

RELATÓRIO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO

YGOR VINÍCIUS PEREIRA NUNES

ygor.nunes@estudantes.ifg.edu.br

20221070080180

Formosa – GO

2023

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 03 |
| 2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS..... | 03 |
| 2.1. MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS..... | 03 |
| 2.1.1. OBJETIVO..... | 03 |
| 2.1.2. APARELHAGEM..... | 03 |
| 2.1.3. PROCEDIMENTO..... | 04 |
| 2.1.4. CÁLCULOS..... | 04 |
| 2.2. GRANULOMETRIA..... | 04 |
| 2.2.1. OBJETIVO..... | 04 |
| 2.2.2. APARELHAGEM..... | 05 |
| 2.2.3. PENEIRAMENTO..... | 05 |
| 2.2.4. SEDIMENTAÇÃO..... | 05 |
| 2.2.4. CÁLCULOS..... | 06 |
| 2.3. ÍNDICES DE PLASTICIDADE..... | 06 |
| 2.3.1. OBJETIVO..... | 06 |
| 2.3.2. APARELHAGEM..... | 06 |
| 2.3.3. PROCEDIMENTO..... | 06 |
| 2.3.4. CÁLCULOS..... | 07 |
| 2.4. COMPACTAÇÃO..... | 07 |
| 2.4.1. OBJETIVO..... | 07 |
| 2.4.2. APARELHAGEM..... | 07 |
| 2.4.3. PROCEDIMENTO..... | 07 |
| 2.4.4. CÁLCULOS..... | 08 |
| 2.5. CLASSIFICAÇÃO DOS SÓLIDOS..... | 09 |
| 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 09 |
| 3.1. MASSA ESPECÍFICA DO SÓLIDOS..... | 09 |
| 3.2. GRANULOMETRIA..... | 10 |
| 3.3. ÍNDICE DE PLASTICIDADE E COMPACTAÇÃO..... | 12 |
| 3.4. CLASSIFICAÇÃO DOS SÓLIDOS..... | 12 |
| 4. CONCLUSÃO..... | 13 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 14 |

1. INTRODUÇÃO

No contexto da análise de solos necessária durante o período pré-obra, constata-se a necessidade da excussão de uma série de ensaios em laboratório (que também podem ser reproduzidos em campo) a fim de determinar as propriedades físicas dos solos, tais como a massa específica, o teor de umidade, o índice granulométrico e entre outros. Desta forma, este trabalho visa discorrer acerca destes ensaios, seus respectivos resultados e importâncias, dada uma amostra retirada do Parque Lago de Formosa-GO.

A primeira etapa a ser realizada para todos os ensaios é a separação da amostra. A norma ABNT: NBR 9404 determina o passo a passo necessário para a realização deste fracionamento. Em suma, o processo consiste em remover os resíduos e matérias orgânicas da superfície do terreno, cavar cerca de 1 (um) metro de solo que não será utilizado como amostra e, por fim, retirar a quantidade de solo necessária para a realização dos ensaios. Para este estudo, foram utilizados 5 (cinco) kg de solo.

Ademais, cada ensaio realizado possui uma norma técnica que regulamenta suas etapas de execução e descreve a maneira correta da leitura e obtenção de seus respectivos resultados. Portanto, dado o “quarteamento” do solo - método de separação uniforme do solo necessário para fragmentar as quantidades de material para cada experimento-, as quantidades utilizadas, a metodologia, os cálculos e resultados serão descritos de acordo com cada característica física que se deseja determinar para a amostra coletada.

2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

2.1 MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS

2.1.1 OBJETIVO

Segundo a norma NBR 6508:1984, este ensaio tem o objetivo de determinar a massa específica dos grãos de solo que passam na peneira 4,8 mm, utilizando o picnômetro.

2.1.2 APARELHAGEM

Os aparelhos utilizados durante a execução do ensaio são:

- Estufa;

- Aparelho de dispersão com hélices metálicas e copo munido de chicanas metálicas;
- Picnômetro de 1000 mL;
- Bomba de vácuo;
- Balança;
- Funil de vidro.

2.1.3 PROCEDIMENTO

O procedimento deste ensaio inicia-se separando e destorroando o material da amostra. Após, pesa-se 250g e realiza-se o processo de quarteamento deste material e separa-se 120g do mesmo, denotando-se este valor como M1. Este material foi adicionado ao copo de dispersão, juntamente com cerca da metade da medida do copo de água. Deixamos o aparelho de dispersão ligado por 15 minutos com a mistura de solo e água e pesamos o picnômetro apenas com água, atentando-se à marcação do frasco, este valor é considerado como M3. Por fim, adiciona-se a mistura de água e solo ao picnômetro e completa-se com mais água até a marcação do frasco. Aplicar vácuo de, no mínimo 88 kPa, durante 15 minutos, agitando-se o picnômetro. Por fim, acrescentar água (caso falte) até a marcação do picnômetro e pesar o frasco, denotando-se como M2.

2.1.4 CÁLCULOS

A fórmula utilizada para a obtenção da massa específica é:

$$\delta = \frac{M_1 \times 100 / (100 + h)}{[M_1 \times 100 / (100 + h)] + M_3 - M_2} \times \delta_T$$

2.2 GRANULOMETRIA

2.2.1 OBJETIVO

Segundo a norma NBR 7181:2016, o objetivo deste ensaio é determinar o índice granulométrico dos solos utilizando o método do peneiramento ou da sedimentação combinada com o peneiramento.

2.2.2 APARELHAGEM

Os aparelhos utilizados durante a execução do ensaio são:

- Estufa;
- Balança;
- Proveta de vidro;
- densímetro de bulbo simétrico, calibrado a 20 °C e com resolução de 0,001 mm graduado de 0,995 a 1,050;
- Cronômetro;
- peneiras de 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,8 mm, 2,0 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm, de acordo com as ABNT NBR NM ISO 3310-1 e ABNT NBR NM ISO 3310-2;
- Cápsulas metálicas para a determinação do teor de umidade.

2.2.3 PENEIRAMENTO FINO

O procedimento do ensaio inicia-se com a separação, destorroamento e pesagem da amostra conforme indicado na norma ABNT NBR 6457. Realiza-se a denotação da massa da amostra seca, em temperatura ambiente. Passar o material pela peneira 2,0 mm com auxílio de água e após secar o material em estufa por, no mínimo, 24h. Neste experimento, o processo de secagem durou mais de 48h. Após a retirada do material da estufa, deve-se destorroá-lo novamente e passar o material pelas respectivas peneiras supracitadas na aparelhagem, anotando as massas retidas acumuladas. Cabe ressaltar que a norma exige o uso de agitador mecânico, entretanto, para uma melhor execução em laboratório, o peneiramento foi realizado manualmente.

2.2.4 SEDIMENTAÇÃO

Ainda com a mesma amostra, separa-se 70g para a realização do ensaio de sedimentação. Adiciona-se o solo à proveta com água e agita-se até que a mistura torne-se visualmente homogênea. Coloca-se o densímetro dentro da proveta e denota-se a marcação seguindo as divisões de tempo de 30s, 1 min, 2 min, 4 min, 8 min, 15 min, 30 min e 1h, atentando-se à estabilização das marcações.

2.2.5 CÁLCULOS

A fórmula utilizada para a obtenção das porcentagens de materiais que passam em cada peneira do ensaio é:

$$Q_g = \frac{(M_s - M_r)}{M_s} \times 100$$

2.3 ÍNDICES DE PLASTICIDADE

2.3.1 OBJETIVO

Segundo a norma NBR 7180:1984, o objetivo deste ensaio é determinar o limite de plasticidade, bem como calcular o índice de plasticidade do solo.

2.3.2 APARELHAGEM

Os aparelhos utilizados durante a execução do ensaio são:

- Estufa;
- Cápsula;
- Espátula;
- Balança;
- Gabarito cilíndrico para comparação;
- Placa de vidro de superfície esmerilhada.

2.3.3 PROCEDIMENTO

A referida norma enfatiza a necessidade da execução deste ensaio em um ambiente climatizado, para que seja evitada a perda de umidade da amostra. Primeiramente, deve-se colocar o material em uma cápsula de porcelana e amassar e revolver com o auxílio de uma espátula até que seja formada uma pasta homogênea, de consistência plástica. Para amostras que passaram por secagem prévia, deve-se realizar o procedimento adicionando água destilada aos poucos. Após este processo, para o segundo passo deve-se formar uma bola utilizando cerca de 10g do material e pressioná-la contra a placa vidro, formando o cilindro. Caso a amostra se fragmente antes de atingir o diâmetro de 3 mm, deve-se voltá-la à cápsula de porcelana, adicionar água, e amassar até que se torne homogênea. Após a amostra ficar

com 3 mm de espessura, deve-se repetir o segundo passo até que a amostra atinja o diâmetro de 3 mm e o comprimento da ordem de 100 mm. Após, deve-se determinar a umidade da amostra.

2.3.4 CÁLCULOS

A fórmula utilizada para a determinar o índice de plasticidade do solo é:

$$IP = LL - LP$$

2.4 COMPACTAÇÃO

2.4.1 OBJETIVO

Segundo a norma NBR 7182:2016, este ensaio tem como objetivo estabelecer uma relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca dos solos, quando compactados.

2.4.2 APARELHAGEM

Os aparelhos a serem utilizados durante a execução do ensaio são:

- Balança;
- Peneiras 19 mm e 4,8 mm;
- Estufa;
- Cápsulas metálicas;
- Bandejas metálicas;
- Régua de aço;
- Espátulas;
- Cilindro metálico pequeno.

2.4.3 PROCEDIMENTO

O ensaio de compactação pode ser realizado com ou sem reuso de material. O passo inicial do experimento é compreender os tipos de energias de compactação utilizadas:

| Cilindro | Características inerentes a cada energia de compactação | Energia | | |
|----------|---|---------|---------------|------------|
| | | Normal | Intermediária | Modificada |
| Pequeno | Soquete | Pequeno | Grande | Grande |
| | Número de camadas | 3 | 3 | 5 |
| | Número de golpes por camada | 26 | 21 | 27 |
| Grande | Soquete | Grande | Grande | Grande |
| | Número de camadas | 5 | 5 | 5 |
| | Número de golpes por camada | 12 | 26 | 55 |
| | Altura do disco espaçador (mm) | 63,5 | 63,5 | 63,5 |

Tabela 1: Energias de Compactação.
Fonte: ABNT. NBR 7182: Solo — Ensaio de Compactação. 2016.

O passo a passo para o ensaio com e sem reuso de material são semelhantes, distinguem-se apenas na preparação do material. Desta forma, o processo inicia-se ajustando o cilindro a ser utilizado em sua respectiva base, lembrando-se que o cilindro pequeno apenas deve ser utilizado caso a amostra passe completamente na peneira 4,8 mm. Após o preparo da amostra, deve-se adicionar água até que se obtenha um teor de umidade cerca de 5% abaixo da umidade ótima presumível enquanto mistura-se o material até atingir a homogeneidade. Após esse processo, realiza-se a compactação do material, segundo a energia de compactação desejada (vide Tabela 1). Ao final da compactação, retirar o molde cilíndrico da base e pesar o conjunto e, subtrair o peso do molde, obtém-se o valor da massa úmida do solo compactado (M_u). O processo deve ser repetido ao menos 5 vezes, aumentando 2% o teor de umidade entre os resultados.

2.4.4 CÁLCULOS

A fórmula utilizada para determinar a massa específica aparente seca do solo é:

$$P_d = \frac{M_u \times 100}{V (100 + w)}$$

A fórmula utilizada para determinar a curva de saturação (relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca é:

$$Pd = \frac{S}{\frac{w}{P_w} + \frac{S}{P_s}}$$

2.5 CLASSIFICAÇÃO DOS SÓLIDOS

Com base nos resultados dos ensaios de determinação das características físicas de um determinado solo, é possível realizar a classificação deste material, de acordo com parâmetros estabelecidos mundialmente. Atualmente, existem 3 principais sistemas de classificação dos solos: SUCS (Sistema Unificado de Classificação dos Solos), TRB (*Transportation Research Board*) e MCT (Miniatura Compactada Tropical). Esses sistemas utilizam os parâmetros físicos dos solos e suas composições químicas para classificá-los em prol de um uso específico, todavia, o sistema SUCS é o mais utilizado entre estes.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 MASSA ESPECÍFICA

| TEOR DE UMIDADE | | | | |
|-----------------|-----------|------------|------|------------|
| AMOSTRA | PESO SECO | PESO UMIDO | TARA | UMIDADE(%) |
| A1 | 19,96 | 21,22 | 6,04 | 9,05 |
| A2 | 23,03 | 24,86 | 5,74 | 10,58 |
| A3 | 21,29 | 22,87 | 5,73 | 10,15 |
| Média: | | | | 9,93 |

Tabela 2: Teor de Umidade.
Fonte: Autoral.

| MASSA ESPECÍFICA | | | | | |
|------------------|---------|---------|------|-------|-------|
| M1 | M2 | M3 | H | δágua | δsolo |
| 120,00 | 1237,40 | 1166,30 | 9,93 | 1,00 | 2,87 |

Tabela 3: Massa Específica do Solo.
Fonte: Autoral.

Os resultados apresentados nas tabelas 2 e 3, são relacionados aos ensaios de teor de umidade e massa específica do solo. Os dados foram obtidos experimentalmente, de acordo

com o passo a passo descrito em norma técnica. Entretanto, foi necessária a adaptação de algumas etapas do ensaio, em prol da maior eficiência da aula e, também, pela indisponibilidade de certos recursos e pela dispensabilidade de um controle rigoroso da execução dos ensaios, visto que estes resultados possuem apenas caráter educacional.

3.2 GRANULOMETRIA

| PENEIRAMENTO GROSSO | | | | |
|---------------------|--------------|-----------------|---------------------------|------------------------|
| PENEIRA | ABERTURA(mm) | SOLO RETIDO (g) | SOLO RETIDO ACUMULADO (g) | MATERIAL QUE PASSA (%) |
| 2" | 50,80 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 1 1/2" | 38,10 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 1" | 25,40 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 3/4" | 19,10 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 3/8" | 9,50 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 4 | 4,76 | 0,62 | 0,62 | 99,94 |
| 10 | 2,00 | 4,10 | 4,72 | 99,53 |

Tabela 4: Peneiramento Grosso.
Fonte: Autoral.

| PENEIRAMENTO FINO | | | | |
|-------------------|--------------|-----------------|---------------------------|------------------------|
| PENEIRA | ABERTURA(mm) | SOLO RETIDO (g) | SOLO RETIDO ACUMULADO (g) | MATERIAL QUE PASSA (%) |
| 30 | 0,59 | 139,60 | 139,60 | 86,04 |
| 40 | 0,42 | 48,65 | 188,25 | 81,18 |
| 50 | 0,30 | 43,58 | 231,83 | 76,82 |
| 60 | 0,25 | 13,00 | 244,83 | 75,52 |
| 100 | 0,15 | 49,20 | 294,03 | 70,60 |
| 200 | 1,12 | 26,75 | 320,78 | 67,92 |

Tabela 5: Peneiramento Fino.
Fonte: Autoral.

| TEMPO | LEITURA SEM DEFLOCULANTE | TEMPERATURA (°C) |
|-------|--------------------------|------------------|
| 0,15" | 1,007 | 25 |
| 0,30" | 1,006 | 25 |
| 1' | 1,006 | 25 |
| 2' | 1,005 | 25 |
| 4' | 1,005 | 25 |
| 8' | 1,004 | 25 |
| 15' | 1,004 | 25 |
| 30' | 1,004 | 25 |

Tabela 6: Resultados da Sedimentação.
Fonte: Autoral.

As tabelas 4 e 5 referem-se à etapa do peneiramento e a tabela 5 refere-se à etapa da sedimentação, procedimentos necessários para a elaboração da curva granulométrica. A execução dos ensaios de peneiramento e sedimentação é necessária para a caracterização física do solo, visto que determina o diâmetro característico dos grãos da amostra. Esta informação está diretamente relacionada à resistência do solo e, consequentemente, ao uso atribuído à este.

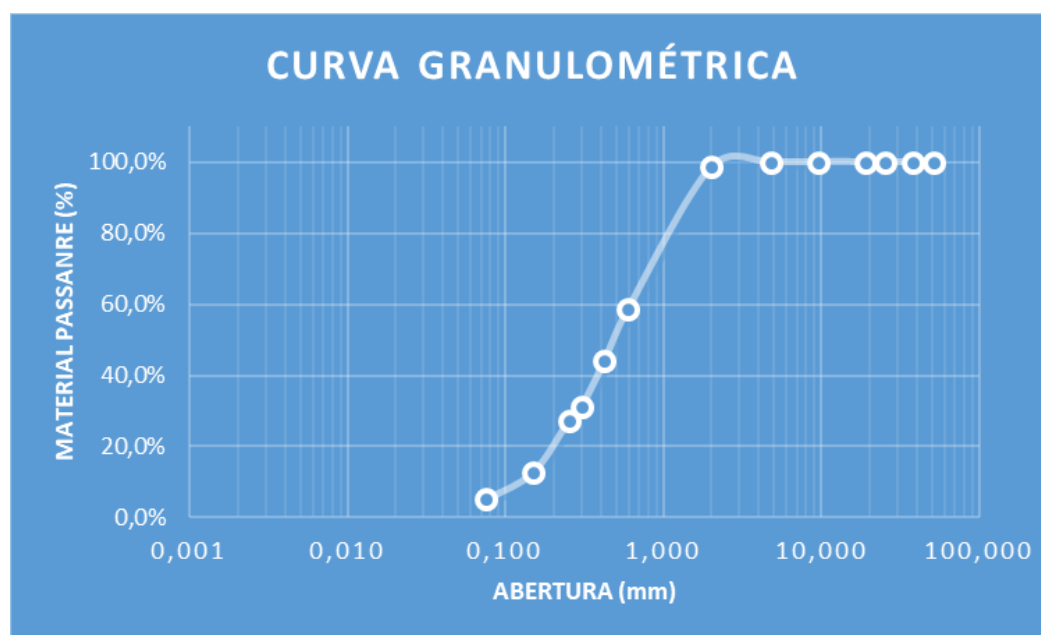


Gráfico 1.1: Curva Granulométrica.
Fonte: Autoral.

Com os resultados obtidos experimentalmente em laboratório didático, é possível elaborar a curva granulométrica do solo, como pode ser observado nos gráficos 1.1 e 1.2. Esta curva descreve o comportamento do solo mediante os processos de peneiramento e sedimentação, descritos previamente.

3.3 ÍNDICES DE PLASTICIDADE E COMPACTAÇÃO

Os ensaios de plasticidade e compactação do solo não puderam ser realizados no decorrer das aulas deste semestre, portanto, não há resultados práticos a serem discutidos neste relatório.

Estes ensaios são de suma importância para a determinação das características físicas relacionadas à resistência de um determinado solo e para sua classificação mediante as informações físicas e a composição química determinadas nos procedimentos.

3.4 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

Mediante os resultados obtidos nos ensaios, é possível realizar a classificação do solo, segundo o método SUCS. Este sistema de nomenclatura, baseia-se em parâmetros físicos, como a granulometria do solo, para classificar os solos entre finos (argilas e siltes) ou granulares (pedregulhos e areias). Observando as tabelas abaixo, e sob posse dos resultados do ensaio de granulometria, podemos obter a classificação inicial para a amostra utilizada como sendo SW, ou seja, uma Areia Bem Graduada.

| %Passa # 200 (0,075 mm) < 50% | | | Grupo |
|--|---|-------------------|-------|
| Pedregulhos % Passa #4 (4,8 mm) < 50% | Pedregulhos limpos (% Passa #200 < 5%) | CNU ≥ 4 | GW |
| | | CNU < 4 | GP |
| | Pedregulhos com finos (%Passa #200 >12%) | Abaixo da linha A | GM |
| | | Acima da linha A | GC |
| Areias % Passa #4 (4,8 mm) > 50% | Areias limpas (% Passa #200 < 5%) | CNU ≥ 6 | SW |
| | | CNU < 6 | SP |
| | Areias com finos (%Passa #200 >12%) | Abaixo da linha A | SM |
| | | Acima da linha A | SC |

Tabela 7: Classificação SUCS para solos grossos.

Fonte: DANTAS, André. **Aula 08 - Classificação dos Solos.** Notas de aula.

| %Passa # 200 (0,075 mm) > 50% | | | Grupo |
|-------------------------------|---|---------------------------|-------|
| Siltes e argilas com LL < 50% | Inorgânicos | Acima da linha A, IP > 7 | CL |
| | | Abaixo da linha A, IP < 4 | ML |
| | Orgânicos | LL seco < 0,75 LL natural | OL |
| Siltes e argilas com LL > 50% | Inorgânicos | Acima da linha A | CH |
| | | Abaixo da linha A | MH |
| | Orgânicos | LL seco < 0,75 LL natural | OH |
| Solos altamente orgânicos | Principalmente matéria orgânica, cor escura e cheiro característico | | PT |

Tabela 8: Classificação SUCS para solos finos.

Fonte: DANTAS, André. **Aula 08 - Classificação dos Solos**. Notas de aula.

4. CONCLUSÃO

Deste modo, compreende-se a importância da execução dos ensaios de determinação das características físicas do solo como sendo o primeiro passo fundamental na análise do terreno que receberá uma determinada obra. A massa específica, a granulometria e o índice de plasticidade dos solos ajudam na determinação de sua resistência, bem como o conhecimento dos materiais que compõem aquela localidade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm — Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água**. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180: Solo — Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo — Análise granulométrica**. Rio de Janeiro. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182: Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro. 2016.

DANTAS, André. **Aula 08 - Classificação dos Solos**. Notas de aula.