

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

EDGAR PEIXOTO SILVA FILHO

**A IMPORTÂNCIA DAS PRÁTICAS DE COMPACTAÇÃO DO
SOLO APLICADAS NO RESIDENCIAL CEREJEIRAS**

**ANÁPOLIS/GO
2017**

EDGAR PEIXOTO SILVA FILHO

**A IMPORTÂNCIA DAS PRÁTICAS DE COMPACTAÇÃO DO
SOLO APLICADAS NO RESIDENCIAL CEREJEIRAS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: PROF. ESP. AURÉLIO CAETANO
FELICIANO.**

**ANÁPOLIS/GO
2017**

FICHA CATALOGRÁFICA

FILHO, EDGAR PEIXOTO SILVA

A importância das práticas de compactação do solo aplicadas no residencial Cerejeiras.

62P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2016).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Compactação	2. Relevância
3. Solo	4. Engenharia Civil
I. ENC/UNI	II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FILHO, E. P.S. A importância das práticas de compactação do solo aplicadas no residencial Cerejeiras. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 62p. 2017.

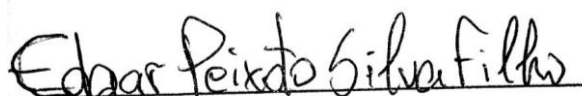
CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Edgar Peito Silva Filho

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: A importância das práticas de compactação do solo aplicadas no residencial Cerejeiras

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2017

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Edgar Peixoto Silva Filho
E-mail: edgar177@gmail.com

EDGAR PEIXOTO SILVA FILHO

A IMPORTÂNCIA DAS PRÁTICAS DE COMPACTAÇÃO DO SOLO APLICADAS NO RESIDENCIAL CEREJEIRAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL

APROVADO POR:



**AURELIO CAETANO FELICIANO, Especialista (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)**



**AGNALDO ANTÔNIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Especialista
(UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**CARLOS EDUARDO FERNANDES, Especialista (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 08 de dezembro de 2017.

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai que é o grande exemplo da minha vida confiou em mim todo este tempo, me apoiou em todos os momentos, me levou, buscou, financiou, ensinou, cobrou, conversou, aconselhou enfim, sem ele nada disso seria possível. Meus sinceros agradecimentos não são suficientes para mostrar a importância dele em minha vida, mas me permite creditar a quem contribuiu de tal maneira.

Ao professor Aurélio Caetano Feliciano pela orientação.

A todos os professores de engenharia civil que participaram dessa jornada e contribuíram com o seu conhecimento, auxílio e conselhos.

A minha família pela preocupação em ajudar e orientar sempre que possível, por compartilhar as alegrias e tristezas vividas e pelo carinho de todos.

Aos amigos que conquistei em todo Centro Universitário UniEvangélica.

E para finalizar agradeço a minha mãe e irmã pelas alegrias, incentivos, sugestões, interesse, atenção e disponibilidade ao longo desses anos.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo elaborado de modo a salientar as características da compactação associada aos estudos do solo para a determinação de propriedades como umidade, expansão, Índice de Suporte Califórnia, composição granulométrica, limites de consistência e densidade, de um determinado solo. Baseando-se em normas técnicas, livros e revistas de circulação acadêmica, será abordado nesse trabalho o conceito de compactação, o histórico da sua utilização nas construções, suas características, a classificação dos solos, métodos e equipamentos utilizados, o processo executivo e os ensaios laboratoriais para identificação das propriedades do solo. De posse dessas informações serão analisadas as propriedades de um terreno no estudo de caso.

Palavras-chave: Compactação; Características do solo; Composição granulométrica; Construções.

ABSTRACT

This work presents a study designed to highlight the compaction characteristics associated with soil studies for the determination of properties such as moisture, expansion, California Support Index, grain size composition, limits of consistency and density of a given soil. Based on technical standards, books and journals of academic circulation, the work will address the concept of compaction, the history of its use in construction, its characteristics, soil classification, methods and equipment used, executive process and trials laboratories to identify soil properties. Having this information will analyze the properties of a land in the case study.

Key words: Compaction; Soil characteristics; Granulometric composition; Construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Procedimentos de compactação da Babilônia e de Roma.....	21
Figura 2 - Pedregulho	26
Figura 3 - Areia lavada	26
Figura 4 - Solo siltoso.....	27
Figura 5 - Solo argiloso	28
Figura 6 - Solo orgânico	28
Figura 7 – Cilindros de pés de carneiro	30
Figura 8 – Cilindros de pneus.....	31
Figura 9 – Cilindro de rolos lisos	32
Figura 10 - Cilindros vibradores.....	33
Figura 11 – Rolos de impacto.....	33
Figura 12 – Aparelho Casagrande	37
Figura 13 - Localização do terreno.....	50
Figura 14 - Local onde foi coletada a amostra	51
Figura 15 - Cilindro utilizado para o ensaio de compactação	52
Figura 16 - Equipamento utilizado para golpear o corpo de prova	53
Figura 17 – Índice de suporte Califórnia (CBR)	54
Figura 18 – Índice de suporte Califórnia (CBR)	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Limites definidos pela ABNT	24
Quadro 2 - Terminologia da classificação unificada	25

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Análise da granulometria do solo.....	51
---	----

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem.
±	Mais ou menos.
h	Teor de umidade.
M	Massa.
M ₁	Massa do solo úmido mais a massa do recipiente.
M ₂	Massa do solo seco mais a massa do recipiente.
M ₃	Massa do recipiente.
LP	Limite de plasticidade.
h _i	Umidade das cápsulas.
i	Quantidade de cápsulas.
IP	Índice de plasticidade.
LL	Limite de liquidez.
M _s	Massa seca total.
M _t	Massa da amostra seca no ar.
M _g	Massa do material seco retido.
h _{hig}	Umidade higroscópica.
O _g	Porcentagem de material passando na peneira.
M _i	Massa retida acumulada até a peneira.
d	Diâmetro.
μ	Coeficiente de viscosidade do meio dispersor à temperatura do ensaio.
a	Altura.
t	Tempo de sedimentação.
Q _s	Porcentagem de solo em suspensão no instante da leitura do densímetro.
γ _g	Peso específico dos grãos do solo.
L	Leitura do densímetro.
L _d	Leitura do densímetro por meio de dispersor.
M _h	Massa do material submetido à sedimentação.
Q _f	Porcentagem de material passado em cada peneira.
N	Porcentagem de material que passa na peneira.
γ _□	Massa específica aparente seca.
P _□	Peso úmido do solo compactado.

V	Volume útil do molde cilíndrico.
S	Grau de saturação.
ρ	Massa específica dos grãos do solo.
ρ_a	Massa específica da água.
P	Peso.
μ_a	Massa específica aparente da areia.
μ	Massa específica do solo seco.
μ_s	Massa específica do solo seco.
GC	Grau de compactação
μ_{sl}	Massa específica do solo seco obtido no laboratório.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Antes de Cristo.
cm	Centímetros
DC	Depois de Cristo.
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
mm	Milímetros.
kg	Quilograma.
cm ²	Centímetro quadrado.
tf	Tonelada-força.
RN	Referências de nível.
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem.
ISC	Índice de Suporte Califórnia.
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora.
g	Gramas.
LP	Limite de Plasticidade.
LL	Limite de Liquidez.
s	Segundo.
gf	Gramas-força.
cm ³	Centímetro cúbico.
°C	Graus célsius.
V	Volume.
ml	Mililitro.
h. ótima	Umidade ótima do solo.
Dens. Máxima	Peso específico aparente seco máxima.
m ³	Metros cúbicos.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	16
1.2 JUSTIFICATIVA	16
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 Objetivo Geral	17
1.3.2 Objetivos Específicos.....	17
1.4 METODOLOGIA	18
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 ASPECTOS HISTÓRICOS ACERCA DA UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE COMPACTAÇÃO DE SOLOS	20
2.2 ELEMENTOS RELACIONADOS À COMPACTAÇÃO DOS SOLOS	22
2.3 CLASSIFICAÇÃO DE MATERIAIS	23
2.4 MÉTODOS DE COMPACTAÇÃO EM LABORATÓRIO	28
2.4.1 Compactação dinâmica ou por impacto	29
2.4.2 Compactação estática ou por pressão.....	29
2.4.3 Compactação pisoteamento ou por amassamento.....	29
2.5 EQUIPAMENTOS	29
2.4.1 Cilindros de pés de carneiro	29
2.4.2 Cilindros de pneus	30
2.4.3 Cilindros de rolos lisos	31
2.4.4 Cilindros vibradores.....	32
2.4.5 Rolos de impacto.....	33
2.5 EXECUÇÃO DO ATERRO	34
3 ENSAIOS LABORATORIAIS DE IDENTIFICAÇÃO DO SOLO	35
3.1 UMIDADE HIGROSCÓPICA	35
3.1.1 Execução do ensaio	35
3.2 LIMITE DE PLASTICIDADE.....	36
3.2.1 Execução do ensaio	36
3.3 LIMITE DE LIQUIDEZ.....	37
3.3.1 Execução do ensaio	37
3.4 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	38
3.4.1 Execução do ensaio	38
3.5 COMPACTAÇÃO.....	41
3.5.1 Execução do ensaio	42
3.6 ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA.....	43

3.6.1 Execução do ensaio	43
3.7 EXPANSÃO	44
3.8 ENSAIO “IN SITU” DE MASSA ESPECÍFICA DNER-ME 092/94	45
3.8.1 Aparelhagem	45
3.8.2 Cálculos e resultados	47
3.9 ENSAIO DNER-ME 037/94	47
3.9.1 Aparelhagem	47
3.9.2 Ensaio	48
3.9.3 Cálculos e Resultados	48
4 ESTUDO DE CASO	50
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
ANEXO A – Ensaio de granulometria	60
ANEXO B – Ensaio de liquidez e plasticidade	61
ANEXO C – Ensaio de expansão e Índice Suporte Califórnia	62
ANEXO D – Ensaio de compactação	63
ANEXO E – Cálculo da Umidade Higroscópica, Limite de Plasticidade, Limite de Liquidez e Índice de plasticidade	64
ANEXO F – Análise Granulométrica classificação de solos: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO	66
ANEXO G - Cálculos de granulometria	67
ANEXO H – Cálculos do ensaio de compactação	68
ANEXO I – Determinação da densidade máxima e da umidade ótima	69
ANEXO J – Determinação do índice de suporte Califórnia e da expansão do solo	70

1 INTRODUÇÃO

De maneira geral, a respeito das práticas da engenharia civil que envolvem abordagens geotécnicas, é reconhecível que há casos em que os terrenos de uma determinada localidade não proporcionam qualidades necessárias para a execução de uma dada obra. Desse modo, dentre várias possibilidades, o terreno pode demonstrar ter pouca resistência, ser relativamente muito compressível ou de maneira geral exibir aspectos que dificultam a execução de projeto devido à inviabilidade econômica para tal, dentre outras causas. Graças aos avanços advindos de técnicas e metodologias pertencentes à área da mecânica de solo os profissionais da engenharia civil contam com a possibilidade de promover melhorias nos terrenos (MASSAD, 2003).

Uma das técnicas mais utilizadas e de grande valia para a viabilização de espaços no que diz respeito à adequação de terrenos é sem dúvida a compactação do solo (CAPUTO, 2005). De acordo como as pesquisas de Pinto (2006), no campo da construção civil a compactação se constitui como uma ferramenta metodológica empregada para exercer estabilização e por fim engendrar melhoramento no terreno por meio de processos que podem ser manuais ou mecânicos, objetivando minimizar o volume de espaçamentos existentes no solo.

A compactação é um dos vários métodos para melhoramento das propriedades mecânicas de um solo. É definido como um método mecânico baseado na expulsão de ar dos poros do solo reduzindo o índice de vazios sob umidade constante. Tem como objetivo básico a obtenção de um novo material, pois a compactação gera deformações permanentes que modificam as propriedades originais do solo, e este novo material deve apresentar um comportamento adequado para a aplicação a que se destina (BAPTISTA, 1976; BALMACEDA et al., 1991). Ainda, cabe dizer que compactação de um solo consiste em identificá-lo por intermédio de equipamento com caráter mecânico, comumente um rolo compactador, não obstante, em certas ocasiões, é possível se empregar para tal fim pequenas valetas ou ainda soquetes manuais que na construção civil são popularmente chamados de “picolé”.

A necessidade de compactação se dá devido ao fato de que o solo, quando conduzido e assentado para a edificação de um aterro, acaba por se exibir numa condição relativamente afogada e heterogênea e, portanto, além de pouco resistente e fica extremamente passível de

ocasionar deformações, apresentando desempenho diferente que varia de localidade para localidade (KOSHIMA, et al., 2008).

Segundo Massad (2003), as técnicas de compactação são utilizadas em várias obras de construção civil com destaque nos casos de aterros para diferentes finalidades construtivas, camadas distintas dos pavimentos, execução de barragens e preenchimento dos vazios de muros de arrimo e valetas que se abrem diariamente nas ruas das cidades com terra. As características dos projetos a serem executados bem como os aspectos próprios do terreno que irá ser trabalhado são fatores que irão determinar o tipo de compactação que será utilizado bem como o nível da umidade em que o solo deve apresentar na ocasião e a densidade a ser alcançada.

Do ponto de vista historial, Caputo (2005), menciona que os primórdios científicos das tecnologias para a compactação de solos são outorgados ao engenheiro Ralph Proctor, que, em 1933, divulgou suas observações sobre a compactação de aterros, apresentando as quatro variáveis da compactação, sendo elas o peso específico seco, a umidade, a energia de compactação e o tipo de solo.

Na construção de modo genérico, a compactação dos solos desempenha um papel de grande relevância para as obras geotécnicas, uma vez que por meio do processo de compactação se torna possível causar no solo uma elevação consideravelmente eficaz de sua resistência e uma redução de seus níveis de compressibilidade e permeabilidade permitindo com isso adequar a realidade do solo aos requisitos previsto no projeto que se pretende executar.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O questionamento que norteia a presente proposta de pesquisa é “quais as especificidades que estão relacionadas às técnicas de compactação do solo e qual sua relevância para a construção civil?”.

1.2 JUSTIFICATIVA

No atual contexto mercadológico, que se mostra cada vez mais competitivo no campo da construção civil, pesquisas neste sentido firmam sua justificativa uma vez que cada

projeto deve ser desenvolvido de modo bem objetivo para se conseguir o melhor custo-benefício de cada alternativa aplicável.

As pesquisas e estudos que objetivam o controle da estabilidade de estruturas prediais auxiliam para o sucesso dos empreendimentos, pois garantem a efetividade da vida útil dos edifícios.

Assim, a justificativa fundamental para a elaboração do presente estudo é necessidade de se destacar a valorização das técnicas de compactação do solo para produção de estradas pavimentadas, não pavimentadas e aterros, bem como evidenciar tais práticas para a construção civil de um modo mais geral.

A relevância da pesquisa fica ainda mais clara ao se levar em consideração que, em um período como o atual, que é marcado pela má qualidade das estradas brasileiras onde há a necessidade de manutenções de acordo com a frequência das precipitações, precisamos detalhar mais os estudos sobre o solo diminuindo este custo desnecessário para o governo e conseqüentemente para o contribuinte.

As pavimentações são alvo de cargas distribuídas vertical e horizontalmente de maneira constante provocando deformações. A ocorrência de trincas e rebaixamentos por má compactação e qualidade dos revestimentos são frequentes em rodovias brasileiras justificando a infiltração da água e a deterioração do pavimento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Compreender as implicações técnicas relacionadas às metodologias de compactação de solo enfatizando sua relevância para o campo da construção civil.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analisar a compactação em relação ao seu contexto histórico, sua classificação, seus elementos, métodos, equipamentos e execução;
- Expor e analisar as normas que tangem as técnicas de classificação e compactação de solo;

- Averiguar as características de um determinado solo através da análise do solo em um estudo de caso.

1.4 METODOLOGIA

O trabalho será o resultado de uma pesquisa inicialmente bibliográfica, pelo fato de partir de conceitos e teorizações, de autores que tenham desenvolvido estudos acerca do tema.

Assim, tal parte da pesquisa, será uma revisão de literatura que em suma é a modalidade de estudo “desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos” (GIL, 1991).

Além de artigos e livros, a pesquisa buscará fontes alternativas para somar em seu *corpus* teórico como publicações inerentes ao assunto, de naturezas diversas, tais como artigos de jornais e revistas.

Neste sentido Marconi e Lakatos (2001), “explicam que a pesquisa bibliográfica, abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo, sua finalidade é colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto”. Diante disso, é fundamental esse tipo de pesquisa em um trabalho científico. É ela que irá dar suporte para a realização qualitativa dele, no entanto, precisa ser amparada por outros tipos de pesquisa para que seu resultado seja realmente preciso.

Partindo das perspectivas acima dispostas, a pesquisa possui um cunho descritivo que Segundo GIL (2002), tem como objetivo primordial a descrição das características de determinadas populações ou fenômenos. Uma de suas características está na utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados, tais como o questionário e a observação sistemática.

De tal forma, ao coletar informações em uma obra sobre processos de compactação do solo a fim de compará-los em aspectos como viabilidade econômica, facilidade e tempo de execução a pesquisa tomará um formato de pesquisa de campo.

As fases da pesquisa de campo requerem, em primeiro lugar, a realização de uma pesquisa bibliográfica sobre o tema em questão. Ela servirá como primeiro passo, para se saber em que estado se encontra atualmente o problema, que trabalhos já foram realizados a respeito e quais são as opiniões reinantes sobre o assunto (MARCONI; LAKATOS, 2001, p. 183).

A fim de comparar os dados coletados na pesquisa bibliográfica com a realidade, será realizada uma pesquisa de campo com a finalidade de observar se o trabalho que vem sendo desenvolvido por essa construtora está de acordo com o que foi constatado na pesquisa bibliográfica.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A organização do trabalho se dará pela divisão em 5 capítulos.

No capítulo inicial é feita uma breve abordagem do assunto e são apresentados os objetivos almejados.

No segundo capítulo será feita uma revisão bibliográfica no qual abordará a compactação em seu contexto histórico, os elementos relacionados a ela, sua classificação, os métodos de compactação e equipamentos utilizados, e sua execução em resumo.

O terceiro capítulo descreve alguns tipos de ensaios para caracterização do solo e sua compactação.

O quarto capítulo apresenta o estudo de caso, onde foram efetuados ensaios para averiguar as características de um determinado solo retirado de um loteamento na cidade de Anápolis - GO.

No último capítulo são apresentadas as conclusões obtidas com a realização deste trabalho e as considerações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será feita uma revisão bibliográfica no qual abordará a compactação em seu contexto histórico, os elementos relacionados a ela, sua classificação, os métodos de compactação e equipamentos utilizados, e sua execução em resumo.

2.1 ASPECTOS HISTÓRICOS ACERCA DA UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE COMPACTAÇÃO DE SOLOS

A compactação de solos configura-se como uma técnica construtiva muito difundida em diversas culturas desde os períodos que antecedem a era cristã. No campo da pavimentação, por exemplo, a compactação inicialmente foi empregada com o intuito de se buscar melhorias das características do solo em contato com a água e permitir a circulação sobre as vias que serviam para o deslocamento de animais e pedestres (VIEIRA, 2004).

Mesmo os construtores de estrada ou edificações habitáveis de épocas remotas não detendo conhecimentos específicos que os ajudassem a compreender os fundamentos básicos da mecânica dos solos, estes conseguiram de maneira intuitiva e empírica entender que se fosse empregada uma carga pesada nos terrenos de modo estático ou então com auxílio de movimentação, as suas características eram aperfeiçoadas permitindo a construção de caminhos mecanicamente mais permanentes e estáveis, e que cumprissem a sua finalidade quer seja promover acessibilidade de vias ou proporcionar estabilidade e uniformidade para a edificação de ambientes construídos (RIBEIRO, 2008).

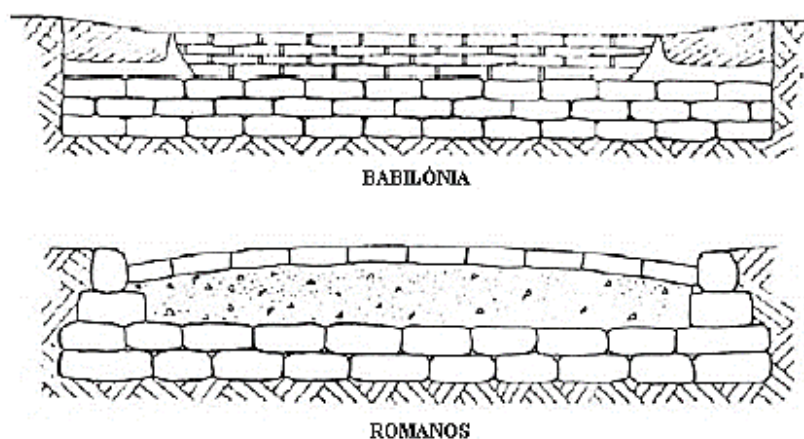
Reconhece-se como sendo um dos exemplos mais antigos da aplicabilidade de técnicas de compactação, um empreendimento construtivo existente no sul do continente americano construído por volta do ano 3500 AC. A civilização Inca, considerada um dos povos mais importantes da era pré-colombiana que habitava a América do Sul, foi responsável pela construção de uma ampla rede de estradas, que foi completamente executada por meio do trabalho humano. Devido ao tipo de solo local, historiadores e arqueólogos estimam que as técnicas de compactação utilizadas foram de imensa importância para a durabilidade deste tipo de pavimentação. Na região na qual atualmente se situa o estado de Vera Cruz no México foi descoberto um rolo de rocha pesando por volta de cinco toneladas e medindo exatamente 65 cm de diâmetro, os estudiosos concluíram que esse equipamento era empregado por construtores do Império Inca para comprimir solos para a preparação de terrenos e construção de caminhos mais estáveis para o deslocamento (RIBEIRO, 2008).

Na Europa e no Médio Oriente, em épocas que antecedem o período de 3500 AC, as estradas e os locais destinados a edificações nada mais eram que terrenos solidificados, na maior parte das vezes, compactados utilizando como método o tráfego repetido dos animais e pelo deslocamento constante de pessoas, com a finalidade de ter solos mais estáveis que viessem assim evitar alagamentos e desbarrancamentos. De modo geral eram empregadas basicamente decapagens e escavações para compactação dos terrenos. Porém, após o aparecimento da roda que data de 3500 AC e a maximização da movimentação de carruagens e animais associada ao surgimento cada vez mais constante de agrupamentos em formas de vilas e aldeias, se enfatizou a necessidade de as construções terem terrenos mais preparados e que garantisse com isso a durabilidade dos empreendimentos construtivos (HOLT; KOVACS, 2001).

Segundo Oliveira e Brito (1998), no período que compreende os anos de 2000, AC e 1500 AC, na Babilónia a compactação de solos para fins construtivos começou a ser realizada por meio de assentamento direto de blocos de rochas produzidos (lascados, talhados ou esculpidos em tamanhos exatos para se encaixarem) em diversas camadas. Um fato curioso é que estes blocos estariam apenas repousados entre as camadas sem a utilização de qualquer tipo de produto para exercer ligamento entre si.

De acordo com Ribeiro (2008), o maior avanço tecnológico na aplicação de técnicas de compactação é atribuído a civilização romana entre os anos 500 AC e 500 DC, onde teve-se início a construção de uma complexa rede de estradas. As inovações construtivas advindas do poderio romano no que diz respeito a estrutura do pavimento utilizado possui algumas similaridades daquelas já apresentadas pelos povos babilônicos (Figura 1).

Figura 1 – Procedimentos de compactação da Babilônia e de Roma.



Fonte: RIBEIRO, 2008.

As distinções entre os dois processos mostrados na figura 1 acabam por evidenciar o grande caráter inovador da cultura romana aplicada à área da construção e da engenharia. Enquanto os babilônicos usaram blocos assentados em camadas, os romanos utilizaram uma mistura de solo argiloso e siltoso como divisor entre a fundação em blocos de pedra e a camada superficial também em blocos de pedra. Existem relatos de que os romanos compactavam a camada de subsolo subjacente à primeira camada de blocos de pedra com recurso a rolos pesados de arrasto para criar uma fundação firme e que permitisse a colocação dos blocos de pedra na configuração horizontal (RIBEIRO, 2008).

A partir do século XX surgiram diversos equipamentos que foram responsáveis pelo avanço das técnicas de compactação. No ano de 1920 surgiram os cilindros pés de carneiro e ainda se iniciou o processo construtivo dos primeiros cilindros lisos com motores de combustão interna. Em 1930 surgiram os primeiros cilindros com rolo de pneus e nos anos 40 os primeiros cilindros automotores e tratores rebocados foram construídos. Depois da Segunda Guerra Mundial surgiram os compactadores por vibração e ainda o rolo de impacto (HOLT; KOVACS, 2001).

2.2 ELEMENTOS RELACIONADOS À COMPACTAÇÃO DOS SOLOS

Brito (2006) define a compactação como “o processo mecânico pelo qual se adensa determinada massa de material através da redução do volume, com conseqüente diminuição do índice de vazios, por forma a aumentar a capacidade resistente do material. Esse material pode ser solo, enrocamento ou uma mistura de solo-enrocamento”. Dentre os diversos processos que permitem a diminuição do volume estão a compactação, a consolidação e a retração. Na compactação a redução dos vazios existentes em um determinado terreno corre por meio da saída forçada do ar comprimido nos seus espaços vagos, já na consolidação a diminuição do volume se dá pela expulsão de água do solo. A retração é o processo onde a redução do volume acontece devido à perda de água do solo por efeito de secagem.

A compactação provoca o aumento da densidade e da capacidade de suportar cargas e a diminuição da compressibilidade e da permeabilidade, resultante da diminuição do índice de vazios e conseqüente aumento do peso volúmico seco, onde o solo passa para um estado mais denso o que dificulta a passagem de água. Surge-se a necessidade de compactar quando se deseja aumentar a capacidade de carga do solo, diminuir os assentamentos, ou tornar o material menos permeável à passagem de água, para evitar o colapso da obra dificultando o arraste das partículas mais finas (BRITO, 2006).

Ao se aplicar uma determinada força de compactação, que pode ser definida com a delimitada quantidade de passadas de um certo aparelho no campo ou uma dada quantidade de golpes de um soquete sobre o solo comprimido num tipo específico de molde, a massa apropriada obtida é função da umidade em que o solo se apresentar. Em ocasiões nas quais se procede a compactação com umidade relativamente baixa, o atrito exercido entre as partículas é visivelmente alto e não se alcança uma redução de vazios significativamente satisfatória. Já por outro lado, em casos em que se tem a umidade em níveis maiores, a água gera um efeito semelhante a lubrificação, melhorando a movimentação entre as partículas, que resvalam entre si, e acaba por adaptar-se num acondicionamento mais compacto (CERNICA, 1995).

Nos procedimentos de compactação, é esperado que as quantidades de partículas e de água continuem constantes; a elevação do índice da massa específica é correspondente à eliminação de ar dos vácuos ali existentes. Desse modo, para a energia aplicada existe certo nível de umidade, designada umidade ótima, que acarretar uma massa específica máxima, ou ainda uma densidade máxima (SENÇO, 1997).

2.3 CLASSIFICAÇÃO DE MATERIAIS

Primeiramente é necessário realizar uma análise do solo para conhecer sua propriedade e classificação antes mesmo do início da obra. Deste modo, são feitos ensaios de identificação e caracterização físico-mecânica, isto é, a definição das suas propriedades padrão. Encontra-se inúmeras classificações com parâmetros diferentes dos solos, entre eles a distribuição granulométrica, a plasticidade, o estado hídrico e a gênese (SILVA, 2013).

As características dos solos podem ser diferenciadas primeiramente através do tamanho das partículas que o compõem. Alguns solos podem ser nomeados a olho nu, como exemplo tem-se o pedregulho ou areia do mar, e que outros possuem os grãos tão finos, quando molhados une-se formando uma pasta, como o barro, deixando imperceptível o reconhecimento das partículas individualmente. A primeira característica que diferencia os solos é o tamanho das partículas que os compõem. Numa primeira aproximação, pode-se identificar que alguns solos possuem grãos perceptíveis a olho nu, como os grãos de pedregulho ou a areia do mar, e que outros têm os grãos tão finos que, quando molhados se transformam numa pasta (barro), e não se pode enxergar as partículas individualmente (PINTO,2006).

Determinações específicas são aplicadas a variadas faixas de tamanho de grãos, seus limites mudam conforme o sistema de classificação. Os valores usados pela ABNT são os apresentados no quadro 01 (PINTO, 2006).

Quadro 1 - Limites definidos pela ABNT

Fração	Limites definidos pela ABNT
Matacão	De 25 cm a 1 m
Pedra	De 7,6 cm a 25 cm
Pedregulho	De 4,8 mm a 7,6 cm
Areia grossa	De 2 mm a 4,8 mm
Areia média	De 0,42 mm a 2 mm
Areia fina	De 0,05 mm a 0,42 mm
Silte	De 0,005 mm a 0,05 mm
Argila	Inferior a 0,005

Fonte: PINTO, 2006

Quando se refere a classificação dos solos é importante ressaltar três tipos fundamentais, a classificação quanto aos tipos e dimensões das partículas que compõem os solos, classificação quanto à origem dos solos, e a classificação quanto às aplicações dos solos como materiais de construção. A classificação quanto aos tipos e dimensões das partículas que compõem os solos divide estes em argilas, siltes, areias e cascalho. Solos compostos com partículas cujas medidas representam a mais de um dos tipos referidos devem ser determinados através da curva granulométrica (FERNANDES, 2004).

A classificação quanto à origem dos solos agrupa os mesmos em dois tipos sendo eles os residuais e os transportados. A identificação dos solos pela origem é um complemento fundamental para a compreensão das ocorrências e para a transmissão de conhecimentos acumulados. Às vezes, a indicação da origem do solo é mais útil do que a especificação física dos elementos (PINTO, 2006).

Solos residuais: são aqueles formados a partir da decomposição de rochas de origem permanecendo na mesma posição. Para que eles aconteçam é fundamental que a velocidade de decomposição da rocha seja maior do que a velocidade de remoção por agentes externos (BLIGHT, 1997).

Solos transportados: aqueles que de alguma forma sofre uma ação transportadora causadas por fontes geológicas. Tendo como propriedade o agente que o carregou. Solos transportados pela ação da gravidade são conhecidos como solos coluvionares, os carregados pela água são chamados de aluviões ou solos aluvionares, depósitos eólicos são transportados pelo vento, os drifis se originam das geleiras (VARGAS, 1978).

A classificação quanto às aplicações dos solos como materiais de construção é estabelecida pela especificação, entre elas, evidencia-se a classificação de solos unificada. Para a rotulação por esse sistema, os solos são identificados por duas letras como demonstrado no quadro 02. O primeiro aspecto a considerar para que seja feita a classificação é a porcentagem de finos presente no solo, sendo finos o material que passa na peneira nº200 (0,075 mm), caso a porcentagem seja inferior a 50, o solo será visto como solo de granulação grosseira, G ou S. Se for superior a 50, sendo considerado de granulação fina, M, C ou O (PINTO, 2006).

Quadro 2 - Terminologia da classificação unificada

G	Pedregulho
S	Areia
M	Silte
C	Argila
O	Solo orgânico
W	Bem graduado
P	Mal graduado
H	Alta compressibilidade
L	Baixa compressibilidade
Pt	Turfas

Fonte: PINTO, 2006.

2.3.1 Solos granulares

São solos em sua maioria com partículas maiores perceptíveis a olho nu, como cascalho e areia, compostas por muitas partículas, individualmente soltas, que no estado seco não se aderem uma à outra (somente se apoiam entre si) são muito utilizados na construção civil por serem permeáveis e ter grande aderência.

Com granulações grosseiras o solo será denominado, como pedregulho (Figura 2) ou areia (Figura 3), dependendo de qual dessas duas granulométricas predominar. Por exemplo, se o solo tiver 30% de pedregulho, 40% de areia e 30% de finos, ele será denominado areia – S (PINTO, 2006).

Figura 2 - Pedregulho



Fonte: (WX, 2012)

Figura 3 - Areia lavada



Fonte: (ASAF, 2016)

2.3.2 Solos de granulação fina (siltes e argilas)

Segundo Pinto (2006) solos de granulação fina são compostos por silte, argila ou solos orgânicos.

O silte (Figura 4) é definido como solo de pequena ou nenhuma plasticidade, com baixa resistência quando seco. É formado por fragmentos com diâmetros na faixa de 0,002 mm e 0,06 mm (ABNT, 1995).

Figura 4 - Solo siltoso



Fonte: (Francisco, 2017)

Argilas (Figura 5) são solos de granulação muito finas, alta resistência quando secas e características marcantes de plasticidade (VARGAS, 1978).

Solos orgânicos (Figura 6) originam-se da mistura homogênea de matéria orgânica decomposta e de elementos de origem mineral, apresentando geralmente cor preta ou cinza-escuro (ABNT, 1995).

Figura 5 - Solo argiloso



Fonte: (Technologies, Hemera, s.d.)

Figura 6 - Solo orgânico



Fonte: (Francisco, 2017)

2.4 MÉTODOS DE COMPACTAÇÃO EM LABORATÓRIO

De acordo com Silva (2013), a compactação pode ser executada no terreno por quatro métodos diferentes, pressão estática, Kneading ou manipulação, vibração e impacto.

Em laboratório podem ser reproduzidas as compactações por impacto, pressão e pisoteamento.

2.4.1 Compactação dinâmica ou por impacto

Segundo Balmaceda et al. (1991), esse tipo de compactação é efetuado ao se deixar cair um certo peso sobre a camada de solo a ser compactada, a energia de compactação varia de acordo com a altura, peso, número de golpes ou espessura da camada.

2.4.2 Compactação estática ou por pressão

Conforme Balmaceda et al. (1991) esse método consiste em compactar o solo através do auxílio de uma prensa para aplicar uma pressão uniforme sobre o solo, sendo utilizado para reproduzir em laboratório as características dos solos granulares compactados em campo com rolo liso.

2.4.3 Compactação pisoteamento ou por amassamento

De acordo com Balmaceda et al. (1991), este método baseia-se na aplicação de sucessivas pressões altas sobre áreas pequenas da amostra, através de um sistema composto por uma haste de metal com uma peça cilíndrica contendo uma mola no seu interior que é pressionada sobre a amostra com pressões variáveis.

2.5 EQUIPAMENTOS

Os principais equipamentos utilizados na compactação de solos segundo Silva (2013) são os cilindros de pés de carneiro, cilindros de pneus, cilindros de rolos lisos, cilindros vibradores e rolos de impacto.

2.4.1 Cilindros de pés de carneiro

Estes equipamentos são constituídos por um cilindro metálico e dispõem, na face exterior, de saliências colocadas em filas desencontradas (Figura 7). As pressões obtidas variam de 17 kg/cm² para os cilindros vazios, a 27 e 41 kg/cm² para cilindros cheios de água e de areia. Existem no mercado equipamentos com pesos entre 3 e 40 tf. Estes compactadores

são ideais para solos argilosos e suas principais características são o seu peso e a pressão transmitida por cada “pé” (SILVA, 2013).

Figura 7 – Cilindros de pés de carneiro



Fonte: (Volvo, Equipament Constrution, s.d.)

2.4.2 Cilindros de pneus

Segundo Fernandes (2004), este equipamento, apresentado na figura 8, permite uma compactação mais rápida e econômica do que a alcançada com cilindros de pés de carneiro. Estes cilindros podem atingir as 200 tf e podem ser rebocados ou autônomos, com dois eixos de rodas compactadoras. São indicados para compactação de solos com a constituição variando de areias limpas a argilas siltosas magras, até camadas de 40 cm de espessura.

Figura 8 – Cilindros de pneus

Fonte: (Afif, s.d.)

2.4.3 Cilindros de rolos lisos

Silva (2013) define-os como sendo cilindros metálicos de superfície lisa, (Figura 9), que não podem ser rebocados em função do seu peso elevado. O peso do rolo varia conforme a introdução de lastro de água ou areia no interior do cilindro. São utilizados na compactação de cascalho grosso a cascalho de pequeno calibre, terras saibrosas, com espessuras inferiores a 15 cm, e tapetes betuminosos. A sua superfície de contato com o material a ser compactado é pequena, uma desvantagem da sua utilização.

Figura 9 – Cilindro de rolos lisos

Fonte: (Madden, Joseph, s.d.)

2.4.4 Cilindros vibradores

Estes cilindros vibradores segundo Silva (2013) podem ser dos três tipos apresentados anteriormente, com a adição de um vibrador acoplado às unidades compactadoras como mostrado na figura 10. A vibração nesses casos é de grande importância para o sucesso da compactação, pois permite que sejam atingidas espessuras entre 0,6 e 0,8, melhorando a eficiência da compactação em profundidade. Na sua utilização, cuidados devem ser tomados para evitar a segregação vertical que pode ocorrer quando existe excesso de finos. O peso aliado com a vibração em amplitudes e frequências determinadas é responsável por exercer a força suficiente de compactação, sendo que cilindros de peso elevado e com baixas frequências são aconselháveis para cascalhos e enrocamentos; já os cilindros de peso reduzido a médio e altas frequências são mais apropriados para areias e siltes.

Figura 10 - Cilindros vibradores

Fonte: (Monteiro, s.d.)

2.4.5 Rolos de impacto

Esse tipo de equipamento mostrado na figura 12 pode ser usado em diversos tipos de solos e condições de terreno, desde solos argilosos, areias, cascalho a fragmentos de rocha e material proveniente de demolições. A melhora da densidade e da resistência das camadas varia conforme a espessura das camadas, o tipo de material utilizado, as condições de umidade e a presença de água subterrânea. Geralmente são utilizados em obras de grande porte como em rodoviárias e aeroportos (AVALLE, 2004).

Figura 11 – Rolos de impacto

Fonte: (ANRO Impact Compaction, s.d.)

2.5 EXECUÇÃO DO ATERRO

A execução de um aterro deve ser precedida de serviços de limpeza do terreno retirando troncos ou resto de árvores que possam vir a atrapalhar o processo construtivo, tornando o ambiente adequado (DNIT, 2009).

Deverão ser implantadas as marcações dos eixos e dos “Off sets” e as referências de nível (RN's), e checados os serviços preliminares. Caso necessário deverá ser realizado um novo levantamento de seções transversais compatíveis com os RNs. (DNIT, 2009).

Recomenda fazer a “descarga, espalhamento em camadas, homogeneização, conveniente umedecimento ou aeração, compactação dos materiais selecionados procedentes de cortes ou empréstimos, para a construção do corpo do aterro até a cota correspondente ao greide do terraplenagem”. Os materiais de má qualidade, por ventura encontrados, deverão ser retirados para não prejudicar a fundação dos aterros (DNER, 1997).

Para cada tipo de aterro, aterros assentes sobre encostas com inclinação transversal acentuada, aterros assentes sobre terreno de fundação de baixa capacidade de carga, aterros-barragens, aterros em regiões onde houver ocorrência predominante de materiais rochosos ou areia, aterros construídos em locais de passagem de curso d'água e aterros próximos aos encontros de pontes, existe um processo de execução e um procedimento a seguido (DNER, 1997).

Todas as camadas do solo deverão ser convenientemente compactadas, de conformidade com o definido no projeto de engenharia. Ordinariamente, o preconizado é o seguinte:

- a) Para o corpo dos aterros, na umidade ótima ($\pm 3\%$), deverão ser compactadas até ter a massa específica aparente seca equivalente a 95% da massa específica aparente máxima seca, do ensaio DNER-ME 092/94 ou DNER-ME 037/94.
- b) Para as camadas finais a compactação deve acontecer até a massa específica aparente seca corresponder a 100% da massa específica aparente máxima seca do referido ensaio.
- c) Os trechos que não atingirem as condições mínimas de compactação deverão ser escarificados, homogeneizados, levados à umidade adequada e novamente compactados, de acordo com o estabelecido no projeto de engenharia.

3 ENSAIOS LABORATORIAIS DE IDENTIFICAÇÃO DO SOLO

Os ensaios de identificação realizados no laboratório têm como objetivo descrever as propriedades do solo, tais como umidade, limites de consistência, granulometria, expansão, Índice Suporte Califórnia (ISC) e compactação.

3.1 UMIDADE HIGROSCÓPICA

No momento em que uma porção de solo é coletada e exposta ao ar, o seu índice de umidade tende a cair. No entanto, essa diminuição se dá até um certo ponto. Isto é, independentemente do tempo que a amostra for exposta ao ar, continuará presente uma umidade residual. A umidade que o solo apresenta quando seco ao ar, é designada umidade higroscópica (KORMANN, 1997).

Quanto mais argiloso o solo, maior o teor de umidade higroscópica, sendo praticamente insignificante em solos de elevada granulação (areias e pedregulhos).

3.1.1 Execução do ensaio

Na NBR 6457/1986 são encontrados os passos para se obter a umidade higroscópica (KORMANN, 1997).

Para a determinação da umidade devem ser registrados os seguintes valores:

- Número da cápsula;
- Massa da cápsula;
- Massa da cápsula mais solo úmido;
- Massa da cápsula mais solo seco.

O teor de umidade de determinada amostra de solo, pode ser definido por meio da seguinte expressão (ABNT, 1986):

$$h = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

h – teor de umidade, em %;

M_1 - massa do solo úmido mais a massa do recipiente, em g;

M_2 - massa do solo seco mais a massa do recipiente, em g;

M_3 - massa do recipiente, em g.

3.2 LIMITE DE PLASTICIDADE

A umidade correspondente ao limite entre o estado plástico e semi-sólido é denominada limite de plasticidade. Neste ponto, a porção de solo se desagrega ao ser trabalhada. “O limite de plasticidade é determinado pelo cálculo da porcentagem de umidade para qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar, com ele, um cilindro de 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento” (CAPUTO, 2005).

A obtenção dos limites de plasticidade e liquidez é importante para estimar, através da carta de plasticidade, as propriedades desse solo, identificando a granulometria e a compressibilidade.

3.2.1 Execução do ensaio

O limite de plasticidade é alcançado através do procedimento prescrito na norma NBR 7180/84 - ABNT.

Após a realização da verificação de umidade, o Limite de Plasticidade (LP) surge a partir da média dos teores de umidade, sendo que não devem se distanciar mais de 5% da média estabelecida, valores situados fora da faixa $\pm 5\%$ em relação à média necessitam ser desconsiderados (KORMANN, 1997).

O limite de plasticidade é definido como:

$$LP = \frac{\sum hi}{i} \quad (2)$$

Onde:

LP = limite de plasticidade;

hi = umidade das cápsulas;

i = quantidade de cápsulas.

O índice de plasticidade é obtido através da expressão:

$$IP = LL - LP \quad (3)$$

Onde:

IP = índice de plasticidade;

LL = limite de liquidez, determinado de acordo com a NBR 6459;
LP = limite de plasticidade.

3.3 LIMITE DE LIQUIDEZ

De acordo com Kormann (1997), quando a umidade de um solo é muito alta, ele perde suas propriedades de plasticidade e passa a se apresentar como um fluido denso e se diz no estado líquido. Com a evaporação da água, ele endurece, passando do estado líquido para o plástico. A umidade correspondente à divisa dos estados líquido e plástico é denominada limite de liquidez (LL). O ensaio que define o LL em laboratório fundamenta-se na contagem do número de golpes indispensáveis para fechar uma ranhura feita no solo de uma concha do aparelho Casagrande (Figura 12). O limite de liquidez é o grau de umidade com que o solo fecha uma ranhura nele feita após a aplicação de 25 golpes.

Figura 12 – Aparelho Casagrande



Fonte: (Solo Teste, s.d.)

3.3.1 Execução do ensaio

O limite de plasticidade é alcançado através do procedimento prescrito na norma NBR 6459/84- ABNT.

- Colocar uma quantidade determinada de solo na cápsula do aparelho, dividir em duas partes para criar a ranhura, golpear contra a base e anotar a quantidade de golpes fundamentais para que as bordas se unam.
- Desenvolver um gráfico com os resultados obtidos, onde as ordenadas são o número de golpes e as abcissas são os teores de umidade correspondentes.
- O LL é o teor equivalente a 25 golpes.

3.4 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A análise granulométrica baseia-se na delimitação do diâmetro das diversas partículas presentes no solo. Tamanho ou diâmetro de uma partícula pode ser entendido como a mínima abertura da peneira de malha quadrada na qual essa partícula pode passar (SOUZA, 1980).

O experimento de análise granulométrica, realizado em laboratório, consiste de três fases: peneiramento grosso, sedimentação e peneiramento fino. No ensaio por peneiramento, passa-se uma porção de solo por uma série de peneiras de malhas quadradas de dimensões padronizadas. Pesam-se as quantidades retidas em cada peneira e as porcentagens referente ao material passante são definidas. O ensaio de sedimentação é baseado na Lei de Stokes que estabelece uma associação entre o diâmetro dos grãos e a sua velocidade de sedimentação em um meio líquido de viscosidade e peso específico conhecidos. É realizado para conhecer a composição da parcela mais fina do solo (KORMANN, 1997).

3.4.1 Execução do ensaio

O limite de plasticidade é obtido através do procedimento prescrito na norma NBR 7181/84- ABNT.

3.4.1.1 Peneiramento grosso

Dados:

- Massa total da amostra seca ao ar;
- Massa total do material seco retido na # 2,0 mm;
- Umidade higroscópica;

- Massa do material retido nas peneiras de 50; 38; 25; 19; 9,5; 4,8 e 2 mm.

Procedimentos de cálculo:

- a) Inicialmente, determina-se a massa seca total da amostra, através da fórmula:

$$M_s = \frac{M_t - M_g}{100 + h_{hig}} \times 100 \text{ Mg} \quad (4)$$

Onde:

M_s = massa seca total da amostra;

M_t = massa da amostra seca ao ar;

M_g = massa do material seco retido na # 2,0 mm;

h_{hig} = umidade higroscópica (%).

- b) Com base nas massas retidas em cada peneira calculam-se as massas acumuladas M_i .
- c) Calculam-se as porcentagens de material passante em cada peneira:

$$Q_g = \frac{M_s - M_i}{M_s} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

Q_g = porcentagem de material passando na peneira;

M_s = massa seca total da amostra;

M_i = massa retida acumulada até a peneira em questão

3.4.1.2 Sedimentação

Dados:

- Massa do material (seco ao ar) submetido à sedimentação;
- Porcentagem do material que passa na # 2,00 mm;
- Peso específico dos grãos de solo;
- Umidade higroscópica;
- Número do densímetro utilizado;
- Leituras do densímetro nos tempos respectivos;
- Curvas de calibração de temperatura e altura de queda do densímetro utilizado.

Procedimentos de cálculo:

- a) Obtém-se para cada leitura do densímetro, o diâmetro máximo das partículas em suspensão, mediante a aplicação da Lei de Stokes:

$$d = \sqrt{\frac{1800 \mu}{\gamma_g - 1} \times \frac{a}{t}} \quad (6)$$

Onde:

d = diâmetro máximo das partículas, em mm;

μ = coeficiente de viscosidade do meio dispersor à temperatura do ensaio, em g.s/cm²;

a = altura de queda das partículas, correspondente à leitura do densímetro, em cm;

t = tempo de sedimentação, em s;

γ_g = peso específico dos grãos do solo, em gf/cm³.

- b) Para cada leitura do densímetro, determina-se a porcentagem do solo em suspensão, que se refere à massa total da amostra. A expressão empregada é:

$$Q_s = N \times \frac{\gamma_g}{\gamma_g - 1} \times \frac{1000(L - L_d)}{\left(\frac{M_h}{100 + h_{hig}}\right) \times 100} \quad (7)$$

Onde:

Q_s = porcentagem de solo em suspensão no instante da leitura do densímetro;

N = porcentagem do material que passa na # 2,0 mm;

γ_g = peso específico dos grãos do solo, em gf/cm³.

L = leitura do densímetro;

L_d = leitura do densímetro por meio de dispersor, na mesma temperatura de dispersão.

M_h = massa do material submetido à sedimentação, em gf;

h_{hig} = umidade higroscópica (%).

3.4.1.3 Peneiramento fino

Dados:

- Massa do material submetido à sedimentação;
- Umidade higroscópica;
- Porcentagem do material que passa na # 2,0 mm;
- Massa do material retido nas peneiras de 1,2; 0,6; 0,42; 0,25; 0,15 e 0,075 mm.

Procedimentos de cálculo:

- a) Com base nas massas retidas em cada peneira, obtém-se as massas M_i ;
- b) Considera-se as porcentagens de material passante nas peneiras de acordo com a fórmula:

$$Q_f = \frac{M_h \times 100 - M_i(100 + h_{hig})}{M_h \times 100} \times N \quad (8)$$

Onde:

Q_f = porcentagem de material passado em cada peneira;

M_h = Peso do material submetido à sedimentação, em gf;

h_{hig} = umidade higroscópica (%);

N = porcentagem de material que passa na # 2,0 mm.

3.4.1.4 Curva de distribuição granulométrica

O fruto do ensaio de análise granulométrica deve ser apresentado por uma curva de distribuição granulométrica, traçada por pontos obtidos com o resumo dos valores de peneiramentos e sedimentação. Sobre o eixo das abscissas são marcados os logaritmos das dimensões das peneiras e sobre o eixo das ordenadas, as porcentagens em massa das partículas de diâmetros inferiores aos das peneiras consideradas (KORMANN, 1997).

3.5 COMPACTAÇÃO

Este ensaio consiste no método para definir o vínculo entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca por meio da compactação. Sendo assim é feito a compactação de uma amostra do solo em camadas, com adição de água ao solo seco facilitando, portanto, o ensaio, em um cilindro metálico e de volume conhecido. Reproduzindo o ensaio para várias umidades, obtendo valores para densidade seca e úmida, com isso é possível traçar a curva de compactação do solo (ABNT, 1986; KORMANN, 1997).

Os objetivos do ensaio de compactação podem ser entendidos como, a determinação da umidade ótima do solo, para uma dada energia de compactação e determinação da massa específica aparente seca máxima (γ_5 máx) associada à umidade ótima.

O ensaio Proctor determina a umidade ótima de um solo no qual visa uma específica energia de compactação, melhorando assim os resultados. Este ensaio é normalizado pela NBR 7182. A operação consiste em aplicar um número de golpes, com o auxílio de um pilão,

em uma amostra de solo, obtendo então o peso específico seco máximo e o teor em água do solo compactado (SILVA, 2013).

3.5.1 Execução do ensaio

Na NBR 7182/1986 encontram-se as regras para a realização do ensaio de compactação (KORMANN, 1997).

Para cada corpo de prova moldado devem ser anotados os respectivos números (KORMANN, 1997).

- Quantidade de água acrescentada ao solo;
- Peso do cilindro + solo compactado;
- Número da cápsula;
- Peso da cápsula;
- Peso da cápsula + solo úmido;
- Peso da cápsula + solo seco.
- Volume do cilindro;
- Peso do cilindro sem solo em seu interior;

Para determinar a massa específica aparente seca, aplica-se a expressão (ABNT, 1986):

$$\gamma_s = \frac{P_h \times 100}{V(100 + h)} \quad (9)$$

Onde:

γ_s - massa específica aparente seca, em g/cm³;

P_h - peso úmido do solo compactado, em g;

V – volume útil do molde cilíndrico, em cm³;

h – teor de umidade do solo compactado, em %.

Pode se a determinar o peso específico aparente seco máximo, utilizando a expressão (ABNT, 1986):

$$\gamma_s = \frac{S}{\frac{h}{\delta_a} + \frac{S}{\delta}} \quad (10)$$

Onde:

γ_s - massa específica aparente seca, em g/cm³;

S – grau de saturação, igual a 100%;

h – teor de umidade, arbitrado na faixa de interesse, %;

δ - massa específica dos grãos do solo, determinada de acordo com a NBR 6508, em g/cm³;

δ_a - massa específica da água, em g/cm³ (considerar igual a 1,00 g/cm³).

3.6 ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

O ensaio de Índice de Suporte Califórnia é responsável por medir a resistência de um solo compactado e a capacidade de suporte das bases compactadas, também conhecido por ensaio de Suporte Californiano que fornece o “índice de suporte californiano” identificado pelas iniciais CBR. Esse ensaio é importante para a análise da compactação das bases de pavimentos rodoviários e ainda para o projeto de pavimentos flexíveis (VARGAS, 1978).

De acordo com o DNIT (2006), o ensaio de CBR constitui-se na determinação da relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo de prova de solo e a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa brita padronizada.

3.6.1 Execução do ensaio

Ensaio padronizado no Brasil pela ABNT - NBR 9895/87.

Procedimentos de cálculo:

a) A massa específica aparente seca pode ser determinada através da fórmula:

$$\gamma_s = \frac{Mh \times 100}{V(100 + h)} \quad (11)$$

Onde:

γ_s = massa específica aparente seca, em g/cm³;

Mh = Massa úmida do solo compactado, em g;

V = volume útil do molde cilíndrico, em cm³

H = teor de umidade do solo compactado, em %.

b) Deve ser calculado o índice de expansão de cada corpo de prova de acordo com a fórmula a seguir:

$$\text{Expansão (\%)} = \frac{\text{leitura final} - \text{leitura inicial no extensômetro}}{\text{altura inicial do corpo de prova}} \times 100 \quad (12)$$

- c) O índice de Suporte Califórnia de cada corpo de prova deve ser calculado de acordo com a expressão:

$$ISC = \frac{\textit{pressão calculada ou pressão corrigida}}{\textit{pressão padrão}} \times 100 \quad (13)$$

- d) O maior dos valores obtidos com as penetrações de 2,54 mm e 5,08 mm deve ser adotado para traçar a curva de compactação, onde as abscissas representam os teores de umidade e as ordenadas, as massas específicas, o eixo das ordenadas.
- e) O ISC deve estar apresentado na mesma folha e na mesma escala que a curva de compactação. O valor de ISC deve ser obtido da curva.

3.7 EXPANSÃO

Define-se a expansão de um solo quando a aumento do seu volume obtido através da absorção de água, no entanto, este acontecimento está associado exclusivamente a solos com uma elevada fração argilosa ou a pressões de sucção liberadas, ora por efeito de ressecamento ou pela ação de compactação a que foi submetido. O ensaio de expansão está ligado ao tipo de mineral argila existente no solo, sendo uma das propriedades mais marcantes das argilas do tipo esmectita. Solos siltosos e micáceos, frequentemente decorrentes de desagregação de gnaisse, encontram-se expansivos quando compactados com umidade abaixo da umidade ótima (PINTO, 2006).

Segundo Pinto (2006) o estudo da expansividade dos solos geralmente é feito por meio de ensaios de compressão endométrica. Encharca-se o corpo de prova quando as deformações decorrentes de uma certa pressão já se estabilizaram e mede-se a expansão ocorrida. A expansão depende da pressão aplicada à amostra, sendo tanto menor quanto maior a pressão.

A finalidade do conhecimento da expansão de um solo é diferenciar e classificar o seu potencial de expansão e a sua pressão de expansão (ou pressão a ser aplicada a uma amostra, que já sofreu expansão, para que o seu volume retorne ao valor inicial), de forma a possibilitar ao engenheiro uma avaliação quantitativa dos impasses que possam advir da sua utilização como material de construção” (CRISTELO, 2001).

3.8 ENSAIO “IN SITU” DE MASSA ESPECÍFICA DNER-ME 092/94

3.8.1 Aparelhagem

A aparelhagem necessária é a seguinte:

- a) Frasco de vidro, metálico ou de plástico, com 3,5 litros de capacidade, dotado de gargalo rosqueado e funil provido de registro e de rosca para se atarraxar ao frasco;
- b) Bandeja quadrada de alumínio com cerca de 30 cm de lado, com bordas de 2,5 cm de altura, com orifício circular no centro, dotado de rebaixo para apoio do funil referido no item anterior;
- c) Pá de mão;
- d) Balança com capacidade de 10 kg, sensível a 1g;
- e) Talhadeira de aço com 30 cm de comprimento;
- f) Martelo de 1 kg;
- g) Recipiente que permite guardar amostra sem perda de umidade, antes de sua pesagem;
- h) Estufa capaz de manter a temperatura entre 105 °C e 110 °C, ou instrumental que permita a determinação da umidade segundo as normas DNER-ME 052/94 E DNER-ME 088/94;
- i) Balança com a capacidade de 1 kg, sensível a 0,1 g;
- j) Areia (fração compreendida entre 0,8 mm e 0,6 mm) lavada, seca e de massa específica aparente.

Determinação do peso da correspondente ao volume do funil e do rebaixo do orifício na bandeja:

- a) Monta-se o conjunto frasco + funil, estando o frasco cheio de areia, pesa-se (P_1);
- b) Instala-se o conjunto frasco + funil sobre a bandeja citada em 3.b e está sobre uma superfície plana; abre-se o registro, deixando a areia escoar livremente até cessar o seu movimento no interior do frasco; fecha-se o registro, retira-se o conjunto frasco + funil, e pesa-se o conjunto frasco + funil, estando o frasco com a areia restante (P_2);
- c) O peso da areia deslocada, que encheu o volume do funil e do rebaixo do orifício da bandeja, será: $P_3 = P_1 - P_2$.

Determinação da massa específica aparente da areia, μ_a :

- a) Monta-se o conjunto frasco + funil, estando o frasco cheio de areia, e pesa-se (P_4);
- b) Coloca-se o conjunto frasco + funil sobre a bandeja e está sobre a borda de um cilindro, com volume V conhecido, tendo 10 a 15 cm de altura e diâmetro igual ou menor do que o orifício circular da bandeja; abre-se o registro, deixando a areia escoar livremente até cessar o seu movimento no interior do frasco e fecha-se o registro; retira-se o conjunto frasco + funil, estando o frasco com a areia restante, pensando-o (P_5);
- c) O peso da areia que encheu o cilindro será:

$$P_6 = P_4 - P_5 - P_3 \quad (14)$$

Onde:

P_3 - é o valor obtido conforme o item 3;

- d) A massa específica aparente da areia será:

$$\mu_a = \frac{P_6}{V} \quad (15)$$

Onde:

μ_a - massa específica aparente da areia (g/cm^3);

P_6 - valor obtido na alínea c (g);

V - volume do cilindro (cm^3).

Determinação da massa específica aparente do solo, “in situ”.

- a) Limpa-se a superfície do solo onde será feita a determinação, tornando-a, tanto quanto possível plana e horizontal;
- b) Coloca-se a bandeja nessa superfície e faz-se uma cavidade cilíndrica no solo, limitada pelo orifício central da bandeja e com profundidade de cerca de 15 cm;
- c) Recolhe-se na bandeja o solo extraído da cavidade, pesando-o (P_{\square});
- d) Tomam-se, imediatamente, cerca de 100 g deste solo e determina-se a umidade (h) pelo processo da estufa, do “Speedy” ou do álcool;
- e) Pesa-se o conjunto frasco + funil, estando o frasco cheio de areia (P_7);
- f) Instala-se o conjunto frasco + funil, de modo que o funil fique apoiado no rebaixo do orifício da bandeja. Abre-se o registro do frasco, deixando a areia escoar livremente até cessar o seu movimento no interior do frasco. Fecha-se o

registro, retira-se o conjunto frasco + funil, pesando o conjunto com a areia que nela restar (P_8).

3.8.2 Cálculos e resultados

Peso da areia deslocada (P_9) – determina-se pela diferença:

$$P_9 = P_7 - P_8 \quad (16)$$

Peso da areia que enche a cavidade no solo (P_{10}) – determina-se pela diferença entre o peso da areia deslocada (P_9) e o peso da areia determinado conforme o item 4.1 (P_3):

$$P_{10} = P_9 - P_3 \quad (17)$$

Massa específica aparente do solo úmido “in situ” (μ_h) obtém-se pela formula:

$$\mu_h = \mu_a \cdot \frac{P_h}{P_{10}} \quad (18)$$

Massa específica aparente do solo seco, “in situ” (μ_s) obtém-se pela formula:

$$\mu_s = \mu_h \cdot \frac{100}{100 + h} \quad (19)$$

Grau de compactação – obtém-se pela formula:

$$GC = \frac{\mu_s}{\mu_{sl}} \cdot 100 \quad (20)$$

Onde:

μ_s - massa específica aparente do solo seco, “in situ”;

μ_{sl} - massa específica aparente do solo seco, obtida em laboratório, de acordo com o método exigido para a obra.

3.9 ENSAIO DNER-ME 037/94

3.9.1 Aparelhagem

A aparelhagem necessária é a seguinte:

- a) Proveta de vidro incolor, com capacidade de 1000 ml, graduada em 1 ml;
- b) Bandeja metálica provida de orifício central com 10 cm de diâmetro;
- c) Pá de mão;
- d) Balança sensível a 1g;
- e) Talhadeira de aço com 30 cm de comprimento;
- f) Martelo de 1 kg;
- g) Recipiente que permitam guardar amostra sem perda de umidade, antes das pesagens;
- h) Estufa capaz de manter a temperatura entre 105 °C e 110 °C, ou instrumental que permita a determinação da umidade;
- i) Balança sensível a 0,1 g;
- j) Reservatório para 5 litros de óleo;
- k) Óleo SAE 40.

3.9.2 Ensaio

Limpar a superfície do solo onde será feita a determinação, tornando-a, tanto quanto possível, plana e horizontal.

Colocar a bandeja nessa superfície e fazer uma cavidade cilíndrica no solo, limitada pelo orifício central da bandeja e com a profundidade em torno de 10 a 15 cm de altura.

Recolher na bandeja o solo extraído da cavidade, pesando-o (P_{\square}).

Tomar, imediatamente, 100 g deste solo e determinar a umidade (h) pelo processo de estufa, do “speedy” ou do álcool.

Encher a proveta referida no item 3.a com óleo SAE-40, até o traço indicativo de 1000 ml (V_1).

Verter o óleo da proveta na cavidade, rapidamente e determinar o volume do óleo (V_2) que permaneceu na proveta.

3.9.3 Cálculos e Resultados

Volume da cavidade (V):

$$V = V_1 - V_2 \quad (21)$$

Massa específica aparente do solo úmido, “in situ” (γ_h):

$$\gamma_h = \frac{P_h}{V} \quad (22)$$

Onde:

P – peso do solo úmido retirado da cavidade.

Massa específica aparente do solo seco, “in situ” (γ_s):

$$\gamma_s = \gamma_h \cdot \frac{100}{100 + h} \quad (23)$$

Onde:

h – porcentagem de umidade do solo retirado da cavidade.

Grau de compactação, obtém-se o grau de compactação pela fórmula:

$$GC = \frac{\gamma_s}{\gamma_{sl}} \cdot 100 \quad (24)$$

Onde:

γ_{sl} - massa específica aparente do solo, obtida em laboratório, de acordo com o método exigido para a obra.

4 ESTUDO DE CASO

Apresenta-se neste capítulo um estudo de caso para conhecer o comportamento de um determinado solo. O solo é um componente fundamental para diversas obras de engenharia civil, sendo um dos materiais de construção mais antigos, mais comuns e mais complexos, tornando necessário conhecer seu comportamento nas mais diversas situações. O local escolhido está situado na avenida cerejeiras no bairro de Cerejeiras II – Anápolis-GO, figura 13, onde foi recolhida uma amostra do solo no local para a realização de ensaios para obter as respectivas características.

Figura 13 - Localização do terreno



Fonte: <<https://www.google.com.br/maps>>.
Acesso em: 01 de novembro de 2017.

O solo possui uma composição natural, de estrutura solta e removível e de espessura variável, derivado de uma rocha-mãe, por meio de influência de diversos processos físicos, físico-químicos e biológicos (SENÇO, 2007).

Figura 14 - Local onde foi coletada a amostra

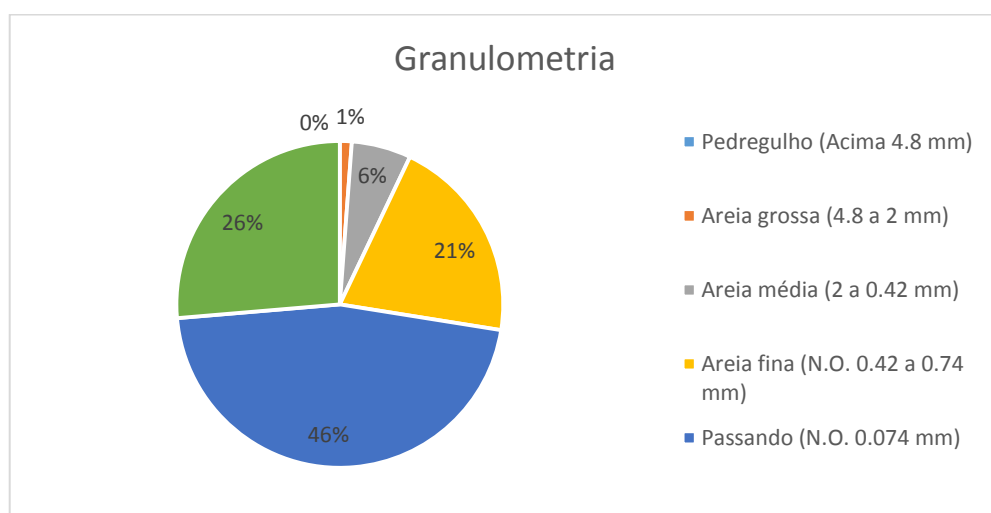


Fonte: AUTOR, 2017.

Para que seja feita a identificação do solo, por meio das partículas que os representa, foi utilizado neste estudo o ensaio granulométrico, no qual obteve a seguinte distribuição granulométrica (Figura 14).

A composição do solo está representada no gráfico 1, com isso pode se chegar à conclusão que o solo do local escolhido pode ser classificado como argila arenosa vermelha.

Gráfico 1 – Análise da granulometria do solo



Fonte: GEOFORT CONTROLE GEOTÉCNICO LTDA, 2017.

Para dar continuidade ao estudo foram realizados os respectivos ensaios, limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP), obtendo os seguintes resultados $LL = 38,8$ e $LP = 24,87$, tais resultados podem ser encontrados nos anexos.

O ensaio de compactação detém de duas finalidades indicar a umidade ótima do solo (h. ótima), para uma certa energia de compactação, e estipular o peso específico aparente seco máxima (Dens. Máxima), associada a umidade ótima. Neste é utilizado um cilindro onde é colocado o solo (Figura 15) para que possa ser golpeado, através deste resultado são realizados cálculos para determinar a umidade ótima do solo (h. ótima) que é dada em porcentagem, o valor para o h. ótima foi de 26,2 % e para a densidade máxima foi de 1.507 kg/m^3 .

Figura 15 - Cilindro utilizado para o ensaio de compactação



Fonte: AUTOR, 2017.

O equipamento utilizado para golpear o corpo de prova no ensaio de compactação tem aproximadamente um diâmetro de 15 cm, figura 16.

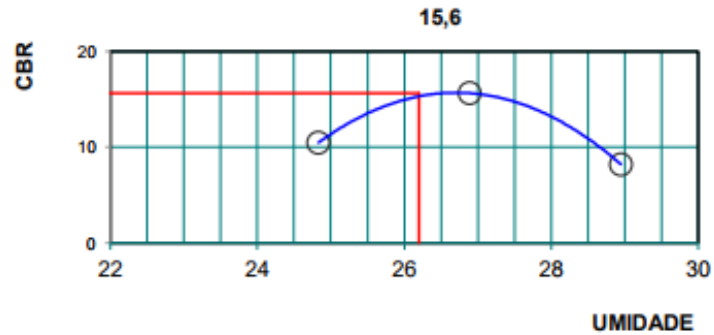
Figura 16 - Equipamento utilizado para golpear o corpo de prova



Fonte: AUTOR, 2017.

O índice de suporte Califórnia (C.B.R) corresponde a porcentagem entre a pressão calculada em relação a pressão padrão do solo, adota-se o maior dos valores entre os obtidos, no caso deste ensaio o valor registrado foi de 15,6 (Figura 17).

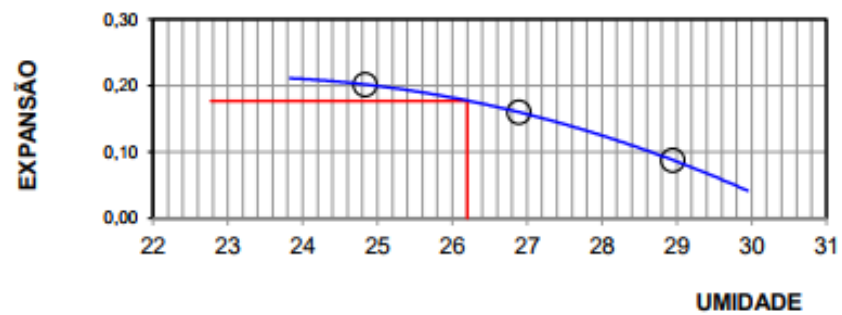
Figura 17 – Índice de suporte Califórnia (CBR)



Fonte: GEOFORT CONTROLE GEOTÉCNICO LTDA, 2017.

Ensaio de expansão consiste na submersão do corpo de prova por no mínimo 4 dias, tendo que ser efetuada leituras do extensômetro a cada 24 horas, o resultado é dado em porcentagem, sendo para este caso de 0,18 %, (Figura 18).

Figura 18 – Índice de suporte Califórnia (CBR)



Fonte: GEOFORT CONTROLE GEOTÉCNICO LTDA, 2017.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento das características do solo é de grande importância para a realização de obras de engenharia, permitindo a escolha dos melhores métodos construtivos para cada tipo de solo. Diversas são as características e os ensaios que podem ser realizados a fim de obter as propriedades do solo, dentre eles, o ensaio de compactação é de fundamental importância.

Esse trabalho teve como objetivo inicial a compreensão das implicações técnicas relacionadas às metodologias de compactação de solo enfatizando sua relevância para o campo da construção civil.

A pesquisa foi de grande sucesso uma vez que permitiu a análise da compactação sob diversos aspectos aceitando ainda o estudo aprofundado de alguns ensaios que puderam ser aplicados na averiguação das características reais de um determinado solo através de análises feitas em um estudo de caso.

As informações obtidas com o desenvolvimento do estudo de caso possibilitaram compreender o comportamento do solo, tornando possível o emprego de técnicas mais eficazes de compactação que permitam o melhor aproveitamento do solo.

É importante a realização de ensaios no solo porque não é possível prever o comportamento estrutural de um solo sem a realização dos mesmos, eles possibilitam a obtenção de informações como tipo de solo e o seu estado, fundamentais para o início de qualquer tipo de construção.

Como recomendações para trabalhos futuros podem ser abordados temas como o processo de compactação em diferentes situações, como aterros-barragens, aterros construídos em locais de passagem de curso d'água ou aterros próximos aos encontros de pontes seus processos de execução e os procedimentos a serem seguidos. Ainda podem ser estudados outros tipos de ensaios não mencionados nesse trabalho e outras propriedades do solo, além de obras onde o conhecimento das propriedades do solo tenha resultado na economia e sucesso do empreendimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afif. (s.d.). <http://www.afifservices-dz.com/>. Acesso em 10 de 10 de 2017, disponível em Afifservices: <http://www.afifservices-dz.com/>
- ANRO Impact Compaction. (s.d.). <http://www.anrocompaction.co.za>. Acesso em 11 de 10 de 2017, disponível em anrocompaction.co.za: <http://www.anrocompaction.co.za/threesided.html>
- ASAF. (2016). <http://www.asafareiaepedra.com.br>. Acesso em 05 de 04 de 2017, disponível em Asaf: <http://www.asafareiaepedra.com.br/areia-para-construcao-civil.html>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.
- _____. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.
- _____. **NBR 6508**: Grãos de Solos que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da Massa específica. Rio de Janeiro, 1984.
- _____. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.
- _____. **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.
- _____. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 1986.
- _____. **NBR 9895**: Solo – Índice de Suporte Califórnia. Rio de Janeiro, 1987.
- AVALLE, Derek. Impact rolling in the spectrum of compaction techniques and equipment. In: **AGS SA Chapter Earthworks Seminar, Adelaide (in print)**. 2004. AVALLE, D. (2004). Impact Rolling in the Spectrum of Compaction Techniques and Equipment.
- BALMACEDA, Alfredo Raúl; SOLÉ, Antonio Gens; GARCÍA-TORNEL, Alejandro Josa. **Suelos compactados: un estudio teórico y experimental**. 1991.
- BAPTISTA, Cyro de Freitas Nogueira. **Pavimentação**. Globo, 1976.
- BLIGHT, G. E. **Origin and formation of residual soils. Mechanics of Residual Soil**, p. 1-15, 1997.
- BRITO, A. **Compactação de Aterros de Barragens. Novas Metodologias de Controle**. 2006. Dissertação de Mestrado obtenção do grau de Mestre em (Geotecnia para Engenharia Civil) Universidade Técnica de Lisboa.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2005.
- CERNICA, J. N. **Geotechnical Engineering: Soil Mechanics**. New York: John Wiley and Sons, 1995.

CRISTELO, Nuno Miguel Cordeiro. **Estabilização de Solos Residuais Graníticos através das Adição de Cal**. 2001. 96f. Dissertação. (Escola de Engenharia) – Universidade do Minho, Portugal.

DNER, E. S. **313 (1997) Pavimentação–Concreto Betuminoso**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1997. Disponível em: < <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/metodo-de-ensaio-me>>. Acesso em: 07 de outubro de 2017.

DNER-ME **037 (1994) - Solo - determinação da massa específica, “in situ”, com emprego do óleo**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1997. Disponível em: < <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/metodo-de-ensaio-me>>. Acesso em: 07 de outubro de 2017.

DNER-ME **052 (1994). Solo e Agregados Miúdos – determinação da umidade com o emprego do “Speedy”**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1997.

DNER-ME **088 (1994) - Solos - determinação da umidade pelo método expedito do álcool**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1997. Disponível em: < <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/metodo-de-ensaio-me>>. Acesso em: 07 de outubro de 2017.

DNER-ME **092 (1994). Solo – determinação da massa específica aparente “in situ”, com emprego do frasco de areia**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1997. Disponível em: < <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/metodo-de-ensaio-me>>. Acesso em: 07 de outubro de 2017.

DNIT **113 (2009) -ME – Pavimentação rodoviária - Agregado artificial - Avaliação do potencial de expansão de escória de aciaria**. Departamento Nacional de Infraestrutura, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1997. Disponível em: < <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/metodo-de-ensaio-me>>. Acesso em: 09 de outubro de 2017.

DNIT. **Manual de Pavimentação**. Diretoria de Planejamento e Pesquisa, Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2006.

FERNANDES, M., 2004. **Mecânica dos Solos**. Vol. 1 (reimpressão de julho de 2004). Faculdade de Engenharia do Porto.

- Francisco, P. S. (2017). <http://www.portalsaofrancisco.com.br>. Acesso em 15 de 11 de 2017, disponível em Portal são franciso: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/meio-ambiente/tipos-de-solo>
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, v. 5, n. 61, p. 16-17, 2002.
- GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.
- HOLTZ, R. D., KOVACS, W. D. **An introduction to Geotechnical Engineering**. Washington D.C: Works Editions, 2001.
- KORMANN, Alessander C. Morales. **Ensaio de compactação e caracterização**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1997. 29 p. Disponível em: <<http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/e/e1/Apostila1.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2017
- KOSHIMA, A. et al. **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: Pini, 2008.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos metodologia científica**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- Madden, Joseph. (s.d.). <http://www.ecivilnet.com>. Acesso em 30 de 11 de 2017, disponível em ecivil: <http://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-rolo-compactador-liso.html>
- MASSAD, F. **Obras de Terra-Curso Básico de Geotécnica**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2003.
- Monteiro, A. (s.d.). <https://construcaodicas.wordpress.com>. Acesso em 25 de 11 de 2017, disponível em construçãodicas: <https://construcaodicas.wordpress.com/2014/03/27/maquinas-de-construcao-civil/>
- OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.
- PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**, 3. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2006.
- RIBEIRO, Simão Pedro Tavares et al. **Terraplenagem: metodologia e técnicas de compactação**. 2008.
- SENÇO, W. de. **Manual de técnicas de pavimentação**. Editora PINI, Vol. 1. 1997.
- SILVA, Ana Teresa Azevedo Ferreira da. **Controlo da compactação com recurso a gamadensímetro–Caso de estudo: ETAR de Castelo Branco**. 2013. Tese de Doutoramento. Instituto Politécnico do Porto. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- SOLO TESTE. (S.D.). <http://www.solotest.com.br>. Acesso em 05 de 10 de 2017, disponível em solotest: <http://www.solotest.com.br/novo/produtos/casagrande--apar-casagrande-manual-compl/1.040.001>

SOUZA, Murillo Lopes de. **Pavimentação Rodoviária**. 2.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1980.

Technologies, Hemera. (s.d.). *AbleStock.com*. Acesso em 02 de 12 de 2017, disponível em AbleStock.com


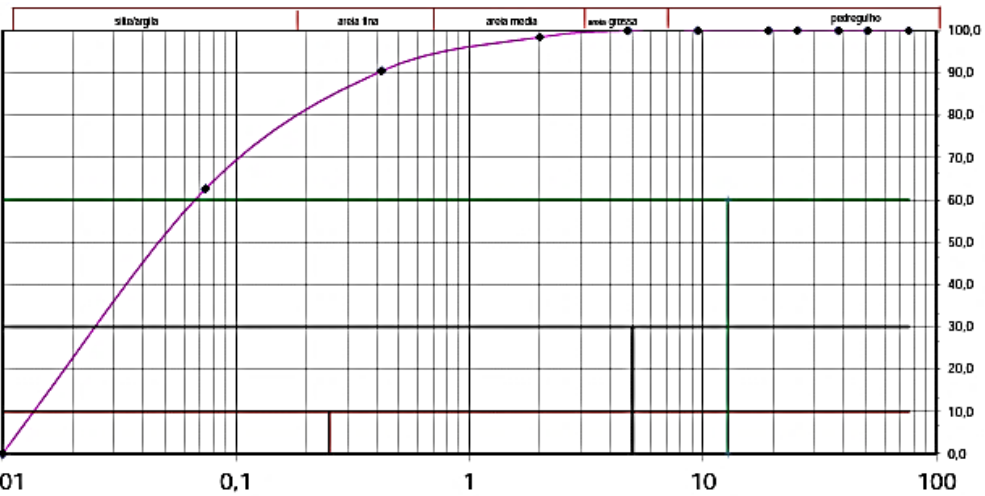

VARGAS, M. 1978, **Introdução à Mecânica dos Solos**. Editora McGRAW-HILL do Brasil LTDA.

VIEIRA, C. R. **Direção de Obra de Estradas**. Porto Portugal: FEUP Edições, 2004.


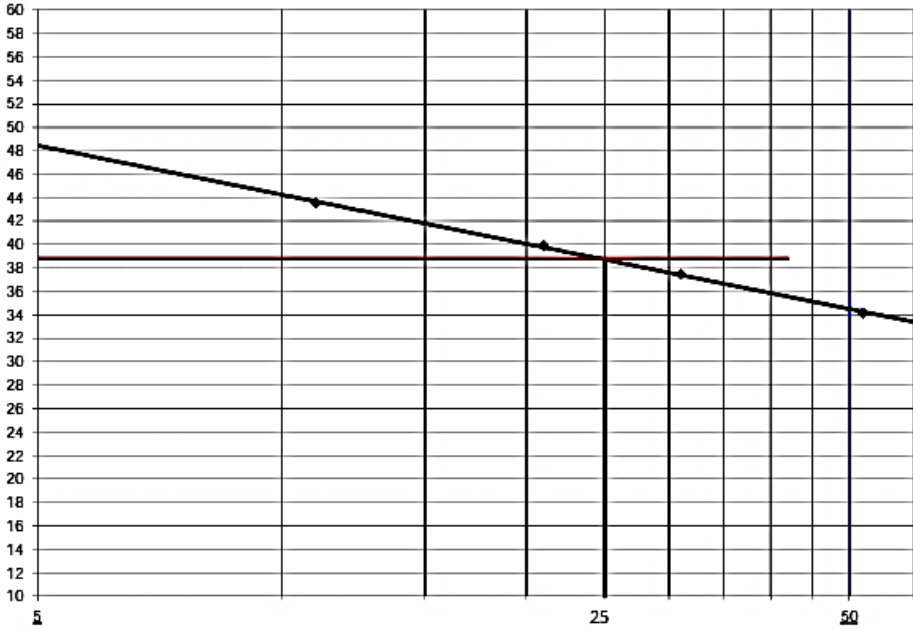
Volvo, Equipament Constrution. (s.d.). *http://www.roadexpertsla.com*. Acesso em 02 de 11 de 2017, disponível em roadexpertsla: <http://www.roadexpertsla.com/pt-br/equipamentos/compactadores/SD160>

WX, A. (2012). *http://www.arealbozza.com.br*. Acesso em 03 de 2017, disponível em areabooza: <http://www.arealbozza.com.br/produto/8/pedregulho-lavado>

ANEXO A – Ensaio de granulometria

		GEOFORT CONTROLE GEOTÉCNICO LTDA					
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO NBR - 7181							
CIDADE: anapolis		OBRA: 0		DATA: 02/11/2017			
MATERIAL: ARGILA ARENOSA VERMELHA		FURO: 0	PROF.: 0	ESTUDO: SUBLEITO	OPERADOR: ERCLEY		
AMOSTRA < No. 10 RECIP. No.	AMOSTRA TOTAL SECA (g): 972,0	UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO		
	AMOSTRA TOTAL ÚMIDA 1000,0	CÁPSULA NÚM.	188	184	PIEDREC. ACIMA 4,8 mm 0,0		
	REÍTIDO PEN. N. 10 (g) 15,1	C + S + A	104,01	103,35	AREIA GROSS. 4,8 - 20 mm 1,6		
	PASSANDO PEN. N. 10 ÚMIDA (g) 984,9	C + S	101,34	101,02	AREIA MÉDIA 2,00 - 0,42 mm 8,0		
	PESO DA ÁGUA 27,6	A - ÁGUA	2,67	2,33	AREIA FINA No. 0,42 - 0,075 mm 27,8		
	PASSANDO PEN. N. 10 (g) SECA 957,3	C - CÁPSULA	14,77	14,21	PASSANDO No. 0,075 mm 62,7		
	AMOSTRA TOTAL SECA 972,4	S - SOLO	86,57	86,81	REÍTIDO No. 200 - 0,075 mm 35,8		
RETIDO No. 10 RECIP. No.	AMOSTRA MENOR N. 10 ÚMIDA 100,0	UMIDADE	3,08	2,68	TOTAL 100,0		
	AMOSTRA MENOR N. 10 SECA 97,2	UMIDADE MÉDIA	2,88				
		FATOR CORREÇÃO	0,972				
PENEIRAMENTO GROSSO MATERIAL RETIDO							
PENEIRAS POL.	PESO g	% DA AMOSTRA MENOR No. 10	% AMOSTRA TOTAL	% ACUMULADA	% QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL	PENEIRAS mm	
3"	0,0		0,00	0,00	100,0	76,2	
2"	0,0		0,00	0,00	100,0	50,8	
1 1/2"	0,0		0,00	0,00	100,0	38,1	
1"	0,0		0,00	0,00	100,0	25,4	
3/4"	0,0		0,00	0,00	100,0	19,1	
1/2"	0,00					12,7	
3/8"	0,00		0,00	0,00	100,0	9,52	
4	0,00		0,00	0,00	100,0	4,76	
10	15,11		1,6	1,6	98,4	2,00	
PENEIRAMENTO FINO MATERIAL RETIDO							
	40	7,88	8,1	8,0	9,5	90,5	0,42
	200	27,46	28,3	27,8	37,3	62,7	0,075
	Fundo	61,9	63,64	62,65	100,00	0,0	0,0
DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA							
Granulometria de Solos							
							
							
				D10: 0,25			
				D30: 5			
				D60: 12,8			
LABORATORISTA		ENCARREGADO LABORATÓRIO		ENG. CIVIL			

ANEXO B – Ensaios de liquidez e plasticidade

						GEOFORT CONTROLE GEOTECNICO LTDA.				
CIDADE:		OBRA:				DATA:				
anapolis		0				03/11/2017				
MATERIAL:						EST.OU JAZ.C/ LOCAL:		PISTA:		PROFUNDIDADE:
ARGILA ARENOSA VERMELHA										0,00
ESTUDO:			SUB-TRECHO:			OPERADOR:				
SUBLEITO						BENVINDO				
NBR - 6459						NBR - 7180				
LIMITE DE LIQUIDEZ						LIMITE DE PLÁSTICIDADE				
CÁPSULA Nº	199	180	188	184	186	196	194	195	181	200
C + S + A g	21,24	21,57	21,49	21,34	21,88	9,47	9,62	9,65	9,68	9,63
C + SOLO g	17,62	17,89	17,63	17,32	17,42	9,00	9,16	9,15	9,18	9,14
CÁPSULA g	7,02	7,18	7,33	7,25	7,18	7,05	7,31	7,18	7,20	7,16
ÁGUA g	3,62	3,68	3,86	4,02	4,46	0,47	0,46	0,50	0,50	0,49
SOLO g	10,60	10,71	10,30	10,07	10,24	1,95	1,85	1,97	1,98	1,98
UMIDADE %	34,2	34,4	37,5	39,9	43,6	24,1	24,9	25,4	25,3	24,7
GOLPES	52	42	31	21	11	Umidade Média (LP) =				24,87
ÍNDICE DE PLASTICIDADE										
LIMITE DE LIQUIDEZ (LL)						38,8				
LIMITE DE PLASTICIDADE (LP)						24,9				
ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP = LL - LP)						13,9				
ÍNDICE DE GRUPO - IG						7				
CLASSIFICAÇÃO HRB						A-6				
CLASSIFICAÇÃO SUCS						CL				
GRÁFICO LIMITE DE LIQUIDEZ										
										
LABORATORISTA			ENCARREGADO LABORATÓRIO			ENG. CIVIL				

ANEXO C – Ensaios de expansão e Índice Suporte Califórnia



GEOFORT CONTROLE GEOTÉCNICO
LTDA

CIDADE: anapolis
CEP: 0

NBR - 9895

FUNDO: 0

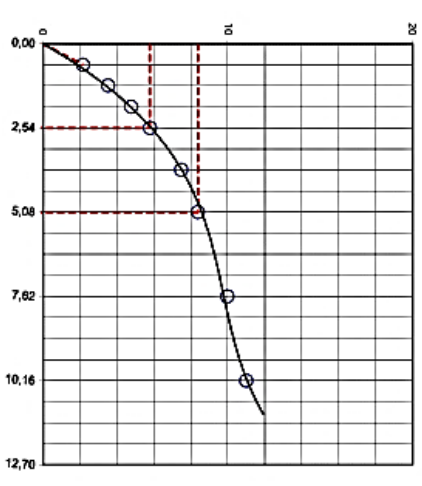
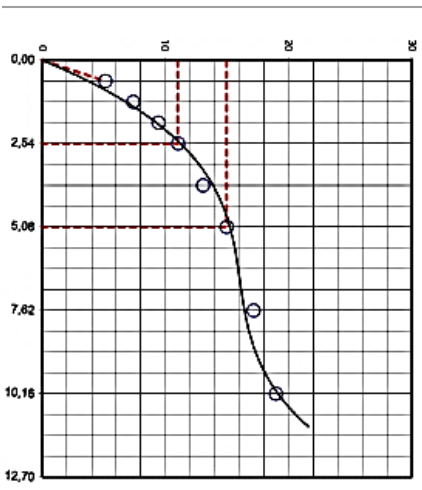
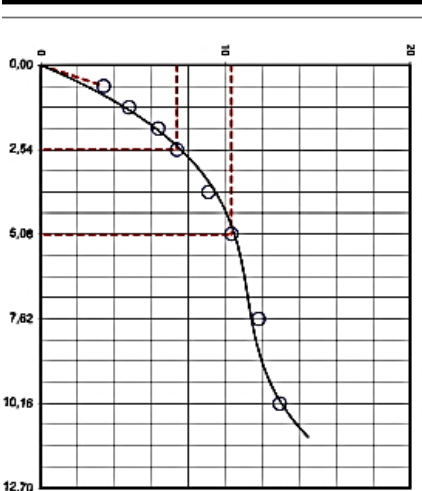
DATA: 06/11/17
PROF.: 0
Consumo (CBR): 0,1134

ENSAIO DE EXPANSÃO

Data	Hora	Molde nº 70			Molde nº 154			Molde nº 150			Molde nº 199			Molde nº 217		
		Leitura	Diferença	%	Leitura	Diferença	%	Leitura	Diferença	%	Leitura	Diferença	%	Leitura	Diferença	%
02/11/2017	10:00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00
03/11/2017	10:00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00
04/11/2017	10:00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00
05/11/2017	10:00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00
06/11/2017	10:00	5,23	0,23	0,20	5,18	0,16	0,14	5,10	0,10	0,09	5,10	0,10	5,10	0,10	0,09	0,09
Altura em mm		114	114		114		114		114		114		114		114	

ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA

Data	06/11/17	Pressão Penet. Kilgf/cm ²	Tempo minuto	Molde nº 70			Molde nº 154			Molde nº 150			Molde nº 199			Molde nº 217		
				Leitura Extens. Kilgf/cm	calculada Kilgf/cm	ISC %	Leitura Extens. Kilgf/cm	calculada Kilgf/cm	ISC %	Leitura Extens. Kilgf/cm	calculada Kilgf/cm	ISC %	Leitura Extens. Kilgf/cm	calculada Kilgf/cm	ISC %	Leitura Extens. Kilgf/cm	calculada Kilgf/cm	ISC %
-	-	0,63	0,5	30	3,4	45	5,1	19	2,2	31	3,5	42	4,8	51	5,8	5,8	8,2	
-	-	1,27	1,0	42	4,8	65	7,4	42	4,8	51	5,8	5,8	5,8	8,2	8,2	8,2	8,2	
-	-	1,90	1,5	56	6,4	83	9,4	42	4,8	51	5,8	5,8	5,8	8,2	8,2	8,2	8,2	
-	-	2,54	2,0	65	7,4	97	11,0	42	4,8	51	5,8	5,8	5,8	8,2	8,2	8,2	8,2	
-	-	3,81	3,0	80	9,1	115	13,0	42	4,8	51	5,8	5,8	5,8	8,2	8,2	8,2	8,2	
-	-	5,08	4,0	91	10,3	132	15,0	42	4,8	51	5,8	5,8	5,8	8,2	8,2	8,2	8,2	
-	-	7,62	6,0	104	11,8	151	17,1	42	4,8	51	5,8	5,8	5,8	8,2	8,2	8,2	8,2	
-	-	10,16	8,0	114	12,9	167	18,9	42	4,8	51	5,8	5,8	5,8	8,2	8,2	8,2	8,2	
-	-	12,70	10,0	114	10,0	189	20,0	42	4,8	51	5,8	5,8	5,8	8,2	8,2	8,2	8,2	
ISC(CBR)				10,5		15,5		8,2		11,0		11,0		11,0		11,0		



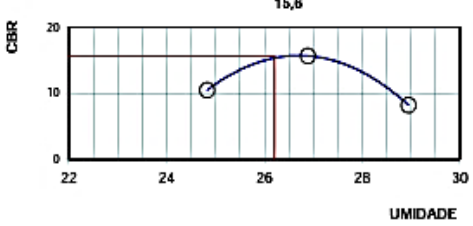
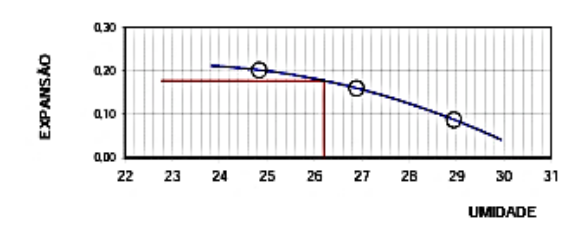


LABORATORISTA

ENCARREGADO LABORATÓRIO

ENG. CIVIL

ANEXO D – Ensaio de compactação

		GEOFORT CONTROLE GEOTÉCNICO LTDA							
SERVIÇOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO COMPACTAÇÃO NBR - 7182						REG. N.º:			
CIDADE:	OBRA:				DATA:				
anapolis					02/11/17				
MATERIAL:	ESTACA:	FURO:	PROF.º:		ESTUDO:				
ARGILA ARENOSA VERMELHA					SUBLEITO				
% MAT. RET. # N.º 4	PROCTOR	N.A.	GOLPES:	CALCULADOR:	OPERADOR:				
0,0	INTERMEDIARIO	-	26	Leandro	JAILTON				
UMIDADE						UMIDADE HIGROSCÓPICA			
CÁPSULA N.º					188	184			
C + S + A (g)					104,01	103,35			
C + S (g)					101,34	101,02			
A - ÁGUA (g)					2,67	2,33			
C - CÁPSULA (g)					14,77	14,21			
S - SOLO (g)					86,57	86,81			
UMIDADE - H (%)					3,1	2,7			
UMI. MEDIA (%)					2,88				
COMPACTAÇÃO									
ÁGUA ADICION. (g)	1160	1280	1400	1520	1640	PESO MATERIAL			
% ÁGUA ADICION.	19,3	21,3	23,3	25,3	27,3	6000			
UMIDADE ADICION. %	19,9	21,9	24,0	26,1	28,1	PESO MAT. SECO			
UMIDADE COMPACTAÇÃO %	22,8	24,8	26,9	28,9	31,0	5832			
N.º DO MOLDE	70	154	150	199	217	CILINDROS			
M + S + A (g)	8.526	8.386	8.500	7.926	7.598	N.º	PESO	VOLUME	
M - MOLDE (g)	4.896	4.590	4.354	4.184	3.666	70	4896	2072	
S + A (g)	3.630	3.796	4.146	3.742	3.932	154	4590	2051	
DENS. ÚMIDA kg/m³	1,752	1,850	1,905	1,822	1,781	150	4354	2176	
DENS. CONVERT. kg/m³	1,468	1,525	1,545	1,454	1,399	199	4184	2053	
DENS. SECA kg/m³	1,427	1,482	1,502	1,413	1,359	217	3666	2208	
DENS. MÁXIMA kg/m³ = 1507		h. ótima % = 26,2		I.S.C % = 15,6		EXP. % = 0,18			
									
									
LABORATORISTA			ENCARREGADO LABORATÓRIO			ENG. CIVIL			

ANEXO E – Cálculo da Umidade Higroscópica, Limite de Plasticidade, Limite de Liquidez e Índice de plasticidade

- Umidade Higroscópica

$$h = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \times 100$$

UMIDADE			UMIDADE HIGROSCÓPICA	
CÁPSULA	Nº		188	184
C + S + A	(g)	M1	104,01	103,35
C + S	(g)	M2	101,34	101,02
A - ÁGUA	(g)		2,67	2,33
C - CÁPSULA	(g)	M3	14,77	14,21
S - SOLO	(g)		86,57	86,81
UMIDADE - II	(%)		3,1	2,7
UMI. MÉDIA	(%)		2,88	

$$h = \frac{104,01 - 101,34}{101,34 - 14,77} \times 100$$

$$h = 3,08 \quad h \cong 3,1$$

$$h = \frac{103,35 - 101,02}{101,02 - 14,21} \times 100$$

$$h \cong 2,7$$

$$\text{Umi. Média (\%)} = \frac{3,1 + 2,7}{2}$$

$$h = 2,88\%$$

- Limite de Plasticidade

$$LP = \frac{\sum hi}{i}$$

CÁPSULA Nº	199	180	188	184	186	196	194	195	181	200
C + S + A g	21,24	21,57	21,49	21,34	21,88	9,47	9,62	9,65	9,68	9,63
C + SOLO g	17,62	17,89	17,63	17,32	17,42	9,00	9,16	9,15	9,18	9,14
CÁPSULA g	7,02	7,18	7,33	7,25	7,18	7,05	7,31	7,18	7,20	7,16
ÁGUA g	3,62	3,68	3,86	4,02	4,46	0,47	0,46	0,50	0,50	0,49
SOLO g	10,60	10,71	10,30	10,07	10,24	1,95	1,85	1,97	1,98	1,98
UMIDADE %	34,2	34,4	37,5	39,9	43,6	24,1	24,9	25,4	25,3	24,7
GOLPES	52	42	31	21	11	Umidade Média (LP) =				24,87
ÍNDICE DE PLASTICIDADE										
LIMITE DE LIQUIDEZ (LL)										38,8
LIMITE DE PLASTICIDADE (LP)										24,9
ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP = LL - LP)										13,9
ÍNDICE DE GRUPO - IG										7
CLASSIFICAÇÃO HRB										A-6
CLASSIFICAÇÃO SUCS										CL

$$LP = \frac{24,1 + 24,9 + 25,4 + 25,3 + 24,7}{5}$$

$$LP = 24,9$$

- Limite de Liquidez

O LL é o teor equivalente a 25 golpes.

$$LL = \frac{37,1 + 39,9}{2}$$

$$LL = 38,8$$

- Índice de Plasticidade

$$IP = LL - LP$$

$$IP = 38,8 - 24,9$$

$$IP = 13,9$$

ANEXO F – Análise Granulométrica classificação de solos: Sugestão do Highway Research Board-HRB adotada pela AASHTO

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 / A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Peneiração: % que passa: Nº 10 Nº 40 Nº 200 (p)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40 Limite de Liquidez - LL (%) Índice de Plasticidade IP (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Grupo	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

Fonte: Milton Vargas, 1978.

SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO UNIFICADA (USC / ASTM)								
Tipo de Material	Granulometria			Plasticidade		Classificação		
	P ₂₀₀ (%)	P ₄ (%)	Cc, Cu	IP	LL			
Grosso	≤ 5	$(100 - P_4) > (P_4 - P_{200}) : G$ $(100 - P_4) < (P_4 - P_{200}) : S$	$1 \leq Cc \leq 3$ e $Cu > 4$ (para G) $Cu > 6$ (para S)	$7 < IP > 0,73(LL - 20) : C$ $IP \leq 0,73 (LL - 20)$ ou $IP \leq 7$		GW GP SW SP		
	$5 < P_{200} \leq 12$					W Fora destas faixas: P	$7 < IP > 0,73(LL - 20) : C$ $IP \leq 0,73 (LL - 20)$ ou $IP \leq 7$	GW - GC GW - GM GP - GC GP - GM SW - SC SW - SM SP - SC SP - SM
	$12 < P_{200} \leq 50$							GC GM SC SM
Fino	> 50		$7 < IP > 0,73(LL - 20) : C$ $IP \leq 0,73 (LL - 20)$ ou $IP \leq 4$	$> 50 : H$ $\leq 50 : L$	CH MH ou OH CL ML ou OL CL - ML			
Turfoso	Caracterizado pela cor e odor típicos, partículas fibrosas, fofo, altamente compressível, muito leve e inflamável quando seco, não-plástico. Teste de perda ao fogo (rubro). Limites de consistência antes e depois da secagem. Segundo a NBR 6502, "são solos com grande porcentagem de partículas fibrosas de material carbonoso ao lado de matéria orgânica no estado coloidal".					Pt		

Fonte: Milton Vargas, 1978.

ANEXO G - Cálculos de granulometria

- Peneiramento fino

AMOSTRA < No. 10 RECIP. No.		AMOSTRA TOTAL SÉCA (g):	UMIDADE HIGROSCÓPICA			RESUMO	
		AMOSTRA TOTAL ÚMIDA	CÁPSULA NÚM.		PEDREG. ACIMA 4,8 mm		
		1000,0	188	184	0,0		
		RÉTIDO PEN. N. 10 (g)	C + S + A		AREIA GROS.: 4,8 - 2,0 mm		
		15,1	104,01	103,35	1,6		
		PASSANDO PEN. N.10 ÚMIDA (g)	C + S		AREIA MÉDIA: 2,00 - 0,42 mm		
		984,9	101,34	101,02	8,0		
		PESO DA ÁGUA	A - ÁGUA		AREIA FINA: No. 0,42 - 0,074 mm		
		27,6	2,67	2,33	27,8		
		PASSANDO PEN. N.10 (g) SECA	C - CÁPSULA		PASSANDO No. 0,074 mm		
		957,3	14,77	14,21	62,7		
		AMOSTRA TOTAL SECA	S - SOLO		RETIDO: No. 2,00 - 0,074 mm		
		972,4	86,57	86,81	35,8		
RETIDO No. 10		AMOSTRA MENOR N. 10 ÚMIDA	UMIDADE		TOTAL		
RECIP. No.		100,0	3,08	2,68	100,0		
		AMOSTRA MENOR N. 10 SECA	UMIDADE MÉDIA				
		97,2	2,88				
			FATOR CORREÇÃO				
			0,972				
PENEIRAMENTO GROSSO MATERIAL RETIDO							
PENEIRAS POL.	PESO g	% DA AMOSTRA MENOR No. 10	% AMOSTRA TOTAL	% ACUMULADA	% QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL	PENEIRAS mm	
3"	0,0		0,00	0,00	100,0	76,2	
2"	0,0		0,00	0,00	100,0	50,8	
1 1/2"	0,0		0,00	0,00	100,0	38,1	
1"	0,0		0,00	0,00	100,0	25,4	
3/4"	0,0		0,00	0,00	100,0	19,1	
1/2"	0,00					12,7	
3/8"	0,00		0,00	0,00	100,0	9,52	
4	0,00		0,00	0,00	100,0	4,76	
10	15,11		1,6	1,6	98,4	2,00	
PENEIRAMENTO FINO MATERIAL RETIDO							
40	7,88	8,1	8,0	9,5	90,5	0,42	
200	27,46	28,3	27,8	37,3	62,7	0,074	
Fundo	61,9	63,64	62,65	100,00	0,0	0,0	

- #0,42mm

$$Q_f = \frac{(M_h \times 100 - M_i \times (100 + h_{hig}))}{(M_h \times 100)} \times N$$

$$Q_f = \frac{(100 \times 100 - 7,88 \times (100 + 2,88))}{(100 \times 100)} \times 98,4$$

$$Q_f = 90,5$$

- #0,074mm

$$Q_f = \frac{(100 \times 100 - 35,8 \times (100 + 2,88))}{(100 \times 100)} \times 98,4$$

$$Q_f = 62,7$$

ANEXO H – Cálculos do ensaio de compactação

Ensaio de Proctor

- Molde nº70

$$\gamma_s = \frac{P_h \times 100}{V(100 + h)}$$

$$\gamma_s = \frac{3630 \times 100}{2072(100 + 22,8)}$$

$$\gamma_s = 1,4266$$

- Molde nº199

$$\gamma_s = \frac{P_h \times 100}{V(100 + h)}$$

$$\gamma_s = \frac{3742 \times 100}{2053(100 + 28,9)}$$

$$\gamma_s = 1,413$$

- Molde nº154

$$\gamma_s = \frac{P_h \times 100}{V(100 + h)}$$

$$\gamma_s = \frac{3796 \times 100}{2051(100 + 24,8)}$$

$$\gamma_s = 1,482$$

- Molde nº217

$$\gamma_s = \frac{P_h \times 100}{V(100 + h)}$$

$$\gamma_s = \frac{3932 \times 100}{2208(100 + 31)}$$

$$\gamma_s = 1,482$$

- Molde nº150

$$\gamma_s = \frac{P_h \times 100}{V(100 + h)}$$

$$\gamma_s = \frac{4146 \times 100}{2176(100 + 25,9)}$$

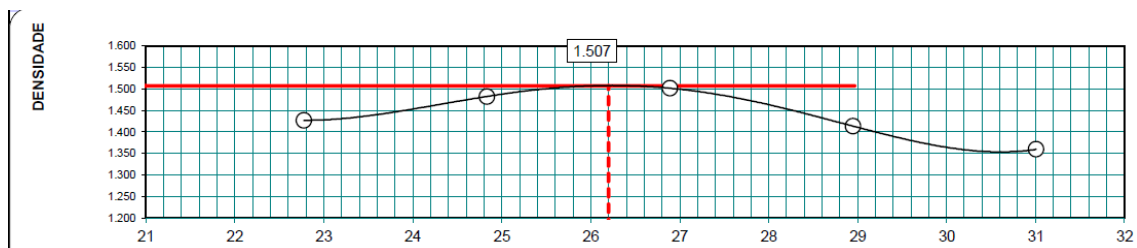
$$\gamma_s = 1,502$$

COMPACTAÇÃO									
ÁGUA ADICION. (g)	1160	1280	1400	1520	1640		PESO MATERIAL		
% ÁGUA ADICION.	19,3	21,3	23,3	25,3	27,3		6000		
UMIDADE ADICION. %	19,9	21,9	24,0	26,1	28,1		PESO MAT. SECO		
UMIDADE COMPACTAÇÃO %	22,8	24,8	26,9	28,9	31,0		5832		
Nº DO MOLDE	70	154	150	199	217		CILINDROS		
M + S + A (g)	8.526	8.386	8.500	7.926	7.598		Nº	PESO	VOLUME
M - MOLDE (g)	4.896	4.590	4.354	4.184	3.666		70	4896	2072
S + A (g)	3.630	3.796	4.146	3.742	3.932		154	4590	2051
DENS. ÚMIDA kg/m³	1,752	1,850	1,905	1,822	1,781		150	4354	2176
DENS. CONVERT. kg/m³	1,468	1,525	1,545	1,454	1,399		199	4184	2053
DENS. SECA kg/m³	1,427	1,482	1,502	1,413	1,359		217	3666	2208
DENS. MÁXIMA kg/m³ =	1507	h. ótima % =	26,2	I.S.C % =	15,6		EXP. % =	0,18	

ANEXO I – Determinação da densidade máxima e da umidade ótima

Plota-se os dados do ensaio de compactação e ajusta-se uma curva, o ponto máximo corresponderá a densidade máxima γ_s máx e a umidade correspondente a esse valor será a umidade ótima.

COMPACTAÇÃO								
ÁGUA ADICION. (g)	1160	1280	1400	1520	1640	PESO MATERIAL		
% ÁGUA ADICION.	19,3	21,3	23,3	25,3	27,3	6000		
UMIDADE ADICION. %	19,9	21,9	24,0	26,1	28,1	PESO MAT. SECO		
UMIDADE COMPACTAÇÃO %	22,8	24,8	26,9	28,9	31,0	5832		
Nº DO MOLDE	70	154	150	199	217	CILINDROS		
M + S + A (g)	8.526	8.386	8.500	7.926	7.598	Nº	PESO	VOLUME
M - MOLDE (g)	4.896	4.590	4.354	4.184	3.666	70	4896	2072
S + A (g)	3.630	3.796	4.146	3.742	3.932	154	4590	2051
DENS. ÚMIDA kg/m ³	1,752	1,850	1,905	1,822	1,781	150	4354	2176
DENS. CONVERT. kg/m ³	1,468	1,525	1,545	1,454	1,399	199	4184	2053
DENS. SECA kg/m ³	1,427	1,482	1,502	1,413	1,359	217	3666	2208
DENS. MÁXIMA kg/m ³ =	1,507	h. ótima % =	26,2	I.S.C % =	15,6	EXP. % =	0,18	



ANEXO J – Determinação do índice de suporte Califórnia e da expansão do solo

- C.B.R

ÍNDICE SUPORTE CALIFORNIA																														
Data	Moide nº 70			Moide nº 154				Moide nº 150				Moide nº 199				Moide nº 217														
Pressão Padrão Kgf/cm ²	Penet. mm	Tempo minuto	Leitura Extens.	Pressão calculada Kgf/cm ²	Pressão corrigida Kgf/cm ²	ISC %	Leitura Extens.	Pressão calculada Kgf/cm ²	Pressão corrigida Kgf/cm ²	ISC %	Leitura Extens.	Pressão calculada Kgf/cm ²	Pressão corrigida Kgf/cm ²	ISC %	Leitura Extens.	Pressão calculada Kgf/cm ²	Pressão corrigida Kgf/cm ²	ISC %												
-	0,63	0,5					30	3,4			45	5,1			19	2,2														
-	1,27	1,0					42	4,8			65	7,4			31	3,5														
-	1,90	1,5					56	6,4			83	9,4			42	4,8														
70,31	2,54	2,0					65	7,4	7,4	10,5	97	11,0	11,0	15,6	51	5,8	5,8	8,2												
-	3,81	3,0					80	9,1			115	13,0			66	7,5														
106,46	5,08	4,0					91	10,3	10,3	9,8	132	15,0	15,0	14,2	74	8,4	8,4	8,0												
131,58	7,62	6,0					104	11,8			151	17,1			88	10,0														
161,71	10,16	8,0					114	12,9			167	18,9			97	11,0														
192,8	12,70	10,0						0,0				0,0				0,0														
I.S.C.(C.B.R)			I.S.C.(C.B.R)				10,5				I.S.C.(C.B.R)				15,6				I.S.C.(C.B.R)				8,2				I.S.C.(C.B.R)			

6,9- Pressão padrão para penetração de 2,54 mm

10,35 - Pressão padrão para penetração de 5,08 mm

$$I.S.C = \frac{\text{pressão corrigida}}{\text{pressão padrão}} \times 100$$

$$I.S.C = \frac{7,4}{6,9} \times 100 \quad I.S.C = 10,5 \quad I.S.C = \frac{10,3}{10,35} \times 100 \quad I.S.C = 9,8$$

$$I.S.C = \frac{11}{6,9} \times 100 \quad I.S.C = 15,6 \quad I.S.C = \frac{15}{10,35} \times 100 \quad I.S.C = 14,2$$

$$I.S.C = \frac{5,8}{6,9} \times 100 \quad I.S.C = 8,2 \quad I.S.C = \frac{8,4}{10,35} \times 100 \quad I.S.C = 8,0$$

- Expansão

ENSAIO DE EXPANSÃO																
Data		Moide nº 70			Moide nº 154			Moide nº 150			Moide nº 199			Moide nº 217		
Hora	Leitura	Diferença	%	Leitura	Diferença	%	Leitura	Diferença	%	Leitura	Diferença	%	Leitura	Diferença	%	
02/11/2017	10:00			5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	
03/11/2017	10:00			5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	
04/11/2017	10:00			5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	
05/11/2017	10:00			5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	
06/11/2017	10:00			5,23	0,23	0,20	5,16	0,16	0,14	5,10	0,10	0,09				
		Altura em mm 114			Altura em mm 114			Altura em mm 114			Altura em mm 114			Altura em mm 114		

$$\text{Expansão}(\%) = \frac{\text{leitura final} - \text{leitura inicial}}{\text{altura inicial}} \times 100$$

$$\text{Expansão}(\%) = \frac{5,23 - 5}{114} \times 100 \quad \text{Expansão}(\%) = 0,23\%$$

$$\text{Expansão}(\%) = \frac{5,16 - 5}{114} \times 100 \quad \text{Expansão}(\%) = 0,14\%$$

$$\text{Expansão}(\%) = \frac{5,1 - 5}{114} \times 100 \quad \text{Expansão}(\%) = 0,09\%$$