ligados diretamente às bombas de vácuo. Entre os drenos verticais e as bombas, há tubos horizontais flexíveis que fazem a ligação destes elementos acima do aterro como mostram as figuras 50 e 51. Vale ressaltar que cada bomba trabalha com 500 a 508 drenos ligados a elas, isso porque existem 10 redes cada uma delas com 50 a 51 drenos em si e seis bombas no sistema, o esquema ilustrado na figura 52 traz esta divisão.

Figura 50 - Bombas para aplicação de pressão a vácuo



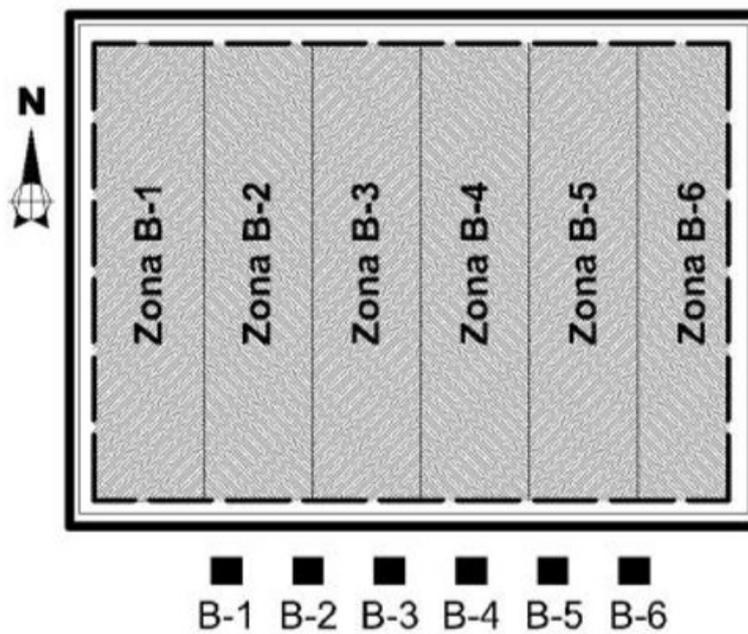
Fonte: Acosta et al. (2017)

Figura 51 - Tubo flexível e conexão com PVDs



Fonte: Acosta et al. (2017)

Figura 52 - Zona de aplicação de cada bomba



Fonte: Acosta et al. (2017)

A construção deste aterro teste levou 127 dias. Cada etapa da construção está na tabela 9 e revela o processo construtivo da obra.

Tabela 9 - Atividades do procedimento construtivo da seção de teste

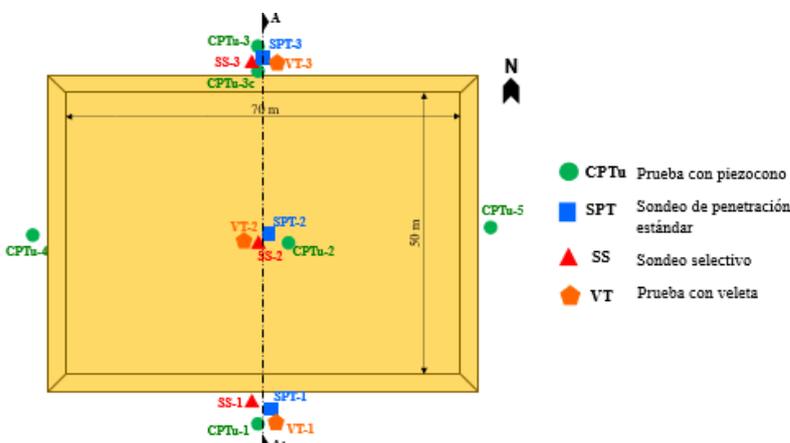
Fecha	Actividad
Finales de junio 2016	– Inicio de trabajos de construcción del tramo de prueba con desmonte y limpieza
Durante julio	– Tendido sobre el terreno natural de un geotextil y una geomalla – Colocación de una primera capa de tezontle de 0.50 m de espesor (plataforma de trabajo)
29 julio a 18 septiembre	– Exploración geotécnica en el sitio – Instalación de sistema de instrumentos
15 agosto a 01 octubre	– Colocación de una segunda capa de tezontle de 0.30 m de espesor en las zonas Oeste, Este y Centro del terraplén (en distintas fechas durante el lapso indicado en la columna izquierda)
17 agosto a 10 octubre	– Instalación de drenes prefabricados cilíndricos y conexión al sistema de tuberías horizontales flexibles, una vez colocada la segunda capa de tezontle en las zonas Oeste, Este y Centro del terraplén
10 octubre a 14 octubre	– Inicio de la operación del sistema de vacío
20 octubre a 31 octubre	– Colocación del tezontle complementario mediante tercera y cuarta capas adicionales hasta conformar el terraplén de 2.0 m de altura

Fonte: Acosta et al. (2017).

3.2.2 Ensaios de campo

Na figura 53, estão demonstrados os ensaios de campo realizados nesta obra, sendo três sondagens SPT, localizados um no centro do aterro e um em cada lateral superior e inferior deste, seis sondagens CPTu divididos nas quatro laterais do aterro, um no centro e um na lateral superior do aterro com um afastamento, três sondagens com amostragem seletiva (SS), três Sondagens com testes de cata-vento (VT), realizados uma em cada lateral inferior e superior e uma no centro do aterro.

Figura 53 - Exploração geotécnica realizada no local do teste



Fonte: Acosta et al. (2017)

Por meio das investigações realizadas, consegue-se determinar a formação do solo no lago. Foram encontrados três tipos de argilas, sendo essas com baixa resistência e alta compressibilidade.

Para melhor entender a formação encontrada, as argilas do local de estudo foram subdividas em Formação Argilosa Superior (FAS), Formação Argilosa Inferior (FAI) e Formação Argilosa Profunda (FAP), sendo divididas de acordo com os extratos de materiais mais resistentes e com baixos valores de umidade (silte e areia), denominados Camada Dura (CD), Depósitos Profundos (DP) e Formação Estratificada Profunda (FEP). A tabela 10 e a figura 54 retratam os locais em que estas argilas são encontradas e em qual profundidade.

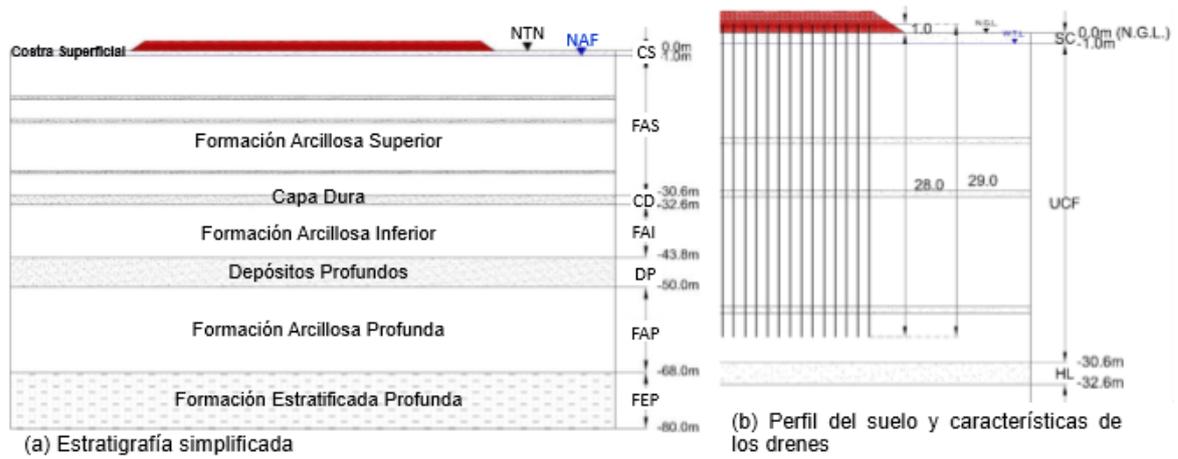
Tabela 10 - Modelo geotécnico definido no local da seção de teste

Estrato	Profundidad (m)	
	Desde	Hasta
Costra seca	0.0	1.0
FAS	1.0	30.6
CD	30.6	32.6
FAI	32.6	43.8
DP	43.8	50.0
FAP	50.0	68.0
FEP	68.0	80.0

Fonte: Acosta et al. (2017)

Esta subdivisão acontece porque este local faz parte da zona do lago, uma das três zonas que divide a cidade do México do ponto de vista da Engenharia Geotécnica. A zona do lago é um local que apresenta em sua composição um grande depósito de argila, que possui a característica de ser muito compressiva. Estes depósitos são separados por camadas de areia e contém em sua superfície solos aluviais, materiais secos e aterros artificiais. Estes materiais podem chegar a uma profundidade de 50 m, para assim chegar a um solo rígido. Com isto, subdividiu-se estes solos em cinco camadas.

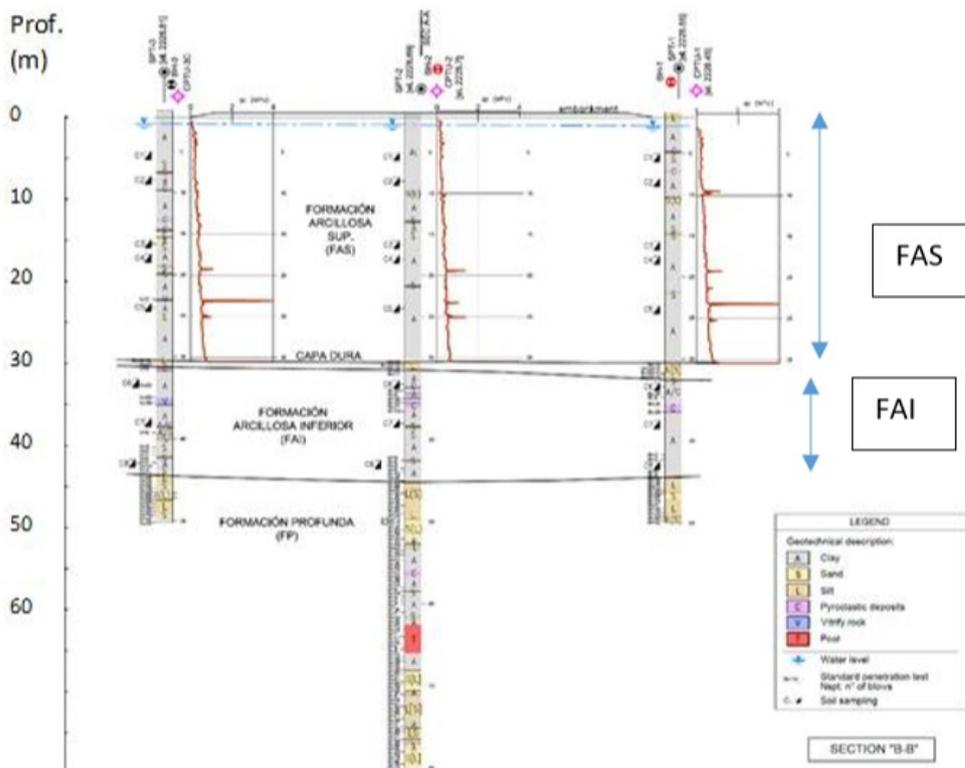
Figura 54 - Caracterização geotécnica do local na seção de teste.



Fonte: Acosta et al. (2017)

Como se pode observar na figura 55 e também na 9, a Formação Argilosa Superior (FAS) está localizada entre a superfície cerca de 30 metros de profundidade; já a Formação Argilosa Inferior (FAI) encontra-se entre 32 aos 42 metros de profundidade, uma vez que entre essas duas formações de argila há uma capa dura de camada arenosa compactada.

Figura 55 - Perfil geológico-geotécnico do local.



Fonte: Cammarota et al. (2018).

Por meio dos ensaios efetuados, é dito que o solo encontrado neste local possui camadas muito compressíveis, com umidade natural e índices de vazios muito elevados. Os resultados encontrados nos ensaios são demonstrados na tabela 11, a seguinte tabela mostra a faixa de valores dos principais parâmetros geomecânicos e de adensamento interpretados para estas camadas.

Tabela 11 - Resumo das propriedades geológico-geotécnicas das argilas moles do NAICM.

Propriedade	FAS	FAI
Espessura (m)	~30m	~7m
Densidade natural (kN/m³)	12,0	12,7
Resistência não-drenada (kPa)	15 a 40	-
Umidade natural (%)	150 a 300	80 a 250
Índice de vazios	4 a 8	2 a 6
C_c	2 a 6	2 a 4
C_r	0,1 a 0,4	0,1 a 0,3
C_{αε}	2 a 5%	2 a 5%
OCR	~1,2	~1,2

Fonte: Cammarota et al. (2018).

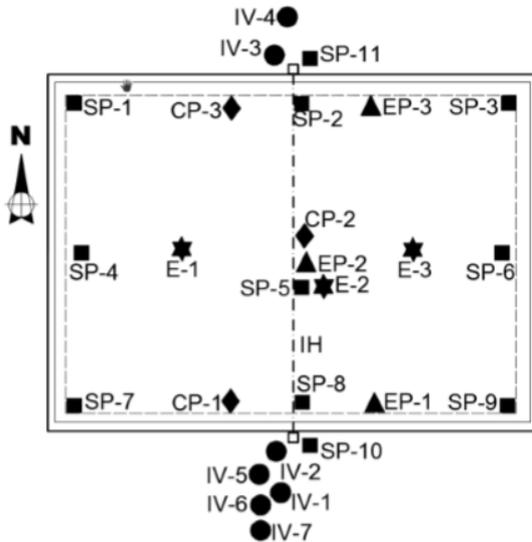
Com os resultados adquiridos por meio dos ensaios, caracterizam-se os substratos do local, estes são muitos adversos um do outro, podendo-se analisar isso por meio de suas compressibilidades.

3.2.3 Instrumentações de campo

Nesta obra, utilizaram-se 11 ferramentas de análise para monitorar os recalques da obra, ocorrendo durante e após a construção. As onze placas de assentamento no nível do terreno natural (NTN): SP-1 a SP-11; três extensômetros: E-1, E-2 e E-3 no eixo central leste-oeste, com seis sensores em diferentes profundidades; sete inclinômetros verticais: IV-1, IV-2, IV-3, IV-4, IV-5, IV-6, IV-7 no eixo central sul-norte do aterro, a diferentes distâncias do pé do declive do aterro; um perfilômetro (inclinômetro horizontal) na direção Sul-Norte para NTN: PA; quinze piezômetros abertos (tipo Casagrande): CP, instalado na direção Sul-Norte em três ilhas, cada uma contendo cinco piezômetros a 8 m, 15 m, 22 m, 27 m e 37,5 m de profundidade. Quinze piezômetros elétricos (corda vibratória): EP, instalados ao sul-norte em três ilhas, cada

uma contendo cinco piezômetros a 8 m, 15 m, 22 m, 27 m e 37,5 m de profundidade. 165 Referências topográficas de superfície interna colocadas no meio do aterro de tezontle (1 m acima do NTN); e 84 Referências topográficas de superfície externas a NTN. Na ilustração 56, encontra-se a localização exata de cada instrumento utilizado.

Figura 56 - Localização da instrumentação na seção de teste



Fonte: Acosta et al. (2017)

O aterro em estudo foi analisado durante sua construção, nos seis meses seguintes com as bombas ligadas e dois meses após as bombas do vácuo serem desligadas. A tabela 12 apresenta alguns dados importantes junto às datas do acontecimento.

Tabela 12 - Datas importantes da seção de teste

Evento	Fecha	Duración del evento	Días acumulados a la fecha
Construcción del terraplén	26 junio 2016 31 octubre 2016	127 días	0 127
Aplicación de vacío	12 octubre 2016 12 abril 2017	182 días	108 290
Observación posterior al vacío	12 abril 2017 12 junio 2017	61 días	290 351

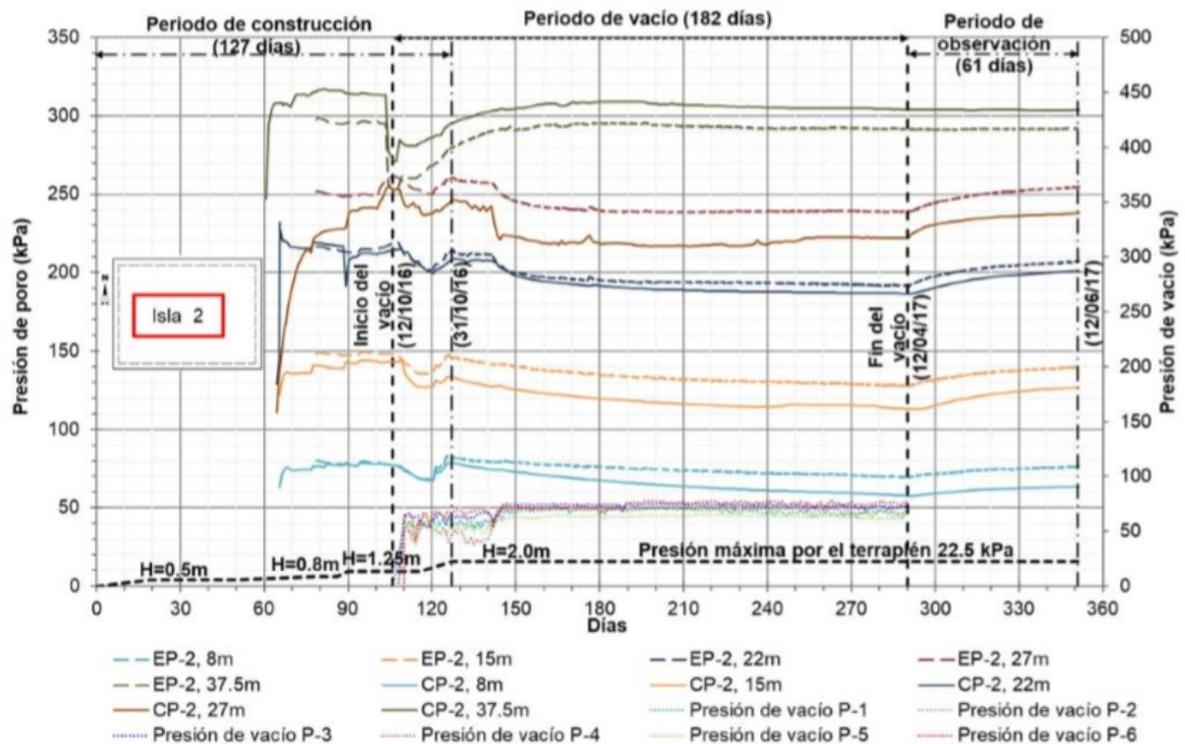
Fonte: Acosta et al. (2017)

Por meio da figura 57, consegue-se analisar o comportamento de alguns instrumentos utilizados nesta obra. Verificam-se as primeiras três camadas de tezontle (rocha vulcânica porosa) que estão presentes no aterro teste, em vista disso percebe-se que a pressão nos poros aumenta. Quando se realiza a ligação do vácuo (12 de outubro de 2016; dia 108), vê-se a

diminuição da pressão da água, já na sequência há um aumento com a colocação de quarta camada de aterro. Em seguida, nota-se que a pressão nos poros tende a diminuir, isso deve ocorrer até que haja o desligamento das bombas (12 de abril de 2016; dia 290). Assim que este desligamento ocorre, a pressão nos poros tende a se recuperar. Nos piezômetros da superfície, é onde se encontra a maior variação da pressão da água e o lugar em que se observa a diminuição da profundidade, esta diminuição acontece até além do comprimento dos drenos (após 28 m de profundidade da NTN).

No local da obra, Cidade do México a pressão máxima que se pode utilizar é de 78 kPa, já que a pressão atmosférica neste local é esta. As pressões encontradas durante o procedimento foram de 68 kPa no início e de 47kPa no final, apresentando um rendimento de 72 kPa (92%). Ao longo de procedimento, foram observadas uma plataforma de 58 kPa (74%) e uma perda de 30% do vácuo, sendo do início ao fim dos tubos de distribuição de vácuo de todo o sistema. As pressões dos poros e do vácuo podem ser encontradas por meio da figura 57, haja vista que constam estas pressões em diferentes lugares.

Figura 57 - Pressão dos poros medida nos piezômetros elétricos e tipo Casagrande na ilha 2 (no centro do aterro) e pressão nas bombas de vácuo (no início dos tubos de distribuição).



Fonte: Acosta et al. (2017)

Por meio das figuras 58 e 59 consegue-se verificar as perspectivas do aterro, uma mostra uma foto aérea do local com as demarcações das curvas, já a outra traz uma perspectiva de

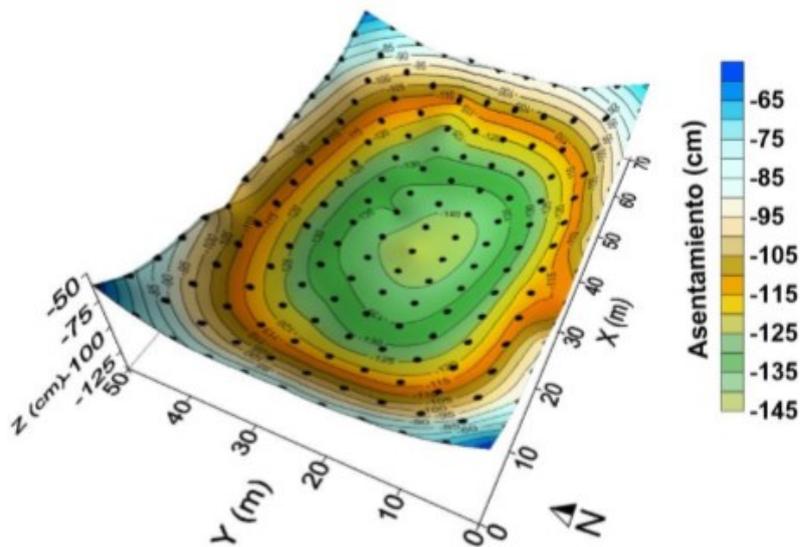
como o local ficou após o final do teste (final do teste: 12 de junho de 2017). Como se pode observar, a superfície que antes era plana agora se tornou côncava depois da utilização do vácuo.

Figura 58 - Foto área do local do teste



Fonte: Acosta et al. (2017)

Figura 59 - Perspectiva de como o solo do local ficou



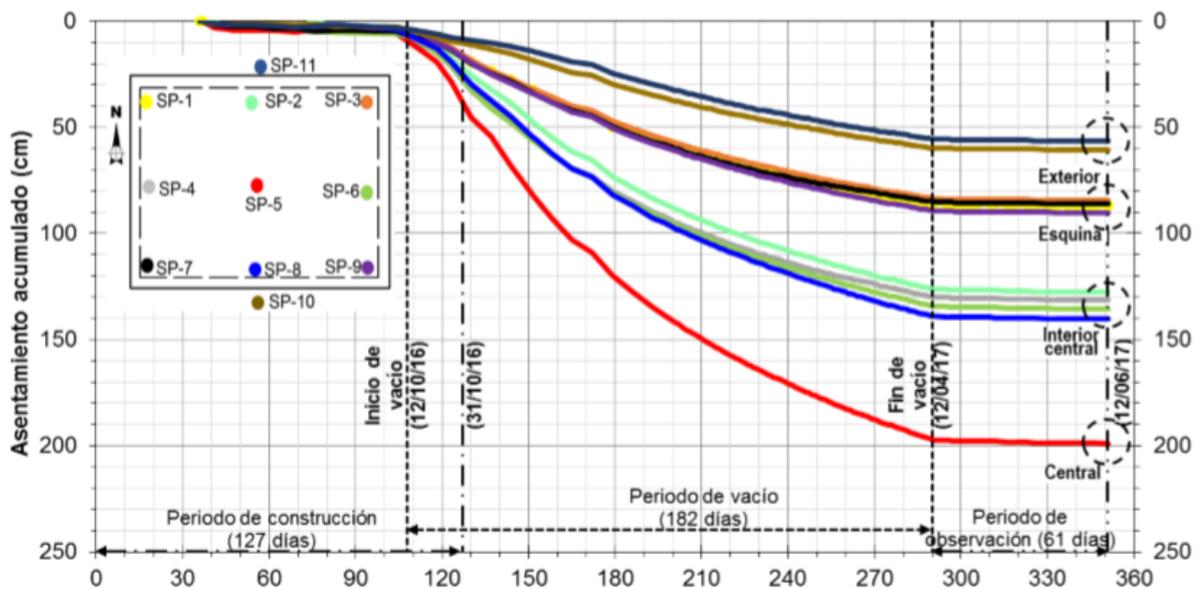
Fonte: Acosta et al. (2017)

Nesta obra como já foram citados, utilizaram-se 11 placas de recalque, sendo nove dessas colocadas dentro do quadrante do aterro e duas do lado de fora. Os resultados dos monitoramentos são demonstrados na figura 60. Analisando-os pode-se dizer que o maior deslocamento de solo acontece no centro do aterro, isso ocorre porque neste local ocorre a maior influência conjunta do vácuo, dos drenos e da pré-carga. Enquanto no menor assentamento do solo se verifica nas extremidades do quadrante do aterro, visto que neste local o solo recebe

basicamente só influência do vácuo, sofrendo influência da gravidade do aterro de dois metros de tezontle e do solo somente. Estas diferenças de resultados nas placas de recalque também podem ser observadas por meio dos deslocamentos de solo em cada local, enquanto no centro do aterro encontra-se um assentamento de 198,9 cm, a diferença entre o centro e os cantos foi de 112 cm e de 65 cm entre o centro e o meio das margens. Assim, com estes resultados, pode-se chegar à conclusão de que o aterro colocado sobre este local de 2 metros de tezontle foi completamente deslocado com o solo.

Observando a figura 60 percebe-se que os assentamentos ocorridos nos locais fora do aterro foram mínimos, o que é excelente para se ressaltar o efeito do vácuo no aterro. Por meio desta imagem, também se percebe que os deslocamentos do solo no centro do aterro (SP5) durante a construção, ou seja, com apenas uma camada de tezontle (até o dia 108) foram de 9,24 cm. Já com a influência do vácuo e com mais duas camadas de tezontle, o assentamento ocorrido no local foi de 187,91 cm. No final do processo já na fase de observação houve somente um pequeno assentamento de 1,77 cm.

Figura 60 - Colapso medido nas placas de assentamento (SP) localizadas no aterro

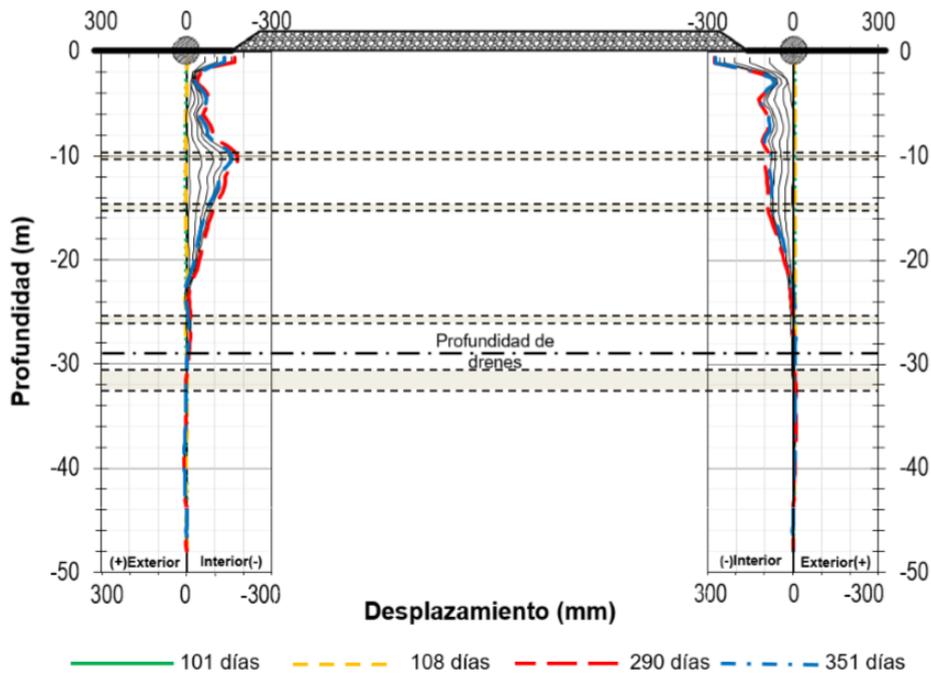


Fonte: Acosta et al. (2017)

Como já se mencionou, cada instrumento de campo tem uma função. A do inclinômetro em que se verificam os deslocamentos horizontais. Na figura 61, demonstram-se os deslocamentos laterais medidos em diferentes profundidades dos instrumentos IV-2 e IV-3 que foram instalados no pé do aterro. Por meio deles, consegue-se perceber que durante a construção do aterro o movimento encontrado é no sentido exterior, já quando ocorre a aplicação do vácuo este sentido muda em direção interna. No entanto, quando acontece o desligamento do sistema

do vácuo nota-se que os deslocamentos voltam a ser na direção exterior. Com base na imagem consegue-se perceber que ao decorrer da profundidade os descolamentos vão se tornando irrelevantes, também pode-se notar que isso acontece junto ao fim dos drenos verticais.

Figura 61 - Deslocamentos laterais medidos em diferentes profundidades nos inclinômetros IV-2 e IV-3.



Como resultado da utilização do sistema de vácuo na obra, localizaram-se fissuras ao redor do local da obra. A figura 62 traz imagem desse fenômeno.

Figura 62 - Rachaduras causadas pela pressão de vácuo no contorno do aterro de teste



Fonte: Acosta et al. (2017)

4 CONCLUSÃO E SUGESTÕES

4.1 CONCLUSÕES

Este trabalho teve o intuito de revelar o desempenho de uma nova tecnologia criada para solucionar problemas dos solos moles na construção civil, tendo como características de resistência baixa e alta compressibilidade. O sistema do geodreno a vácuo consiste em bombas interligadas com drenos instalados no solo verticalmente, que com a pressão adequada retiram a água contida no solo

Analisaram-se as obras da América do Sul e o aterro experimental na cidade do México em que se utilizou a tecnologia de geodreno a vácuo. A partir dos resultados das pesquisas, pode-se concluir que as duas obras apresentam solos com bastante diversidade, constatando maior quantidade de argila, seguido de silte e materiais orgânicos. Já a obra da América do Sul apresenta uma espessura de até 12 m de solo mole, e a da cidade do México de até 68 m. Na obra da América do Sul usou-se o geodreno a vácuo por aproximadamente 171 dias, e a obra do México por 182 dias. Durante este período sempre o recalque em cada obra foi respectivamente 103 e 187,91 cm. O tempo de observação de cada obra é de 153 e 61 dias respectivamente. Assim o maior recalque encontrado após o desligamento do vácuo em cada obra foi de 112 cm na obra da América do Sul e 189,68 cm na obra do México. Com isso, pode-se observar que o recalque maior nas duas obras foi durante a aplicações da pressão do vácuo, ou seja, após a retirada a pressão durante o período de observação relatou um recalque diferencial de pouca diferença. Na obra da América do Sul, foram encontrados 9 cm e na obra do México 1,77 cm. Portanto, é possível afirmar que esta nova tecnologia apresenta bons resultados, fazendo com que o recalque aconteça praticamente só no período em que as bombas estão ligadas, e conseqüentemente, tornando o solo próprio para a construção e sem a probabilidade de recalques futuros.

O geodreno a vácuo apresentou bons resultados nestas duas obras, já que elas mostram grande presença de solos com muita presença de água. Assim, a utilização dessa ferramenta faz com que a resistência e a compressibilidade do solo aumentassem, podendo então se realizar as construções posteriormente. Como pode-se observar, este sistema apresenta resultados imediatos, os recalques começam a se concretizar assim que ocorre a ligação dos sistemas, podendo-se perceber grandes resultados em pouquíssimo tempo.

4.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para complementar o estudo apresentado nesta pesquisa, sugerem-se alguns estudos complementares do assunto:

- ✓ Comparar o desempenho do geodreno tradicional com o a vácuo;
- ✓ Analisar a diferença do custo e tempo dessas duas soluções,

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, N. P. López et al. Consolidación de las arcillas del ex Lago de Texcoco con la tecnología de vacío dren a dren. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL DE CIMENTACIONES PROFUNDAS, 4., 2017, México. **Consolidación de las arcillas del ex Lago de Texcoco con la tecnología de vacío dren a dren.** México: Unam, 2017. p. 1 - 12.
- AGDA. **A água no solo.** 2019. Disponível em: <<http://engenhariaconcursos.com.br/arquivos/MecDosSolos/Permeabilidade.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2019.
- AGUIAR, Adriana Briggs de. **O Emprego do Permeômetro de Guelph na Determinação da Permeabilidade do Solo, de Camadas de Lixo e sua Cobertura.** 2001. Disponível em: <http://www.getres.ufrj.br/pdf/AGUIAR_AB_01_t_M_geo.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2019.
- ALMEIDA, Gil Carvalho Paulo de. **Caracterização Física e Classificação dos Solos.** Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora Faculdade de Engenharia Departamento de Transportes, 2005.
- ANDOLFATO, Rodrigo Piernas; CAMACHO, Jefferson Sidney; BRITO, Gilberto Antônio de. **Extensometria Básica.** Ilha Solteira: Unesp, 2004.
- ANDOVAL, Claudia Lizbett Zurita. **Avaliação da técnica da consolidação profunda radial aplicada em solo mole na margem do rio Itajaí-Açu/SC – Estudo de caso baseado em Ensaio Geotécnicos.** 2016. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.
- ANDREOLI, Cleverson V.; ANDREOLI, Fabiana de Nadai; JUSTI JUNIOR, Jorge. **Formação e Características dos Solos para o Entendimento de sua Importância Agrícola e Ambiental.** 2019. Disponível em: <http://www.agrinho.com.br/site/wp-content/uploads/2014/09/31_Formacao-de-caracteristicas.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2019.
- BARAN, Karin Rodrigues. **Propriedades Geotécnicas de Compressibilidade de uma Argila Mole de Itajaí-SC.** 2014. 334 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil., Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- BEZERRA, Daniel Haas. **Previsão de Recalques Utilizando Método dos Elementos Finitos: Exemplo Prático de uma Obra de Aterro sobre Solo Mole em Santa Cruz, RJ.** 2018. 82 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenheiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- BRADY, Nyle C; WEIL, Ray R.. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos.** São Paulo: Bookman, 2000.
- CAMMAROTA, Lucas Pereira et al. Aterro Experimental para o Projeto do Novo Aeroporto Internacional da Cidade do México - Tratamento das argilas moles da Cidade do México com uso de sobrecarga temporária à vácuo, associada à drenos verticais tipo StarDrain. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 19., 2018, Salvador. **Cobramseg.** Salvador: Cobramseg, 2018. p. 1 - 10.
- CAPECHE, Cláudio Lucas. **Noções sobre Tipos de Estrutura do Solo e sua Importância para o Manejo Conservacionista.** 2008. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/comtec51_2008_nocoos_estrutura_solo_000g3h86s8u02wx5ok0r2ma0ndtwqqga.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2019.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações**. Rio de Janeiro: Afiliada, 1998.

CARDOSO, Maria do Carmo Gomes. **Análise de Soluções de Projeto de Aterros sobre Solos Moles**. 2013. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Técnico Lisboa, Lisboa, 2013.

CARMO, Marina Conceição do et al. **DENSIDADE E POROSIDADE DO SOLO EM PASTAGEM RECUPERADA E DEGRADADA, NA AMAZÔNIA OCIDENTAL**. 2018. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/Agrarian%20Academy/2018a/densidade.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2019.

CARVALHAIS, Rafael Mendonça. **Comportamento Geotécnico de Aterros Aeroportuários sobre Fundações Compressíveis - Estudos e Análises do Aterro Do Aeroporto de Itajubá/MG**. 2017. 153 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Geotécnico, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

CERQUEIRA, Hélio et al. **Estudo de acurácia da automatização de piezômetros tipo Casagrande em barragens**. 2016. Disponível em: <<https://ssl4799.websiteseuro.com/swge5/PROCEEDINGS/PDF/CB-11-0034.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2019.

CORREA, Mario Rolando Bonilla et al. Uso da técnica de melhoramento de solos moles com drenos verticais com vácuo em uma obra de infraestrutura rodoviária na América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 18., 2016, Belo Horizonte. **ABMS**. Belo Horizonte: Cobramseg, 2016. p. 1 - 8.

CUNHA, Emanuel Erivan Silva da. **Correlações entre Resultados de Ensaios SPT e CPT para Solo Arenoso Sedimentar**. 2016. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte Centro de Tecnologia, Natal, 2016.

DAS, Braja M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. São Paulo: CIP, 2011.

DELLA FLORA, Diovana Patias; ZYDECK, Raquel Caroline; HARTMANN, Diego Arthur. ESTUDO DE ALTERNATIVAS PARA A CONSTRUÇÃO DE ATERROS SOBRE SOLOS MOLES. In: CRICTE, 28., 2017, Cricte. **CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA**. Ijuí: Unijuí, 2017. p. 1 - 4.

DEOTTI, Leonardo de Oliveira Guerra. **Modelagem Numérica De Adensamento Por Vácuo Em Aterro Experimental Sobre Solo Mole Estruturado**. 2015. 228 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ. **DER /PR ES-T 05/05: Terraplenagem: Colchão Drenante de Areia para Fundação de Aterro**. Curitiba: Der/pr (dg/ap), 2005.

DIAS, E.o et al. **Análise das Características Físicas do Solo de uma Área de Floresta em Diferentes Posições de Relevo em Galdinópolis**. 2019. Disponível em: <<http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/7/0104.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

DIEMER, Francielle. **Estudo da Permeabilidade do Solo da Região de Ijuí – RS Percolando Água e Óleo Diesel**. 2008. 95 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2008.

DNER. **DNER PRO 381/98: Projeto de aterros sobre solos moles para obras**. Rio de Janeiro: Mt, 1998.

DOMINGUES, Tiago Sarmiento Sabino. **Reforço de Fundações com Colunas de Brita em Aterros sobre Solos Moles: Análise e Dimensionamento**. 2006. 236 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2006.

DOMINONI, Cláudia Martins Bhering. **Análise de Estabilidade E Compressibilidade de um Aterro Sobre Solo Mole no Porto de Suape, Região Metropolitana do Recife**. 2011. 103 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenheiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

FANTINATTI, Patrícia Helena Azevedo et al. **Ensaio de Permeabilidade In Situ em Solos Saturados**. 2019. Disponível em: <<http://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/IIgeojovem2006/2006-fantinatti-neto.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2019.

FERRAZ, Fernando de Medeiros et al. **Estudo da condutividade hidráulica obtida em ensaios de campo: infiltração em sondagens e slug test em poços de monitoramento**. 2019. Disponível em: <http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2015/07/140_InterfacEHS_ed-vol_10_n_1_2015.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2019.

FERREIRA, Marcus Fernando Farias. **Hidráulica dos Solos: Montagem de um Aparato Para Simulação de Redes de Fluxo e Montagem de Permeâmetro de Carga Constante**. 2014. 70 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2014.

FOGAÇA, Lianne Batista Vieira et al. **COMPORTAMENTO DA PERCOLAÇÃO DE POLUENTES HIDROCARBONETOS EM FUNÇÃO DA TEXTURA DO SOLO**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 5., 2014, Belo Horizonte. **IBEAS**. Belo Horizonte: Ibeas, 2014. p. 1 - 10.

FONINI, Anderson; ROJAS, José Waldomiro Jiménez. **Utilização de Ensaio de Piezocone em Investigações Geotécnicas e Geoambientais**. 2019. Disponível em: <<https://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/IIgeojovem2006/2006-fonini-rojas2.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

FRANCO, Francisco Assunção Teixeira Melo. **Influência de forças de percolação na estabilidade de obras geotécnicas. Implementação e validação de modelo numérico**. 2015. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil - Perfil Geotécnia, Universidade Nova Lisboa, Lisboa, 2015.

FURLAN, Ana Paula. **Estimativa da Tensio de Pre-Adensamento de Argilas Saturadas Atraves do Ensaio de Palheta: Extensio para Limites de Liquidez Superiores a 70 %**. 2000. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2000.

GAUI FILHO, Roberto. **OBRAS SOBRE SOLOS MOLES E SUAS RESPECTIVAS SOLUÇÕES: UM EXEMPLO PRÁTICO DA OBRA UM COMPLEXO DE VACINAS EM SANTA CRUZ, RJ**. 2017. 151 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenheiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

GOMES, Tiago Antônio Torres; COSTA, Kely Sehn da. **Estudo do Coeficiente de Permeabilidade em Ensaio de Poço pelo Padrão Abge: Complexo Alcalino Carbonatítico do Barreiro (CACB), Araxá-MG**. 2019. Disponível em: <http://www.abas.org/xixcabas/anais/102349_113_Artigo_Gomes_Costa.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2019.

- GUERRA, Antônio José Teixeira; BOTELHO, Rosangela Garrido Machado. **Características e Propriedades dos Solos Relevantes para os Estudos Pedológicos e Análise dos Processos Erosivos**. 1996. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/viewFile/6168/4765>>. Acesso em: 14 maio 2019.
- KRAINER, Christiane Wagner Mainardes. **Laboratório de Mecânica dos Solos - Permeabilidade do Solo**. 2011. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/a/a1/Aula_4_Permeabilidade.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2019.
- L.ROMEIRO, D. H. et al. **Entendendo a Permeabilidade dos Solos: Uma Experiência Didática com Material Reciclável**. 2019. Disponível em: <http://www.editorarealize.com.br/revistas/conedu/trabalhos/TRABALHO_EV056_MD4_SA18_ID3631_15082016023124.pdf>. Acesso em: 03 abr. 19.
- LEIROS, Luiza Helena Magalhães. **Estimativa de Recalques em Aterros sobre Solos Moles**. 2017. 109 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
- LEMOS, Silvia Gomes Fernandes Polido. **Estudo da Resistência não Drenada de Solo de Baixa Consistência por Meio de Ensaios de Campo e Laboratório**. 2014. 183 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.
- LIMA, Valmiqui Costa; LIMA, Marcelo Ricardo de. **Formação do Solo**. 2019. Disponível em: <http://www.mrlima.agrarias.ufpr.br/SEB/arquivos/formacao_solo.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2019.
- MACHADO, Sandro Lemos; MACHADO, Miriam de Fátima C.. **Mecânica dos Solos I**. 2019. Disponível em: <<http://www.ct.ufpb.br/~celso/solos/material/teoria1>>. Acesso em: 18 maio 2019.
- MARANGON, M.. **GEOTECNIA DE FUNDAÇÕES**. 2019. Disponível em: <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_Unid02.1GeotFund-AterroSolosMoles.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2019
- MARANGON. **Compressibilidade e Adensamento dos Solos**. 2018. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/nugeo/files/2013/06/Marangon-Cap%C3%ADtulo-03-Compressibilidade-e-Adensamento-2018-at%C3%A9-pag-90.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2019.
- MARANGON. **Geotecnia de Fundações**. 2019. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/GF111-Formacao-Geologica-dos-Solos-2008.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2019.
- MASSOCCO, Narayana Saniele. **Determinação de Parâmetros de Compressibilidade e De Resistência não Drenada de Argila Mole – Estudo de Caso**. 2013. 114 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- MELO, Willian Weber de. **Análise de Diferentes Ensaios de Permeabilidade em Concretos Porosos**. 2017. 64 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.
- MOURA, Ana Paula. **AULA 02: INVESTIGAÇÕES DO SUBSOLO**. 2016. Disponível em: <<http://site.ufvjm.edu.br/icet/files/2016/07/AULA02-INVESTIGACOES-DO-SUBSOLO.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2019.

MOURA, Edson de. **Apostila de Mecânica dos Solos**. 2015. Disponível em: <http://professordmoura.com.br/download/Apostila_Mec_Solos_1_2015.pdf>. Acesso em: 31 maio 2019.

NASCIMENTO, Custódio Moura Castro do. **AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE PROCESSOS EXECUTIVOS DE ATERROS DE VIAS URBANAS SOBRE SOLOS MOLES**. 2009. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2009.

NETO, Eurico L de Souza. **Características, propriedades e classificação de solos**. 2019. Disponível em: <http://files.euriconeto2.webnode.com/200000066-7fcaa80c76/Aula_textura.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2019

NIZ, Maksoel A. Krauspenhar et al. **Proposta de desenvolvimento de um Novo Medidor de Nível Piezométrico**. 2019. Disponível em: <http://179.106.223.20/portal_labi/papers/Inp_Niz_C3N_2008_Proposta.pdf>. Acesso em: 5 maio 2019.

OLIVEIRA, A. M., & FILHO, D. C. de **Ensaio de permeabilidade em campo**. 2019. São Paulo

OLIVEIRA, Antonio Wesley Carvalho de. **ESTUDO PARA DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO CONCEITO DE EXTENSÔMETROS IMPRESSO**. 2010. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2010.

ORTIGÃO, J. de **Introdução à Mecânica dos Solos dos Estados Limites**. 2007. Disponível em: <http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos_fruticultura/segunda_etapa/arte_solos.pdf>. Acesso em: 31 maio 2019.

PES, Luciano Zucuni; ARENHARDT, Marlon Hilgert. **Solos**. Santa Maria: Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa, 2015.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica Dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PINTO, Flávia Gomes et al. **Inclinômetro Instrumentado com Fibra Óptica para Monitoramento de Encostas**. 2019. Disponível em: <http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_3_tri_2015/RMCT_278_E2A_15.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2019.

POSSAMAI, Rafael Charles. **Análise dos Recalques por Adensamento Primário: Aterro Sobre Solos Moles no Campus da UFSC na Curva do Arroz**. Joinville: Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Joinville., 2016.

PROJETO DE ATERROS SOBRE SOLOS MOLES PARA OBRAS RODOVIÁRIAS. **DNER - PRO 381/98**: Projeto de aterros sobre solos moles para obras rodoviárias. Rio de Janeiro: Ipr, 1998.

RAMOS, Nicole Marinho. **Ensaio de Adensamento sobre Solos Reforçados com Cal, Cimento Portland e Cinza de Casca de Arroz**. 2014. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2014.

RAPOSO, Elisabete Maria Salgado. **Observação de deslocamentos em obras geotécnicas**. 2011. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Geológica, Universidade Nova Lisboa, Lisboa, 2011.

- REINERT, Dalvan José; REICHERT, José Miguel. **Propriedades física do solo**. 2006. 18 f. TCC (Graduação) - Curso de Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- RHODEN, Anderson Clayton et al. **Fatores de Formação dos Solos na Região de Itapiranga**. 2019. Disponível em: <<http://faifaculdades.edu.br/eventos/AGROTEC/1AGROTEC/arquivos/resumos/RES18.pdf>>. Acesso em: 04 maio 2019.
- RIBEIRO, Halleylton Lopes. **Contribuição ao estudo de propriedades geotécnicas em argilas moles na Baixada Santista – Obra da sede administrativa da Bacia de Santos**. 2015. 151 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro., Rio de Janeiro, 2015.
- ROCHA, Sofia Alexandra Martins. L.Romeiro, D. H. Et Al. **Entendendo a Permeabilidade dos Solos: Uma Experiência Didática com Material Reciclável**. 2019. Disponível em: **Acesso em: 03 abr. 19**. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2014.
- RODRIGUEZ, Tatiana Tavares et al. **Permeabilidade de Solo Laterítico por Diferentes Métodos**. Londrina: Ciências Exatas e Tecnológicas, 2015.
- ROMANINI, Augusto. **Água no Solo: Percolação e Permeabilidade**. 2017. Disponível em: <http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_15279aula_08_-_pdf_Aula_08_-.pdf>. Acesso em: 04 maio 2019.
- SAMPAIO, Fabrício de Menezes Telo. **Permeabilidade Superficial de Solos da Sub-Bacia do Córrego Centenário da Cidade de Lavras-MG**. 2004. 55 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.
- SANTOS, Humberto Gonçalves dos et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 2006.
- SILVA, Alvaro Pires da. **FÍSICA DO SOLO – LSO0310**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2010.
- SILVA, Edimar dos Santos da. **MEDIÇÃO DE ALTURA DE QUEDA E VELOCIDADE DE IMPACTO DO MARTELO NO SPT**. 2015. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenheiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- SILVA, Manuel António Mendes. **Estudo da permeabilidade em misturas solo-ligante**. 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil na Especialidade de Geotecnia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2015.
- SOBRINHA, Lôide Angelini. **Monitoramento e Modelagem de um Poço de Infiltração de Águas Pluviais em Escala Real e com Filtro na Tampa**. 2012. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.
- SOBRINHA, Lôide Angelini. **Monitoramento e Modelagem de um Poço de Infiltração de Águas Pluviais em Escala Real e com Filtro na Tampa**. 2012. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.
- SOUSA NETO, Eurico L. de. **Características, Propriedades e Classificação de Solos**. 2019. Disponível em: <http://files.euriconeto2.webnode.com/200000066-7fcaa80c76/Aula_textura.pdf>. Acesso em: 31 maio 2019.
- SOUZA, Jéssica Siqueira de. **Mecânica dos Solos**. Brasília: Nt, 2015.

SUWIDAN, Ruba. **Determinação dos Parâmetros de Compressibilidade em Amostras de Solo Mole Reforçadas com a Incorporação de Colunas de Areia**. 2012. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

TOLEDO, Maria Cristina Motta de et al. **Intemperismo e Pedogênese**. 2019. Disponível em: <https://midia.atp.usp.br/impressos/lic/modulo02/geologia_PLC0011/geologia_top07.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2019.

TONIN, Fabio. **Compressibilidade e Teoria do adensamento**. 2019. Disponível em: <<https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2013/06/aula-compressibilidade-e-adensamento.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2019.

TONIN, Fabio. **Permeabilidade dos Solos**. 2019. Disponível em: <<https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2013/04/aula-7-e-8-permeabilidade-dos-solos.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2019.

URIBE, Cristina Martínez. **Projeto e Construção de um Permeâmetro de Parede Flexível e Carga Constante**. 2016. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

VARGAS, Milton. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo: Mcgraw, 1977.

YANEZ, Diego Gazolli. **Estudo probabalístico sobre estimativas de recalques de aterros sobre solos moles, com drenos verticais e sobrecarga física e de vácuo**. 2016. 428 f. Monografia (Especialização) - Curso de Mestre em Ciências, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

YOSHIOKA, Maria Harumi; LIMA, Marcelo Ricardo de. **EXPERIMENTOTECA DE SOLOS POROSIDADE DO SOLO**. 2005. Disponível em: <<https://www.sbcs.org.br/wp-content/uploads/2012/09/experimentotecasolos2.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2019.