

CENTRO UNIVERSITÁRIO ATENAS

GABRIELLA KENYA DANTAS SANTOS

**A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DO SOLO PARA
PAVIMENTAÇÃO:** ensaios de caracterização e compactação
do solo para pavimentos

Paracatu

2019

GABRIELLA KENYA DANTAS SANTOS

A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DO SOLO PARA PAVIMENTAÇÃO: ensaios de
caracterização e compactação do solo para pavimentos

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Pavimentação

Orientador: Prof. Matheus Dias Ruas.

Paracatu

2019

GABRIELLA KENYA DANTAS SANTOS

A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DO SOLO PARA PAVIMENTAÇÃO: ensaios de caracterização e compactação do solo para pavimentos

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Pavimentação

Orientador: Prof. Matheus Dias Ruas.

Banca Examinadora:

Paracatu – MG, 14 de novembro de 2019.

Prof. Matheus Dias Ruas
Centro Universitário Atenas

Prof^a. Msc. Hellen Conceição Cardoso Soares
Centro Universitário Atenas

Prof^a. Ellen Mayara Santos Cardoso
Centro Universitário Atenas

Dedico este trabalho aos meus pais, por todo amor, carinho e apoio, que foram essenciais em minha vida e por sempre acreditarem em mim. Tudo que sou hoje devo a vocês, fundamentais em minha vida. À minha mãe que em todos os momentos esteve ao meu lado, especialmente nos momentos mais difíceis, esteve me apoiando. Obrigada a vocês, que me ensinaram a me dedicar a tudo que eu queria, nunca me esquecendo da humildade e principalmente, de ter fé. Muito obrigada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder o dom da vida, e por estar sempre ao meu lado, me dando forças para prosseguir nessa jornada.

Agradeço aos meus pais, por estarem sempre comigo, nos momentos de alegria, nos momentos difíceis, e por sempre me apoiar e incentivar para a realização dos meus sonhos.

Agradeço aos meus irmãos por estarem comigo, me apoiando, me dando o auxílio necessário quando necessitava.

Agradeço a minha família, avós, tios e tias, que me ajudaram durante toda minha vida, pelo amor e carinho sempre tão presente.

Agradeço aos meus amigos, por estarem sempre do meu lado, por me incentivar e apoiar em todos os momentos da minha vida.

Agradeço aos amigos que fiz ao longo dessa jornada acadêmica, pelo apoio, pela ajuda, por sempre dividirmos risos e lágrimas. Obrigada por esta amizade tão sincera, e que pretendo levar por toda vida.

Agradeço aos professores, que foram além de professores, nos tornamos amigos, e nos incentivaram ao crescimento pessoal e profissional.

Agradeço ao meu professor orientador Matheus Dias Ruas pelos ensinamentos por toda essa caminhada, pelas orientações para que pudesse realizar este trabalho com excelência.

Deixo aqui a vocês minha eterna gratidão por fazerem parte desta grande conquista.

“Há uma força motriz
mais poderosa que o vapor, a
eletricidade e a energia atômica: a
vontade.”

(ALBERT EINSTEIN)

RESUMO

No presente trabalho, foi feita uma breve explicação sobre os ensaios de caracterização e compactação do solo necessários para um correto diagnóstico do potencial de aplicação voltado para a engenharia civil, visto sua importância para identificação do solo a ser utilizado como parte fundamental para sustentação da pavimentação para recebimento e distribuição das cargas recebidas no pavimento. Em seguida, foram coletados os parâmetros que são obtidos através de cada ensaio. Posteriormente, foi explicado a importância da correta execução do passo a passo dos ensaios, e descrito a execução de cada um. Por fim, relata-se a necessidade do estudo do solo através dos ensaios supracitados, para que haja uma adequada pavimentação.

Palavras chave: Análise. Normas Técnicas. Pavimento. Caracterização.

ABSTRACT

In the present work, a brief explanation was made on the characterization and compaction tests of the soil necessary for a correct diagnosis of the application potential focused on civil engineering, since its importance for soil identification to be used as a fundamental part for paving support for receiving and distributing the loads received on the pavement. Then, the parameters that are obtained through each assay were collected. Subsequently, the importance of the correct execution of the step-by-step of the tests was explained, and the execution of each one was described. Finally, the need for soil study is reported through the aforementioned tests, so that there is adequate paving.

Keywords: *Analyze. Technical Standards. Pavement. Description.*

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: PARÂMETROS OBTIDOS NOS ENSAIOS

19

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS- ABNT NBR 6457 (1986)	20
FIGURA 2- LIMITE DE PLASTICIDADE- ABNT NBR 7180 (1984)	21
FIGURA 3- LIMITE DE LIQUIDEZ – ABNT NBR 6459 (1984)	21
FIGURA 4- MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS – ABNT NBR 6508 (1984)	22
FIGURA 5- ANÁLISE GRANULOMÉTRICA – ABNT NBR 7181 (1984)	22
FIGURA 6- ENSAIO DE COMPACTAÇÃO – ABNT NBR 7182 (1986)	23
FIGURA 7- ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA - ABNT NBR 9895 (1987)	24

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA	11
1.2 HIPÓTESE	12
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 OBJETIVO GERAL	12
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.4 JUSTIFICATIVA	12
1.5 METODOLOGIA	13
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2. ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	15
2.1. PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS PARA ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO	15
2.2. DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE	15
2.3. DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ	16
2.4. DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS	16
2.5. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	16
2.6. ENSAIO DE COMPACTAÇÃO	17
2.7. ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA	17
3. PARÂMETROS OBTIDOS NOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS	18
4 EXECUÇÃO DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS	20
4.1 ENSAIO DE PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	20
4.2 ENSAIO DE LIMITE DE PLASTICIDADE	21
4.3 ENSAIO DE LIMITE DE LIQUIDEZ	21
4.4 ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS	22
4.5 ENSAIO DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	23
4.6 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO	24
4.7 ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA	25
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
REFERÊNCIAS	29
ANEXO	31

1 INTRODUÇÃO

O estudo do solo é de extrema importância para qualquer obra de construção civil, principalmente para a pavimentação. Uma rodovia, por exemplo, é submetida a muitas cargas, sendo elas móveis e fixas. As camadas da pavimentação, (revestimento, base, sub-base, reforço do subleito) recebem as cargas e as distribui no solo.

A pavimentação em qualquer obra, ou obras de terra, exigem a devida caracterização do solo e a compactação do mesmo, para que seja feito da forma mais segura e competente, evitando gastos maiores com grandes reparos nas obras realizadas. Sendo o solo o suporte das obras, sua caracterização é de suma importância para a obra. O estudo do solo através de ensaios geotécnicos, traz a futura construção, uma melhor análise do solo e qual será seu comportamento diante das ações que ocorrerão a partir do início da construção.

Em sequência aos estudos do solo que será utilizado, é necessária a compactação do solo, para que haja uma regularização do mesmo. Segundo Caputo, pode-se compreender compactação de um determinado solo, como o procedimento manual ou mecânico que tem como objetivo a redução do volume de seus vazios e, conseqüentemente, o aumento de sua resistência, trazendo mais estabilidade ao solo, e posteriormente será feito o processo de pavimentação das vias.

Para a compactação, são necessários ensaios de prospecção do solo para que seja feita a correta análise de parâmetros e haja a correta compactação do solo para a estabilidade da pavimentação.

O presente trabalho busca mostrar a relevância desses ensaios de caracterização do solo.

1.1 PROBLEMA

O ensaio de prospecção de solo é requisito prévio para o projeto de qualquer obra, sobretudo as de grande porte (obras de arte, edifícios, cortes, aterros, entre outros). O conhecimento das características das camadas de solo, da presença e posicionamento do lençol freático, são fatores fundamentais para uma correta execução de uma edificação.

No âmbito da pavimentação, quais os parâmetros necessários para se extrair do solo e a relevância da obtenção de tais informações?

1.2 HIPÓTESE

A hipótese que poderá ocorrer é a relevância da obtenção destas informações é alta, pois o controle tecnológico do solo para a pavimentação é essencial para a definição de materiais e compactação adequada do subleito.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Proporcionar o conhecimento acerca da importância do estudo do solo e análises laboratoriais para obras de pavimentação.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar os ensaios necessários para a realização da caracterização do solo;
2. Descrever os parâmetros importantes a serem obtidos nos ensaios laboratoriais;
3. Apresentar roteiro de execução de ensaios de caracterização dos materiais granulares empregados em pavimentação.

1.4 JUSTIFICATIVA

Homero Caputo (2016), relata que desde os tempos mais remotos, o homem tem necessidade de se trabalhar com solos. Para sobrevivência alimentar, moradia e para o desenvolvimento humano. Na construção civil não é diferente, pois o solo é parte essencial para traçar-se projetos e executá-los. E devido a tamanha importância deste material, é indispensável o estudo adequado do solo, para que a obra não seja executada incorretamente e gere danos futuros.

O estudo do solo é parte importante na elaboração de qualquer projeto.

Seja ele pequeno ou grande estruturalmente, os projetos devem obter um estudo correto, que indique a melhor abordagem na construção para cada tipo de solo. O Brasil, sendo um país tropical e com grande território, existe uma variedade de solos, então as construções não mantêm somente um modo de trabalhar com o solo, cada solo exige uma abordagem diferenciada.

Para a pavimentação, o estudo do solo é mais criterioso e busca-se uma análise completa para que o pavimento flexível possa ser instalado, com todas as camadas do pavimento exercendo sua função, e o subleito, recebendo as cargas e sustentando o pavimento. Por isso, é importante a análise, o estudo e os relatórios para ser feito o pavimento flexível.

Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), a compactação é a ação da qual chega-se ao resultado de aumento da massa específica aparente de um solo (e de outros materiais, como misturas betuminosas, etc.), pela realização da pressão, vibração ou impacto, fazendo com que as partículas características do material entrem em contato mais profundo, pela exclusão do ar; com a redução da percentagem de vazios de ar, atinge-se também a diminuição na tendência de variação dos teores, de umidade dos materiais integrantes do pavimento, durante a vida de serviço.

Fazer a análise do solo para a pavimentação consiste em inúmeros benefícios a obra, pois através destes ensaios, pode-se realizar uma curva de compactação ideal para a funcionalidade e resistência do solo.

1.5 METODOLOGIA

A metodologia, segundo Marconi e Lakatos (2003), pode ser compreendida como a junção de processos e preceitos para que se serve uma ciência, e também é a capacidade de usar essas normas e preceitos, no resultado de seus propósitos. Pode ser definida como parte prática da coleta de dados. Para realização do estudo, estudar bibliografias como Mecânica dos Solos e Suas Aplicações, artigos e teses sobre o estudo solo. Segundo a ABNT, os ensaios abaixo, são referentes as análises do solo para pavimentação:

- ABNT NBR 6457/1986 para preparação de amostras para ensaio de compactação;
- ABNT NBR 7180/1984 para limite de plasticidade;

- ABNT NBR 6459/1984 para limite de liquidez;
- ABNT NBR 6508/1984 para massa específica dos grãos;
- ABNT NBR 7181/1984 para granulometria por peneiramento;
- ABNT NBR 7182/2016 para ensaio de compactação;
- ABNT NBR 9895/1987 para índice de suporte Califórnia.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo foi apresentada a introdução sobre o tema, juntamente com o problema de pesquisa, as hipóteses de estudo, objetivo geral e objetivos específicos, as justificativas, a metodologia utilizada e a definição estrutural da monografia.

No segundo capítulo foram identificados cada ensaio necessário para caracterização do solo a ser estudado para a pavimentação adequada.

No terceiro capítulo foi descrito cada parâmetro importante que deverá ser obtido nas análises laboratoriais dos ensaios de caracterização.

No quarto capítulo foi apresentado um roteiro de execução dos ensaios laboratoriais e a importância dos mesmos.

No quinto capítulo foram feitas as conclusões finais acerca do tema abordado.

2. ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

2.1. PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS PARA ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Conforme a ABNT NBR 6457/1986, onde detalha-se o método para preparação das amostras recolhidas do solo, afim de usá-las para ensaios de caracterização e compactação. Para a execução deste ensaio, é necessário consultar a NBR 5734, que descreve as peneiras a serem utilizadas para o ensaio. Cada peneira conta com um tamanho adequado para a separação do material a ser descartado, que não fará parte dos ensaios para indicação do solo, e do material que virá a ser usado para determinação do solo em questão. As amostras recolhidas devem ser preparadas corretamente, sendo assim peneiradas e separadas para o melhor desenvolvimento do ensaio. Tendo separado as amostras, elas devem ser guardadas e mantidas para o decorrer dos ensaios, não devendo ser descartadas.

2.2. DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE

Segundo a ABNT NBR 7180/1984 apresenta o método para a determinação do limite de plasticidade e para o cálculo do índice de plasticidade dos solos. A plasticidade, segundo Caputo (2016), habitualmente é estabelecida como uma das propriedades do solo, onde é definido a máxima e a mínima capacidade do solo de ser moldado, dentro de certas condições de umidade, sem modificar seu volume. Sendo assim, uma das grandes propriedades da argila. Dentro deste ensaio, define-se o limite de plasticidade.

A capacidade do solo de retornar ao seu estado inicial, após encerrada as forças aplicadas sob ele, define-o como elástico. Do contrário, se ele não recuperar seu estado inicial após as forças aplicadas, diz-se então que é plástico. Porém, as propriedades elásticas do solo vão além da granulometria, depende também do teor de umidade, forma de partículas e de sua composição química e mineralógica. Para a realização deste ensaio, usa-se as amostras preparadas no ensaio anterior, através do método explicado na NBR 6457.

2.3. DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ

De acordo com a ABNT NBR 6459/1984, prescreve-se o método para determinação do limite de liquidez dos solos. Como a plasticidade é definida como a capacidade do solo em retornar ao seu estado anterior, após sofrer cargas sob ele, a liquidez pode ser definida como a fronteira entre o “estado plástico” para o “estado líquido”, onde iremos observar se o solo estudado terá uma umidade alta, a ponto de perder algumas características exclusivas de solos plásticos.

Chama-se de limite de liquidez de um solo como sendo o teor de umidade acima do qual o solo perde as características de plasticidade, passando a se comportar como fluido viscoso.

2.4. DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS

Segundo a ABNT NBR 6508/1984, é prescrita a realização do método de determinação da massa específica dos grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm, (de acordo com a NBR 5734/1984), através de picnômetro, sendo realizados ao menos dois ensaios. O peso específico real dos grãos consiste na relação entre o peso e o volume de uma partícula individual de solo. Ou seja, em seu cálculo é desconsiderado os vazios existentes no solo.

O picnômetro usado no ensaio, poderá ser de 500 a 1000 cm³, devendo ser calibrado a 20°C, com a respectiva curva de calibração (variação da massa do picnômetro cheio de água, até a marca da referência, em função da temperatura). Com a realização deste ensaio, será possível demonstrar a massa específica dos grãos do solo, utilizando-se fórmula.

2.5. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Conforme a ABNT NBR 7181/1984, é descrito o método para análise granulométrica de solos, realizada por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento. Conforme as proporções das suas partículas e dentro de definidos limites convencionais, as “frações constituintes” dos solos recebem determi-

nadas identificações. De acordo com a escala granulométrica (ABNT), são: pedregulho (conjunto de partículas cujas dimensões estão entre 76 e 4,8 mm), areia (entre 4,8 e 0,05 mm), silte (entre 0,05 e 0,005 mm) e argila (inferior a 0,005 mm).

A análise granulométrica consiste na determinação dos diâmetros das diversas partículas existentes no solo. A forma mais direta de obter os diâmetros dos grãos é passando-os através de uma série de peneiras. Esta análise é representada pelo gráfico da curva granulométrica.

2.6. ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

“O ensaio de compactação, hoje em dia, é conhecido como Ensaio normal de Proctor (ou AASHTO Normal). Essa metodologia foi desenvolvida pelo engenheiro Ralph Proctor em 1933, sendo normatizada nos Estados Unidos pela *A.A.S.H.O – American Association of State Highway Officials* e no Brasil sua execução segue a norma ABNT NBR 7182/1986.” (SOUSA, 2018)

A ABNT NBR 7182/1986 especifica o método para determinação da relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos, quando compactados, de acordo com os procedimentos especificados.

2.7. ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

Segundo a ABNT NBR 9895/1987, o método descrito é realizado para determinação do valor do índice de Suporte Califórnia e da expansão de solos em laboratório, utilizando amostras deformadas, não reusada, de material que passa na peneira de 19 mm, com um mínimo de 5 corpos de prova.

O ensaio de Capacidade de Suporte Califórnia (CBR) foi concebido pelo Departamento de Estradas de Rodagem da Califórnia (USA) para avaliar a resistência dos solos. No ensaio de CBR, é avaliada a resistência à penetração de uma amostra saturada compactada, conforme o método de Proctor. Na norma citada, o ensaio é composto por três etapas: Compactação do corpo de prova conforme o método de Proctor; Obtenção da curva de expansão e Medida da resistência à penetração.

3. PARÂMETROS OBTIDOS NOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS

Os ensaios de caracterização do solo, realizados a partir das NBR's supracitadas, tem como objetivo obter parâmetros de grande importância para o desenvolvimento do anteprojeto, projeto, execução e manutenção da pavimentação realizada.

Conforme Terzaghi (1936) e Sousa (2006), os solos são materiais que não se consegue obter leis teóricas de uso corrente em projetos e obras, como outros materiais mais bem definidos, por exemplo o aço e o concreto. “Não era suficiente determinar em laboratório parâmetros de resistência e deformabilidade em amostras de solo e aplicá-los a modelos teóricos adequados àqueles materiais” (SOUSA, 2006).

Segundo a Embrapa (2008), o Brasil possui em sua extensão territorial uma grande diversidade de tipos de solo, devido a fatores de formação do solo e a ampla variedade de pedoambientes¹. Compreendendo a diversidade do solo brasileiro, entendemos a necessidade de um estudo técnico acerca do solo para os múltiplos solos existentes.

Sendo assim, dispondo das normas técnicas para execução de cada ensaio de caracterização do solo, e assim, obtermos os parâmetros necessários para a realização do projeto e execução da obra. No quadro abaixo, está descrito cada ensaio e cada parâmetro obtido.

¹ Pedoambiente: lugar onde encontra-se determinado tipo de solo.

QUADRO 1: PARÂMETROS OBTIDOS NOS ENSAIOS

Norma Técnica	Ensaio	Parâmetro obtido
NBR 6457 (1986)	Preparação de amostras para ensaios de compactação e caracterização	Obter-se uma quantia homogênea, representativa e suficiente do solo a ser analisado.
NBR 7180 (1984)	Determinação do limite de plasticidade	Designar o valor de umidade do qual o solo muda do estado plástico para o estado semissólido.
NBR 6459 (1984)	Determinação do limite de liquidez	Apontar o valor de umidade no qual o solo altera do estado líquido para o estado plástico.
NBR 6508 (1984)	Determinação da massa específica	Indicar o peso seco de uma amostra por simples pesagem, em seguida determinar o volume baseando-se no princípio de Arquimedes.
NBR 7181 (1984)	Análise granulométrica	Determinar o tamanho das partículas e suas respectivas porcentagens de ocorrência, que permite obter a distribuição de partículas do solo.
NBR 7182 (1986)	Ensaio de compactação	Obter a densidade máxima do maciço terroso, otimizando o solo.
NBR 9895 (1987)	Índice de suporte Califórnia	Conseguir o índice de expansibilidade do solo e determinar a resistência à penetração.

FONTE: A AUTORA (BASEADO EM ABNT NBR'S: 6457 (1986); 7180 (1984); 6459 (1984); 6508 (1984); 7181 (1984); 7182 (1986); 9895 (1987).)

4 EXECUÇÃO DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS

Para cada ensaio supracitado, em suas respectivas normas há o roteiro dos ensaios. Esses roteiros de ensaio são de suma importância, pois nela se descrevem os equipamentos, objetivo, execução do ensaio, buscando chegar ao mesmo objetivo, que é a caracterização, definição da curva de compactação do solo e sua resistência a penetração. “Os estudos geotécnicos para um Projeto de Pavimentação compreendem: reconhecimento do subleito e estudos de ocorrências de materiais para pavimentação” (MARQUES, 2006)

Cada norma de ensaio contém características próprias, como por exemplo, aparelhagem, tempo de secagem, preparação e separação de amostras, para que os ensaios sejam realizados seguindo um padrão estabelecido para todos os profissionais aptos a realizá-los. Sendo assim, é necessário que haja a correta execução de cada ensaio para que as características do solo sejam definidas e assim, feito projeto de pavimentação adequado para o solo estudado

4.1 ENSAIO DE PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

FIGURA 1 – ENSAIO DE PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS – ABNT NBR 6457 (1986).



FONTE: SUPORTE SOLOS – SONDAGENS E INVESTIGAÇÕES, 2018.

A preparação das amostras é o ensaio que antecipa a realização dos demais ensaios de caracterização. O processo é feito basicamente em secagem parcial das amostras, destorroamento, quarteamento, pesagem e peneiramento da amostra para ao final das operações, obter-se uma quantidade suficiente, homogênea e representativa do solo a ser analisado, conforme a Figura 1.

4.2 ENSAIO DE LIMITE DE PLASTICIDADE

FIGURA 2- ENSAIO DE LIMITE DE PLASTICIDADE – ABNT NBR 7180 (1984)



FONTE: SOLUÇÃO ENGENHARIA, 2017.

O ensaio de limite plasticidade é realizado a partir da execução de bastões de 3 mm de diâmetro e eles começam a se quebrar em pequenas peças (Figura 2). Ou seja, a partir do menor teor de umidade, o solo se comporta plasticamente.

4.3 ENSAIO DE LIMITE DE LIQUIDEZ

FIGURA 3 – ENSAIO DE LIMITE DE LIQUIDEZ – ABNT NBR 6459 (1984)



FONTE: SUPORTE SOLOS – SONDAGENS E INVESTIGAÇÕES, 2017.

O ensaio de limite de liquidez é executado com auxílio do aparelho de Casagrande no qual se determina o teor de umidade que, com 25 golpes, une os bordos inferiores de uma canelura (um centímetro de comprimento) aberta, na massa de solo, por um cinzel de dimensões padronizadas, conforme Figura 3.

4.4 ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS

FIGURA 4 – ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS – ABNT NBR 6508 (1984).



FONTE: TORRES GEOTECNIA, 2016.

“A massa específica real de um solo é o valor médio da massa específica dos grãos do solo, ou seja, os vazios não são computados. A sua obtenção é necessária para a determinação do índice de vazios e demais índices físicos do solo.” (BORGES, 2015). O ensaio de determinação da massa específica dos grãos é importante, afim de analisar a estrutura do solo, apresentando relevantes informações sobre a resistência e estabilidade do mesmo (Figura 4).

4.5 ENSAIO DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

FIGURA 5 – ENSAIO DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA – ABNT NBR 7181 (1984)

FONTE: SUPORTE SOLOS – SONDAGENS E INVESTIGAÇÕES, 2018.

“A granulometria do solo é a distribuição de suas partículas constituintes, de natureza orgânica ou mineral, em classes de tamanho. As classes de tamanho das partículas inorgânicas são também chamadas de frações granulométricas.” (SOUSA, 2006). O objetivo da análise granulométrica é dividir essas partículas em grupos, conforme Figura 5, pelas suas dimensões (frações do solo) e determinar suas proporções relativas ao peso total da amostra. A análise granulométrica é o ensaio de laboratório, necessário à identificação de um solo, pelos sistemas de classificação adotados na engenharia de solos.

4.6 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

FIGURA 6 – ENSAIO DE COMPACTAÇÃO – ABNT NBR 7182 (1986)

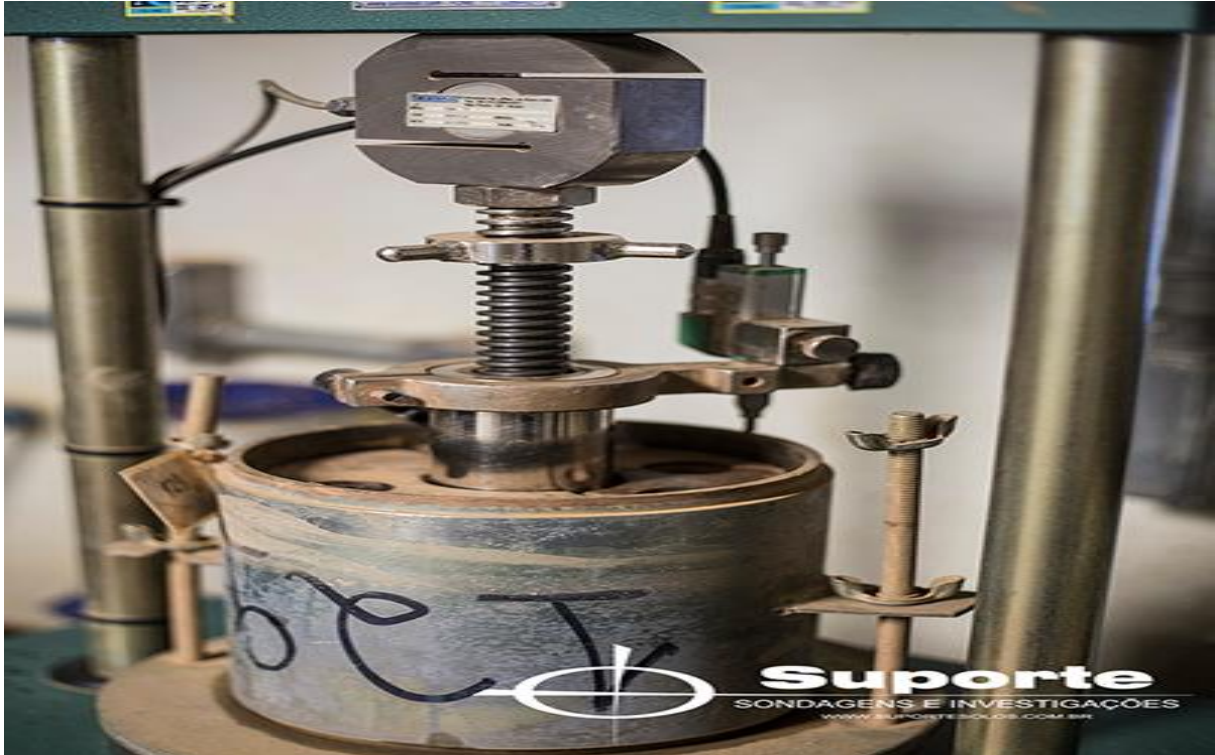
FONTE: SUPORTE SOLOS – SONDAGENS E INVESTIGAÇÕES, 2018.

Compactação de um solo é o procedimento mecânico ou manual que tem como objetivo reduzir o volume de vazios e, assim amplificar a resistência do solo, tornando-o mais estável. Mesmo sendo uma simples operação, é de suma importância para seus grandes efeitos sobre a estabilização de maciços terrosos, que estão estritamente relacionados a problemas de pavimentação e barragens de terra. A compactação melhora as características, além da resistência, melhora os aspectos de permeabilidade, compressibilidade e absorção d'água.

Consiste em se compactar uma amostra dentro de um recipiente cilíndrico (Figura 6), com aproximadamente 1.000 cm^3 , em 3 camadas sucessivas, sob a ação de 25 golpes de um soquete pesando 2,5 kg, caindo de 30,5 cm de altura. O ensaio é repetido para diferentes teores de umidade, determinando-se, para cada um deles, o peso específico aparente. Depois, traça-se a curva de V_s (densidade máxima aparente seca) x Teor de umidade (umidade ótima).

4.7 ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA

FIGURA 7 - ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA - ABNT NBR 9895 (1987).



FONTE: SUPORTE SOLOS – SONDAGENS E INVESTIGAÇÕES, 2017.

“O Ensaio de CBR é determinado pela relação entre a pressão necessária para penetrar um pistão cilíndrico padronizado em um corpo de prova de um determinado solo e pressão necessária para penetrar o mesmo pistão em um brita graduada padrão. Assim sendo, ao se deparar com um resultado de $CBR = 10\%$, entende-se que aquele solo representa 10% da resistência à penetração da brita padronizada.” (MALANCONI, 2013)

O ensaio de CBR em três fases:

Compactação do corpo de prova: é realizada a compactação com energia padrão (Proctor), seguindo o número correto de golpes e camadas, correspondentes à energia normal, desejada ou modificada. Normalmente, são feitos 5 corpos de prova, variando o teor de umidade para que seja possível caracterizar a curva do CBR.

Expansão: Depois da moldagem dos corpos de prova, obtém-se os valores de expansão. Para isso, o conjunto já feito para o ensaio, é imerso em água por no mínimo 4 dias, devendo ser realizadas leituras no extensômetro a cada 24 horas.

Resistência à penetração: Retirado o corpo de prova do período de imersão, e deixado ser drenado naturalmente por 15 minutos. Em seguida, leva-se o corpo de prova para a prensa (Figura 7), onde será rompido através da penetração de um

pistão cilíndrico, a uma velocidade de 1,27 mm/min. Utilizando um anel de dinamômetro na prensa, registra os valores necessários para cálculo das pressões de cada penetração.

Conforme o Manual de Ensaio da DAER (2001), pode-se observar os aspectos de cada ensaio supracitado, e suas respectivas ordens de execução. Para melhor compreensão, encontra-se anexo a este trabalho, o método de execução de cada ensaio de caracterização, ensaio de compactação e índice de suporte Califórnia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste presente trabalho analisou-se a importância do estudo do solo através dos ensaios de caracterização da definição do solo que será feito o pavimento e suas características.

O que se conclui acerca da hipótese formulada é que ela se provou verdadeira, pois, para que o solo tenha o recebimento de todas as camadas do pavimento flexível, são necessários ensaios específicos da caracterização do solo. Primeiramente, identificando-se quais ensaios são necessários para a correta caracterização do solo, suas normas técnicas, e conseqüentemente, seja feita a compactação do mesmo.

Observou-se também que o Brasil que possui grande variedade de solos em suas regiões, e através desses ensaios parâmetros são obtidos para caracterizar e definir as atribuições do solo. Através dessa coleta de dados, e a junção dos mesmos, obtém-se os detalhes do solo e são feitos projetos para que haja uma pavimentação adequada para o solo estudado.

Sendo assim, nota-se para que tenham parâmetros corretos e que caracterize precisamente o solo que será pavimentado, as execuções destes ensaios devem ser feitas rigorosamente, seguindo o passo a passo determinado por normas técnicas e manuais disponíveis pelos órgãos federais responsáveis pelo desenvolvimento de pavimentação nas cidades, sejam elas pavimentação de rodovias, estradas, ou no âmbito de cada cidade.

Por último, percebe-se que os ensaios de caracterização, de compactação e índice de suporte Califórnia são de suma importância para que ocorra a pavimentação adequada. Os solos variam de região a região, devido a tamanha diversidade, é necessário um estudo aprofundado do solo em que será realizada a pavimentação.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6457/86 : Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro, RJ, 1986.

ABNT, **NBR 6457: Preparação de amostras para ensaios.** Trabalho de Conclusão de Curso – UTFPR, Campo Mourão, 2009.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7180: Determinação do Limite de Plasticidade.** Rio de Janeiro, RJ, 1984.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6459: Determinação do Limite de Liquidez.** Rio de Janeiro, RJ, 1984.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6508: Determinação de Massa Específica.** Rio de Janeiro, RJ, 1984.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7181: Análise Granulométrica.** Rio de Janeiro, RJ, 1984.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7182: Ensaio de compactação – procedimento.** Rio de Janeiro, RJ, 1986.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Pavimentação.** 3.ed. – Rio de Janeiro, 2006. p. 41.

CAPUTO, Homero Pinto; CAPUTO, Armando Negreiros; RODRIGUES, J. Martinho de A. **Mecânica dos Solos e suas aplicações, volume I: fundamentos.** 7. Ed. – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2016. p. 180.

EMBRAPA. **Solos do Brasil.** Brasília, 2013. Disponível em <<https://www.embrapa.br/tema-solos-brasileiros/solos-do-brasil>>.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos De Pesquisa**. – 5 ed. – São Paulo : Atlas, 2010.

LABORATÓRIO. Equipe de. **Consistência do Solo – Ensaio Geotécnicos – Ensaio de Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP)**. São Paulo, 2017. Disponível em <<http://www.suportesolos.com.br/blog/consistencia-do-solo-conheca-aos-ensaios-de-limite-de-liquidez-ll-e-de-plasticidade-lp/33/>>

LABORATÓRIO. Equipe de. **Compactação de Solos – Ensaio Geotécnicos – O Ensaio e as Energias de Compactação**. São Paulo, 2018. Disponível em <<http://www.suportesolos.com.br/blog/ensaios-geotecnicos-compactacao-de-solos-o-ensaio-e-as-energias-de-compactacao/68/>>

LABORATÓRIO. Equipe de. **Preparação de Amostras de Solos para Ensaio de Caracterização – Ensaio geotécnicos**. São Paulo, 2018. Disponível em <<http://www.suportesolos.com.br/blog/ensaios-geotecnico-preparacao-de-amostras-de-solo-para-ensaios-de-caracterizacao/64/>>

LABORATÓRIO. Equipe de. **Análise Granulométrica do Solo – Ensaio Geotécnicos – O Objetivo e as Frações do Solo**. São Paulo, 2018. Disponível em <<http://www.suportesolos.com.br/blog/ensaios-geotecnicos-analise-granulometrica-do-solo-o-objetivo-e-as-fracoes-de-solo/71/>>

LABORATÓRIO. Equipe de. **Determinação do Índice de Suporte Califórnia (CBR) – Ensaio Geotécnico – Resumo**. São Paulo, 2018. Disponível em <<http://www.suportesolos.com.br/blog/determinacao-do-ndice-de-suporte-california-cbr-ensaio-geotecnico-resumo/129/>>

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de Metodologia Científica** – 6 ed. – 3 reimpr. – São Paulo: Atlas 2006, p. 224

MALANCONI, M. **Considerações sobre misturas de solos tropicais estabilizados quimicamente para uso como camada de pavimento urbano**. Dissertação de

Mestrado. São Carlos: UFSCar,2013

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas/ 3ª Edição** Carlos de Sousa Pinto. – São Paulo : Oficina de Textos, 2006, p.14

SUL, Governo do Rio Grande do. Secretaria dos Transportes – Unidade de Normas e Pesquisas/DAER. **Manual de Ensaios.** Volume I. 2000

TRINDADE, Tiago Pinto da; LIMA, Dario Cardoso de; CARVALHO, Carlos Alexandre Braz de; MACHADO, Carlos Cardoso; PEREIRA, Reginaldo Sérgio. **Compactação dos Solos.** Disponível em < <https://www.researchgate.net/publication/313703122>

Roteiro de ensaio: Preparação de amostras do solo, segundo a NBR 6457/84

EQUIPAMENTOS: Não há alteração nos equipamentos. Serão utilizados os mesmos descritos na norma técnica correspondente ao ensaio, ou seja, o mesmo deverá ser utilizado acompanhado da norma em questão.

Processo de Execução:

- Cada amostra deve ter um número de identificação escrito em cartões ou etiquetas apropriadas. Um desses cartões ou etiquetas levando o número de identificação da amostra acompanhará cada porção da amostra durante o processamento e ensaio do material.
- A amostra após identificada deverá ser seca ao ar ou disposta em bandejas metálicas para secagem em estufa com temperatura máxima de 60 °C
- Após a secagem, destorroar a amostra desagregando completamente os torrões através de marreta, rolo ou mão de gral com almofariz. Deve-se ter o cuidado de não reduzir o tamanho natural das partículas individuais do solo.
- Homogeneizar a amostra.
- Quartear a amostra em porções representativas de acordo com um dos procedimentos abaixo:

Quantidade	Procedimento
Mais de 45 kg	Quarteamento manual utilizado lona
De 11 a 45 kg	Quarteamento manual lona ou manual na mesa
Menos de 11 kg	Quarteamento manual na mesa

Seguindo a execução do quarteamento manual de amostras na mesa:

- Colocar a amostra sobre a mesa com tapete de borracha, misturar completamente com uma colher de pedreiro e juntar o material em um monte cônico.
- Achatar o cone pressionando-o para baixo com uma colher de pedreiro.
- Separar em quartos com a colher de pedreiro e remover dois quartos diagonalmente opostos, tendo o cuidado de incluir todos os finos nesta remoção.
- Remisturar o material restante formando um novo cone.
- Repetir o processo de quarteamento até que a amostra seja reduzida ao tamanho desejado.

AMOSTRAS

Para análise granulométrica

Verificar o tamanho máximo da amostra total para se determinar a quantidade necessária para o ensaio de granulometria. Obter esta quantidade por quarteamento conforme tabela abaixo:

<i>Tamanho máximo</i>	<i>Quantidade de material</i>
4" (101,6 mm)	40 kg
2" (50,8 mm)	20 kg
1 1/2" (38,1 mm)	15 kg
1" (25,4 mm)	10 kg
3/4" (19,1 mm)	7 kg
1/2" (12,7 mm)	5 kg
3/8" (9,52 mm)	2 kg
nº4 (4,76 mm)	500 g
nº10 (2,00 mm)	400 g

Tabela 1: Quantidade de material por quarteamento

Para limite de liquidez e limite de plasticidade

Obter através do quarteamento uma quantidade suficiente que passada na peneira no 40 (0,42mm) se obtenha aproximadamente 300 g. Destorroar novamente a amostra no almofariz com o auxílio da mão de gral revestida de borracha.

Para massa específica real dos grãos

Obter através do quarteamento uma quantidade suficiente que passada na peneira nº 4 (4,76mm) se obtenha aproximadamente 350 g.

Nota: O valor da massa específica dos grãos, a ser utilizado no cálculo da análise granulométrica por sedimentação, deve ser determinado a partir de cerca de 500 g de material passado na peneira nº 10 (2,00 mm).

Para equivalente de areia

Obter através do quarteamento uma quantidade suficiente que passada na peneira nº 4 (4,76mm) se obtenha aproximadamente 700 g.

Para compactação e Índice de Suporte Califórnia

Amostras para ensaio com reuso de material

Obter através do quarteamento para cada ensaio aproximadamente 6 kg, para solos argilosos ou siltosos e aproximadamente 7 kg, para solos arenosos ou pedregulhos. Passar este material na peneira 3/4" (19,1 mm) e substituir o que ficar retido por igual

quantidade de material que passa na peneira 3/4" (19,1 mm) e fica retido na peneira no 4 (4,76 mm). O material para substituição deve ser obtido por quarteamento.

A porção que ficou retida na peneira 3/4" (19,1 mm) e passou na peneira no 4 (4,76 mm) do material que foi utilizado na substituição deve ser eliminada, juntamente com a porção inicial que ficou retida na peneira 3/4" (19,1 mm).

Nota: No ensaio de compactação, caso o material retido na peneira no 4 (4,76 mm) seja inferior a 7% em peso também pode ser utilizado o cilindro pequeno, conforme solicitação do engenheiro geotécnico. Neste caso, obter através do quarteamento uma quantidade suficiente que passada na peneira no 4 (4,76 mm) se obtenha aproximadamente 3 kg.

Roteiro de ensaio: Determinação do limite de plasticidade segundo NBR 7180/84

EQUIPAMENTOS: Não há alteração nos equipamentos. Serão utilizados os mesmos descritos na norma técnica correspondente ao ensaio, ou seja, o mesmo deverá ser utilizado acompanhado da norma em questão.

AMOSTRA

A amostra deve ser preparada de acordo com a norma 6457. Da amostra obtida, quartear cerca de 25 g para a realização do ensaio.

ENSAIO

- Preencher o cabeçalho da folha de ensaio identificando a rodovia, trecho, projeto, número da ordem de serviço, data e nome do operador.
- Colocar a amostra de solo numa cápsula de porcelana e misturar completamente com água potável até que a massa tenha consistência suficientemente plástica de forma que se possa, facilmente, dar a forma de uma bola.
- Tomar uma parte desta bola pesando cerca de 8 g e comprimi-la de forma a obter uma massa de forma elipsoidal.
- Rolar esta massa de solo na superfície esmerilhada da placa de vidro com pressão suficiente da palma da mão para formar um filete cilíndrico de diâmetro uniforme em toda a sua extensão. A velocidade de rolamento deve ficar entre 80 a 90 cursos por minuto, contando um curso como um movimento completo da mão para frente e para trás.

- Caso a amostra fragmente-se antes de atingir 3 mm de diâmetro, recolocar o solo na cápsula, adicionar um pouco mais de água e revolver a mistura com a espátula até a completa homogeneização (no mínimo 3 minutos).
- Quando o filete cilíndrico de solo atingir o diâmetro de 3 mm e aproximadamente 100 mm de comprimento (verificar através do cilindro de comparação) quebrá-lo em seis ou oito pedaços, amassá-los e tornar a obter a massa de forma elipsoidal.
- Proceder novamente as operações de rolagem e amassamento até que não seja mais possível formar um cilindro de solo com 3 mm de diâmetro sem que haja fragmentação. A fragmentação pode ocorrer quando o cilindro de solo apresentar um diâmetro maior que 3 mm. Este deve ser considerado um estágio final satisfatório desde que o solo já tenha sido previamente rolado num cilindro de 3 mm de diâmetro.
- Juntar as partes do solo fragmentado e colocá-las numa cápsula de alumínio para determinação de umidade.

CÁLCULO E RESULTADO

Determinar o teor de umidade pela fórmula:

$$h = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

Onde:

h = teor de umidade, em porcentagem;

Ph= peso do solo úmido;

Ps= peso do solo seco.

Fazer as pesagens com a aproximação de 0,01 g.

Calcular a média dos teores de umidade, verificando se algum dos valores difere mais de 5 % da média calculada. Eliminar o valor que por ventura difira e recalcular a média. Anotar, em porcentagem e com a aproximação do número inteiro mais próximo (inferior ou superior), o limite de plasticidade que corresponde à média calculada no item anterior.

Calcular o índice de plasticidade do solo, IP, como a diferença entre o limite de liquidez, determinado conforme o método DAER/RS-EL 004/99 e o limite de plasticidade, como segue:

$$IP = LL - LP$$

Anotar a diferença calculada como indicado no item anterior, como índice de plasticidade, exceto nas seguintes condições:

- a) quando o limite de liquidez ou o limite de plasticidade não puder ser determinado, anotar o índice de plasticidade como NP (não plástico).
- b) quando o solo é extremamente arenoso, o ensaio de limite de plasticidade deve ser feito antes do ensaio de limite de liquidez. Se o limite de plasticidade não puder ser determinado, anotar ambos os limites, liquidez e plasticidade, como NP.
- c) quando o limite de plasticidade é igual ou maior que o limite de liquidez, anotar o índice de plasticidade como NP.

Roteiro de ensaio: Determinação de Limite de Liquidez segundo NBR 6459/84

EQUIPAMENTOS: Não há alteração nos equipamentos. Serão utilizados os mesmos descritos na norma técnica correspondente ao ensaio, ou seja, o mesmo deverá ser utilizado acompanhado da norma em questão.

AJUSTE DO APARELHO DE CASAGRANDE

- Examinar o aparelho de Casagrande para verificar se está em boas condições de operação;
- Calibrar a altura de queda da concha;

AMOSTRA

A amostra deve ser preparada de acordo com a NBR 6457. Da amostra obtida, quarterar cerca de 100 g para a realização do ensaio.

ENSAIO

- Preencher o cabeçalho da folha de ensaio identificando a rodovia, trecho, projeto, número da ordem de serviço, data e nome do operador.
- Colocar a amostra na cápsula de porcelana, acrescentar 15 ml a 20 ml de água potável e homogeneizar a mistura de solo e água com a espátula. Posteriores adições de água serão da ordem de 1 ml a 3 ml procedendo-se alternados e repetidos amassamentos, misturas e cortes com a espátula até levar a massa de solo a uma consistência firme e uniforme. O tempo total de operação da mistura varia entre 5 e 10 minutos.
- Colocar uma quantidade suficiente da mistura na concha do aparelho. Pressionar o solo usando o menor número de passadas da espátula possível. Tomar cuidado

para evitar o aprisionamento de bolhas de ar dentro da massa de solo. Usar a espátula para nivelar e arrumar o solo a uma profundidade de 1 cm no ponto de máxima espessura. Recolocar o excesso do solo na cápsula de porcelana.

- Dividir a massa de solo em duas partes, passando o cinzel através da mesma, de maneira a abrir uma ranhura em sua parte central, normalmente à articulação da concha, como indicado na figura 4. O cinzel deve ser deslocado perpendicularmente à superfície da concha.

Nota: Quando houver dificuldade na abertura da ranhura deve-se tentar obtê-la por passagens sucessivas e cuidadosas do cinzel.

- Girar a manivela do aparelho à razão de duas voltas por segundo continuando a elevação e queda da concha até que os dois lados da amostra entrem em contato na parte inferior da ranhura numa extensão de 1,3 cm. Anotar o número de golpes exigidos para fechar a ranhura nesta extensão, que deve ser menor que 35 e maior que 15. O intervalo de tempo entre a colocação do material na concha e o fechamento da ranhura deverá ser no máximo de 3 minutos.
- Imediatamente após o fechamento da ranhura na extensão especificada, retirar uma porção de solo para determinação da umidade, colocando-a numa cápsula de alumínio que a seguir deve ser tampada. A porção de solo a ser retirada com a espátula deve obedecer as seguintes premissas:
 - a) ter aproximadamente a largura da espátula;
 - b) incorporar material de um extremo a outro da concha;
 - c) ser retirada perpendicularmente à ranhura incluindo a porção na qual o solo se juntou.
- Transferir o solo restante na concha do aparelho para a cápsula de porcelana. Usar uma toalha para limpar e secar a concha, cinzel e espátula.
- Repetir as operações anteriores para, no mínimo, duas determinações adicionais, acrescentando ao solo existente na cápsula de porcelana, água suficiente para que este adquira uma condição mais fluida. A finalidade deste processo é obter amostras de tal consistência que o número de golpes requeridos para fechar a ranhura seja menor do que 35 e maior do que 15. O ensaio deve ser conduzido da condição mais seca para mais úmida do solo.
- Determinar a umidade das amostras recolhidas nas cápsulas de alumínio.

CÁLCULO E RESULTADO

- Determinar o teor de umidade por fórmula:

$$h = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

Onde:

h = teor de umidade, em porcentagem;

Ph= peso do solo úmido;

Ps= peso do solo seco.

- Plotar um gráfico semilogarítmico, com os teores de umidade como ordenada na escala aritmética e o número de golpes como abcissa na escala logarítmica. Ajustar uma reta pelos pontos determinados no ensaio.
- O limite de liquidez do solo é o teor de umidade correspondente à interseção da reta com a abcissa de 25 golpes. Anotar este valor em porcentagem com a aproximação do número inteiro mais próximo (inferior ou superior).

Roteiro de ensaio: Determinação de massa específica dos grãos segundo NBR 6508/84

EQUIPAMENTOS: Não há alteração nos equipamentos. Serão utilizados os mesmos descritos na norma técnica correspondente ao ensaio, ou seja, o mesmo deverá ser utilizado acompanhado da norma em questão.

AMOSTRA

A amostra deve ser preparada conforme a NBR 6457.

ENSAIO

- Preencher o cabeçalho da folha de ensaio, identificando rodovia, trecho, projeto, número da ordem de serviço, data e nome do operador.
- Tomar 100 g de material para determinar a umidade higroscópica da amostra conforme a norma 6457.
- Obter, por quarteamento, aproximadamente 50 g de amostra para solos argilosos e siltosos e de aproximadamente 60 g para solos arenosos, se utilizado picnômetro de 500 cm³. Caso seja utilizado picnômetro de 1.000 cm³ tomar aproximadamente o dobro de material. Proceder para cada amostra conforme os itens a seguir.
- Anotar na folha de ensaio a quantidade de amostra tomada como “**peso da amostra úmida**”, com resolução de 0,01 g.

- Colocar a amostra na cápsula de porcelana e adicionar a quantidade mínima de água destilada que garanta a total imersão do material. Deixar em imersão por um período mínimo de 12 horas.
- Após a imersão despejar o solo com a água no copo de dispersão, remover todo o material que ainda permanecer na tigela com o auxílio da bisnaga ou bulbo.
- Adicionar água destilada até cerca de metade do volume do copo e dispersar durante 15 minutos.
- Transferir a amostra para o picnômetro, com auxílio de funil de vidro. Lavar o copo de dispersão e o funil com água destilada para completa remoção do material, tomando-se a precaução, de evitar a perda do mesmo ou a aderência nas paredes do picnômetro.
- Anotar na folha de ensaio o número do picnômetro.
- Completar com água destilada até atingir aproximadamente metade do volume do picnômetro.
- Aplicar vácuo de, no mínimo, 88 KPa (66 cm de Hg a 0 °C) durante pelo menos 15 minutos, agitar o picnômetro a intervalos regulares de tempo, sem provocar turbulência no conteúdo.
- Completar o conteúdo do picnômetro com água destilada até 1 cm abaixo da base do gargalo e aplicar novamente o vácuo durante 15 minutos.

Nota: Caso houver dificuldade para remoção total do ar, colocar o picnômetro em banho-maria por um período mínimo de 30 minutos.

- Adicionar água destilada até 1 cm abaixo da marca de referência do picnômetro.
- Deixar o picnômetro em repouso até que se equilibre com a temperatura do ambiente.
- Completar o picnômetro com água destilada até que a base do menisco coincida com a marca de referência. Utilizar o conta-gotas para maior precisão.
- Enxugar a parte externa do picnômetro e a parte interna do gargalo acima do menisco.
- Pesar o picnômetro com a água e o solo (com precisão de 0,01 g) e anotar este valor na folha de ensaio como “**peso pic. + solo + água**”.
- Determinar a temperatura do conteúdo do picnômetro com precisão de 0,5 oC.
- Obter a massa do picnômetro com água até a marca de referência, conforme um dos procedimentos abaixo:

A - Curva de calibração:

Obter da curva de calibração do picnômetro, determinada, a massa do picnômetro com água na temperatura correspondente à determinada no ensaio. Anotar este valor na folha de ensaio como “**peso picnômetro + água**”.

B - Determinação direta:

Após o período de imersão, determinar o peso do picnômetro + água. Para tanto, encher o picnômetro com água destilada até cerca de metade do seu volume, aplicar vácuo de no mínimo 88 KPa (66 cm Hg a 0 °C) durante 15 minutos, completar o picnômetro com água destilada até 1 cm abaixo da marca de referência, aplicar vácuo novamente durante mais 15 minutos. Completar o picnômetro, utilizando um conta-gotas, até que a base do menisco coincida com a marca de referência. Enxugar a parte externa do picnômetro e a parte interna do gargalo acima do menisco,.

Pesar o picnômetro com a água (com precisão de 0,01 g) e anotar este valor na folha de ensaio como “**peso picnômetro + água**”.

CÁLCULOS E RESULTADOS

- Determinar a umidade higroscópica por fórmula:

$$h = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

Onde:

h = teor de umidade, em porcentagem;

Ph= peso do solo seco;

Ps= peso do solo seco em estufa a 105 °C – 110°C até constância do peso.

- Determinar o peso seco do solo por fórmula:

$$PSS = PSH \times \frac{100}{100 + h}$$

Onde:

PSS = peso do solo seco;

PSH = peso do solo úmido;

h = teor de umidade, em porcentagem;

- Determinar a massa específica real através de fórmula:

$$\delta = \frac{P_{SS}}{PPa + P_{SS} - P_{PSA}}$$

Onde:

δ = massa específica real, em g/cm³.

PSS = peso do solo seco, em g;

PPA = “**peso picnômetro+água**”, em g;

PPSA = “**peso pic.+solo+água**”, em g;

δ_T = massa específica da água, na temperatura T de ensaio, obtida na tabela em anexo, presente na norma.

Considerar os ensaios satisfatórios quando os seus resultados não diferirem de mais que 0,02 g/cm³.

Roteiro de ensaio: Análise Granulométrica segundo NBR 7181/84

EQUIPAMENTOS: Não há alteração nos equipamentos. Serão utilizados os mesmos descritos na norma técnica correspondente ao ensaio, ou seja, o mesmo deverá ser utilizado acompanhado da norma em questão.

AMOSTRA

A amostra deve ser preparada conforme a NBR 6457.

ENSAIO

- Preencher o cabeçalho da folha de ensaio identificando rodovia, trecho, projeto, número da ordem de serviço, data e nome do operador.
- Determinar o peso da amostra com aproximação de 0,1 g e anotar na folha de ensaio como “**amostra total úmida**”.
- Peneirar todo o material na peneira no 10 (2,0 mm).
- Da porção de material retida na peneira no 10 (2,0 mm):
 - a) Colocar toda a porção em uma tigela ou bandeja, adicionar água e deixar em imersão por, no mínimo, 12 horas. Após a imersão, lavar o material na peneira no 10 (2,0 mm), colocá-lo em bandejas e secá-lo em estufa a temperatura entre 105 °C e 110 °C até constância de massa.
 - b) Peneirar, após a secagem, utilizando as peneiras previstas no item 4, de acordo com o serviço especificado. Para cada peneira, anotar na folha de ensaio o “**peso acumulado de material retido**” com aproximação de 0,1 g.
 - c) O peso do material retido acumulado na peneira no 10 (2,0 mm) deve ser anotado na folha de ensaio como “**pedregulho**”, com aproximação de 0,1 g.

Da porção de material que passa na peneira no 10 (2,0 mm):

a) Retirar cerca de 100 g para a determinação da umidade higroscópica segundo anexo da NBR 6457 (Determinação de teor de umidade)

b) Obter por quarteamento uma quantidade aproximada de 120 g no caso de solos arenosos e 70 g no caso de solos siltosos ou argilosos. Pesar a porção obtida com aproximação de 0,1 g e anotar na folha de ensaio como “**amostra parcial úmida**”.

c) Colocar essa porção em uma tigela com água potável e adicionar defloculante nas seguintes quantidades e concentrações:

- Utilizando silicato de sódio: 20 ml de solução na concentração de 72 g de silicato de sódio para um litro de água.

- Utilizando hexametáfosfato de sódio: 125 ml de solução na concentração de 45,7 g do sal por litro de solução.

Nota: A solução de hexametáfosfato de sódio deve ser tamponada com carbonato de sódio até que atinja um Ph entre 8 e 9.

d) Após a imersão de, no mínimo, 12 horas despejar o solo com água no copo de dispersão munido das chicanas, remover todo o material que ainda permanecer na tigela utilizando uma bisnaga ou bulbo com água. Completar com água até que o nível fique 5 cm abaixo da borda do copo de dispersão. Dispersar de 5 a 20 minutos, dependendo do solo ser mais ou menos argiloso.

e) Concluída a dispersão, retirar o copo do dispersor, tendo-se o cuidado de lavar as pás. Despejar a mistura de solo mais defloculante na peneira no 200 (0,074 mm), tomando o cuidado de retirar todo o material aderido no copo de dispersão, nas hélices e haste do dispersor com auxílio de uma bisnaga ou bulbo com água. Lavar o material com água potável a baixa pressão até a água de lavagem apresentar-se limpa.

f) Colocar o material lavado na estufa a uma temperatura entre 105 °C e 110 °C e deixar secar até a constância de massa.

g) Depois de seco peneirar o material utilizando as peneiras conforme item 4. Para cada peneira, anotar na folha de ensaio o “**peso acumulado de material retido**” com aproximação de 0,1 g.

Nota: A operação de peneiramento deve ser conduzida por meio de um movimento lateral e vertical da peneira, acompanhado de sacudidas a fim de manter a amostra em movimento contínuo sobre a superfície da peneira. Em nenhum caso deve-se manipular os fragmentos da amostra através da peneira. O peneiramento deve continuar

até que não mais do que 1 % em peso do resíduo numa peneira, passe nesta peneira durante um minuto de peneiramento.

CÁLCULOS E RESULTADOS

- Determinar a umidade higroscópica por fórmula:

$$h = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

Onde:

h = teor de umidade, em porcentagem;

Ph= peso do solo úmido;

Ps= peso do solo seco.

- Fazer as pesagens com a aproximação de 0,01 g.
- Calcular a diferença entre “**amostra total úmida**” e “**pedregulho**” e anotar na folha de ensaio como “**total passado no 10 úmida**”.
- Calcular o peso seco da amostra que passa na peneira no 10, conforme descrito a seguir, e anotar na folha de ensaio como “**total passado no 10 seca**”.

$$\text{total passado nº 10 seca} = \text{total passado nº 10 úmida} \times \frac{100}{100+h}$$

Onde:

h = teor de umidade higroscópica em porcentagem da amostra parcial, passando na peneira no 10, já determinado anteriormente.

- Calcular a amostra total seca somando “**pedregulho**” com “**total passado no 10 seca**” e anotar na folha de ensaio como “**amostra total seca**”.
- Calcular o peso seco da amostra parcial, conforme descrito a seguir e anotar na folha de ensaio como “**amostra parcial seca**”.

$$\text{amostra parcial seca} = \text{amostra parcial úmida} \times \frac{100}{100+h}$$

Onde:

h = teor de umidade higroscópica em porcentagem da amostra parcial, passando na peneira no 10, já determinado

- Para a amostra total (entre as peneiras 4”a no 10) calcular o peso acumulado do material que passa como a diferença entre o “**peso da amostra total seca**” e o “**peso acumulado material retido**” de cada uma das peneiras e anotar na folha de ensaio “**peso acumulado material que passa**” correspondente a cada peneira.

Roteiro de ensaio: Compactação segundo NBR 7182/16

EQUIPAMENTOS: Não há alteração nos equipamentos. Serão utilizados os mesmos descritos na norma técnica correspondente ao ensaio, ou seja, o mesmo deverá ser utilizado acompanhado da norma em questão.

AMOSTRA

A amostra deve ser preparada conforme a NBR 6457/84.

ENSAIO**Com reuso de material**

- Preencher o cabeçalho da folha de ensaio identificando a rodovia, trecho, projeto, número da ordem de serviço, data e nome do operador.
- Pesar a amostra preparada para o ensaio como reuso de material e anotar na folha de ensaio como “**peso da amostra**”, anotar também o “**número**”, o “**peso**” e o “**volume**” do molde, que devem ser previamente determinados na calibração e aferição dos equipamentos, além do “**esforço de compactação**” utilizado no ensaio. As pesagens devem ser feitas com precisão de 1 g.
- Fixar o molde cilíndrico às hastes do prato-base e ajustar o colar, apoiar o conjunto sobre o bloco de concreto que deve apresentar uma superfície plana. Colocar uma folha de papel filtro ou similar com diâmetro igual ao do molde utilizado, de modo a evitar a aderência do solo compactado com a superfície metálica do prato-base.
- Colocar a amostra na bandeja e adicionar água suficiente para umedecê-la a um teor de umidade correspondente ao início do processo de agregação do material. Misturar até a completa homogeneização.
Nota: O início do processo de agregação ocorre quando ao tomarmos uma porção de solo que pressionada com a mão é capaz de manter a sua forma quando a mão abrir.
- Para a energia de compactação desejada, para o ensaio de Proctor Normal, verificar coordenadas a seguir, o tipo de soquete, altura de queda, número de camadas e o número de golpes que deve ser aplicado em cada camada.

Proctor Normal: 3 camadas

25 golpes por camada

Soquete de 2,5 kg

Altura de queda de 305 mm

- Moldar a amostra aplicando em cada camada golpes de soquete, correspondentes ao esforço de compactação desejado, perpendicularmente e distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada. Os golpes devem ser aplicados com queda livre de 304,8 mm (soquete de 2.495 g) e 457,2 mm (soquete de 4.536 g) de altura acima do topo do solo. A compactação de cada camada deve ser precedida de uma ligeira escarificação da camada subjacente.
- Após a compactação, levar o molde para a bandeja, passar a espátula na borda interna do colar para desprender o material nele aderido. Remover o colar e aparar cuidadosamente o solo compactado, deixando-o nivelado com o topo do molde por meio de régua biselada. Corrigir preenchendo com material de tamanhos menores quaisquer irregularidades que possam ter se desenvolvido na superfície pela remoção do material graúdo. Limpar o molde com o auxílio do pincel, remover o prato-base e pesar anotando na folha de ensaio como “**peso da amostra compactada e peso do cilindro**”, com precisão de 1 g.
- Com o extrator remover a amostra do molde e colocá-la na bandeja. Com o auxílio da espátula tomar uma porção do centro do corpo-de-prova de aproximadamente 100 g para solos e 500 g para materiais granulares a fim de determinar a umidade conforme o anexo da NBR 6457/84.
- Desmanchar na bandeja, o restante da amostra e homogeneizar com o material que havia sobrado.
- Adicionar água em quantidade suficiente para aumentar o teor de umidade de um ou dois pontos de porcentagem, em relação ao peso seco da amostra. Misturar até a completa homogeneização.

Nota: Os acréscimos de água devem ser constantes de forma a se obter teores crescentes de umidade com três pontos abaixo e três pontos acima da umidade ótima.

CÁLCULOS

- Subtrair o peso do molde (identificado na folha de ensaio como “**peso**”) do “**peso da amostra compactada e peso do cilindro**” e anotar na folha de ensaio, como “**peso da amostra compactada**”.
- Dividir o “**peso da amostra compactada**” pelo “**volume**” do cilindro e anotar na folha de ensaio como “**densidade do solo úmido**”.
- Com a amostra tomada de cada ponto de compactação determina-se o teor de umidade através de fórmula.

$$h = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

Onde:

h = teor de umidade, em porcentagem;

Ph = peso do solo úmido;

Ps = peso do solo seco.

Fazer as pesagens com a aproximação de 0,01 g.

- Para cada teor de umidade ensaiado calcular a massa específica aparente seca, e anotar na folha de ensaio como “**densidade do solo seco**”.

$$\gamma_s = \text{"densidade do solo úmido"} \times \frac{100}{100 + h}$$

Onde:

γ_s = massa específica aparente seca (“**densidade do solo seco**”)

h = teor de umidade

RESULTADOS

- Curva de compactação - no gráfico da folha de ensaio desenhar a curva de compactação através dos pontos obtidos pela marcação da densidade do solo seco, em ordenadas, e dos teores de umidade correspondentes, em abcissas.
- Massa Específica máxima do solo seco - é o valor correspondente a ordenada máxima da curva de compactação.
- Umidade ótima - é o valor do teor de umidade correspondente, na curva de compactação, ao ponto de massa específica máxima.

Roteiro de ensaio: Índice de Suporte Califórnia segundo NBR 9895/87

EQUIPAMENTOS: Não há alteração nos equipamentos. Serão utilizados os mesmos descritos na norma técnica correspondente ao ensaio.

AMOSTRA: A amostra deve ser preparada de acordo com a NBR 6457/84.

ENSAIO

- Ensaio umidade ótima (1 ponto)
- Preencher o cabeçalho da folha de ensaio identificando rodovia, trecho, projeto, número da ordem de serviço, data e nome do operador.
- Anotar na folha de ensaio os dados referentes ao molde como: “**molde no**”, “**peso do molde**” e “**volume amostra**”, determinados previamente segundo calibração e

aferição de equipamentos. Anotar também os dados de compactação: massa específica aparente seca (“**D.máx**”), umidade ótima (“**h ótimo**”) e “**esforço de compactação**”.

- Tomar da amostra do ensaio uma porção de aproximadamente 100 g para solos e 500 g para materiais granulares a fim de determinar a umidade higroscópica conforme anexo da NBR 6457/84.
- Determinada a umidade higroscópica, pesar a amostra restante com precisão de 1 g, anotar na folha de ensaio como “**peso amostra na umidade higroscópica**” e colocá-la em uma bandeja.
- Adicionar água na quantidade calculada para levar a amostra à umidade ótima do ensaio de compactação. Misturar até a completa homogeneização.
- Do material restante na bandeja tomar uma porção de aproximadamente 100 g para solos e de 500 g para materiais granulares a fim de determinar a umidade de moldagem conforme anexo da NBR 6457/84.
- Fixar o molde ao prato-base e ajustar o colar. Inserir o disco espaçador sobre o prato-base e colocar um disco de papel filtro ou similar sobre o topo do disco espaçador.
- Para a energia de compactação desejada verificar no quadro 1 o tipo de soquete, altura de queda, número de camadas e o número de golpes que deve ser aplicado em cada camada.
- Moldar a amostra aplicando em cada camada golpes de soquete, correspondentes ao esforço de compactação desejado, perpendicularmente e distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada. Os golpes devem ser aplicados com queda livre de 304,8 mm (soquete de 2.495 g) e 457,2 mm (soquete de 4.536 g) de altura acima do topo do solo. A compactação de cada camada deve ser precedida de uma ligeira escarificação da camada subjacente.
- Após a compactação, levar o molde para a bandeja, passar a espátula na borda interna do colar para desprender o material nele aderido. Remover o colar e aparar cuidadosamente o solo compactado, deixando-o nivelado com o topo do molde por meio de régua biselada. Corrigir preenchendo com material de tamanhos menores quaisquer irregularidades que possam ter se desenvolvido na superfície pela remoção do material graúdo. Limpar o molde com o auxílio do pincel, remover o prato-

base e o disco espaçador, pesar anotando na folha de ensaio como “**peso do molde + solo + água**”, com precisão de 1 g.

- Colocar o papel filtro ou similar sobre o prato-base perfurado, inverter o molde com o solo compactado e fixá-lo às hastes do prato-base perfurado. Recolocar o colar.
- Colocar sobre a amostra compactada, no espaço deixado pelo disco espaçador, o prato perfurado com a haste ajustável e sobre ele dois discos para produzir uma sobrecarga igual ao peso do pavimento com cerca de 2.270 g cada um. Em nenhum caso o peso total deve ser menor que 4.540 g.
- Colocar o molde com os pesos em imersão no tanque com água, permitindo o livre acesso da água pelo topo e fundo da amostra.
- Apoiar o tripé com o extensômetro nas bordas do colar e fazer imediatamente a leitura inicial para determinação da expansão. Anotar na folha de ensaio “**data**”, “**hora**” e “**leitura**”.
- Manter a amostra em imersão, com nível constante de água, por um período de 4 dias.
- Após a imersão de 4 dias fazer a leitura final para expansão. Anotar novamente na folha de ensaio “**data**”, “**hora**” e “**leitura**”.
- Retirar a sobrecarga e o colar do molde e tirá-lo juntamente com o prato base da imersão, removendo a água livre. Apoiar o conjunto durante 15 minutos sobre os pesos da sobrecarga a fim de que ocorra o escoamento da água da amostra.
- Colocar no topo da amostra, dentro do molde cilíndrico, o papel filtro ou similar e sobre ele os mesmos pesos de sobrecarga utilizados no ensaio de expansão, para simular o peso do pavimento.
- Colocar o conjunto na prensa e assentar o pistão de penetração com a menor carga possível, mas em nenhum caso com mais de 4.540 g. Ajustar em zero os extensômetros do pistão e do anel dinamométrico. Esta carga inicial é requerida para assegurar um assentamento satisfatório do pistão e deve ser considerada como carga nula para determinação da relação pressão - penetração.
- Aplicar a carga sobre o pistão de penetração de modo que a velocidade de penetração seja de 1,27 mm por minuto. Anotar na folha de ensaio as leituras do extensômetro do anel dinamométrico para penetração de 0,63; 1,27; 1,90; 2,54; 3,81; 5,08; 7,62; 10,16 e 12,70 mm, como “**leitura defletômetro**”, a identificação e a

constante (k) do anel dinamométrico utilizado. Pela tabela de aferição do anel dinamométrico ler as pressões correspondentes às leituras do extensômetro do anel e anotar, na folha de ensaio como “**pressão calculada**”. A “**pressão calculada**” também pode ser obtida diretamente pela multiplicação da leitura do extensômetro pela constante do anel dinamométrico.

- Após a penetração, retirar o conjunto da prensa e remover a amostra através do extrator.
- Ensaio para determinação da curva umidade × ISC (6 pontos)
- Obter seis amostras nas umidades de ensaio conforme o ensaio de compactação.
- Proceder a compactação, imersão e leituras de expansão e penetração para cada amostra.

CÁLCULOS E RESULTADOS

- Determinar a umidade higroscópica :

$$h = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

Onde:

h = teor de umidade, em porcentagem;

Ph = peso do solo úmido;

Ps = peso do solo seco.

- Fazer as pesagens com a aproximação de 0,01 g.
 - Calcular a quantidade de água necessária para a moldagem:
- a) Após determinada a umidade higroscópica calcular o “**peso amostra seca**” como segue:

$$\text{peso amostra seca} = \text{peso amostra na umidade higroscópica} \times \frac{100}{100+h}$$

Onde:

h = umidade higroscópica

- b) Calcular o “**peso amostra na umidade ótima**”:

$$\text{peso amostra na umidade ótima} = \text{peso amostra seca} \times \frac{100+h(\text{ótimo})}{100}$$

Onde:

hótimo = umidade ótima do ensaio de compactação

- c) Subtrair do “**peso amostra na umidade ótima**” o “**peso amostra na umidade higroscópica**” e anotar na folha de ensaio como “**água teórica**”.
- d) Multiplicar o “**peso amostra seca**” por 0,5 % e anotar como “**água evaporação**”.

- e) Somar a “**água teórica**” com a “**água evaporação**” e anotar como “**água total**”.
- f) A quantidade denominada “**água total**” corresponde ao peso de água que deve ser adicionado à amostra para fins de moldagem.

- Calcular a massa específica aparente seca, procedendo da seguinte forma:
 - a) subtrair do “**peso do molde + solo + água**” o “**peso do molde**” e anotar na folha de ensaio como “**peso do solo + água**”;
 - b) dividir o “**peso do solo + água**” pelo “**volume amostra**” e anotar na folha de ensaio como “**densidade do solo úmido**”;
 - c) calcular a massa específica aparente seca, como segue, e anotar na folha de ensaio como “**densidade do solo seco**”.

$$\gamma_s = \text{"densidade do solo úmido"} \times \frac{100}{100 + h}$$

Onde:

γ_s = massa específica aparente seca (“**densidade do solo seco**”)

h = teor de umidade

- Calcular a expansão, procedendo da seguinte forma:
 - a) subtrair da leitura final, após 4 dias de imersão, a leitura inicial no extensômetro;
 - b) calcular a expansão como uma porcentagem da altura inicial da amostra.

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

Traçar a curva “pressão - penetração” da seguinte forma:

- a) plotar no gráfico da folha de ensaio as pressões de penetração do pistão anotadas na folha de ensaio como “**pressão calculada**” em ordenadas e as correspondentes penetrações no eixo das abcissas.

- b) traçar uma curva pelos pontos obtidos.

- Calcular o Índice Suporte Califórnia (ISC) da seguinte forma:

$$\text{ISC (2,54mm)} = \frac{\text{pressão corrigida para penetração 2,54mm}}{70,3} \times 100$$

Anotar como ISC no espaço correspondente à penetração de 2,54 mm.

$$\text{ISC (5,08mm)} = \frac{\text{pressão corrigida para penetração 5,08mm}}{105,4} \times 100$$

Anotar como ISC no espaço correspondente à penetração de 5,08 mm.

Nota: Considera-se que 70,3 e 105,4 kg/cm² correspondem às pressões para o material padrão nas respectivas penetrações. Considerar como resultado final o Índice de Suporte Califórnia o maior dos dois valores.

- Determinar o Índice de Suporte Califórnia final para o caso de ensaio:
 - a) Traçar a curva de compactação através dos pontos obtidos pela marcação da massa específica aparente do solo seco, em ordenadas e dos teores de umidade correspondentes em abcissas. A ordenada máxima da curva corresponde a massa específica aparente máxima do solo seco e o valor da abcissa correspondente é a umidade ótima.
 - b) Traçar a curva “umidade × ISC” através dos pontos obtidos pela marcação do ISC, em ordenadas e dos teores de umidade correspondentes em abcissas. Desenhar esta curva na mesma folha da curva de compactação, utilizando a mesma escala no eixo das abcissas. A ordenada correspondente à umidade ótima antes determinada é o valor do ISC.