

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

CAMPUS SERTÃO

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CICERO RICARDO DA SILVA SANTOS

**Estudo da Viabilidade de uma Jazida de Materiais para fins de utilização na  
pavimentação Rodoviária**

Delmiro Gouveia - AL

2020

CICERO RICARDO DA SILVA SANTOS

**Estudo da Viabilidade de uma Jazida de Materiais para fins de utilização na  
pavimentação Rodoviária**

Trabalho de Conclusão apresentando ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Campus do Sertão, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Dayvson Carlos Batista de Almeida

Delmiro Gouveia - AL

2020

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca do Campus Sertão**  
**Sede Delmiro Gouveia**

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4/2209

S237e Santos, Cícero Ricardo da Silva

Estudo da viabilidade de uma jazida de materiais para fins de utilização na pavimentação rodoviária / Cícero Ricardo da Silva Santos. - 2020. 73 f. : il.

Orientação: Prof. Me. Dayvson Carlos Batista de Almeida.  
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas.  
Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2020.

1. Pavimentação rodoviária. 2. Ensaio geotécnico. 3. Classificação do solo. 4. Viabilidade técnica. I. Almeida, Dayvson Carlos Batista de Almeida. II. Universidade Federal de Alagoas. III. Título.

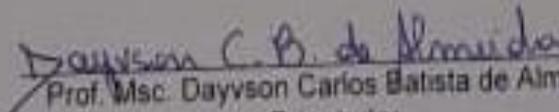
CDU: 625.75

Estudo da Viabilidade de uma Jazida de Materiais para fins de utilização na  
pavimentação Rodoviária

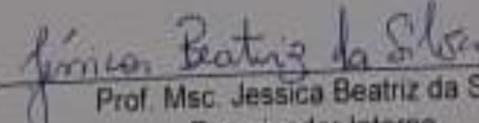
Trabalho de conclusão de curso  
submetido a banca examinadora do curso  
de Engenharia Civil de Universidade  
Federal de Alagoas-UFAL, Campus do  
Sertão e aprovado 28 de janeiro 2020.

Local, 28 de JANEIRO de 2020

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Msc. Dayvson Carlos Batista de Almeida  
Orientador

\_\_\_\_\_  
Prof. Msc. Rogério de Jesus Santos  
Examinador Interno

  
Prof. Msc. Jessica Beatriz da Silva  
Examinador Interno

## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus.

Aos meus pais e familiares.

A minha companheira.

E a todos os amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por estar sempre presente em minha vida dando saúde, paciência e força para superar os momentos difíceis que consegui ultrapassar nessa longa caminhada na UFAL em Delmiro Gouveia, para realizar um grande sonho de ser engenheiro civil.

A todos os meus familiares, em especial a minha mãe Maria do Socorro e ao meu pai Haroldo José, eles foram os meus pilares, sempre me dando amor, incentivo de todas as formas possíveis, nos maus e bons momentos.

Ao meu irmão Helder e o Sr. Donizete que depositou toda sua confiança na realização do meu sonho. Em especial para minha noiva Samara por ter me apoiado muito e dado todo amor e me ajudando em todo período acadêmico.

Aos colegas das republicas que eu partilhei por algum tempo, em especial para: Iago, Welton, Felipe, Randinho, Danilo, Juliano, Plínio e Diógenes. Aos amigos que sempre de alguma forma me ajudou: Arnon, Ulisses, Gutierrez, Igor, Caio, Lucas, Thalles, Luciano, Bela, Ananda, Bruno.

A todos os funcionários que compõe o campus do sertão. A todos os professores que tive em toda minha vida. Em especial ao professor David Dantas por ter de início ter aceitado ser meu orientador por motivos maiores não pode comparecer. Como também os alunos da turma de solos I do professor Rogério que me ajudou durante os ensaios.

Ao meu orientador, Dayvson Carlos por toda dedicação, paciência e motivação e ensinamentos ao longo desse trabalho.

A todos os amigos e familiares que apoiaram e torceram por mim e foram por muitas vezes fundamentais de alguma forma me ajudando durante a graduação.

## RESUMO

O presente trabalho foi realizado com solo de uma jazida localizada no sertão alagoano, mais precisamente na cidade de Delmiro Gouveia nas proximidades da AL-145. Aplicamos a metodologia de classificação geotécnica tradicional dos solos, com objetivo de constatar sua aplicação na pavimentação rodoviária, através de resultados obtidos dos ensaios geotécnicos. As análises feitas no solo nos possibilitaram determinar características específicas do material quanto à granulometria, compactação, plasticidade, liquidez e à resistência do material determinada pelo CBR. Através dos resultados dos ensaios tivemos a possibilidade de explicar características do solo presentes na jazida, como a presença marcante de material fino que são Silte e Argila, apresentando variações apenas em porcentagem de areia que compõe o solo estudado, já que a quantidade de pedregulho foi bastante baixa. Com relação à classificação do solo, as amostras foram classificadas na TBR (Transportation Research Board). De acordo com os resultados dos LL, LP, IP e o material passante na peneira N°200 com valores acima de 35%, verificou-se um material silto-argiloso, ou seja, apesar do material ser bastante fino também demonstrou parte representativa de areia, formando assim o solo da jazida composto por (Silte, Argila e Areia). Já com relação aos valores do CBR, variaram de 3% a 11,3%, contudo o material apesar de não ser granular como a maioria dos solos utilizados na pavimentação, apresentou uma resistência (CBR) que nos possibilita utilizar esse material em algumas camadas da pavimentação, como em subleito e reforço do subleito. Por fim, o trabalho possibilitou a caracterização geotécnica do solo do local indicado, em quais camadas pode ser aplicado na pavimentação rodoviária.

**PALAVRAS-CHAVE:** Classificações Do Solo, Pavimentação Rodoviária, Ensaio Geotécnicos.

## **ABSTRACT**

In the present work done with soil from a deposit located in the interior of Alagoas, more precisely in the city of Delmiro Gouveia, close to AL-145. We apply the traditional geotechnical classification methodology for soils, in order to verify its application in road paving, through results obtained from geotechnical tests. The analyzes made in the soil allowed us to determine specific characteristics of the material in terms of granulometry, compaction, plasticity, liquidity and the material resistance determined by CBR. Through the results of the tests we had the possibility to explain characteristics of the soil present in the deposit, such as the marked presence of fine material that are Silt and Clay, showing variations only in the percentage of sand that makes up the studied soil, since the amount of boulder was quite low. Regarding soil classification, the samples were classified in the TBR (Transportation Research Board). According to the results of LL, LP, IP and the material passing through the N ° 200 sieve with values above 35%, it showed to be a silty-clay material, that is, although the material is quite fine, it also showed some representative parts of sand thus forming the soil of the deposit composed of (Silt, Clay and Sand). Regarding the CBR values, they varied from 3% to 11.3%, with all the material despite not being granular as most of the soils used in paving presented a resistance (CBR) that allows us to use this material in some layers of the paving as in subgrade and reinforcement of subgrade. Finally, the work enabled the geotechnical characterization of the soil of the indicated location, in which layers it can be applied in the road paving.

**KEYWORDS:** Soil Classifications, Road Paving, Geotechnical Tests.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perfil do Pavimento Flexível.....	17
Figura 2: Perfil do Pavimento de Concreto.....	18
Figura 3: Esquema de sondagem para prospecção preliminar .....	26
Figura 4: Limites de Consistência .....	28
Figura 5: Curva típica de compactação.....	30
Figura 6: Localização da jazida .....	32
Figura 7: Exemplo de malha.....	33
Figura 8: Amostra coletada da jazida .....	33
Figura 9: Conjunto de peneiras .....	35
Figura 10: Aparelhagem do ensaio de LL .....	36
Figura 11: Homogeneização do solo para ensaio .....	36
Figura 12: Ensaio do limite de liquidez (LL) .....	37
Figura 13: Placa esmerilhada e cilindro comparativo .....	37
Figura 14: Amostra antes de ir para estufa .....	38
Figura 15: Equipamentos .....	39
Figura 16: Compactação das camadas.....	40
Figura 17: Prensa (CBR_MARSHAL) automática .....	41
Figura 18: Corpo de prova com extensômetro e disco anelar.....	42
Figura 19: Corpo de prova submerso.....	43
Figura 20: Curvas de distribuição granulométrica .....	47
Figura 21: Curva granulométrica da AL-220 .....	47
Figura 22: Resultado da curva de compactação com menor teor de umidade .....	52
Figura 23: Curva de compactação com maior teor de umidade.....	52
Figura 24: Curvas de tensão-penetração .....	53
Figura 25: Determinação das áreas da jazida .....	55
Figura 26: Gráfico da compactação FURO 1 .....	63
Figura 27: Gráfico da compactação FURO 2 .....	64
Figura 28: Gráfico da compactação FURO 3 .....	64
Figura 29: Gráfico da compactação FURO 4 .....	65
Figura 30: Gráfico da compactação FURO 5 .....	65
Figura 31: Gráfico da compactação FURO 6 .....	66
Figura 32: Gráfico da compactação FURO 7 .....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo dos Parâmetros da Camadas.....	20
Tabela 2: Tabela de Classificação do solo TBR(Transportation Research Board) ...	25
Tabela 3: Identificação dos furos na malha .....	45
Tabela 4: Composição granulométrica .....	45
Tabela 5: Composição granulométrica AL-220 .....	46
Tabela 6: Descrição do índice de plasticidade .....	49
Tabela 7: Índice de grupo.....	49
Tabela 8: Resultado da classificação TBR .....	50
Tabela 9: Resultado dos ensaios de compactação .....	50
Tabela 10: Resultado da compactação da AL-220.....	51
Tabela 11: Resultados dos ensaios de CBR .....	53
Tabela 12: Resultado da compactação FURO 1 .....	61
Tabela 13: Resultado da compactação FURO 2 .....	61
Tabela 14: Resultado da compactação FURO 3 .....	61
Tabela 15: Resultado da compactação FURO 4 .....	62
Tabela 16: Resultado da compactação FURO 5 .....	62
Tabela 17: Resultado da compactação FURO 6 .....	62
Tabela 18: Resultado da compactação FURO 7 .....	63
Tabela 19: Resultado da compactação FURO 8 .....	63
Tabela 20: Dados do CBR FURO 1 .....	67
Tabela 21: Dados do ensaio de CBR FURO 2 .....	68
Tabela 22: Dados do ensaio CBR FURO 3 .....	68
Tabela 23: Dados do ensaio CBR FURO 4 .....	69
Tabela 24: Dados do CBR FURO 5 .....	69
Tabela 25: Dados do CBR FURO 6 .....	70
Tabela 26: Dados do CBR FURO 7 .....	70
Tabela 27: Dados do CBR FURO 8 .....	71

## **LISTA DE SIGLAS**

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

**ASSHTO** – American Association Of State Highway And Transportation Officials.

**CBR** – Índice de Suporte Califórnia.

**DNER** – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

**DNIT** – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.

**HRB** – Highway Research Board.

**IP** – Índice de Plasticidade

**ISC** – Índice de Suporte Califórnia.

**LL** – Limite de Liquidez.

**LP** – Limite de Plasticidade.

**MCT** – Miniatura Compactado Tropical.

**MR** – Módulo de Resiliência

**NBR** – Norma Brasileira.

**TRB** – Transportation Research Board.

**SUCS** – Sistema Unificado de Classificação de Solos.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
2.1 Objetivo Geral .....	15
2.2 Objetivo Especifico.....	15
<b>3. REFERENCIAL TEORICO</b> .....	<b>16</b>
3.1 Pavimentos Flexível .....	16
3.2 Pavimento Rígido .....	17
3.3 Pavimento Semi-Rígido.....	18
3.4 Funções e Especificações de Serviços das Camadas do Pavimento .....	18
<b>3.4.1 Subleito</b> .....	<b>18</b>
<b>3.4.2 Reforço do Subleito</b> .....	<b>19</b>
<b>3.4.3 Sub-base</b> .....	<b>19</b>
<b>3.4.4 Base</b> .....	<b>19</b>
3.5 Classificação dos Solos .....	20
<b>3.5.1 Classificação HRB ou TBR</b> .....	<b>21</b>
<b>3.5.2 Ocorrência de Materiais</b> .....	<b>26</b>
3.6 ESTUDOS GEOTÉCNICOS .....	27
<b>3.6.1 Granulometria</b> .....	<b>27</b>
<b>2.6.2 Limite de Consistência</b> .....	<b>28</b>
<b>3.6.2 Compactação</b> .....	<b>29</b>
<b>3.6.3 Expansividade</b> .....	<b>30</b>
<b>3.6.4 Índice Suporte Califórnia (ISC ou CBR)</b> .....	<b>31</b>
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>32</b>
4.1 Fatores limitantes .....	34
4.2 Caracterização geotécnica .....	34
<b>4.2.1 Granulometria por Peneiramento</b> .....	<b>34</b>

3.2.2	Limite de Liquidez (LL).....	35
3.2.3	Limite de plasticidade (LP) .....	37
3.2.4	Compactação .....	38
1.1.5	CBR.....	41
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>45</b>
5.1	Análise granulométrica.....	45
5.2	Limite de liquidez e plasticidade.....	48
5.3	Classificação dos solos (TBR) .....	49
5.4	Teor de Umidade Ótima e Densidade Seca Máxima .....	50
5.5	Índice suporte Califórnia ISC ou (Cbr).....	53
5.6	Análise da viabilidade da jazida .....	54
5.6.1	<b>Resumo dos Principais Parâmetros .....</b>	<b>54</b>
5.6.2	<b>A não Utilização nas Camadas de Base e Sub-base .....</b>	<b>54</b>
5.6.3	<b>Material Classificado Segundo a TBR .....</b>	<b>54</b>
5.6.4	<b>Amostra Apropriadas para utilização .....</b>	<b>54</b>
5.6.5	<b>Volume da jazida.....</b>	<b>54</b>
<b>6.</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>56</b>
6.1	Sugestões futuras .....	57
<b>7.</b>	<b>Referenciais .....</b>	<b>58</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As rodovias e estradas em geral atuam incisivamente no funcionamento e no crescimento de pequenos e grandes centros urbanos através, por exemplo, do escoamento de diversos tipos de insumos produzidos como o agrícola e o industrial, além de facilitar o acesso da população de vilas, povoados e cidades circunvizinhas à zona urbana. Essas estradas ou rodovias tem sua camada superficial normalmente constituída por algum tipo de pavimento, podendo ser um pavimento do tipo rígido, flexível ou semi-rígido, normalmente no Brasil as malhas rodoviárias são constituídas com a utilização do pavimento flexível.

O presente trabalho tem como finalidade a classificação e determinação das características geotécnicas do solo analisado na cidade de Delmiro Gouveia no sertão alagoano, mais precisamente próximo a UFAL-Campus do Sertão. A classificação que foi utilizada TBR (Transportation Research Board), essa classificação leva em consideração para classificação dos solos a granulometria, limites de consistência, índice de grupo. Esta análise também tem finalidade para o solo ser utilizados nas construções de pavimentos, ainda nos fornece o comportamento do solo para utilização no subleito.

É importante ressaltar que para implementação de estradas, os estudos geotécnicos que frisam as características dos materiais utilizados na pavimentação são extremamente importantes, ensaios esses granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade, compactação, CBR, esses ensaios nos proporcionam resultados quanto aos tamanhos dos grãos, índice de plasticidade que tem relação com a absorção de água, grau de compactação e umidade que são essenciais no campo, e resistência do solo quando há a aplicação de cargas, esses ensaios são executados pelo fato que existem uma vasta mudança nos tipos e características de solos. Por esse motivo, torna-se necessário analisar suas propriedades em relação a deformabilidade, permeabilidade e resistência, tanto o solo no seu estado natural quanto em seu estado compactado. Através desses estudos podemos determinar em qual camada pode ser utilizado o material.

As propriedades do solo em estudo foram determinadas pelos ensaios geotécnicos em laboratório, baseados nos resultados obtidos foram classificados na classificação para fins rodoviários TRB (Transportation Research Board). Obtido todos os dados de cada amostra através dos ensaios, tivemos a possibilidade de classificar

o solo de acordo com cada grupo de solo mostrado na tabela 2, como também a sua designação da jazida para utilização na pavimentação. As amostras foram recolhidas e analisadas através de informações referentes a caracterização geotécnica, as mesmas foram organizadas em planilhas e gráficos representativos de acordo com o material coletado. Obtido todos os resultados ensaiados foram realizados a comparação dos dados entre si e realizada a classificação geotécnica do solo.

Este trabalho é uma análise primária do solo localizado no sertão alagoano, sendo que a variedade de solos nessa região é bastante diversificada, apresentando na maioria dos estudos feitos a abundância de material grosseiro.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral desse trabalho é classificar o material extraído da jazida próxima à UFAL- Campus do sertão e com o auxílio dos estudos geotécnicos identificar se o material é apropriado para ser utilizado na pavimentação.

### **2.2 Objetivo Especifico**

- a) Caracterizar o solo com base nos estudos geotécnicos, Granulometria, compactação, Limites de consistência, CBR.
- b) Comparar os resultados obtidos com as exigências mínimas das camadas da pavimentação
- c) Verificar se o solo é apropriado para o uso na pavimentação de estradas e rodagens

### **3. REFERENCIAL TEORICO**

A engenharia engloba a geologia com relação a algumas áreas de conhecimento para que assim possam solucionar problemas em alguns setores rodoviários e ferroviários durante a sua construção, como também a implementação de barragens, aberturas de canais e túneis, projetos de fundações, e outras área que necessitem de conhecimentos relacionado ao estudo do solo. (CHIOSSI, 1979)

Com relação a rodovias os pavimentos que podem compor uma via são compostos por um número de camadas dimensionadas de acordo com o fluxo do tráfico previsto. Nesse contexto, um dos aspectos mais relevante é em relação ao tipo de solo que compõe o subleito no tocante à resistência, como também os materiais que são usados na construção das camadas estruturais que são provenientes de jazidas de materiais, que através dos estudos geotécnicos é determinado sua qualidade, essas jazidas são determinados como grandes depósitos de solos naturais utilizáveis.

De acordo com o DNIT (2006), os pavimentos são classificados em flexíveis, semi-rígidos e rígido. Todos esses tipos de pavimento são construídos após a terraplenagem, sendo tecnicamente e economicamente destinados a resistir os esforços verticais e horizontais(desgaste) que são impostos pelo trafego, bem como melhorias nas condições de rolamento, conforto e segurança. (SENÇO, 2008).

#### **3.1 Pavimentos Flexível**

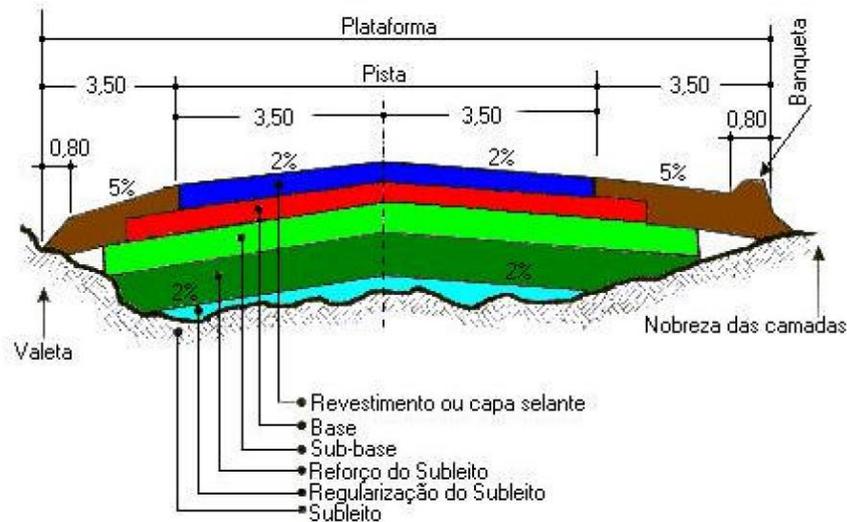
De acordo com Senço (2008), os pavimentos flexíveis são aqueles em que até um certo limite de deformações não ocorre o rompimento, normalmente esse tipo é dimensionado a tração na flexão e compressão.

Pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT, 2006), o pavimento flexível é aquele que sob a aplicação do carregamento ocorre uma deformação elástica significativa. Portanto, a carga se distribui em parcelas equivalente entre todas as camadas que formam a sua estrutura.

Os pavimentos flexíveis são geralmente associados aos pavimentos asfálticos, tendo em vista que a camada mais externa ou revestimento é composta por uma superfície asfáltica, construída logo após a camada de base, sub-base, reforço do subleito, todas essas camadas são construídas com material granulares, solos ou

misturas de solos, sem adição de agentes cimentícios (BERNUCCI et al. 2008). A figura 1 abaixo identifica o perfil do pavimento flexível.

Figura 1: Perfil do Pavimento Flexível



Fonte: Marques, 2006

A figura acima mostra a disposição das camadas do pavimento flexível, normalmente utilizadas na pavimentação de estradas, o uso do material para a sua composição na estrutura é determinada através dos estudos geotécnicos.

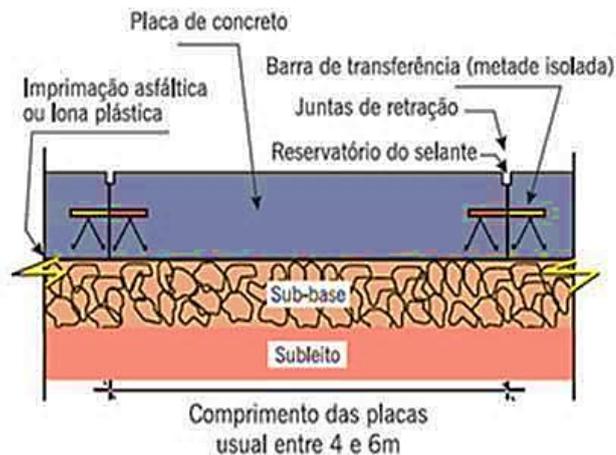
### 3.2 Pavimento Rígido

É um tipo de pavimento normalmente composto por cimento Portland, sendo que seu revestimento tem uma elevada rigidez em relação as outras camadas inferiores, absorvendo maior parte das tensões aplicada pelo carregamento (DNIT, 2006).

O pavimento rígido é constituído geralmente por uma única camada superior (laje) de Betão de cimento, geralmente cimento *Portland*, que funciona simultaneamente como camada de desgaste e de base. A elevada resistência à flexão do Betão de cimento faz com que o pavimento não sofra deformações acentuadas, mesmo quando sujeito a tráfego pesado e intenso e em solos que possua fraca capacidade de carga (RODRIGUES, 2011).

Segundo Balbo (2009), O pavimento de concreto é aquele que a sua camada superficial é composta por concreto produzido de ligantes hidráulicos e agregados, sendo que sua elaboração pode ser feita através de diversas técnicas de elaboração e manipulação do concreto. A estrutura do pavimento rígido é apresentada na figura 2.

Figura 2: Perfil do Pavimento de Concreto



Fonte: Filho e Rocha, 2018

### 3.3 Pavimento Semi-Rígido

De acordo com DNIT (2006), o pavimento Semi-Rígido caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias, ou seja, uma situação intermediária entre os outros dois tipos.

### 3.4 Funções e Especificações de Serviços das Camadas do Pavimento

As camadas dos pavimentos como mostrado nas figuras 1 e 2, tem como função a distribuição do carregamento aplicado na superfície mais externa das camadas, sendo que o material utilizado para a sua composição tem que ter as especificações que será mostrado adiante.

#### 3.4.1 Subleito

Segundo Balbo (2007), os esforços que são impostos na superfície pavimentada serão aliviados ao longo de sua profundidade. O subleito é constituído normalmente de material natural resistente e compactado, quando não atende aos limites impostos é substituído por um material melhor e posteriormente compactado. De acordo departamento nacional de infraestrutura de transporte (DNIT, 2006),

através do ensaio do índice suporte Califórnia, o material ensaiado tem que apresentar uma expansão menor ou igual a 2%, e um CBR  $\geq 2\%$ .

Depois que o perfil do terreno reconhecido deve ser feito uma análise de tensões com intuito de encontrarmos a capacidade de suporte, caso o material em estudo não apresente compatibilidade de suporte nas camadas iniciais, deve se estudar um possível reforço do subleito, ou a substituição de materiais (ISF207-ESTUDOS GEOTÉCNICOS).

### **3.4.2 Reforço do Subleito**

Segundo DNIT (2010), uma camada executada em que há a necessidade de reduzir o tamanho da camada de sub-base, ou quando o subleito não apresenta um suporte baixo, o material que a compõe é estabilizado granulometricamente.

O reforço do subleito é uma camada que não afeta a espera do pavimento, sendo que esse reforço pode ser considerado uma camada da fundação ou do pavimento, pois as camadas superiores tem que apresentar um suporte maior para suportar os esforços aplicados, o reforço pode ser considerado uma camada complementar da sub-base e uma camada suplementar do subleito. (SENÇO, 2008).

“Os materiais para o reforço do subleito, tem que ser um material que apresente uma C.B.R. maior que o do subleito e uma expansão  $\leq 1\%$  (medida com sobrecarga de 10lb)” (DNIT, 2006).

### **3.4.3 Sub-base**

camada utilizada para a correção do subleito e complementar à base, com as mesmas funções desta, é normalmente executada quando, por razões de ordem econômica, for conveniente reduzir a espessura de base, apresentando um suporte C.B.R.  $\geq 20\%$ , índice de grupo I.G. = 0 e uma expansão  $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 10lb).

### **3.4.4 Base**

Segundo o DNIT (2006), os materiais utilizados na base tem que apresentar as seguintes características o suporte C.B.R.  $\geq 80\%$  e expansão  $\leq 0,5\%$  (medida com sobrecarga de 10lb), o índice de plasticidade  $\leq 6\%$  e o limite de liquidez  $\leq 25\%$ .

A camada de base tem uma função de aliviar as pressões nas camadas inferiores, também tem outra função importante na drenagem subsuperficial da camada mais externa dos pavimentos, normalmente a base é constituída por solo naturalmente estabilizado, por mistura de solo + agregado (solo+brita), brita graduada, brita graduada tratada com cimento, solos estabilizados quimicamente com ligantes hidráulicos ou asfálticos, concreto (BALBO, 2007). A tabela 1 mostra as especificações dos parâmetros expressivos de cada camada do pavimento.

Tabela 1: Resumo dos Parâmetros da Camadas

<b>CAMADAS</b>	<b>C. B. R</b>	<b>I.G</b>	<b>EXPASÃO</b>	<b>LL e IP</b>
SUBLEITO	$\geq 2\%$	-	$\leq 2\%$	-
REFORÇO DO SUBLEITO	$CBR >$ SUBLEITO	-	$\leq 1\%$	-
SUB-BASE	$\geq 20\%$	0	$\leq 1\%$	-
BASE	$\geq 80\%$	-	$\leq 0,5\%$	$LL \leq 25\% \text{ e } IP \leq 6\%$

Fonte: Autor

### 3.5 Classificação dos Solos

No ponto de vista da engenharia a classificação do solo é muito importante pelo qual podemos estimar o provável comportamento do solo, ou pode orientar uma investigação necessária para uma adequada análise de um problema. (PINTO, 2006).

No ramo da engenharia os sistemas mais utilizados para classificações dos solos são Highway Research Board (HRB) ou Transportation Research Board (TBR), originário da American Association Of State Highway And Transportation Officials (ASSHTO) e o sistema unificado. Ambos os sistemas se baseiam nas características dos limites de Atterberg (LL e LP), Índice de grupo e granulométricas do solo, sendo que o sistema mais empregado é (TBR) para finalidades rodoviárias, enquanto o segundo é o mais utilizado na área geotécnica (BRAJA, 2007). Além dos sistemas apresentados para a classificação dos solos, destaca-se a classificação TBR para solos com fins rodoviários.

### 3.5.1 Classificação HRB ou TBR

A classificação HRB é o sistema mais conhecido mundialmente e o mais usado para finalidades rodoviárias, o conjunto de elementos que o sistema lava em consideração para a classificação dos solos é granulometria, índices físicos (LL e LP) e no índice de grupo (IG) (BALBO, 2007).

O índice de grupo está diretamente ligado a esse tipo de classificação da AASHTO, sendo que o dimensionamento do pavimento é feito através do próprio. O índice de grupo é um número inteiro com variação entre 0 e 20 e seus extremos representam solos de boa ou de ruim qualidade respectivamente, ou seja, a indicação dos melhores solos para aplicação em pavimentos. Os índices levados em consideração para seu cálculo são os valores do LL e IP, além da porcentagem do material passante na peneira N° 200 ou 0,075mm (SANTOS, 2006).

Conforme consta no Manual de Pavimentação do (DNIT, 2006), trata-se de uma expressão conjunta entre os aspectos do índice plasticidade e da granulometria de um solo, sendo determinado pela expressão:

$$IG = 0,2. a + 0,005. a. c + 0,01. b. d \quad (\text{Equação 01})$$

As variáveis “a” e “b” estão relacionados a granulometria, sendo o valor percentual passante na peneira de N° 200 menos 35 e menos 15, respectivamente. Já as variáveis “c” e “d” representam, respectivamente, o valor do LL menos 40 e o valor do IP menos 10.

$$a = (\%N^{\circ}200 - 35) \quad (\text{Eq. 2})$$

$$b = (\% N^{\circ}200 - 15) \quad (\text{Eq. 3})$$

Segundo Braja (2011), de acordo com o sistema de classificação da AASHTO, o solo pode ser classificado em sete grupos que são eles do: A-1 à A-7, os solos pertencentes aos grupos A-1,A-2 e A3 são considerados materiais granulares nos quais 35% ou menos das partículas passam na peneira N° 200. Já os solos pertencentes aos grupos, A-4, A-5, A-6 e A-7 nos quais passam mais de 35% na peneira N°200, esses solos são compostos principalmente de argila e silte.

Ainda segundo Braja (2011), alguns critérios que são baseados para a sua classificação.

## I. TAMANHO DOS GRÃOS

- a) PEDREGULHO: fração que passa na peneira com abertura de 75mm e fica retido na peneira de N°10 ou 2mm.
- b) AREIA: fração que passa na peneira N° 10 e fica o material retido na peneira N° 200.
- c) ARGILA OU SILTE: fração que passa na peneira N°200.

## II. PLASTICIDADE

É um termo utilizado quando o solo é siltoso e apresenta porções finas e o índice de plasticidade  $IP=10$  ou menos. Já o termo argiloso é aplicado quando as porções apresentam  $IP=11$  ou maior.

De acordo com DNIT (2006), as características de cada um dos grupos e subgrupos de solos apresentados na Tabela 2 em relação a este sistema de classificação, são listados abaixo:

**Grupo A-1** - O material que compõe esse grupo é formado de mistura bem graduada de fragmentos de pedra ou pedregulhos, areia fina, areia grossa e um aglutinante de solo não plástico ou fracamente plástico.

**Subgrupo A-1-a** – Os materiais desse subgrupo apresentam, principalmente, fragmentos de pedra ou pedregulho, com ou sem material fino bem graduado, funcionando como aglutinante.

**Subgrupo A-1-b** – Os materiais que constitui esse subgrupo é principalmente, de areia grossa, com ou sem aglutinante de solo bem graduado.

**Grupo A-2** - Este grupo inclui uma grande variedade de materiais. Está incluído todos os solos com 35% ou menos passando na peneira nº 200, mas que não podem ser classificados como A- 1 ou A-3, devido ao teor de finos que contêm, ou a plasticidade, ou ambos excedendo os limites estabelecidos para os outros grupos.

**Subgrupos A-2-4 e A-2-5** – Está incluso nesse subgrupo os solos que contém 35% ou menos, passante na peneira nº 200, com uma porção menor retida na peneira nº 40, possuindo as características dos grupos A-4 ou A-5. Estes grupos abrangem os materiais tais como pedregulho e areia grossa, em que o teor de silte e o índice de

plasticidade ultrapassam os limites estabelecidos para o Grupo A-1, e ainda areia fina com silte não plástico excedendo os limites do Grupo A-3.

**Subgrupos A-2-6 e A-2-7** – O solo característico desse grupo apresentam semelhança com os subgrupos expostos anteriormente o A-2-4 e A-2-5, exceção feita da porção de finos que contem argila plástica com características dos grupos A-6 ou A-7. Os efeitos combinados dos índices de plasticidade maiores que 10 e percentagem passante na peneira nº 200, maiores que 15, estão refletidos nos valores dos índices do grupo de 0 a 4.

**Grupo A-3** – O solo represente nesse grupo é areia fina de praia ou de deserto, não contendo nem silte ou argila, ou possuindo uma quantidade pequena de silte não plástico. O grupo inclui também misturas de areia fina mal graduada e quantidades limitadas de areia grossa e pedregulho depositados pelas correntes.

**Grupo A-4** – O solo característico desse grupo é o siltoso não plástico, ou moderadamente plástico, possuindo, geralmente, 5% ou mais passando na peneira nº 200. Inclui também misturas de solo fino siltoso com até 64% de areia e pedregulho retidos na peneira nº 200. Os valores dos índices do grupo vão de 1 a 8.

**Grupo A-5** – O solo desse grupo é semelhante ao que foi descrito no grupo anterior o A-4, exceto que ele é, geralmente, de caráter diatomáceo ou micáceo, altamente elástico, indicando elevados valores do limite de liquidez. Os valores dos índices do grupo vão de 1 a 12; esses valores crescentes revelam o efeito combinado do aumento dos limites de liquidez e das percentagens decrescentes de material grosso.

**Grupo A-6** – O típico material presente nesse grupo é argiloso, plástico, tendo, geralmente, 75% ou mais de material passando na peneira nº 200. O grupo inclui também misturas de solos finos argilosos, podendo conter até 64% de areia e pedregulho retidos na peneira nº 200. Os solos deste grupo comumente sofrem elevada mudança de volume entre os estados seco e úmido. Os valores dos índices do grupo vão de 1 a 16.

**Grupo A-7** - A característica do material desse grupo é semelhante ao descrito no grupo anterior A-6, porém possui as características de alto limite de liquidez do grupo A-5, podendo ainda ser elástico e estar sujeito a elevada mudança de volume. Os valores de índices de grupo que vão de 1 a 20 nesse grupo, o crescimento do IG é

em função dos limites de liquidez e dos índices de plasticidade, bem como a diminuição dos materiais grossos.

**Subgrupo A-7-5** – Nesse subgrupo os solos apresentam materiais com moderado índice de plasticidade em relação ao limite de liquidez, podendo ser altamente elástico e sujeito a elevadas mudanças de volume.

**Subgrupo A-7-6** – o material típico desse subgrupo apresenta índices de plasticidade elevados em relação aos limites de liquidez, estando sujeitos a elevadas mudanças de volume.

A tabela 2 mostra as especificações da classificação TBR, sendo que ela separa os materiais em 2 tipos, sendo os materiais granulares passante mais de 35% na peneira N°200 e material silto-argilosos. Através da análise dos parâmetros já citados anteriormente podemos também os materiais constituintes do solo em estudo.

Tabela 2: Tabela de Classificação do solo TBR(Transportation Research Board)

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A-7
	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 min.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira Nº 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosos ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

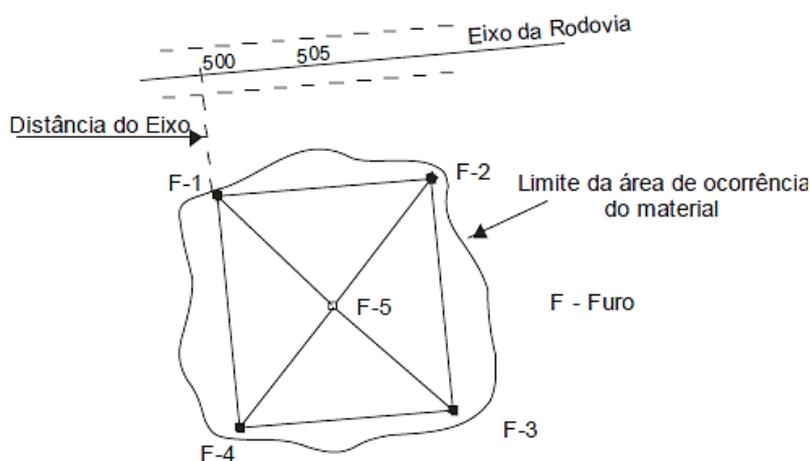
\* O IP do grupo A - 7 - 5 é igual ou menor do que o LL menos 30

### 3.5.2 Ocorrência de Materiais

Conforme o DNIT (2006), o estudo da ocorrência de materiais apropriados para pavimentação é executado com base em dados da geologia e pedologia, tal estudo ocorre em duas fases:

- a) Prospecção preliminar: É feita para feita para identifica a possibilidade da qualidade e aproveitamento de material e seu volume aproximado, essa prospecção é feita através da expedição a campo, sondagens e ensaios em laboratórios.
  - i. Delimita-se a área onde há ocorrência de material, faz-se quatro ou cinco furos de sondagens com profundidade necessária na periferia e no seu interior.
  - ii. De cada furo executado coletasse uma amostra suficiente para os ensaios desejados. O material imprestável constitui a camada superficial é chamado de capa ou expurgo. Os materiais apropriados são denominados seixos ou cascalho.
  - iii. É feita a amarração dos furos anotando as distâncias aproximadas entre eles e em relação a rodovia, como mostra a figura 3 a seguir:

Figura 3: Esquema de sondagem para prospecção preliminar



Fonte: DNIT, 2006

- b) Prospecção definitiva, durante os trabalhos é feita a localização das fontes de abastecimento de água: Assim sendo julgados pela prospecção preliminar como materiais aproveitáveis procedesse o seguinte modo: Uma ocorrência será satisfatória quando o material estudado satisfizer as especificações vigentes dos ensaios ou quando houver a possibilidade de correção por mistura. Os ensaios são:
- i. Granulometria por peneiramento com lavagem na peneira de 2,0 mm e de 0,75 mm.
  - ii. Limite de Liquidez (LL)
  - iii. Limite de Plasticidade (LP)
  - iv. Equivalente de areia
  - v. Compactação
  - vi. Índice suporte Califórnia

### **3.6 ESTUDOS GEOTÉCNICOS**

Para que seja elaborado um projeto de pavimentação de forma adequada, devem ser realizados estudos geotécnicos com dois objetivos principais, a saber, a caracterização do subleito da estrada e o estudo para caracterização dos materiais a serem usados nas camadas estruturais do pavimento. Tais materiais podem provir de prospecções na região de entorno, ou seja, eventuais jazidas ou jazidas já existentes, como também podem ser materiais usinados, como brita graduada simples, brita graduada tratada com cimento, etc. (Manual de Pavimentação do DNIT, 2006)

Algumas propriedades dos solos são bastantes úteis para a sua classificação, entre elas podemos granulometria, índices físicos e os limites de Atterberg (ORTIGÃO, 2007).

#### **3.6.1 Granulometria**

A análise granulométrica determina a distribuição e dimensões dos grãos, o objetivo principal dessa análise é a determinação de uma curva granulométrica. Para ser operada essa análise, será retirada uma amostra para ser submetida ao peneiramento em uma série de peneiras, com uma sequência de aberturas já

determinadas 50 mm, 32mm, 25mm, 19mm, 9,5mm, 4,8mm, 2,0mm, 1,20mm, 0,6mm, 0,420mm, 0,300mm, 0,150mm e 0,075mm. (ORTIGÃO, 2007)

A curva granulométrica, que segundo o DNIT (2006), afirma que, “traça-se a curva granulométrica em um diagrama semi-logarítmico que tem como abcissa os logaritmos das dimensões das partículas e como ordenadas as porcentagens, em peso, de material que tem dimensão media menor que a dimensão considerada (porcentagem de material que passa)”.

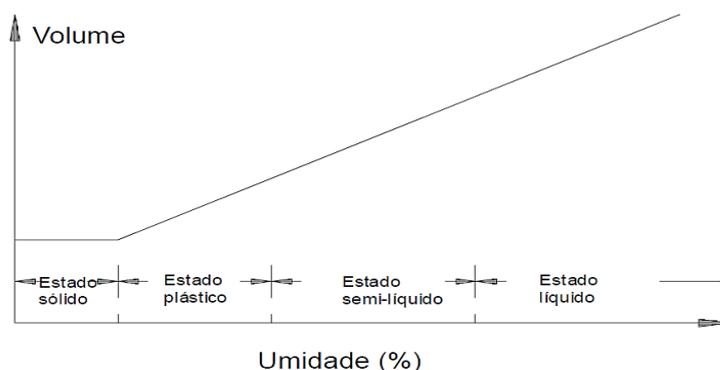
### 3.6.2 Limite de Consistência

O limite de consistência solos entre os estudos da engenharia é uma das características mais importantes. Ela define o comportamento do solo quando submetido a tensões e deformações. O grau considerável de consistência do solo influencia diretamente no comportamento da água nela presente, afetando alguns fatores como a condutividade hidráulica permitindo se fazer interferências sobre a curva de umidade (GONÇALVE, 2018)

De acordo com (ORTIGÃO, 2007), “Por volta de 1911, o agrônomo sueco Atterberg (Über die Physikalische Bodenuntersuchung und über die Plasticitat der Tone, Internationale Mitteilungen Bodenkunde) dividiu os valores de umidade que uma argila pode apresentar em limites correspondentes ao estado aparente do material. Os limites definidos foram os de contração (LC), plasticidade (LP) e liquidez (LL), correspondentes à transição entre os estados sólido, em que não há mais variação de volume, plástico, em que o volume varia com a umidade, e líquido”.

A figura 4 abaixo representa os intervalos de transição do solo:

Figura 4: Limites de Consistência



Fonte: ORTIGÃO, 2007

Ainda de acordo com (ORTIGÃO,2007), Atterberg sugeriu que para classificação dos solos um fator importante seria a informação quanto à amplitude da faixa de plasticidade, essa relação se encontra entre os limites de plasticidade (LP) e liquidez (LL), denominada índice de plasticidade (IP) representados em percentagem e o cálculo é executado através da equação 06 :

$$IP = LL - LP \quad (\text{Equação 04})$$

“Este índice define a zona em que o terreno se acha no estado plástico e, por ser máximo para as argilas e mínimo para as areias, fornece um valioso critério para se avaliar o caráter argiloso de um solo. Quanto maior o IP, tanto mais plástico será o solo. O índice de plasticidade e função da quantidade de argila presente no solo, enquanto o limite de liquidez e o limite de plasticidade são funções da quantidade e do tipo de argila. Quando o material não tem plasticidade (areia, por exemplo), escreve-se  $IP = NP$  (não plástico)”. (DNIT, 2006).

### 3.6.3 Compactação

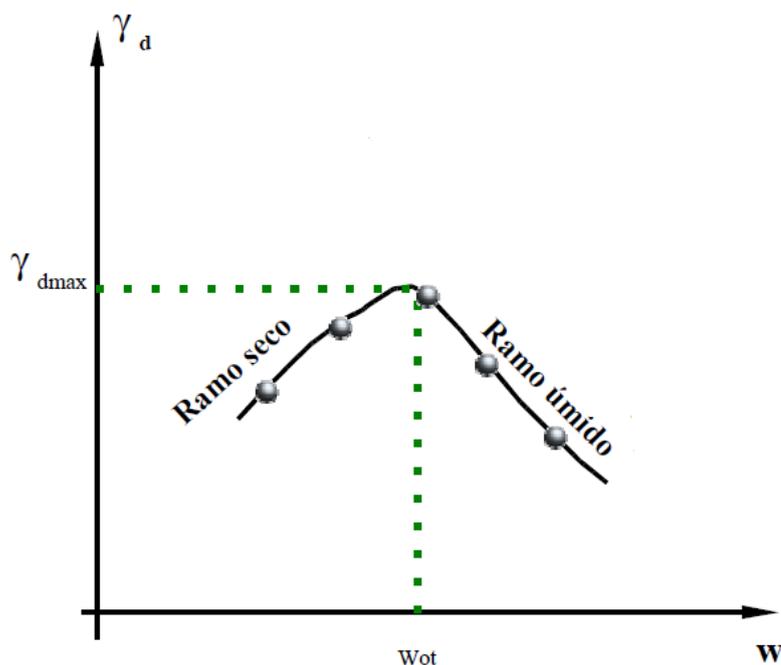
A compactação foi estudada da década de 30 por Proctor, quando analisou a relação entre a umidade do solo e seu processo de densificação. Hoje em dia, o processo de compactação é feito através de rolos compactadores e equipamentos manuais com a adição de água em porcentagens calculadas produzindo melhorias nas propriedades, como rigidez, resistência, impermeabilidade, prevenção e recalques. A compactação é de grande importância em obras como, rodovias, barragens, aterros, etc. (PINTO, 2006).

A compactação aumenta a densidade do solo, melhorando sua resistência e sua durabilidade. Isto é obtido pela redução dos vazios da mistura, por meio da energia de compactação imposta. A redução dos poros também inibe a percolação de água e a erosão, aumentando a durabilidade (ORIOLI, 2018).

Um dos fatores importantes no processo de compactação é a água, que em quantidades adequadas facilita a densificação de uma quantidade de solo quando tal é submetido a uma energia de compactação. Ocorre por conta que a água funciona no solo como uma espécie de lubrificante diminuindo o atrito entre as partículas favorecendo o arranjo entre elas. A partir disso, podemos determinar o ensaio de compactação como um método utilizado para encontrar um nível de umidade que possamos obter a máxima densificação possível, de forma que, caso esse nível de umidade seja ultrapassado, ao invés de ser um auxílio, torna-se um prejuízo (PINTO, 2006).

Em obras rodoviárias, esse ensaio é crucial para facilitar e otimizar o processo de compactação na fase de execução, como também para o processo de dimensionamento do pavimento. Para que possamos chegar a um valor de umidade devemos realizar o ensaio de compactação com o objetivo principal de detectar com qual teor de umidade o solo atinge a máxima densificação, através da confecção de uma curva de compactação com auxílios de recursos computacionais. O teor máximo de umidade promove a condição desejada e conhecida como umidade ótima. Abaixo a figura 5 mostra uma curva típica de compactação:

Figura 5: Curva típica de compactação



Fonte: Apostila da UFBA

#### 3.6.4 Expansividade

A expansividade é o aumento do volume de um determinado tipo de solo, essa expansão ocorre normalmente em solos com características argilosos, este fato está atrelado a ocorrência do fenômeno. A principal causa da expansão de um solo quando estão submetidos a umidades estão tanto a entrada de água nas interfaces da sua estrutura mineralógica, se tratando de materiais argilosos, com liberação de pressão de sucção que tenha sido ocorrendo por exemplo quando acontece o ressecamento do solo. (PINTO, 2006). A expansão é determinada no ensaio de CBR, o extensômetro calibrado mede o quanto solo expande quando submerso por quatro dias.

### 3.6.5 Índice Suporte Califórnia (ISC ou CBR)

Na década de 1920 o ensaio de determinação do Índice Suporte Califórnia, abreviadamente português ISC e no inglês CBR, foi concebido e empregado para avaliação de ruptura do subleito, já que era os defeitos mais frequentes da época observados nas rodovias nos estados da Califórnia. O ensaio de CBR foi criado, conseqüentemente, para avaliar o material quanto a sua resistência em relação aos deslocamentos significativos, sendo que o ensaio de penetração é feito em laboratório.

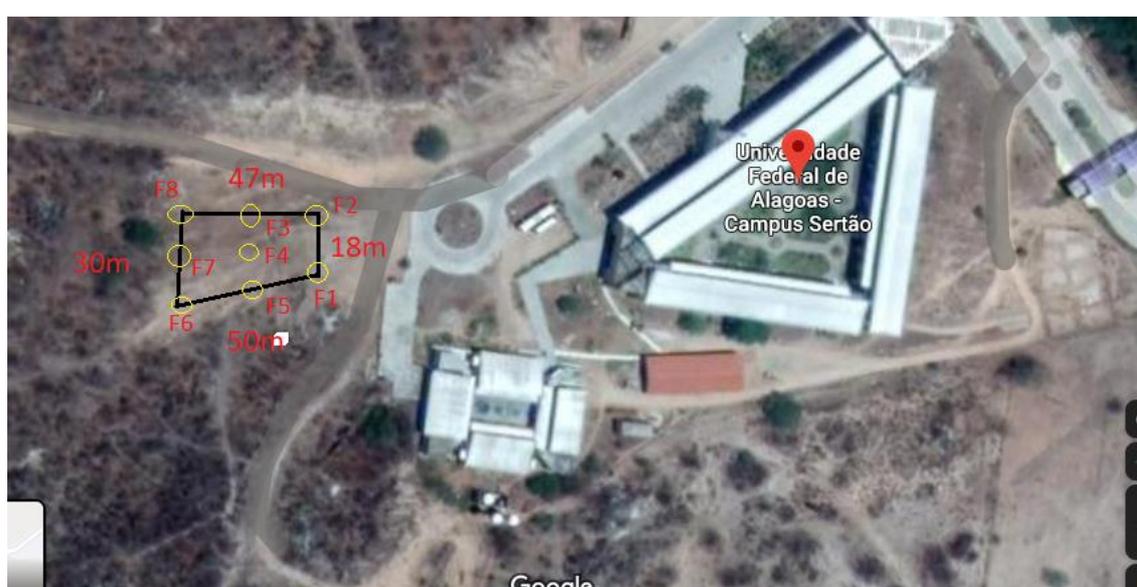
Segundo Ventura (2019), o valor do CBR é dado em porcentagem, corresponde a uma relação entre amostras que totalizam duas, tais amostras são submetidas a mesma carga, sem que dessas amostras uma é de uma amostra padronizada de pedra tendo seu resultado já pré-definidos e outra amostra de solo em estudo. É feita a comparação entre a pressão necessária para que um pistão penetre na amostra de solo a umas determinadas profundidades com os valores já padronizados de pressão relacionados a penetração na amostra de pedra britada sendo o resultado dessa comparação o valor do CBR expresso em porcentagem.

Ainda hoje, o CBR é um dos parâmetros mais importantes usados no dimensionamento de rodovias. Outro fator muito importante do ISC no condicionante para a aprovação de um tipo de solo como subleito, para sua utilização nessa camada é necessário que o ISC mínimo de 2%. Já para esse material servir como base o valor mínimo deve ser 80%. (DNIT, 2006)

#### 4. METODOLOGIA

O presente trabalho utilizou materiais coletado de uma jazida próxima há UFAL- campus do sertão, onde a localização é mostrada na figura 6. Durante a coleta do material para estudo ocorreu em período de chuva nós meses de junho e julho, percebemos que a vegetação na localidade é rasteira, e durante o período de chuva no sertão alagoano forma-se uma pequena lagoa, no entanto a água fica acumulada nessa região da jazida por um certo tempo indeterminado. Tendo em vista todos os aspectos citados que pode apresentar mudanças representativas no solo em estudo, determinaremos através dos estudos geotécnicos se o material dá jazida é de boa qualidade para utilização na pavimentação.

Figura 6: Localização da jazida



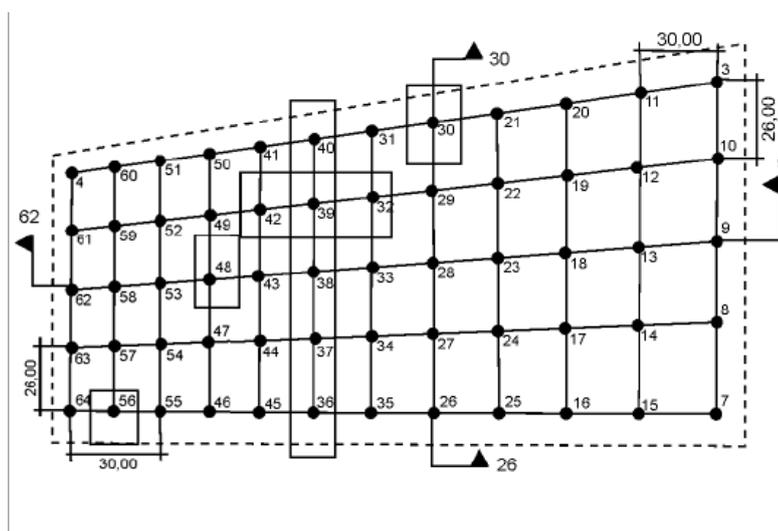
Fonte: Google Maps

A ocorrência de material foi determinada de acordo com o manual de pavimentação do DNIT(2006), que leva em consideração duas fases; (a) prospecção preliminar, (b) Prospecção definitiva, sendo que a prospecção é feita para identificar as ocorrências que apresenta a possibilidade de seu aproveitamento, tendo em vista a qualidade do material e o seu volume.

Na viabilidade de jazida em estudo não foi realizada a prospecção preliminar. O trabalho já começou na prospecção definitiva, onde foi recolhido o material e levado para análise no laboratório. A área da jazida se aproxima de um trapézio, que segundo

o manual de pavimentação do (DNIT, 2006), deve ser definida uma malha composta por 8 furos. Com base na figura 7 que é a representação do manual de pavimentação, cada furo foi executado com a profundidade de 60 cm, desprezando-se os 10 cm iniciais e retirado cerca de 10 à 12 kg de material de cada furo como mostra a figura 8.

Figura 7: Exemplo de malha



Fonte: Adaptada do manual de pavimentação do DNIT

Figura 8: Amostra coletada da jazida



Fonte: Autor

A ocorrência de material é satisfatória para a prospecção definitiva, se o material coletado satisfizer as especificações vigentes dos ensaios, quanto a:

- a) Granulometria por peneiramento com lavagem na peneira 2,0 mm e 0,75mm.
- b) Limite de liquidez (LL)
- c) Limite de plasticidade (LP)
- d) Compactação
- e) Equivalente de areia
- f) Índice suporte Califórnia (ISC) ou CBR.

#### **4.1 Fatores limitantes**

Alguns fatores foram expressivos para o estudo da viabilidade de uma jazida de materiais nas proximidades UFAL com fins para utilização na pavimentação. A falta de equipamentos como trado ou uma retroescavadeira que são bastante úteis na extração dos solos para os ensaios em laboratório, por esses motivos só conseguimos escavar os 70 cm sendo que essas escavações foram feitas manualmente com a utilização de (alavanca, cavadeira, pá, enxada para a limpeza). O ideal para estudo mais detalhado de uma jazida de materiais de acordo com o manual do DNIT é que os furos para estudo de uma jazida, tenha uma profundidade de aproximadamente 1m para que possa ser feito um perfil do solo da região estudada.

#### **4.2 Caracterização geotécnica**

##### **4.2.1 Granulometria por Peneiramento**

A norma que fixa o modo de como se procede o ensaio de granulometria por peneiramento com lavagem nas peneiras de 2,0 e 0,075 mm, é de acordo com a DNER-ME 080/94, o objetivo do peneiramento é a quantidade retida em cada peneira que são colocadas em sequência da maior para menor, buscando conhecer a sua composição granulométrica.

A preparação da amostra é feita pela DNER-ME 041/94, em seguida o material é passado nas peneiras na qual é registrado os valores iniciais nelas contidas, 50 mm, 32mm, 25mm, 19mm, 9,5mm, 4,8mm, 2,0mm, 1,20mm, 0,6mm, 0,420mm, 0,300mm, 0,150mm e 0,075mm, respectivamente, até que estivesse separada

suficientemente em diferentes porções de grãos com diâmetros próximos. A figura 9 a seguir mostra as peneiras utilizadas nos ensaios de granulometria:

Figura 9: Conjunto de peneiras



Fonte: Autor

Depois da amostra peneirada, foi pesado o material retido em cada peneira, anotando-se o valor do peso e encontrando-se a porcentagem do material que passa.

#### 4.2.2 Limite de Liquidez (LL)

A preparação da amostra para ser ensaiado o LL, segue os requisitos dispostos na NBR 6457- que trata da preparação da amostra para os ensaios de caracterização e compactação. Seguindo o método de ensaio do DNIT, DNER-ME122/94, “Solos - determinação do limite de liquidez – método de referência e método expedito”, o ensaio foi realizado com os equipamento a seguir, chamado de Aparelho de Casagrande, que consiste numa concha sobre a qual é adicionado uma quantidade de solo, sendo está apoiada sobre uma base firme. A concha, por um mecanismo presente no aparelho, deve sofrer golpes contra a base como parte do ensaio. A Figura 10 apresenta a aparelhagem e na Figura 11 representa a homogeneização.

Figura 10: Aparelhagem do ensaio de LL



Fonte: Autor

Figura 11: Homogeneização do solo para ensaio



Fonte: Autor

O ensaio foi iniciado adicionando água destilada a uma porção de solo que foi passada na peneira 0,42 mm até atingir a consistência plástica, cuja amostra está contida em uma capsula de porcelana e homogeneizada com uma espátula até o solo ficar umidificado. Os materiais utilizados foram o aparelho de Casagrande, uma balança de precisão e uma estufa na temperatura 105°C à 110 °C. Posteriormente, Seguiu-se o procedimento prescrito no método de ensaio já citado, de forma que, ao final, encontrou-se por interpolação o valor do teor de umidade desejado, ou seja, o teor de umidade para o qual a ranhura feita no solo fecha ao sofrer 25 golpes, sendo

este teor considerado o limite de liquidez do solo. A figura 12 abaixo mostra o solo no aparelho de Casagrande:

Figura 12: Ensaio do limite de liquidez (LL)



Fonte: Autor

#### 4.2.3 Limite de plasticidade (LP)

O ensaio é rígido pela norma do DNIT, DNER-ME 082/94, titulado “solos – determinação do limite de plasticidade”. Os equipamentos para o ensaio são: placa esmerilhada, cilindro de comparação com 3mm de diâmetro, recipientes que guarda a amostra sem perda umidade antes da pesagem, balança de precisão e de uma estufa na temperatura 105°C à 110 °C. A massa para ser trabalhada é umedecida em cerca de 100g e homogeneizada em uma capsula de porcelana com ajuda de uma espátula. A figura 13 mostra os materiais utilizados na execução do ensaio de limite de plasticidade, figura 14 material antes de ir para estufa.

Figura 13: Placa esmerilhada e cilindro comparativo



Fonte: Autor

Figura 14: Amostra antes de ir para estufa



Fonte: Autor

Foi retirada cerca de 20g da amostra homogeneizada para ser passada, rolando-se com a mão sobre a massa de solo até se aproximar do cilindro comparativo, repetindo-se o mesmo procedimento por três vezes, em que cada vez o material é repartido em três partes iguais e armazenadas em 3 capsulas por um período de 24 horas em uma estufa. Posteriormente as 24 horas, as amostras foram retiradas da estufa e em seguida pesadas em uma balança de precisão, obtido os resultados da pesagem a média entre os três valores das 3 capsulas é o valor do limite de plasticidade.

#### 4.2.4 Compactação

O ensaio de compactação proctor normal é regido pela norma do DNIT, DNER-ME 162/94; tendo um objetivo de gerar a curva de compactação do solo. Coleta-se cerca de 6kg do material destorroado, adiciona-se água à amostra até se verificar uma certa consistência. Deve-se prestar bastante atenção para uma boa homogeneização da amostra. A compactação da amostra no molde cilíndrico é composta por 3 camadas iguais e em cada camada são aplicados 26 golpes distribuídos uniformemente sobre

a superfície da camada, com o soquete caindo a uma altura de 0,305m. Em seguida, o colarinho e a base são retirados, ocorre a regularização da superfície do material à altura do molde e pesa-se o conjunto cilindro + solo úmido compactado. Retira-se a amostra do molde com auxílio do extrator (base de extração com macaco hidráulico), e partindo o corpo de prova ao meio, coleta-se uma pequena quantidade para a determinação da umidade.

Esse resultado foi correlacionado com a massa específica seca e obtida o primeiro ponto. Como o ensaio ocorreu com reaproveitamento do material; desmancha-se o material compactado até que possa ser passado pela peneira de 4,8mm, após a passagem do material na peneira já citada o ensaio como dito em norma se repete no mínimo cinco vezes, a cada vez repetida o ensaio adiciona-se cerca de 2 a 5% de água ao restante da amostra inicial. Encontrando os valores de massa específica seca e umidade, desenha-se a curva de compactação. As figuras 15 e 16 mostra os equipamentos necessário para execução do ensaio.

Figura 15: Equipamentos



Fonte: Autor

Figura 16: Compactação das camadas



Fonte: Autor

De acordo com norma do DNER 162/94, para o cálculo da massa específica aparente do solo seco compactado, determina-se primeiramente após cada compactação a massa específica aparente do solo úmido pela seguinte formula 05:

$$\gamma_h = \frac{P'_h}{V} \quad (\text{Equação 05})$$

A massa específica aparente do solo úmido ( $\gamma_h$ ) deve ser determinada pelo peso do solo úmido compactado ( $P'_h$ ) sobre o volume do cilindro (V).

Em seguida, após cada compactação, determina-se a massa específica aparente do solo seco ( $\gamma_s$ ), pela fórmula 06:

$$\gamma_s = \gamma_h \frac{100}{100 + h} \quad (\text{Equação 06})$$

Temos que  $h$ = teor de umidade do solo seco;

O resultado desejado do ensaio é uma curva de compactação mostrado no sistema ortogonal, sendo no eixo das ordenadas a massa específica aparente do solo seco compactado ( $\gamma_s$ ) e no eixo abscissas o teor de umidade em porcentagem (%).

#### 4.2.5 CBR

A NBR DNIT 172/2016 tem por objetivo fixar as condições para determinação do Índice de Suporte Califórnia de solos. De acordo com a norma citada, para a moldagem do corpo-de-prova, o solo é passado na peneira 4,8 mm”, compactado na massa específica e com umidade determinada no ensaio de compactação do proctor normal. A aparelhagem determinada para o ensaio é composta por: molde cilíndrico metálico com 15,24 cm  $\pm$  0,05 cm de diâmetro interno e 17,78 cm  $\pm$  0,02 cm de altura, disco espaçador metálico, de 15,00 cm  $\pm$  0,05 cm de diâmetro e de 6,35 cm  $\pm$  0,02 cm de altura, soquete metálico cilíndrico, de face inferior plana, com diâmetro de 5,08 cm  $\pm$  0,01 cm, massa de 4,536 kg  $\pm$  0,01 kg, e com altura de queda de 45,72 cm  $\pm$  0,15 cm , prato perfurado de bronze ou latão, com 14,90 cm de diâmetro e 0,50 cm de espessura, com uma haste central de bronze ou latão, extensômetro com curso mínimo de 10 mm, graduado em 0,01mm e prensa para determinação do Índice de Suporte Califórnia como mostra a figura 17 a seguir.

Figura 17: Prensa (CBR\_MARSHAL) automática



Fonte: Autor

Depois de compactado o corpo de prova, coloca-se o disco anelar de aço como sobrecarga representativa de um pavimento, dividido diametralmente em duas partes com 2,27 kg de massa total, diâmetro externo de 14,90 cm e diâmetro interno de 5,40 cm. Em seguida, o corpo de prova foi submerso em água por quatro dias, acrescentou-se o extensômetro com curso mínimo de 10 mm, graduado em 0,01mm, anotando-se a cada 24 horas os valores mostrados no extensômetro que mede a expansão, como mostra as figuras 18 e 19:

Figura 18: Corpo de prova com extensômetro e disco anelar



Fonte: Autor

Figura 19: Corpo de prova submerso



Fonte: Autor

Passados os quatro dias, retirou-se o corpo de prova e deixou-se escorrer a água por quinze minutos. Em seguida, o corpo de prova foi levado para a prensa onde foram computados os valores de tensão e penetração.

Como todos os valores em mão, é possível calcular tanto a expansão quanto o suporte C.B.R. A expansão foi determinada pela diferença da leitura no extensômetro durante os 4 dias sobre a altura do corpo de prova.

$$EXPANSÃO = \frac{LEITURA\ FINAL - LEITURA\ INICIAL\ EXTENSÔMETRO}{ALTURA\ DO\ CORPO\ DE\ PROVA} \quad (Equação\ 07)$$

Os valores do Índice de Suporte Califórnia – ISC ou CBR, são definidos através do gráfico traçado com curva tensão *versus* penetração com os dados obtidos durante a penetração do pistão. Foram observados e devidamente anotados os valores da tensão para cada corpo de prova. Além disso, foram anotadas as cargas aplicadas correspondentes aos seguintes valores de penetração: 0.63mm, 1.27mm, 1.9mm, 2.54mm, 3.81mm, 5.08mm, 7.62mm, 10.16mm, 12.7mm.. Em seguida, foi possível determinar a porcentagem do ISC através da equação 08 apresentada abaixo e para o qual será adotado o maior valor.

$$CBR = \frac{PRESSÃO \text{ CÁLCULADA OU } PRESSÃO \text{ CORRIGIDA}}{PRESSÃO \text{ PADRÃO}} \times 100 \quad (\text{Equação 08})$$

A pressão padrão é relacionada a um determinado tipo de pedra britada que apresenta Índice de Suporte Califórnia de 100%, no qual seus valores definidos na norma são 70 kgf/cm<sup>2</sup> para 0,1 de penetração e 105 kgf/cm<sup>2</sup> para 0,2.

## 5. RESULTADOS

Nesse capítulo, serão apresentados os resultados obtidos dos estudos geotécnicos e das análises realizadas com as oito amostras coletadas e ensaiadas em laboratório, seguindo os requisitos das normas já citadas no capítulo da metodologia. As amostras foram separadas e enumeradas da seguinte maneira, como apresenta a tabela 3.

Tabela 3: Identificação dos furos na malha

		AMOSTRAS DE SOLO							
AMOSTRA		1	2	3	4	5	6	7	8
MALHA		FURO 1	FURO 2	FURO 3	FURO 4	FURO 5	FURO 6	FURO 7	FURO 8

Fonte: Autor

### 5.1 Análise granulométrica

Os resultados da análise granulométrica apresentados na tabela 4 estão separados de acordo com a porcentagem de cada tipo de material (areia, pedregulho, silte e argila) presentes nas amostras. A figura 20 apresenta as curvas granulométricas, relacionando o material passante em cada peneira. Pode-se observar que o material analisado tem uma graduação muito fina, cujo material passante na peneira n°200 corresponde a mais de 50% em algumas amostras, revelando seu caráter siltoso e argiloso.

Tabela 4: Composição granulométrica

	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)		
	PEDREGULHO	AREIA	SILTE+ARGILA
AMOSTRA 01	0,76	40,15	59,09
AMOSTRA 02	0,71	46,63	52,66
AMOSTRA 03	0	51,9	48,1
AMOSTRA 04	0,37	45,6	54,02
AMOSTRA 05	0,05	49,05	50,9
AMOSTRA 06	0,07	45,88	54,05
AMOSTRA 07	0,22	40,35	59,43
AMOSTRA 08	0,23	46,92	52,85

Fonte: Autor

As amostras analisadas foram retiradas da mesma jazida nas proximidades da UFAL, que de acordo com Pinto (2006) o solo da mesma origem pode apresentar granulometria bem variada. Através da análise granulométrica é possível verificar que a granulometria dos materiais da jazida se aproximou bastante entre si, principalmente

entre as amostras 1,2,4,5,6,7,8, cujos valores de silte e argila ultrapassaram os 50%. A única amostra que não ultrapassou o valor de 50% foi a amostra 3, apesar de apresentar um valor aproximado.

A porcentagem de areia nas amostras também foi bastante representativa, variando-se entre 40% a 49 %. A única amostra que diferenciou foi a 3, apresentando um valor percentual maior que 50%. Essas porcentagens de areia são compostas por areias fina, média e grossa. Por outro lado, a porcentagem de pedregulho nas amostras foi insignificante diante da quantidade de areia, silte e argila presentes. Apesar disso, houve uma pequena variação compreendida no intervalo de 0% à 0,71%.

Fazendo um comparativo da granulometria com Oliveira (2017), podemos ver que o material extraído da jazida nas proximidades da AL-220 tem uma granulometria maior, ou a quantidade de pedregulho é mais elevado, como também a quantidade de Silte e argila é bem menor comparando com a nossa jazida nas proximidades da UFAL. Podemos ver mais claro na tabela 5 abaixo.

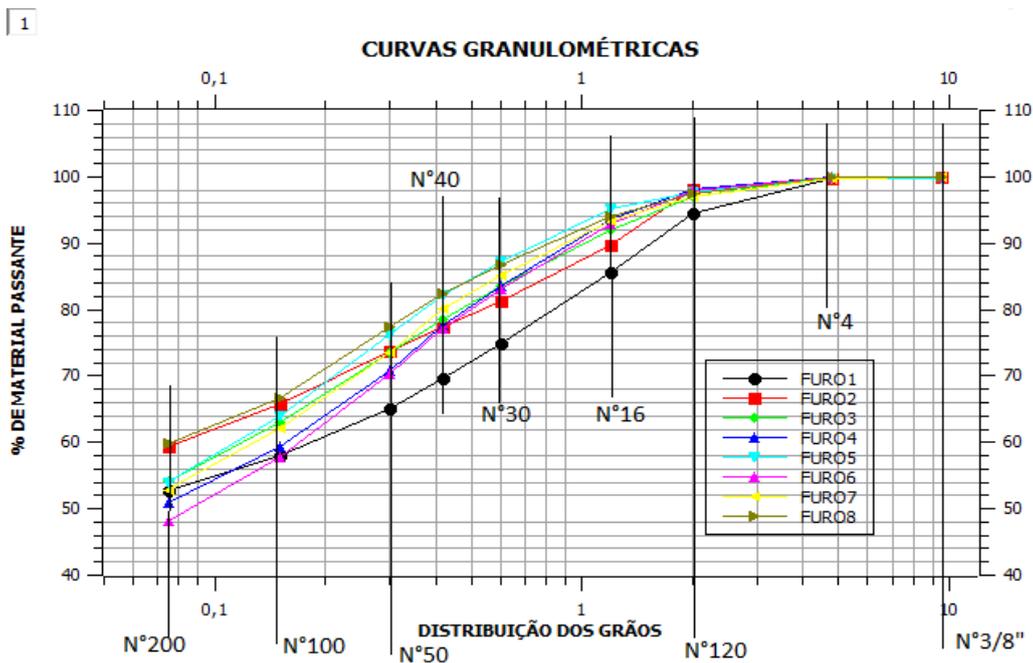
Tabela 5: Composição granulométrica AL-220

	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)		
	PEDREGULHO	AREIA	SILTE+ARGILA
<b>AMOSTRA 01</b>	32	46	22
<b>AMOSTRA 02</b>	8	56	36
<b>AMOSTRA 03</b>	9	55	36
<b>AMOSTRA 04</b>	10	54	36
<b>AMOSTRA 05</b>	32	47	21
<b>AMOSTRA 06</b>	20	51	29
<b>AMOSTRA 07</b>	14	50	33
<b>AMOSTRA 08</b>	33	47	20
<b>AMOSTRA 09</b>	6	59	35

Fonte: Oliveira, 2017

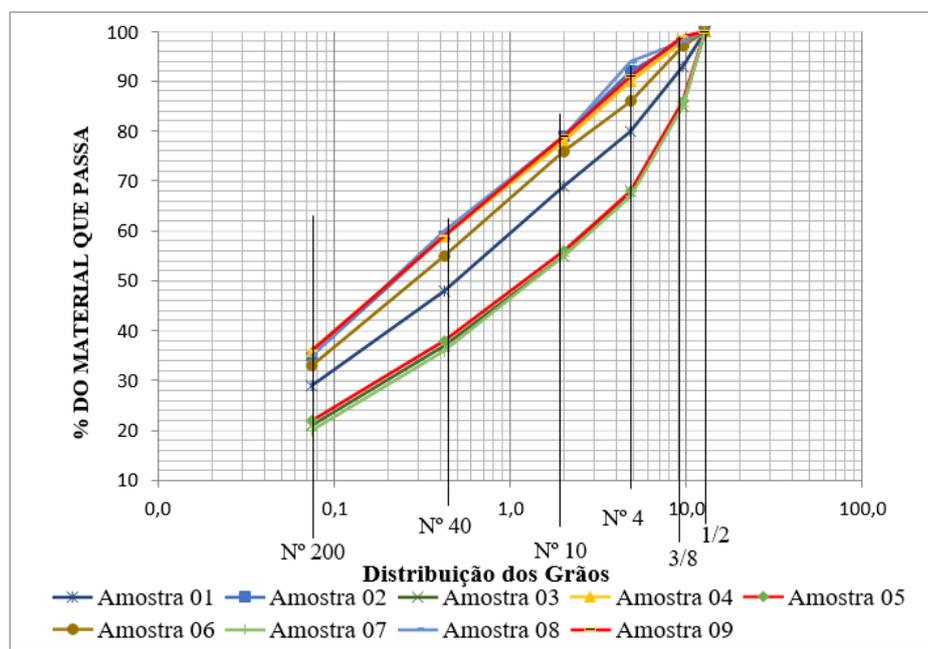
Diante disso, com relação à granulometria, e analisando a tabela 4 percebe-se que o solo apresenta uma graduação fina com a maior parte composta por silte e argila, apresentando pouco material pedregulhoso e uma predominância de areia e finos.

Figura 20: Curvas de distribuição granulométrica



Fonte: Autor

Figura 21: Curva granulométrica da AL-220



Fonte: Oliveira,2017

## 5.2 Limite de liquidez e plasticidade

A análise de consistência só foi possível ser realizada devido à grande quantidade de materiais finos presentes nas amostras. Diante disso, foram realizados os ensaios de Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP). São adotados os valores de referência de LL entre 25% a 50% para solos siltosos e de 40% a 60% para solos argilosos. As amostras apresentaram valores que ficam dentro do intervalo dos materiais siltosos.

Por outro lado, é importante ressaltar que solos com alto IP possuem alta capacidade de absorção de água, cuja eliminação dessa água pode gerar problemas de recalques no solo. Abaixo encontra-se a tabela 6 onde apresentam os valores LL, LP e IP, e os gráficos de LL estão representados Apêndice 4.

Tabela 6: Valores de LL, LP e IP

FATORES	FURO 1	FURO 2	FURO 3	FURO 4	FURO 5	FURO 6	FURO 7	FURO 8
LL	41	41	38	38	40	26	36	26
LP	19	16	17	25	18	14	15,7	14,9
I.P	22	25	21	13	22	12	20,3	11,1

Fonte: Autor

Podemos perceber através da tabela 6 que os solos nos ensaios de consistência apresentaram um elevado valor do Índice de plasticidade, assim, o solo da jazida possui elevado poder de absorção da água, o que não é desejável para a pavimentação. Fazendo um comparativo com a tabela do livro do (Braja 2011), como mostra a tabela 7 abaixo, percebemos que o material da jazida apresenta valores de IP compreendidos entre 20 e 30 nos furos 1,4,6 e 8, considerando-se o material de plasticidade média. Já nos furos 2,3,5 e 7 apresentam plasticidade alta com valores de IP compreendidos no intervalo de 20 a 40.

Tabela 7: Descrição do índice de plasticidade

<b>IP</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
0	Não - plástico
1-5	Ligeiramente plástico
5-10	Plasticidade baixa
10-20	Plasticidade média
20-40	Plasticidade alta
>40	Plasticidade muito alta

Fonte: Braja 2011

Através dos ensaios em laboratório, foi possível determinar os valores dos índices de grupo, cujos valores foram maiores que zero, como mostra a tabela 8. A camada de sub-base exige  $IG=0$ , portanto, as amostras apresentadas não satisfazem tal condição.

Tabela 8: Índice de grupo

<b>TABELA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRUPO</b>								
<b>AMOSTRA</b>	<b>FURO 1</b>	<b>FURO 2</b>	<b>FURO 3</b>	<b>FURO 4</b>	<b>FURO 5</b>	<b>FURO 6</b>	<b>FURO 7</b>	<b>FURO 8</b>
<b>ÍNDICE DE GRUPO</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>3</b>

Fonte: Autor

### 5.3 Classificação dos solos (TBR)

A classificação escolhida para o solo da jazida em estudo foi a TBR (Transportation Research Board), por ser a mais usada no ramo da engenharia rodoviária. Analisando a Tabela 2 da esquerda para direita como determina o Manual de Pavimentação do (DNIT, 2006), o primeiro grupo que se encaixar nas especificações expostas é o grupo correto. Com análise da Tabela 2 foi possível a determinação do grupo em que se encaixa o solo, levando em conta as características das amostras estudadas por cada um dos ensaios necessários.

Levando em consideração as amostras ensaiadas quanto à granulometria, o resultado do material passante na peneira N°200 apresenta porcentagem maior que

35%, considerado material fino. Analisando a Tabela 2, pode-se perceber que o material se enquadra na classificação geral dos materiais Siltos-Argilosos.

As amostras dos furos 3,4,5,6,7,8, pertencem ao grupo A-6 com seu material constituinte predomina a argila apresentando grande variação de volume quando nos vazios contem água. Já as amostras dos furos 1 e 2 pertencem ao grupo A-7-6 também como os furos citados anteriormente o material constituinte é a argila, esse grupo apresenta o índice de plasticidade elevados com valores de  $IP=21$  e  $IP=25$  respectivamente. Todavia, os solos pertencentes a esses grupos são considerados para com o seu comportamento no subleito características de sofrível a mau. A tabela 9 demonstra os grupos em que se encaixam cada amostra estudada.

Tabela 9: Resultado da classificação TBR

TABELA DE CLASSIFICAÇÃO (TBR)								
AMOSTRAS	FURO 1	FURO 2	FURO 3	FURO 4	FURO 5	FURO 6	FURO 7	FURO 8
GRUPOA	A-7-6	A-7-6	A-6	A-6	A-6	A-6	A-6	A-6

Fonte: Autor

#### 5.4 Teor de Umidade Ótima e Densidade Seca Máxima

Os resultados dos ensaios de compactação apresentados na tabela 10 foram realizados com o intuito de determinar o teor de umidade ótimo mais conveniente para se obter a máxima compacidade com a energia de compactação normal, informação importante que deve ser conhecida durante a etapa de construção de estradas.

Tabela 10: Resultado dos ensaios de compactação

Amostras	F.01	F.02	F.03	F.04	F.05	F.06	F.07	F.08
<b>W<sub>ótima</sub> (%)</b>	16	11,5	12,7	19,4	15,9	14,9	14,1	13,1
<b>Dens. Seca. máx.(g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,75	1,82	1,83	1,69	1,79	1,85	1,89	1,78

Fonte: Autor

Observa-se que os valores de densidade máxima seca não deferiram muito entre si. Ressalta-se que para os furos 2, 3, 6, 7 e 8 apresentaram maiores valores de densidade, no entanto as suas umidades variam de 11,5% a 14,9%. Já as amostras 1, 4, 5 apresentaram valores mais baixos que os citados anteriormente, variando-se entre 1,69 g/cm<sup>3</sup> e 1,79 g/cm<sup>3</sup>, no entanto, essa possível redução se deve ao aumento da umidade, variando entre 15,9% e 19,4%.

Comparando esses resultados com os resultados do TCC Oliveira (2017), Caracterização Geotécnica do solo de Delmiro Gouveia-AL mostrado na tabela 11, cujo material estudado foi utilizado na pavimentação da AL-220, pode-se perceber que a diferença de umidade do material em destaque para o material da AL-220 é bastante elevado, cujo maior valor de umidade encontrado de 10,9% se assemelha ao menor valor de umidade da jazida nas proximidades da UFAL, no valor foi de 11,5%. Esses valores elevados de umidade, tem relação com a granulometria do material que apresentou ser bastante fino com presença de argila e silte, que devido a essa composição o solo absorve muito mais água como disposto anteriormente.

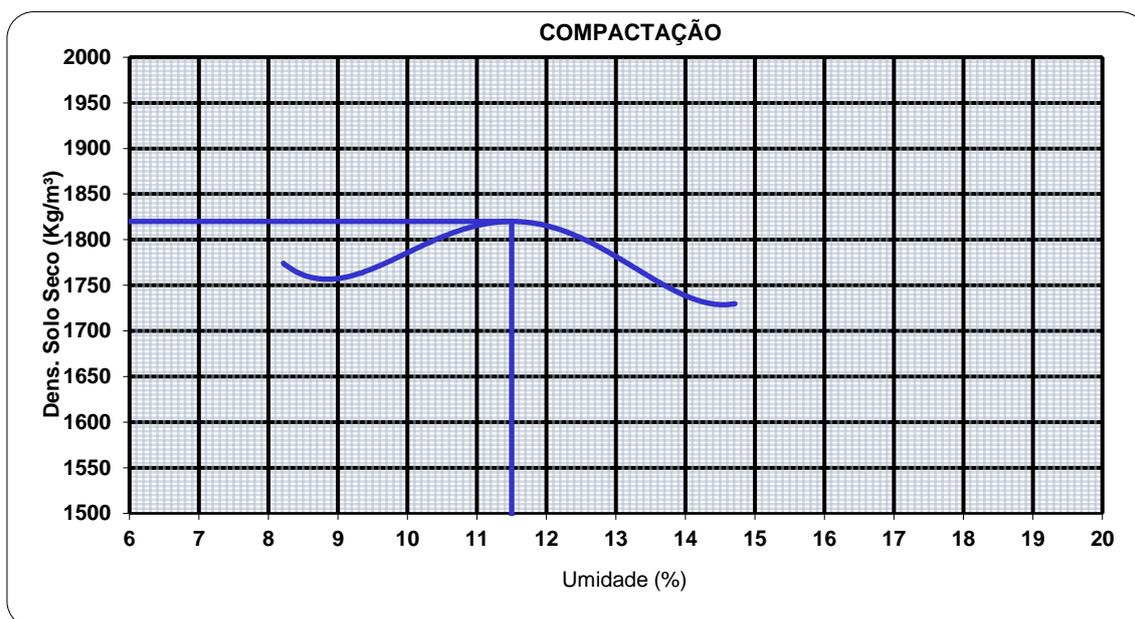
Tabela 11: Resultado da compactação da AL-220

<b>Amostras</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>04</b>	<b>05</b>	<b>06</b>	<b>07</b>	<b>08</b>	<b>09</b>
<b>W<sub>ótima</sub> (%)</b>	8,9	11	10,9	9,8	8,4	9,0	10	8,0	10,2
<b>Dens. Seca. máx.(g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,13	1,98	1,94	1,94	2,15	2,05	2,00	2,145	1,97

Fonte: Oliveira, 2017

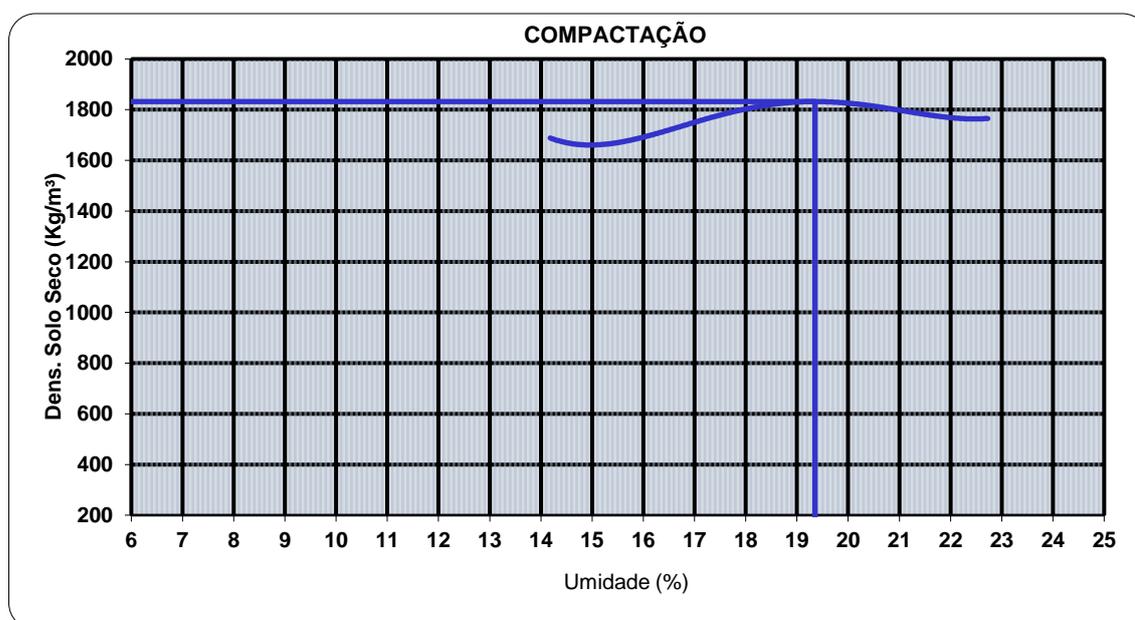
Nas figuras 22 e 23 apresentam os resultados da compactação do maior (furo4) e menor (furo2) valor de umidade. A compactação é um parâmetro importante, uma vez que o material para ser usado na pavimentação tem que obedecer à umidade ótima encontrada, como também o valor da umidade ótima é utilizado para o ensaio do CBR. Os outros gráficos que representam os outros furos estão dispostos no Apêndice 2.

Figura 22: Resultado da curva de compactação com menor teor de umidade



Fonte: Autor

Figura 23: Curva de compactação com maior teor de umidade



Fonte: Autor

## 5.5 Índice suporte Califórnia ISC ou (CBR)

O CBR é um importante parâmetro de resistência que mede a capacidade suporte do solo. A tabela 12 apresenta o CBR das amostras em análise.

Tabela 12: Resultados dos ensaios de CBR

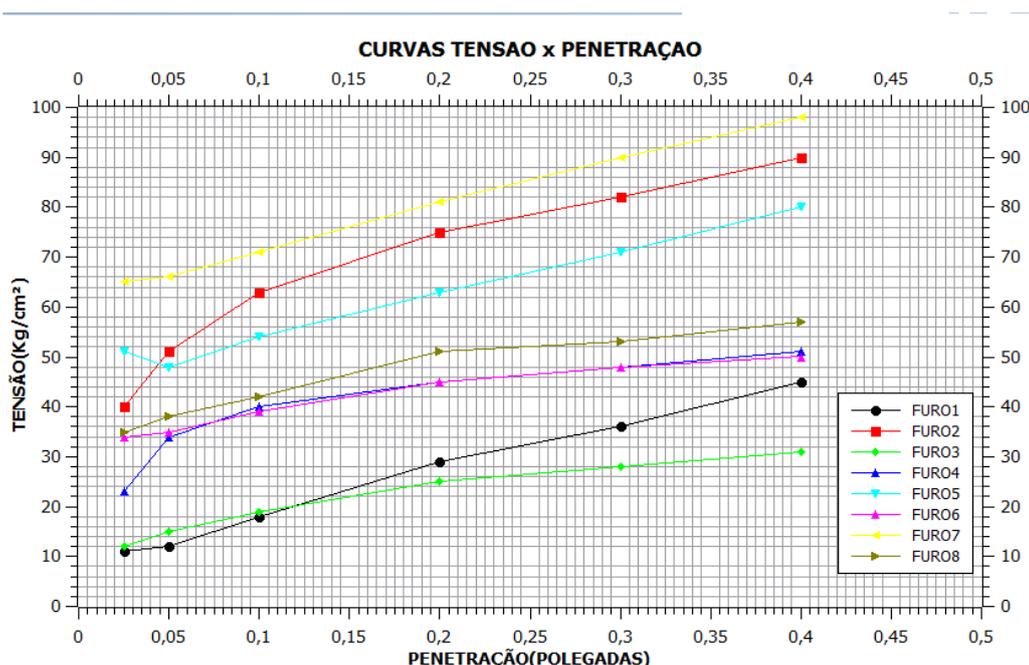
TABELA DO CBR								
CBR	FURO 1	FURO 2	FURO 3	FURO 4	FURO 5	FURO 6	FURO 7	FURO 8
%	6,7	11,3	6,2	6,4	8,6	3	10	3,1

Fonte: Autor

Podemos observar que os valores dos CBR's apresentados na tabela 12 atendem com uma certa folga o mínimo de suporte determinado pelo manual de pavimentação do DNIT para ser usado como subleito, como também o material pode ser usado na camada do reforço do subleito, como mostra a tabela 1.

Analisando os dados da tabela 12, verifica-se que os furos 2 ,5 e 7 são os maiores valores de suporte sendo, já o restante dos outros furos apresentaram um CBR menor que os citados sendo que variam no intervalo 3% a 6,7%. Todos esses valores do CBR não atende as especificações de trabalhos para outras camadas de sub-base e base. Abaixo na figura 24 está apresentado as curvas que relaciona a tensão x penetração.

Figura 24: Curvas de tensão-penetração



Fonte: Autor

Analisando a figura 24, observa-se que as curvas dos furos 2,5 e 7 que mais se destacam são as que o CBR tem os maiores valores. Os dados de todos os CBR's estão dispostos no Apêndice 1.

## **5.6 Análise da viabilidade da jazida**

### **5.6.1 Resumo dos Principais Parâmetros**

Podemos apresentar os principais parâmetros analisados, tais como a Granulometria: onde resultou na composição do solo metade areia e metade finos (silte e argila). O material apresentou no geral uma Plasticidade média, com índices de grupo variando de IG=2 a 9 e CBR apesar do material conter 50% areia e 50% (Silte e Argila) apresentou resultados satisfatório para subleito e reforço do subleito com valor de 3 % a 10 %.

### **5.6.2 A não Utilização nas Camadas de Base e Sub-base**

O solo contido na jazida resultou em um material não compatível com os pré-requisitos para seu uso em camadas como base e sub-base. Os motivos foram que para camada de base o valor mínimo do ISC  $\geq 80\%$ . Já no tocante a sub-base o valor mínimo adotado para essa camada é ISC  $\geq 20\%$ . Tendo em vista que na tabela 12 os resultados do CBR estão demonstrados.

### **5.6.3 Material Classificado Segundo a TRB**

Apesar da alta plasticidade do material fino e ser classificado segundo a TRB em sofrível a ruim, a jazida possui boa quantidade areia, material desejável na pavimentação, e atende aos requisitos mínimos para destinação no subleito.

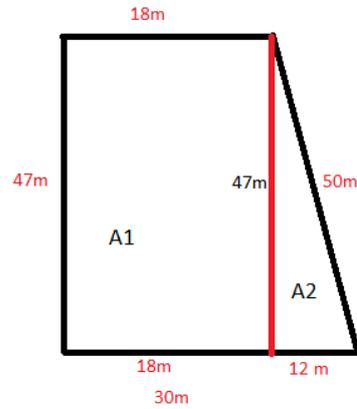
### **5.6.4 Amostra Apropriadas para utilização**

Podemos dar destaque para as melhores amostras para utilização no subleito, sendo elas dos Furos 1,2,3,4,5,7 com seus valores de CBR mais elevados que o mínimo previsto para essa camada que  $CBR \leq 2\%$ .

### **5.6.5 Volume da jazida**

Com relação ao volume da jazida, separamos a figura 9 e aproximamos a área 1 a um retângulo e a área 2 a um triângulo, como mostra a figura 25.

Figura 25: Determinação das áreas da jazida



Fonte: Autor

Para o cálculo do volume usamos A1 como retângulo e A2 aproximamos de um prisma, no entanto calculamos o volume do material da jazida.

$$V = V_{A1} + V_{A2} = 1692 \text{ m}^3 \quad (\text{Equação 09})$$

## 6. Conclusões

O presente trabalho através dos ensaios geotécnicos analisou as amostras de solo da região de Delmiro Gouveia, a área em estudo se localiza próximo a UFAL-Campus do Sertão para avaliar em qual das camadas da pavimentação rodoviária poderia ser utilizada.

Referente ao ensaio de granulometria do solo não houve tanta divergência. Porém as amostras analisadas apresentaram características de material fino com a presença de areia na sua composição, esse material é composto por Areia+(Silte+Argila), sendo que o Silte+Argila apresentam valores em torno de 48,1% a 59,43%, a presença de areia nas amostras foram significativas sendo que os valores ficaram em torno de 40,15% a 51,9%. Já a presença de material grosseria foi bastante baixa variando 0% a 0,76%. Este material voltado para pavimentação apresenta má graduação, tendo em vista que em relação a sua plasticidade o material se comporta como um material medianamente plástico ou de alta plasticidade. Com relação aos ensaios de compactação o material nos apresentou valores de umidades elevados de 11,5 % a 19,4%, justamente por conta da porcentagem de material fino sendo que em alguns casos esse valor ultrapassou 50%. O ensaio mais expressivo para a viabilidade de material da jazida é o CBR mesmo que o material tenha apresentado com baixa qualidade quanto a sua classificação esse material demonstrou valores de CBR bastante satisfatório para duas camadas do pavimento, o intervalo dos valores de 3% a 11,3%.

No que diz respeito a sua classificação no qual usamos a mais utilizada que foi a TBR, as amostras de solos foram analisadas e classificadas como pertencentes aos grupos dos solos Siltos-argilosos nos quais foram A-6 e A-7-6.

As análises dos materiais recolhidos dos oito furos, foi de grande importância possibilitando identificar um material de má qualidade, mais que atende aos requisitos pré-definidos pelo DNIT. Dessa forma, podemos concluir que o material analisado tem resistência como determinado pelo ensaio de CBR uma resistência para subleito e reforço do subleito podendo assim ser utilizado na pavimentação rodoviária, totalizando um volume de material aproximadamente de 1692 m<sup>3</sup>.

## 6.1 Sugestões futuras

Como sugestões para trabalhos futuros, tem-se:

- √ Melhoria do solo da jazida para utilização em outras camadas;
- √ Análise das características das amostras deste trabalho para outras atividades da construção civil e ou em obras geotécnicas;
- √ Estudo da resistência ao cisalhamento e à fluência desses materiais após vida útil nas rodovias.

## 7. Referenciais

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1986) **ABNT NBR 6457: AMOSTRAS DE SOLOS** – Preparação para ensaios de compactação e caracterização. Rio de Janeiro 1986.

ALMEIDA, GIL CARVALHO PAULO DE. **Caracterização Física e Classificação dos Solos**. [S. l.: s. n.], 2005. 145 p. v. 1.

BERNUCCI, Liedi Bariani et. al. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras, ABEDA, 2006.

BALBO, Jose Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo; Oficina de Textos, 2007.

BALBO, José Tadeu. **Pavimento de concreto**. [S. l.: s. n.], 2009. 472 p. Sao Paulo: Oficina de Textos, 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2006.

Dissertação (Mestre em Engenharia Civil: Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.

**DNIT – ME 134/2010**: Solos – Pavimentação– Determinação do Módulo de Resiliência. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

DAS, Braja. M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. São Paulo: Thomson, 2007.

\_\_\_\_\_. **DNER – ME 041/94**: Solos – preparação de amostras para ensaio de caracterização. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. **DNER – ME 172/2016**: Solos – Determinação do índice Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Revisão da norma. **DNER – ME 049/94**, Rio de Janeiro, Março/2016.

\_\_\_\_\_. **DNER – ME 122/94**: Solos – determinação do limite de liquidez – método de referência e método expedito. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. **DNER – ME 082/94**: Solos – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1994.

**DNIT – ME 160/201**: Solos – Pavimentação– Determinação da expansividade - Método de Ensaio. Revisão da norma. **DNER – ME 029/94** Rio de Janeiro, 2012.  
CHIOSSI, N. J. **Geologia aplicada à engenharia**. 2 ed. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1979.

ESTUDOS GEOTÉCNICOS. **ISF-Instrução de Serviço Ferroviário**. Janeiro, 2017.

GONÇALVES, Rafael Abrantes; MONTEIRO, Veruschka Escarião Dessoles.

**Mecânica dos solos Experimental**. 1. ed. [S. l.]: EDUFMG, 2018. 104 p. v. 1.

INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS - IPR. NOVEMBRO/2010.

**PAVIMENTAÇÃO - REFORÇO DO SUBLEITO - ESPECIFICAÇÕES DE SERVIÇO**, [S. l.], p. 7, 2010

MACHADO, Sandro Lemos; MACHADO, Miriam de Fátima C. **MECÂNICA DOS SOLOS I: Conceitos introdutórios**. [S. l.: s. n.], 1997. v. 1.

MT-DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **DNER –ME 080/94: Solos – Análise granulométrica por peneiramento – Método de Ensaio**.

NETO, R. S. B. **Análise comparativa de pavimentos dimensionados através dos métodos empírico do DNER e mecanístico e proposta de um catálogo simplificado de pavimentos para a região de Campo Grande (MS)**. 2004. 189f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ORTIÇÃO, J.A.R. **Introdução à Mecânica dos Solos dos Estados Críticos**. [S. l.]: Terrateck, 2007. 391 p. v. 3.

ORIOLI, Monigleicia Alcade. **Estudo do uso de agregado reciclado de resíduos de construção e demolição em misturas solo-agregado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**. 3ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PASSOS, Maria Cristina Ferreira. **METODOLOGIA MCT APLICADA AOS SOLOS ARENOSOS FINOS LATERÍTICOS DO RIO GRANDE DO SUL VISANDO PAVIMENTAÇÃO**. 2000. Dissertação apresentada ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil Com requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [S. l.], 2000.

RODRIGUES, José Luís azevedo. **conceção de pavimentos rígidos**. 2011. 128 f. mestre em engenharia civil; especialização em vias de comunicação (mestre) - faculdade de engenharia da universidade do porto, [s. l.], 2011.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação**. 2. ed. [S. l.]: PINI Ltda, 2008. 758 p. v. 1.

SANTOS, Eliana Fernandes dos. **Estudo Comparativo De Diferentes Sistemas De Classificações Geotécnicas Aplicadas Aos Solos Tropicais**. 2006. 145 f.

SILVA, Antônio Cleiton Lopes; JÚNIOR, José Carlos Calado Sales; FROTA, Consuelo Alves da. Módulo de resiliência de solo típico do Amazonas misturado com resíduo cerâmico. **Revista Ciência e Tecnologia**, [S. l.], p. 11, 23 dez. 2016.

VILLIBOR, Douglas Fadul; NOGAMI, Job Shuji. **Pavimentos Econômicos: Tecnologia do Uso de Solos Finos Lateríticos**. São Paulo: Arte e Ciência, 2009.

VENTURA, Augusto José Angelino. **Desenvolvimento de um Projeto Básico de Pavimentação para uma Estrada Vicinal na Cidade de Arapiraca**. [S. l.: s. n.], 2019. 82 p.

FILHO, José Moacir de Mendonça, ROCHA, Eider Gomes de Azevedo- **Estudos Comparativos entre o Pavimento Flexível e Rígido na Pavimentação Rodoviária**. Junho/2018.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira- **Notas de Aula da Disciplina de Pavimentação**- Versão 032. 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER – ME 080/94:**

Solos – análise granulométrica por peneiramento. Rio de Janeiro, 1994.

## Apêndice

### Apêndice 1- Resultados do ensaio de compactação

Tabela 13: Resultado da compactação FURO 1

Pont o Nº	Peso Bruto Úmid o	Peso do Solo Úmido	Densidad e do solo Úmido	Determinação da umidade							Densidad e do solo seco	
				Cápsul a Nº	Peso bruto úmido	Peso bruto seco	Peso da Cápsul a	Peso da Água	Peso do solo seco	Umidad e		
-	g	g	kg/m <sup>3</sup>	-	g	g	g	g	g	g	%	kg/m <sup>3</sup>
1	3912	1675	1666	1	56,40	52,90	17,00	3,50	35,90	9,7	1518	
2	4005	1768	1759	2	78,30	71,90	16,90	6,40	55,00	11,6	1575	
3	4186	1949	1939	3	91,60	82,30	15,90	9,30	66,40	14,0	1701	
4	4228	1991	1980	4	96,90	83,90	15,40	13,00	68,50	19,0	1665	
5	4179	1942	1932	4	112,60	95,10	15,40	17,50	79,70	22,0	1584	

Fonte: Autor

Tabela 14: Resultado da compactação FURO 2

Pont o Nº	Peso Bruto Úmid o	Peso do Solo Úmido	Densidad e do solo Úmido	Determinação da umidade							Densidad e do solo seco	
				Cápsul a Nº	Peso bruto úmido	Peso bruto seco	Peso da Cápsul a	Peso da Água	Peso do solo seco	Umidad e		
-	g	g	kg/m <sup>3</sup>	-	g	g	g	g	g	g	%	kg/m <sup>3</sup>
1	4167	1930	1920	1	45,10	42,80	14,80	2,30	28,00	8,2	1774	
2	4218	1981	1971	1	45,30	42,50	14,80	2,80	27,70	10,1	1790	
3	4281	2044	2033	2	70,50	64,70	16,30	5,80	48,40	12,0	1816	
4	4245	2008	1997	3	57,20	52,30	15,90	4,90	36,40	13,5	1760	
5	4232	1995	1984	4	62,50	56,60	16,50	5,90	40,10	14,7	1730	

Fonte: Autor

Tabela 15: Resultado da compactação FURO 3

Pont o Nº	Peso Bruto Úmid o	Peso do Solo Úmido	Densidad e do solo Úmido	Determinação da umidade							Densidad e do solo seco	
				Cápsul a Nº	Peso bruto úmido	Peso bruto seco	Peso da Cápsul a	Peso da Água	Peso do solo seco	Umidad e		
-	g	g	kg/m <sup>3</sup>	-	g	g	g	g	g	g	%	kg/m <sup>3</sup>
1	4169	1981	1981	1	123,07	115,32	14,90	7,75	100,42	7,7	1839	
2	4226	2038	2038	2	116,60	107,20	14,00	9,40	93,20	10,1	1851	
3	4251	2063	2063	3	105,10	94,99	17,00	10,11	77,99	13,0	1826	
4	4279	2091	2091	4	92,12	81,90	15,20	10,22	66,70	15,3	1813	
5	4309	2121	2121	5	114,56	100,21	14,60	14,35	85,61	16,8	1817	

Fonte: Autor

Tabela 16: Resultado da compactação FURO 4

Pont o Nº	Peso Bruto Úmido	Peso do Solo Úmido	Densidad e do solo Úmido	Determinação da umidade							Densidad e do solo seco
				Cápsul a Nº	Peso bruto úmido	Peso bruto seco	Peso da Cápsul a	Peso da Água	Peso do solo seco	Umidad e	
-	g	g	kg/m <sup>3</sup>	-	g	g	g	g	g	%	kg/m <sup>3</sup>
1	4165	1928	1928	1	65,00	58,79	15,00	6,21	43,79	14,2	1689
2	4272	2035	2035	2	64,80	57,90	16,96	6,90	40,94	16,9	1741
3	4406	2169	2169	3	69,10	59,96	11,23	9,14	48,73	18,8	1826
4	4425	2188	2188	4	68,00	59,41	15,20	8,59	44,21	19,4	1832
5	4404	2167	2167	5	63,30	54,30	14,70	9,00	39,60	22,7	1766

Fonte: Autor

Tabela 17: Resultado da compactação FURO 5

Pont o Nº	Peso Bruto Úmido	Peso do Solo Úmido	Densidad e do solo Úmido	Determinação da umidade							Densidad e do solo seco
				Cápsul a Nº	Peso bruto úmido	Peso bruto seco	Peso da Cápsul a	Peso da Água	Peso do solo seco	Umidad e	
-	g	g	kg/m <sup>3</sup>	-	g	g	g	g	g	%	kg/m <sup>3</sup>
1	4047	1808	1798	1	65,70	59,80	15,40	5,90	44,40	13,3	1587
2	4154	1915	1905	2	64,90	58,90	16,30	6,00	42,60	14,1	1670
3	4288	2049	2038	3	65,40	58,70	14,80	6,70	43,90	15,3	1768
4	4307	2068	2057	4	63,20	56,20	14,60	7,00	41,60	16,8	1761
5	4286	2047	2036	5	68,00	59,80	15,90	8,20	43,90	18,7	1716

Fonte: Autor

Tabela 18: Resultado da compactação FURO 6

Pont o Nº	Peso Bruto Úmido	Peso do Solo Úmido	Densidad e do solo Úmido	Determinação da umidade							Densidad e do solo seco
				Cápsul a Nº	Peso bruto úmido	Peso bruto seco	Peso da Cápsul a	Peso da Água	Peso do solo seco	Umidad e	
-	g	g	kg/m <sup>3</sup>	-	g	g	g	g	g	%	kg/m <sup>3</sup>
1	4292	2090	2079	1	63,10	57,70	14,80	5,40	42,90	12,6	1847
2	4330	2128	2117	2	61,80	56,10	16,30	5,70	39,80	14,3	1852
3	4352	2150	2139	3	65,00	58,20	14,80	6,80	43,40	15,7	1849
4	4322	2120	2109	4	65,30	58,20	16,50	7,10	41,70	17,0	1802
5	4295	2093	2082	5	63,10	55,90	14,70	7,20	41,20	17,5	1772

Fonte: Autor

Tabela 19: Resultado da compactação FURO 7

Pont o Nº	Peso Bruto Úmido g	Peso do Solo Úmido g	Densidad e do solo Úmido $kg/m^3$	Determinação da umidade							Densidad e do solo seco $kg/m^3$	
				Cápsul a Nº	Peso bruto úmido g	Peso bruto seco g	Peso da Cápsul a g	Peso da Água g	Peso do solo seco g	Umidad e %		
-	g	g	$kg/m^3$	-	g	g	g	g	g	g	%	$kg/m^3$
1	4292	2090	2090	1	63,10	57,70	13,09	5,40	44,61	12,1	1864	
2	4330	2128	2128	1	61,80	56,10	13,09	5,70	43,01	13,3	1879	
3	4352	2150	2150	1	65,00	58,20	13,09	6,80	45,11	15,1	1868	
4	4322	2120	2120	1	65,30	58,20	13,09	7,10	45,11	15,7	1832	
5	4295	2093	2093	1	63,10	55,90	13,09	7,20	42,81	16,8	1792	

Fonte: Autor

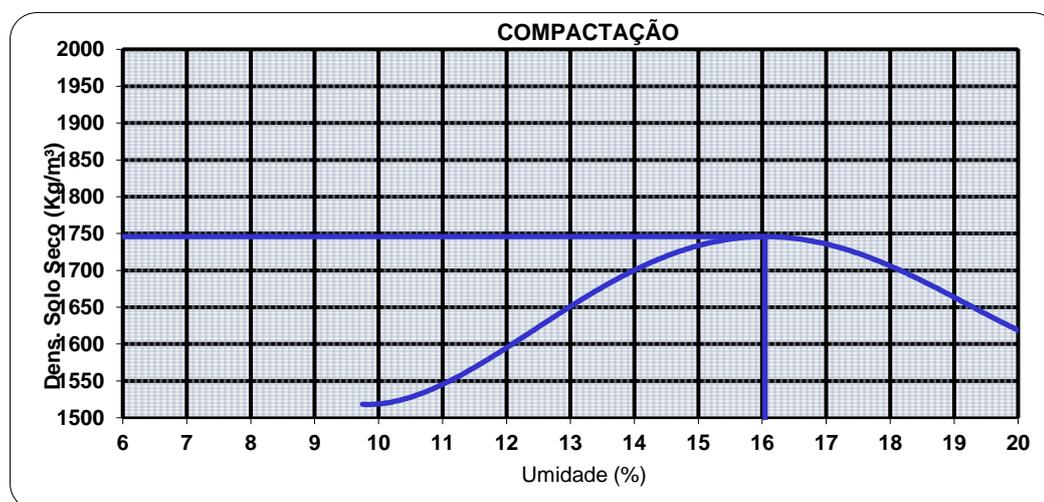
Tabela 20: Resultado da compactação FURO 8

Pont o Nº	Peso Bruto Úmido g	Peso do Solo Úmido g	Densidad e do solo Úmido $kg/m^3$	Determinação da umidade							Densidad e do solo seco $kg/m^3$	
				Cápsul a Nº	Peso bruto úmido g	Peso bruto seco g	Peso da Cápsul a g	Peso da Água g	Peso do solo seco g	Umidad e %		
-	g	g	$kg/m^3$	-	g	g	g	g	g	g	%	$kg/m^3$
1	4169	1930	1920	1	53,10	50,00	14,90	3,10	35,10	8,8	1764	
2	4225	1986	1976	2	67,00	61,50	14,00	5,50	47,50	11,6	1771	
3	4251	2012	2001	3	70,20	64,00	15,00	6,20	49,00	12,7	1777	
4	4279	2040	2029	4	71,70	64,00	15,10	7,70	48,90	15,7	1753	
5	4300	2061	2050	5	64,00	56,00	14,60	8,00	41,40	19,3	1718	

Fonte: Autor

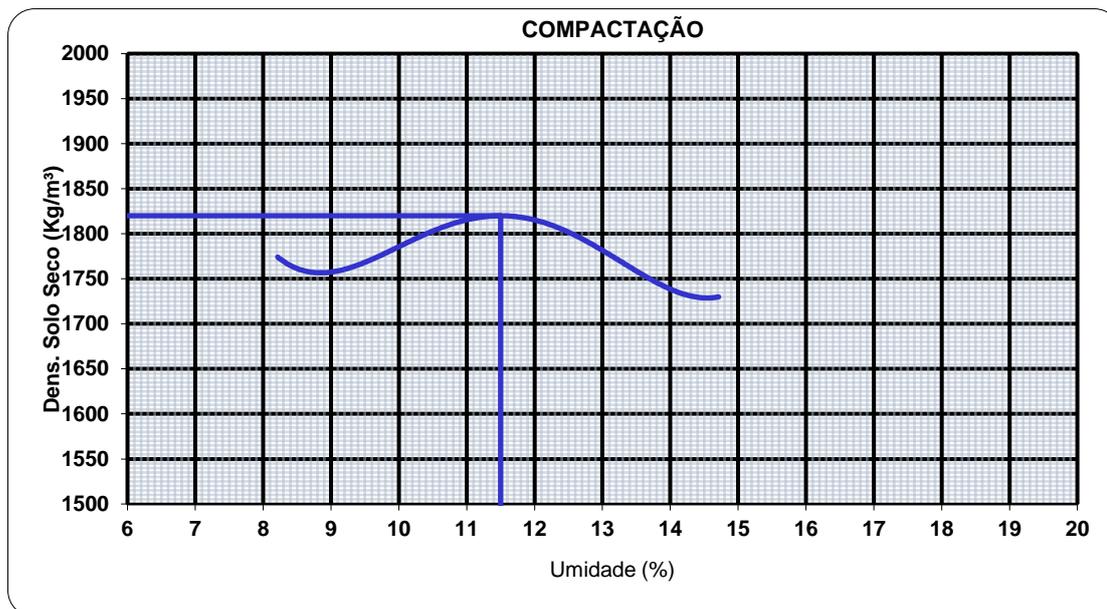
## Apêndice 2: Gráficos da compactação

Figura 26: Gráfico da compactação FURO 1



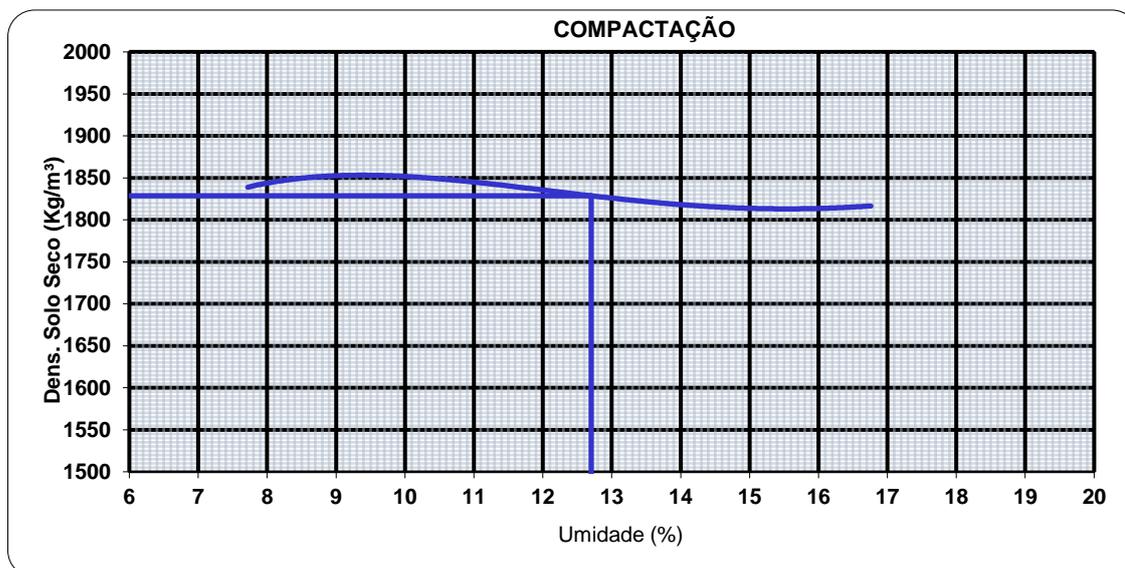
Fonte: Autor

Figura 27: Gráfico da compactação FURO 2



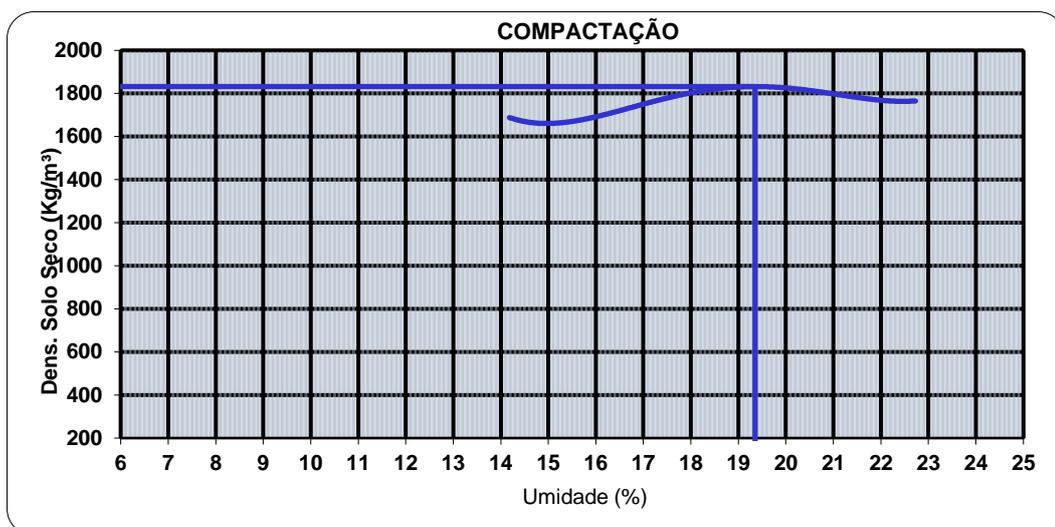
Fonte: Autor

Figura 28: Gráfico da compactação FURO 3



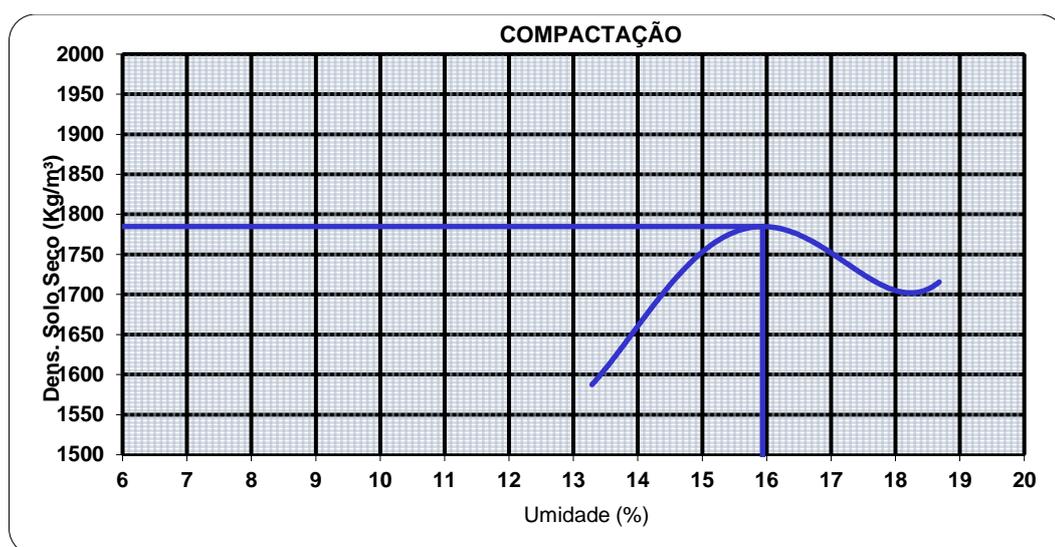
Fonte: Autor

Figura 29: Gráfico da compactação FURO 4



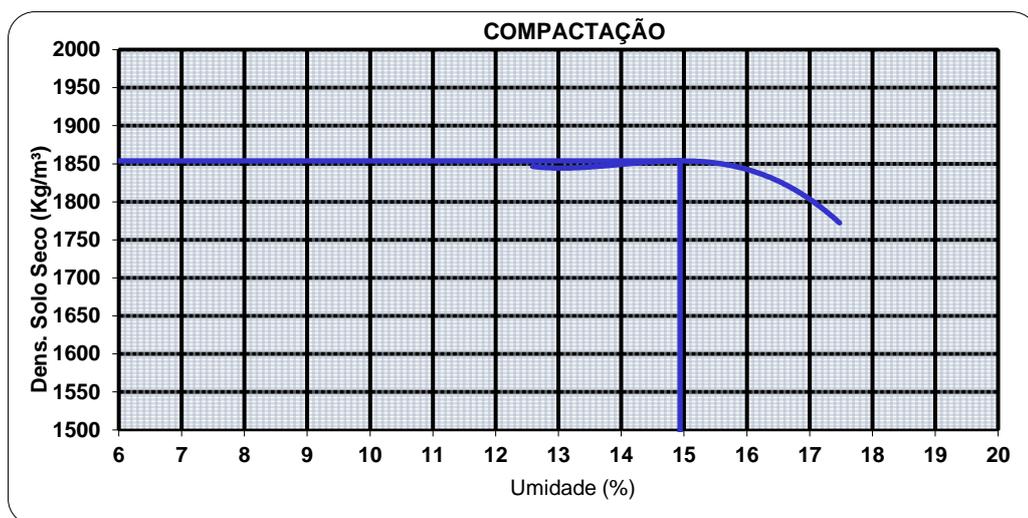
Fonte: Autor

Figura 30: Gráfico da compactação FURO 5



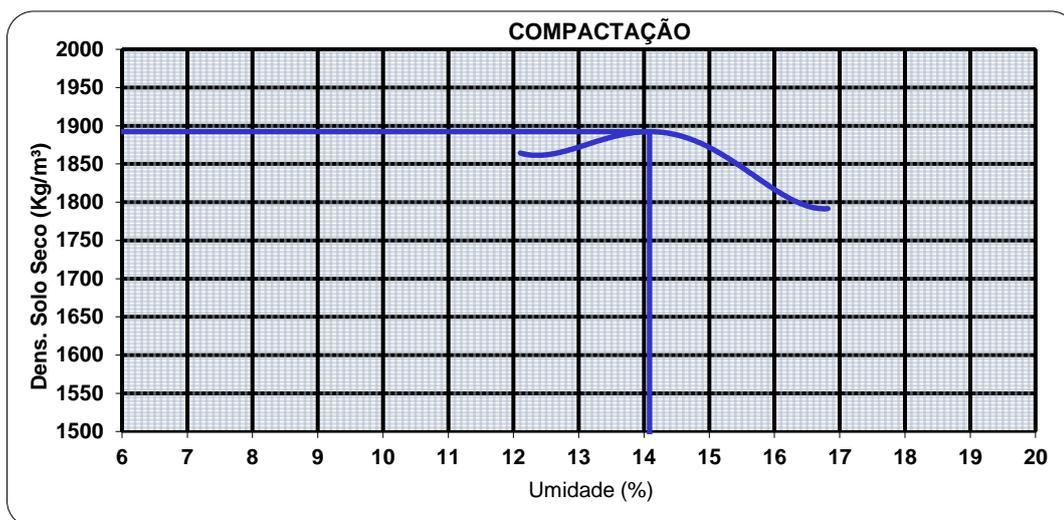
Fonte: Autor

Figura 31: Gráfico da compactação FURO 6



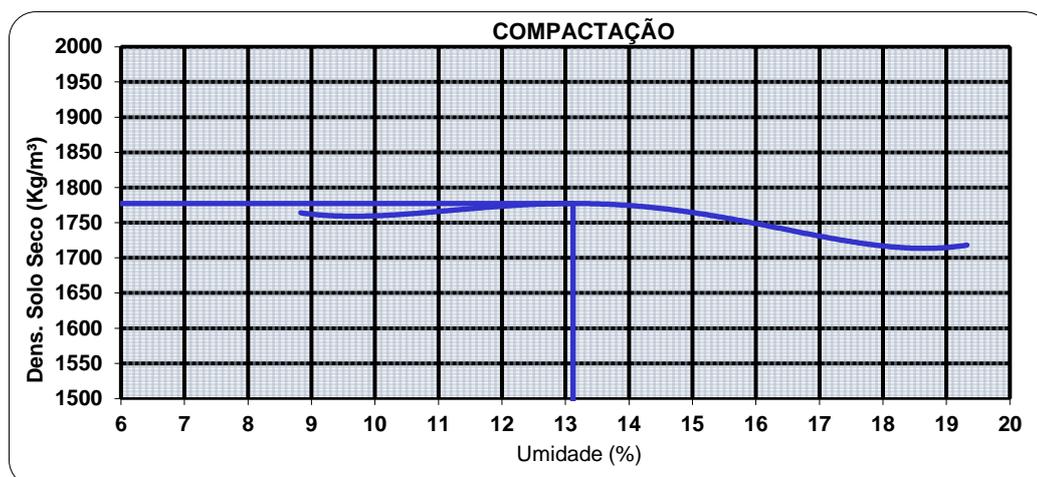
Fonte: Autor

Figura 32: Gráfico da compactação FURO 7



Fonte: Autor

Figura 33: Gráfico da compactação FURO 8



Fonte: Autor

### Apêndice 3- Dados do ensaio do CBR

Tabela 21: Dados do CBR FURO 1

TEMP O	ENSAIO DE PENETRAÇÃO							EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA				
	Penetração		Leitura do Extensô m.	Pressão - kg/cm <sup>2</sup>				Datas		Leitura do Deflectômet ro	Diferenç a	Expansã o %
	Pole g.	mm		de tér. g.	Corri g.	Padrã o	%	Dia	Hora			
30s	0,025	0,63	35	3,9				02/de	13:2	1,00		
1 min	0,05	1,27	38	4,2				03/de	13:2	1,70		
2min	0,1	2,54	42	4,7	4,7	70	6,7	04/de	13:2	1,73		
4min	0,2	5,08	51	5,7	5,7	105	5,4	05/de	13:2	1,86		
6min	0,3	7,62	53	5,9		133		06/de	13:2	1,88	0,88	0,51
8min	0,4	10,2	57	6,3		161						
10min	0,5	12,7				182						

Fonte: Autor

Tabela 22: Dados do ensaio de CBR FURO 2

ENSAIO DE PENETRAÇÃO								EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA				
TEMP O	Penetração		Leitura do Extensô m.	Pressão – kg/cm <sup>2</sup>				Datas		Leitura do Deflectômet ro	Diferenç a	Expansã o %
	Pole g.	Mm		De tér. m.	Corri g.	Padrã o	%	Dia	Hora			
30s	0,02 5	0,63	<b>65</b>	<b>7,2</b>				<b>02/de z</b>	<b>16:5 0</b>	<b>1,00</b>		
1 min	0,05	1,27	<b>66</b>	<b>7,3</b>				<b>03/de z</b>	<b>16:5 0</b>	<b>1,70</b>		
2min	0,1	2,54	<b>71</b>	<b>7,9</b>	<b>7,9</b>	<b>70</b>	<b>11, 3</b>	<b>04/de z</b>	<b>16:5 0</b>	<b>1,90</b>		
4min	0,2	5,08	<b>81</b>	<b>9,0</b>	<b>9,0</b>	<b>105</b>	<b>8,6</b>	<b>05/de z</b>	<b>16:5 0</b>	<b>2,00</b>		
6min	0,3	7,62	<b>90</b>	<b>10,0</b>		<b>133</b>		<b>06/de z</b>	<b>16:5 0</b>	<b>2,20</b>	<b>1,20</b>	<b>1,07</b>
8min	0,4	10,16	<b>98</b>	<b>10,9</b>		<b>161</b>						
10min	0,5	12,7				<b>182</b>						

Fonte: Autor

Tabela 23: Dados do ensaio CBR FURO 3

ENSAIO DE PENETRAÇÃO								EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA				
TEMP O	Penetração		Leitura do Extensô m.	Pressão - kg/cm <sup>2</sup>				Datas		Leitura do Deflectômet ro	Diferenç a	Expansã o %
	Pole g.	mm		de tér. m.	Corri g.	Padrã o	%	Dia	Hora			
30s	0,025	0,63	<b>34</b>	<b>3,8</b>				<b>02/de z</b>	<b>16:3 0</b>	<b>1,00</b>		
1 min	0,05	1,27	<b>35</b>	<b>3,9</b>				<b>03/de z</b>	<b>16:3 0</b>	<b>1,70</b>		
2min	0,1	2,54	<b>39</b>	<b>4,3</b>	<b>4,3</b>	<b>70</b>	<b>6, 2</b>	<b>04/de z</b>	<b>16:3 0</b>	<b>1,90</b>		
4min	0,2	5,08	<b>45</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>	<b>105</b>	<b>4, 8</b>	<b>05/de z</b>	<b>16:3 0</b>	<b>2,10</b>		
6min	0,3	7,62	<b>48</b>	<b>5,3</b>		<b>133</b>		<b>06/de z</b>	<b>16:3 0</b>	<b>2,30</b>	<b>1,30</b>	<b>0,76</b>
8min	0,4	10,16	<b>50</b>	<b>5,6</b>		<b>161</b>						
10min	0,5	12,7				<b>182</b>						

Fonte: Autor

Tabela 24: Dados do ensaio CBR FURO 4

ENSAIO DE PENETRAÇÃO								EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA				
TEMPO	Penetração		Leitura do Extensômetro	Pressão – kg/cm <sup>2</sup>				Datas		Leitura do Deflectômetro	Diferença	Expansão %
	Pole g.	Mm		De térm.	Corrig.	Padrão	%	Dia	Hora			
30s	0,025	0,63	51	5,7				02/dez	13:20	1,00		
1 min	0,05	1,27	48	5,3				03/dez	13:20	1,22		
2min	0,1	2,54	54	6,0	6,0	70	8,6	04/dez	13:20	1,33		
4min	0,2	5,08	63	7,0	7,0	105	6,7	05/dez	13:20	1,36		
6min	0,3	7,62	71	7,9		133		06/dez	13:20	1,39	0,39	0,03
8min	0,4	10,16	80	8,9		161						
10min	0,5	12,7				182						

Fonte: Autor

Tabela 25: Dados do CBR FURO 5

ENSAIO DE PENETRAÇÃO								EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA				
TEMPO	Penetração		Leitura do Extensômetro	Pressão - kg/cm <sup>2</sup>				Datas		Leitura do Deflectômetro	Diferença	Expansão %
	Pole g.	mm		de térm.	Corrig.	Padrão	%	Dia	Hora			
30s	0,025	0,63	23	2,6				02/dez	13:20	1,00		
1 min	0,05	1,27	34	3,8				03/dez	13:20	1,40		
2min	0,1	2,54	40	4,5	4,5	70	6,4	04/dez	13:20	1,90		
4min	0,2	5,08	45	5,0	5,0	105	4,8	05/dez	13:20	2,10		
6min	0,3	7,62	48	5,3		133		06/dez	13:20	2,60	1,60	0,14
8min	0,4	10,16	51	5,7		161						
10min	0,5	12,7				182						

Fonte: Autor

Tabela 26: Dados do CBR FURO 6

ENSAIO DE PENETRAÇÃO								EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA				
TEMPO	Penetração		Leitura do Extensômetro	Pressão - kg/cm <sup>2</sup>				Datas		Leitura do Deflectômetro	Diferença	Expansão %
	Pole g.	mm		de término	Corrig.	Padrão	%	Dia	Hora			
30s	0,025	0,63	12	1,3				02/dez	13:20	1,00		
1 min	0,05	1,27	15	1,7				03/dez	13:20	1,22		
2min	0,1	2,54	19	2,1	2,1	70	3,0	04/dez	13:20	1,33		
4min	0,2	5,08	25	2,8	2,8	105	2,7	05/dez	13:20	1,36		
6min	0,3	7,62	28	3,1		133		06/dez	13:20	1,39	0,39	0,03
8min	0,4	10,16	31	3,5		161						
10min	0,5	12,7				182						

Fonte: Autor

Tabela 27: Dados do CBR FURO 7

ENSAIO DE PENETRAÇÃO								EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA				
TEMPO	Penetração		Leitura do Extensômetro	Pressão - kg/cm <sup>2</sup>				Datas		Leitura do Deflectômetro	Diferença	Expansão %
	Pole g.	mm		de término	Corrig.	Padrão	%	Dia	Hora			
30s	0,025	0,63	40	4,5				02/dez	13:20	1,00		
1 min	0,05	1,27	51	5,7				03/dez	13:20	1,20		
2min	0,1	2,54	63	7,0	7,0	70	10,0	04/dez	13:20	1,28		
4min	0,2	5,08	75	8,3	8,3	105	8,0	05/dez	13:20	1,31		
6min	0,3	7,62	82	9,1		133		06/dez	13:20	1,45	0,45	0,04
8min	0,4	10,16	90	10,0		161						
10min	0,5	12,7				182						

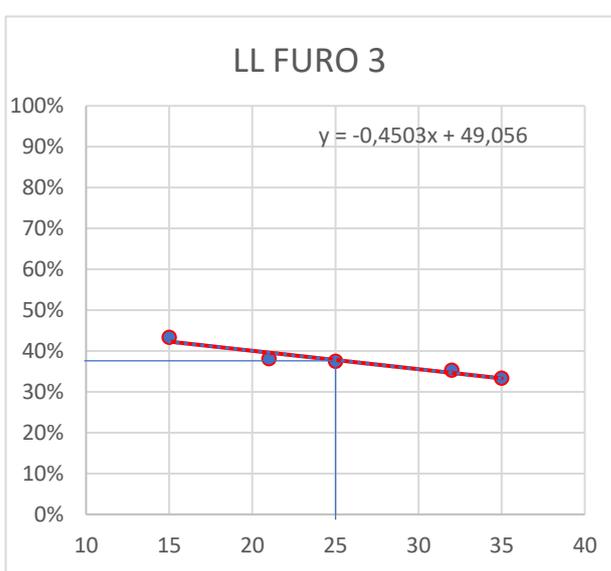
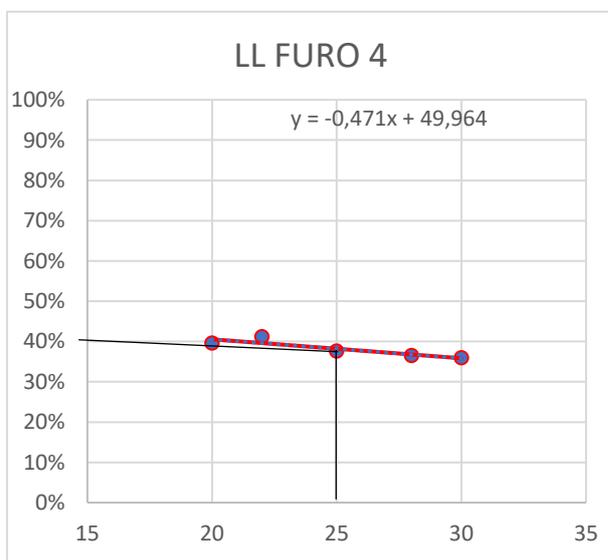
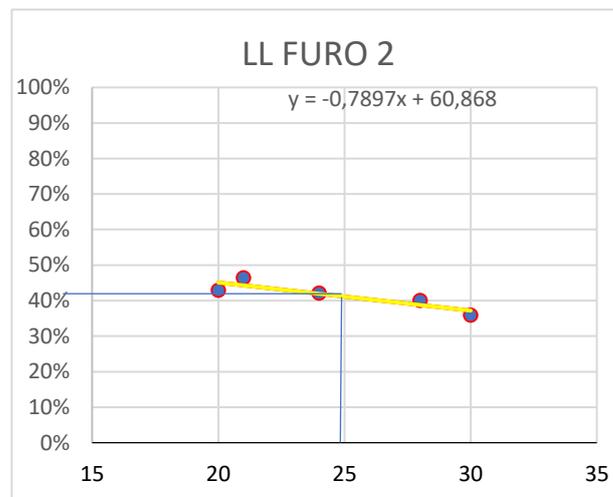
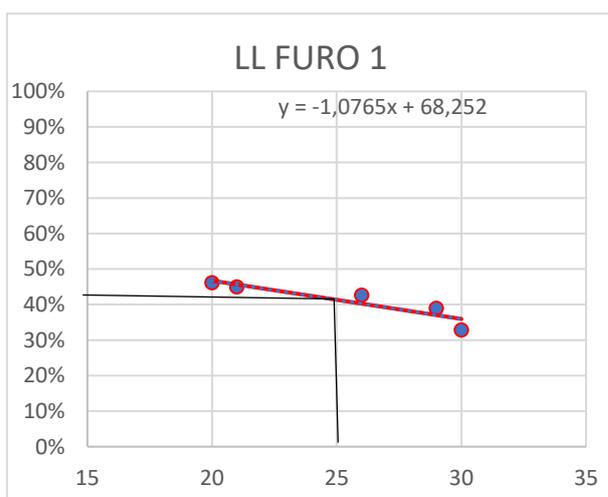
Fonte: Autor

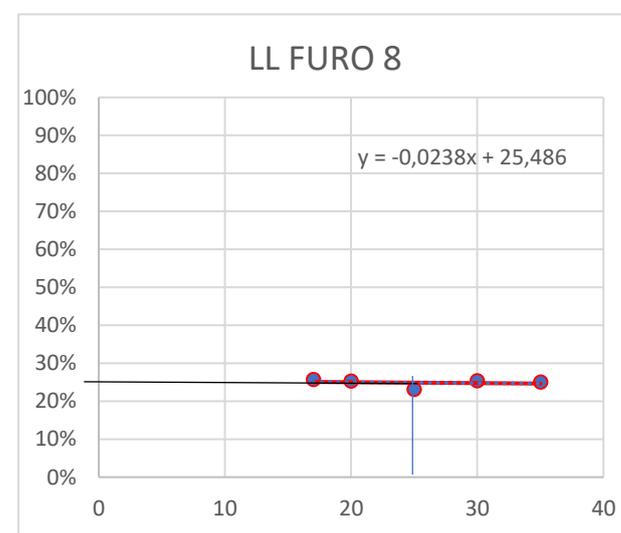
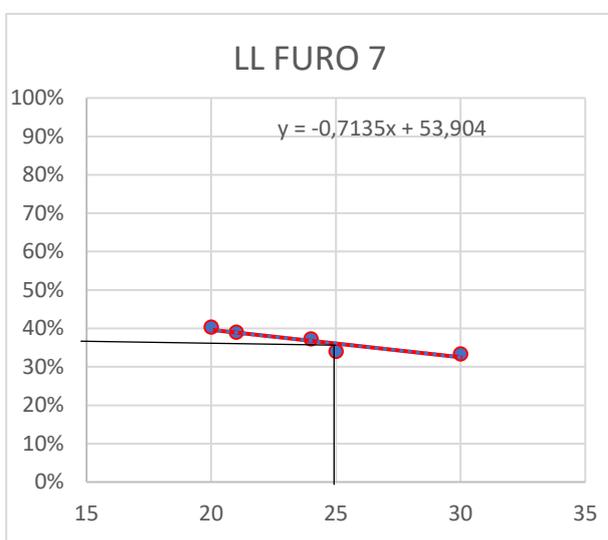
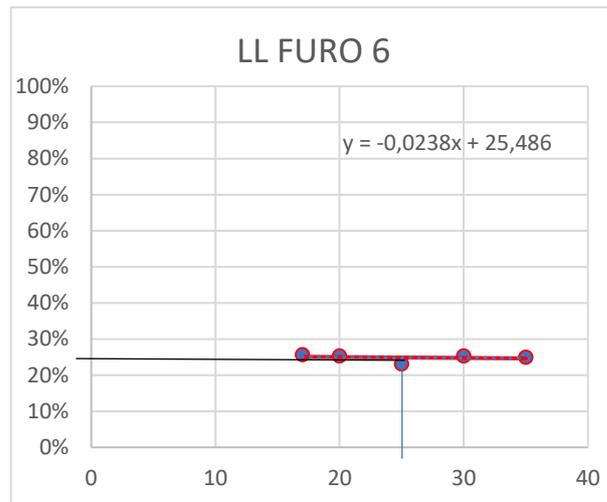
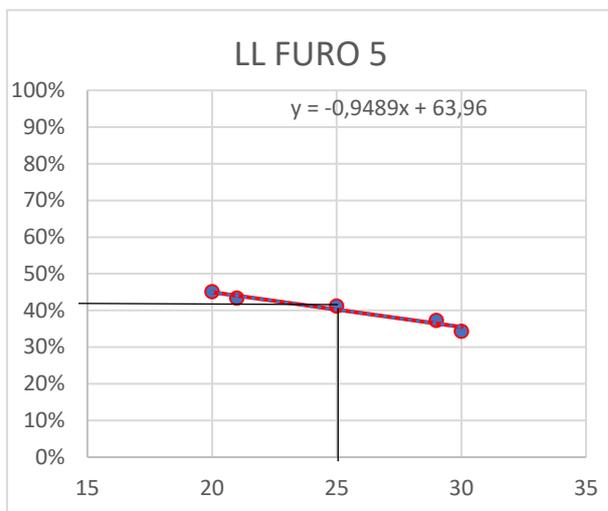
Tabela 28: Dados do CBR FURO 8

ENSAIO DE PENETRAÇÃO								EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA				
TEMPO	Penetração		Leitura do Extensômetro	Pressão - kg/cm <sup>2</sup>				Datas		Leitura do Deflectômetro	Diferença	Expansão %
	Pole g.	mm		de térm.	Corrig.	Padrão	%	Dia	Hora			
30s	0,025	0,63	11	1,2				02/dez	14:20	1,00		
1 min	0,05	1,27	12	1,3				03/dez	14:20	1,36		
2min	0,1	2,54	18	2,0	2,0	70	2,9	04/dez	14:20	1,43		
4min	0,2	5,08	29	3,2	3,2	105	3,1	05/dez	14:20	1,48		
6min	0,3	7,62	36	4,0		133		06/dez	14:20	1,55	0,55	0,05
8min	0,4	10,16	45	5,0		161						
10min	0,5	12,7				182						

Fonte: Autor

#### Apêndice 4: Gráficos do ensaio do Limite de Liquidez





Fonte: Autor