

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANDRÉ DE ALMEIDA FONSECA
ANDRESSA LORRANE PEREIRA REIS**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O USO DO SOLO
MELHORADO COM CIMENTO E A BRITA GRADUADA
SIMPLES NA PAVIMENTAÇÃO DA AVENIDA BRASIL EM
ANÁPOLIS-GO**

ANÁPOLIS / GO

2019

**ANDRÉ DE ALMEIDA FONSECA
ANDRESSA LORRANE PEREIRA REIS**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O USO DO SOLO
MELHORADO COM CIMENTO E A BRITA GRADUADA
SIMPLES NA PAVIMENTAÇÃO DA AVENIDA BRASIL EM
ANÁPOLIS-GO**

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

ORIENTADORA: VANESSA HONORATO DOMINGOS

ANÁPOLIS / GO: 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

FONSECA, ANDRÉ DE ALMEIDA/ REIS, ANDRESSA LORRANE PEREIRA

Estudo comparativo entre o uso do solo melhorado com cimento e a brita graduada simples na pavimentação da Avenida Brasil em Anápolis-GO.

61P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Solo Melhorado com Cimento 2. Brita Graduada Simples
3. CBR 4. Pavimentação
I. ENC/UNI II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FONSECA, André de Almeida; REIS, Andressa Lorrane Pereira. Estudo comparativo entre o uso do solo melhorado com cimento e a brita graduada simples na pavimentação da Avenida Brasil em Anápolis-GO. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 61p. 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: André de Almeida Fonseca

Andressa Lorrane Pereira Reis

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo comparativo entre o uso do solo melhorado com cimento e a brita graduada simples na pavimentação da Avenida Brasil em Anápolis-GO.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2019

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



André de Almeida Fonseca

E-mail: andrealmeida@hotmail.com



Andressa Lorrane Pereira Reis

E-mail: andressalorrane2009@hotmail.com

ANDRÉ DE ALMEIDA FONSECA
ANDRESSA LORRANE PEREIRA REIS

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O USO DO SOLO
MELHORADO COM CIMENTO E A BRITA GRADUADA
SIMPLES NA PAVIMENTAÇÃO DA AVENIDA BRASIL
EM ANÁPOLIS - GO

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

APROVADO POR:

Vanessa Honorato Domingos
VANESSA HONORATO DOMINGOS, Mestra (UniEvangélica)
(ORIENTADORA)

Ana Lúcia Carrijo Adorno
ANA LÚCIA CARRIJO ADORNO, Doutora (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)

Glediston Nepomuceno Costa Júnior
GLEDISTON NEPOMUCENO COSTA JÚNIOR, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)

ANÁPOLIS/GO, 05 de dezembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar, um alicerce, que me conduziu até mesmo nos dias em que me achava fraco.

Aos meus pais, Maria e Iremar, por todo esforço que fizeram juntos, sempre me ouviram, aconselharam, fizeram o possível para que eu concluísse essa graduação. Ao meu irmão também que sempre me ajudou.

Agradeço a minha parceira deste trabalho Andressa Lorrane por me aguentar em dias de muito estresse por todo o curso e desde o fundamental.

Agradeço aos meus amigos que fiz ao longo da Faculdade Evangélica de Jaraguá, da UniEvangélica, e aos que conheci por fora.

Agradeço também a todo o corpo docente das faculdades, não teriam melhores e mais qualificados.

A Prefeitura de Anápolis pela oportunidade de estágio, aos engenheiros, encarregados, aos colaboradores e estagiários. Fiz amigos que me ensinaram bastante sobre a vivência em obra e também tiveram uma parte representativa neste trabalho, pois de lá surgiu a ideia.

Ao laboratório ENGETEC por dar apoio nos ensaios, Me. Antônio e ao Engenheiro Leandro por ajudar-nos.

Por fim, a grande colaborante, a orientadora que teve paciência, dedicou-se bastante para que essa obra fosse concluída, sempre cobrou e nos fez mostrar que sempre somos capazes de melhorar.

André de Almeida Fonseca

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me deu força e coragem para vencer todos os obstáculos e dificuldades enfrentadas durante o curso.

Agradeço a minha família, especialmente meus pais Odílio e Arlete por todo amor, incentivo e apoio incondicional; apesar de todas as dificuldades, me ajudaram na realização do meu sonho. Agradeço também a minha irmã que me ouviu e aconselhou nos momentos difíceis.

A todos os professores e em especial a minha orientadora Vanessa Honorato, por exigir de mim muito mais do que eu supunha ser capaz de fazer. Agradeço por transmitir seus conhecimentos e por se fazer presente nos orientando até mesmo em finais de semana.

Agradeço também a todos os amigos que fiz ao longo da minha formação na Faculdade Evangélica de Jaraguá e na UniEVANGÉLICA em Anápolis. Em especial ao meu parceiro nesse trabalho de conclusão de curso André de Almeida que me acompanhou desde o início até mesmo na transferência de instituição, e estamos vencendo juntos essa fase que tem uma grande importância para ambos.

Agradeço à Secretaria de Obras de Anápolis, pela oportunidade de fazer estágio supervisionado. Foi com essa experiência que me tornei uma profissional melhor e conheci na prática um pouco da minha área de formação.

Agradeço a todos os colegas de trabalho da empresa JOFEGE e terceirizadas, por todo apoio, compreensão e amizade ao longo dessa jornada. Vocês contribuíram muito com a experiência de vocês para a realização desse trabalho todos os dias eu chegava cheia de perguntas e vocês faziam o máximo para me ajudar. Foram muito além do que eu esperava, irei me lembrar de todos com muito carinho.

Meus eternos agradecimentos a todos os profissionais do Laboratório ENGETEC pelo apoio e parceria para a realização dos ensaios laboratoriais, em especial ao Engenheiro Leandro que não hesitou em ajudar nos momentos de dúvidas.

E a todos que de maneira direta ou indireta fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada!

Andressa Lorrane Pereira Reis

RESUMO

Com o presente trabalho, deseja-se contribuir para um conhecimento mais aprofundado de dois materiais comumente utilizados na base da pavimentação: o solo melhorado com cimento (SMC) e a Brita Graduada Simples (BGS). Para isso, são descritas as especificações de cada material, e os respectivos mecanismos envolvidos e os fatores que influenciam as propriedades no geral. Tem-se como objetivo geral um estudo sobre as características de resistência e trabalhabilidade de ambos os materiais que são utilizados na camada final, a qual deve resistir a esforços provenientes de veículos, distribuindo-os para suas camadas subjacentes, pois é sobre esta camada que será construído o revestimento. O programa experimental apresentado baseia-se no comparativo de ensaios laboratoriais para classificação do solo e parâmetros geotécnicos comumente ensaiados para solos de pavimentação de acordo com as normas brasileiras. Para isso foram realizados ensaios de umidade, granulometria para uma classificação do solo, expansão, compactação e resistência para a verificação das exigências mínimas da DNER e DNIT para os dois solos analisados, um cascalho laterítico (solo tropical) e a brita graduada simples (produto da britagem de uma rocha sã). Após a verificação de ambos os materiais se nota maior resistência no solo melhorado com cimento (com teor de 2%) e a brita graduada simples apresentou melhor trabalhabilidade. Por fim, conclui-se que o solo melhorado com cimento é a opção mais viável por ter maior resistência e é encontrado com facilidade na região.

PALAVRAS-CHAVE:

Solo melhorado com cimento. Brita graduada simples. CBR. Pavimentação

ABSTRACT

With the present work, it is desired to contribute to a deeper knowledge of two materials commonly used in the base of paving: the cement-enhanced soil (SMC) and the Simple Graded Gravel (BGS). For this, the specifications of each material and the respective mechanisms involved and the factors that influence the properties in general are described. The general objective is to study the strength and workability characteristics of both materials that are used in the final layer, which must resist the efforts coming from vehicles, distributing them to their underlying layers, because it is on this layer that the cladding will be built. The experimental program presented is based on the comparison of laboratory tests for soil classification and geotechnical parameters commonly tested for paving soils according to Brazilian standards. Moisture, granulometry for soil classification, expansion, compaction and resistance tests were performed to verify the minimum requirements of DNER and DNIT for the two soils analyzed, a lateritic gravel (tropical soil) and the simple graded gravel (product crushing a healthy rock). After the verification of both materials, higher soil resistance with cement (2%) was observed and the simple graded gravel presented better workability. Finally, it can be concluded that cement-enhanced soil is the most viable option because it has higher strength and is easily found in the region.

KEYWORDS:

Improved soil with cement. Simple graduated gravel. CBR. Paving.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aspecto da curva de compactação de um solo	18
Figura 2 - Teoria de Hogentogler	19
Figura 3 - (a) Conjunto speedy; (b) tabela para calcular umidade em%	20
Figura 4 - (a) peneiras para solos grossos (b) peneiras para solos finos	23
Figura 5- Exemplo de curva granulométrica	23
Figura 6 - Tipos de curvas granulométricas	25
Figura 7 - Curva de compactação do solo	26
Figura 8 - Curvas de compactação com energias diferentes	28
Figura 9 - Camadas do pavimento flexível.....	33
Figura 10 - Camadas do pavimento rígido	34
Figura 11- Rolo liso.....	36
Figura 12 - Rolo pé de carneiro	37
Figura 13 - Rolo pneu.....	37
Figura 14 - Sapo mecânico	38
Figura 15 - Mapeamento da Avenida Brasil.....	39
Figura 16 - Solo melhorado com cimento	40
Figura 17 - Brita graduada simples.....	41
Figura 18 – Secagem de solo em estufa	43
Figura 19 – Ensaio de Análise Granulométrica do solo	44
Figura 20 - Ensaio de Análise Granulométrica do BGS.....	45
Figura 21 - Curva Granulométrica do Cascalho Laterítico e do BGS.....	46
Figura 22- Compactação do corpo de prova de SMC	48
Figura 23 – Comparação das curvas de compactação dos solos	49
Figura 24 – Corpos de prova submersos para expansão.....	50
Figura 25 – Perfuração do corpo de prova na prensa de ISC	52
Figura 26 – Comportamento à penetração do pistão do SMC no CP II.....	53
Figura 27– Comportamento à penetração do pistão do SMC no CPIII.....	53
Figura 28 - – Comportamento à penetração do pistão do SMC no CP IV	53
Figura 29– Comportamento à penetração do pistão do BGS no CP II.....	54
Figura 30 – Comportamento à penetração do pistão do BGS no CP III	55

Figura 31 – Comportamento à penetração do pistão do BGS no CP IV	55
Figura 32 - – Comparação entre o ISC do SMC e BGS	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Energias de compactação	29
---	----

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Massas mínimas das amostras de material úmido, em função do tamanho máximo das partículas	21
Tabela 2 - Nomenclatura do solo de acordo com a granulometria.....	24
Tabela 3 - Cálculo da expansão do solo	30
Tabela 4 - Cálculo do Índice de Suporte Califórnia	31
Tabela 5 - -- Condições mínimas para aceitação da camada estabilizada.....	42
Tabela 6 – Umidade higroscópica do SMC.....	43
Tabela 7 – Umidade higroscópica do BGS	43
Tabela 8 - Análise Granulométrica do SMC	45
Tabela 9 - Análise Granulométrica do BGS.....	46
Tabela 10 - Resumo da faixa granulométrica do SMC e do BGS.....	47
Tabela 11 – Dados de compactação Proctor do SMC	48
Tabela 12 – Dados de compactação Proctor do BGS.....	49
Tabela 13 - Ensaio de expansão do solo melhorado com cimento na umidade próxima a ótima	51
Tabela 14 - Ensaio de expansão BGS do corpo de prova com umidade ótima umidade ótima	51
Tabela 15 – Resumo do ISC do solo melhorado com cimento	52
Tabela 16 – Ensaio de ISC do BGS.....	54

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BGS	Brita Graduada Simples
BRT	Bus Rapid Transit
CBR	California Bearing Ratio
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CP	Cimento Portland
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte
ES	Execução de Serviço
F	Fíler
GC	Grau de Compactação
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
ISC	Índice de Suporte Califórnia
ME	Método de Ensaio
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
Nº	Número
S	Grau de Saturação
SMC	Solo melhorado com cimento
SUCS	Sistema Unificado de Classificação dos Solos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 METODOLOGIA	16
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2 CONTROLE TECNOLÓGICO DE LABORATÓRIO.....	18
2.1 UMIDADE DO SOLO.....	18
2.1.1 Umidade pelo método <i>Speedy</i>	20
2.1.2 Umidade pelo método da frigideira	20
2.1.3 Umidade pelo método da estufa	21
2.2 GRANULOMETRIA.....	22
2.3 COMPACTAÇÃO	25
2.3.1 Ensaio do frasco de areia	29
2.4 EXPANSÃO.....	29
2.5 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC).....	31
2.5.1 Estabilização de Solos	31
2.5.1.1 Estabilização mecânica	32
2.5.1.2 Estabilização química.....	32
3 PAVIMENTOS	33
3.1 PAVIMENTO FLEXÍVEL	33
3.2 PAVIMENTO RÍGIDO	34
3.3 CAMADAS DE PAVIMENTAÇÃO	34
3.3.1 Base.....	34
3.3.2 Sub-base	35
3.3.3 Subleito.....	35
3.4 COMPACTAÇÃO EM CAMPO.....	35
3.4.1 Rolo liso	36
3.4.2 Rolo pé de carneiro.....	36
3.4.3 Rolo pneu.....	37

3.4.4	Sapo mecânico.....	38
4	RESULTADOS	39
4.1	MATERIAIS	40
4.1.1	Solo melhorado com cimento.....	40
4.1.1	Brita graduada simples (BGS)	41
4.2	CONTROLE TECNOLÓGICO LABORATORIAL.....	42
4.2.1	Ensaio de Umidade.....	42
4.2.2	Ensaio de Granulometria.....	44
4.2.3	Ensaio de Compactação	47
4.2.4	Ensaio de Expansão.....	50
4.2.5	Ensaio de Índice de Suporte Califórnia.....	51
5	CONCLUSÃO.....	57
	REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

A infraestrutura do país ainda é considerada pouco modernizada, onde o crescimento nesse setor ocorre em um ritmo mais lento do que as necessidades da população. Segundo dados de pesquisas da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2018), estima-se que somente 12,3% das estradas no país são pavimentadas, além de ser um índice muito pequeno, apenas cerca de 43% apresentam condições satisfatórias. O descompasso nas estradas é tão expressivo que em uma análise da malha rodoviária, os pavimentos brasileiros ocuparam o 111º lugar em um ranking de 138 países (CNT, 2017). Soma-se a isso que durabilidade dos pavimentos no Brasil é menor do que a de países mais desenvolvidos, em torno de 8 a 12 anos, devido a baixa qualidade, falta de fiscalização e manutenção, o que faz com que as patologias no surjam mais rápido do que o esperado.

Segundo dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2019), a cidade de Anápolis, localizada a 53 km da capital Goiana, possui uma frota de 268.290 veículos emplacados, um número que vem crescendo bastante nos últimos anos. A cidade é um polo de indústrias farmacêuticas com um grande crescimento populacional, como consequência tem-se a expansão da frota, sendo necessário um investimento em infraestrutura para que sua área pavimentada suporte o grande fluxo de veículos.

A Avenida Brasil é uma das principais vias da cidade de Anápolis, sendo classificada como uma via arterial que cruza a cidade de Norte a Sul, possuindo um tráfego composto por veículos leves e pesados. Essa avenida liga diversos pontos importantes da cidade, como: a Sede da Prefeitura, a Câmara e Fórum municipal, o principal shopping da cidade, hospitais, agências bancárias, o Terminal Rodoviário, o Estádio Jonas Duarte, o Ginásio Internacional Newton de Faria, as maiores universidades anapolinas e vários outros pontos comerciais, e ainda dá acesso a outras vias não menos importantes.

Devido ao grande tráfego na avenida tornou-se necessário pensar em uma forma de melhorar a qualidade da via. A opção adotada pela Prefeitura Municipal de Anápolis foi um alargamento para criar a terceira faixa e um corredor exclusivo para ônibus, com o sistema *Bus Rapid Transit* (BRT), o que acarretará na melhoria da mobilidade urbana e economia de tempo no deslocamento para os usuários da via.

Segundo Balbo (2007), pavimentação é uma obra civil que tem o propósito de melhorar o tráfego criando uma superfície regular, mais aderente, garantindo maior conforto no deslocamento e segurança na pista molhada. Uma pavimentação executada com qualidade tem grande relevância para infraestrutura e transporte urbano, visto que a locomoção depende

diretamente das condições da via. Já, um projeto planejado adequadamente evita futuros gastos com reparos e manutenções da obra.

Um pavimento é subdividido em camadas: base, sub-base, subleito e reforço do subleito (quando necessário), nas quais há variação de rigidez e espessura conforme a profundidade. Dentre essas camadas, o revestimento, que é responsável por receber diretamente a carga do veículo, pode ser do tipo rígido ou flexível. Os pavimentos são projetados observando as peculiaridades de cada situação, sendo o critério para a adoção de um pavimento rígido ou flexível está atrelada aos aspectos técnicos e financeiros.

Dentro dessa abordagem, a fim de garantir boas condições da Avenida Brasil, que tem um grande número de acessos diariamente, foi necessário que se fizesse as escolhas mais adequadas de materiais para a utilização no processo construtivo. Dos materiais mais utilizados, alguns se destacam no projeto dessa obra, sendo estes: a Brita Graduada Simples (BGS) e o Solo estabilizado com cimento, ambos localizados logo abaixo do revestimento, com grande rigidez e encontrados facilmente nas proximidades da obra.

Assim, surge a iniciativa de um estudo comparativo entre esses dois materiais utilizados na obra de alargamento e na faixa do BRT da Avenida Brasil em Anápolis-GO, onde os mesmos serão analisados quanto a trabalhabilidade, resistências e outros parâmetros geotécnicos para constatar qual dos dois oferece o melhor desempenho em termos de qualidade e durabilidade para a via, obedecendo as normas vigentes.

1.1 JUSTIFICATIVA

O estudo torna-se relevante pela importância da qualidade da pavimentação para uma durabilidade maior da via, evitando gastos com manutenções constantes, pois acarreta transtornos para os tráfegantes. No Brasil, a quantidade de vias pavimentadas aumentou consideravelmente nos últimos anos, mas segundo a CNT (2018) a qualidade de mais da metade das vias ainda são consideradas regulares, ruins ou péssimas.

A abordagem da qualidade dos materiais e do resultado final de uma obra de pavimentação traz melhoria para a pavimentação local, o que resulta em maior conforto e segurança em uma das vias de maior extensão da cidade. O conhecimento técnico adquirido pelo trabalho também justifica a importância de um estudo que compara o melhor

aproveitamento do solo local tratado ou a compra de um material usinado e garantir um pavimento com um custo menor com qualidade.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Conduzir um estudo direcionado ao serviço de pavimentação na Avenida Brasil em Anápolis-GO, especificamente comparando a resistência, a trabalhabilidade, o custo e outros parâmetros geotécnicos entre o solo estabilizado com cimento e a brita graduada simples nas camada de pavimentação.

1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos tem-se:

- Realizar uma breve revisão teórica do comportamento geomecânico dos solos utilizados na pavimentação;
- Realizar ensaios de compactação, expansão, granulometria e ISC em ambos os solos seguindo as normas brasileiras (NBR e DNIT);
- Comparar a resistência entre os dois materiais: solo melhorado com cimento e a brita graduada simples para pavimentação;
- Analisar a opção mais viável de acordo com a logística de empregabilidade dos materiais.

1.3 METODOLOGIA

A pesquisa de propósito explicativo traz uma abordagem quali-quantitativa que tem como embasamento teórico pesquisas em livros, artigos, teses, revistas, normas e manuais.

De posse da revisão de normas vigentes, foram retiradas amostras dos dois materiais utilizados na camada base da pavimentação da obra na Avenida Brasil em Anápolis. Para o solo melhorado com cimento (SMC), foi extraído um cascalho laterítico de uma jazida do município e misturado com cimento no teor de 2%. Para a brita graduada simples (BGS), a amostra foi retirada na Pedreira Anápolis, cuja sua composição é uma mistura de diferentes faixas granulométricas da rocha gnaisse.

As amostras foram levadas para o laboratório engetec em Anápolis no período de ago/2019, onde foram realizados os ensaios de caracterização e moldado os corpos de prova que foram submetidos a ensaios que são padronizados por normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como: Análise granulométrica – NBR 7181(ABNT, 2016) onde o solo foi levado a um peneiramento grosso e fino, Solo – Ensaio de Compactação – NBR 7182(ABNT, 2016) para moldar os 5 corpos de prova de cada material e a compactação das camadas com energias de compactação de cada solo, Determinação do teor de Umidade – NBR 6457(ABNT, 2016), Índice de Suporte Califórnia - NBR 9895(ABNT, 2017) onde foi definido o ensaio de expansão e de ISC do material com os corpos de prova levados a submersão e para prensa. Além de um comparativo de normas do DNIT e DNER que observa esses padrões para compará-los as exigências mínimas de um solo para pavimentação.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi estruturado em 5 partes. No primeiro capítulo apresenta a introdução, os objetivos do trabalho, justificativa e metodologia.

No segundo capítulo apresenta os controles tecnológicos de laboratório e a influência deles no comportamento dos solos, como a granulometria, umidade, expansão, resistência e compactação.

No terceiro capítulo apresenta uma abordagem sobre a pavimentação, no contexto de comparar o pavimento rígido e flexível, os solos que foram empregados na pavimentação dessa obra e a compactação em campo.

No quarto capítulo aborda o resultado dos ensaios laboratoriais realizados debatendo-os.

No quinto capítulo conclui-se sobre qual solo mais resistente, o mais trabalhável e por fim a melhor opção para pavimentação local.

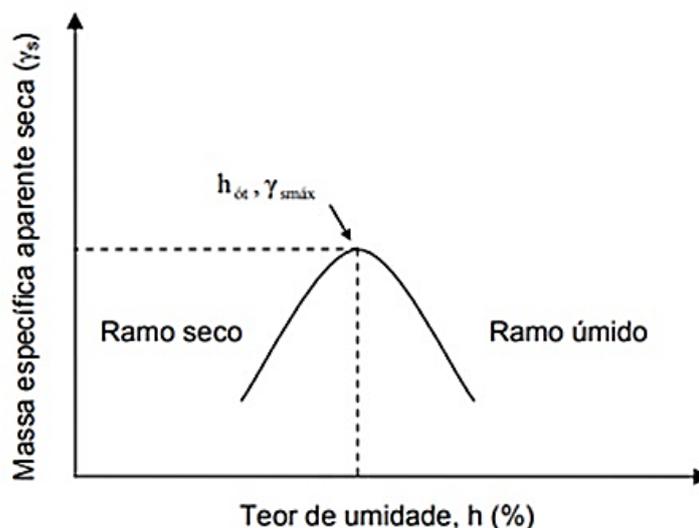
2 CONTROLE TECNOLÓGICO DE LABORATÓRIO

Nesse capítulo serão abordados os principais conceitos relativos ao comportamento geomecânico e hidráulico do solo e suas respectivas normativas no controle laboratorial e as influências, tais como: umidade, granulometria, compactação, expansão, índice de suporte califórnia.

2.1 UMIDADE DO SOLO

O controle de umidade tem como função ajustar as partículas do solo, esse controle é muito importante para alcançar uma compactação apropriada. Proctor (1933) relatou que na medida em que se acrescenta água ao solo ocorrem efeitos de lubrificação entre suas partículas que produzem arranjos mais compactos. Aumentos sucessivos no teor de umidade implicam na diminuição de vazios até um ponto em que os mesmos são mínimos e a densidade é máxima para o método de compactação utilizado, atingindo-se o par de valores: massa específica aparente seca máxima e umidade ótima (Figura 1); aumento no teor de umidade além desse ponto, resultam em redução das forças capilares e afastamento inter-partículas, ficando o solo menos denso e mais plástico.

Figura 1 - Aspecto da curva de compactação de um solo

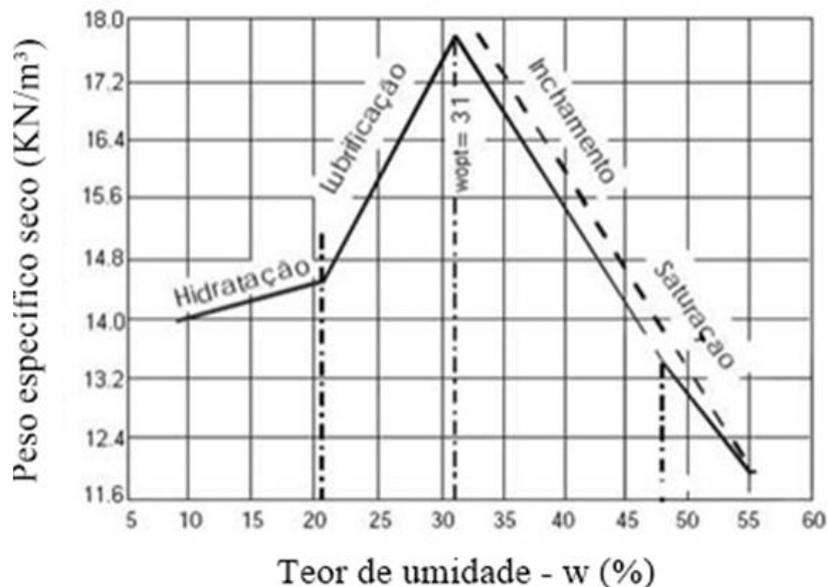


Fonte: CRISPIM, 2007.

A curva de compactação passa por quatro estados de umidade: hidratação, lubrificação, inchamento e saturação do solo, como mostrado na Figura 2. Na fase de hidratação, conforme aumenta o teor de umidade aumenta a espessura da água aderente às

partículas de solo, ocorrendo uma diminuição da viscosidade da água, o que se refletirá em uma redução do atrito entre partículas e no aumento do peso volúmico do solo. O filme de água que se forma na superfície dos grãos de solo, permitem caracterizar os diferentes estados, à medida que o teor de umidade sobe. Quando se atinge uma determinada umidade, a adição de água acaba por lubrificar as partículas sem influência na viscosidade da água, até atingir o teor de umidade ótimo. Estando perante a fase denominada de lubrificação. Assim que se alcança o teor de umidade ótimo, o aumento de água no solo provoca um deslocamento das partículas, ao que designamos de inchamento, com a subsequente redução da densidade. Quando os vazios do solo estiverem totalmente preenchidos com água denomina-se de estado de saturação do solo (HOGENTOGLER, 1936 *apud* CRISPIM, 2007).

Figura 2 - Teoria de Hogentogler



Fonte: HOGENTOGLER (1936, *apud* CRISPIM, 2007).

A NBR 16097 (ABNT, 2012) define a umidade como uma relação entre a massa de água em um solo e a massa do solo seco, sendo expressa em porcentagem (Equação 3).

$$w (\%) = \frac{M_w}{M_{sc}} * 100 \quad (1)$$

Onde:

w= teor de umidade, em %;

M_w = massa de água, em g;

M_{sc} = massa de solo seco, em g;

Segundo a DNER ES 303 (1997) o ensaio de umidade higroscópica do material em campo é feito imediatamente antes da compactação das camadas, sendo realizado um para cada 100m de pista a ser compactada, em locais aleatoriamente escolhidos. As tolerâncias admitidas para o desvio de umidade são de $\pm 2\%$ da umidade ótima do laboratório.

2.1.1 Umidade pelo método *Speedy*

A determinação da umidade pelo método *speedy* é descrita pela norma DNER-ME 052 (1994) e tem base em uma reação química entre a água existente em uma amostra e o carbureto de cálcio que é adicionado em ampolas dentro do equipamento, a reação gera o gás acetileno que ao expandir-se gera uma pressão proporcional à quantidade de água existente na amostra. A aparelhagem necessária para o teste é o conjunto *speedy*, 2 esferas de aço e ampolas com cerca de 6,5 g de Carbureto de Cálcio (CaC_2) (Figura 3 a).

O processo se inicia com a obtenção da massa da amostra e posteriormente a inserção no aparelho *speedy* juntamente com a ampola de carbureto e as esferas de aço, o aparelho é fechado e agitado até que as esferas quebrem a cápsula, a reação química gera a expansão do gás e o manômetro registra a pressão. A leitura da pressão é comparada com a tabela própria do aparelho (Figura 3 b) onde a correspondência é o valor de umidade.

Figura 3 - (a) Conjunto *speedy*; (b) tabela para calcular umidade em%



(a) (b)
Fonte: Própria Autoria, 2019.

2.1.2 Umidade pelo método da frigideira

O método da umidade pela frigideira é um método não normatizado e bastante simples, rápido e prático. Baseado na relação da massa de solo úmido e massa de solo seco, é

obtido através da pesagem da massa de solo inicial (úmido), levado a um aumento de temperatura para evaporação da água, sendo calculado pela razão da massa de água pela massa seca.

2.1.3 Umidade pelo método da estufa

A secagem por estufa é normatizada pela DNER-ME 213 (1994) com o objetivo de obter o teor de umidade de um solo, é um método lento e utilizado em laboratório, porém preciso, pode levar 15 a 16 horas ou menos em uma temperatura de 105 a 110°C até estabilização da massa da amostra. Para o método coleta-se uma amostra de solo com massa referente a sua granulometria por peneiramento (Tabela 1) que é colocada em uma cápsula com tampa e após, inserida na estufa para secagem, a cápsula é pesada com a massa úmida e a massa seca que serão os critérios de comparação.

Tabela 1 - Massas mínimas das amostras de material úmido, em função do tamanho máximo das partículas

Tamanho máximo das partículas mm (peneira)	Massa mínima da amostra úmida (g)
0,42 (nº 40)	10
4,8 (nº 4)	100
12,5	300
25,0	500
50,0	1000

Fonte: DNER 213, 1994.

Para determinação do teor de umidade, utiliza-se a relação da massa de água dividida pela massa de solo seco na estufa.

$$W = \frac{M_{bu} - M_{bs}}{M_{bs}} * 100 \quad (2)$$

Onde:

W = teor de umidade, em porcentagem;

M_{bu} = Massa bruta úmida do recipiente mais a amostra, em g;

M_{bs} = Massa bruta seca do recipiente mais a amostra, em g;

M = Massa do recipiente, em g.

2.2 GRANULOMETRIA

Granulometria é a distribuição das partículas que constituem o solo, sendo essas de natureza inorgânica ou mineral, caracterizadas a partir de um estudo que define o tamanho e a quantidade de partículas que compõe uma amostra. A análise granulométrica é padronizada pela NBR 7181 (ABNT, 2016), que prescreve o método realizado por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento.

Para a utilização nas obras de pavimentação, a granulometria por sedimentação não é a mais adequada, pois as recomendações técnicas para análises dos solos não levam em consideração o tipo de solo fino (argila ou silte), apenas a sua existência. Sendo assim é realizado apenas o processo por peneiramento que é mais prático, gasta menos tempo para a execução e atende aos requisitos necessários.

De acordo com a NBR 7181 (ABNT, 2016) o ensaio é feito a partir da coleta de amostra em campo, essa amostra será seca ao ar (ou por uso de um aparelho secador) até que a umidade chegue próxima a higroscópica e então faz-se o destorroamento evitando a quebra de grãos para seguir o ensaio com o método por peneiramento.

São utilizados dois tipos de peneiramento: o peneiramento grosso, até a peneira N° 10, e o peneiramento fino, da peneira N° 40 até a peneira N° 200. No peneiramento grosso é utilizada uma amostra representativa de solo estabelecida na NBR 6457 (ABNT, 2016) é passada na peneira N° 10 (2,0 mm), lava-se o material retido, com água corrente utilizando a própria peneira como recipiente, dessa forma todo material fino aderente aos grãos retidos será descartado. Após esse processo o material é levado para uma cápsula numerada e colocado na estufa para secagem, durante um período de no mínimo 12 horas, o material seco é passado nas peneiras 38,1 - 25,4 - 19,1 - 9,5 - 4,8 e 2,00 mm. Pesa as frações de material retidas em cada peneira, calcula as percentagens do material retido em cada uma delas em relação ao peso da amostra total seca. No peneiramento fino utiliza-se o material da amostra de sedimentação, despejado e lavado na peneira de N°200 (0,074mm), passado para uma cápsula e levado a estufa para secagem, posteriormente é levado a peneiramento nas malhas de 1,2 - 0,6 - 0,42 - 0,30 - 0,15 - e 0,074 mm, após peneirado pesa-se as massas de solo retidas em cada uma. O conjunto de peneiras grossas e finas é mostrado nas figuras 4(a) e 4(b) respectivamente.

Figura 4 - (a) peneiras para solos grossos (b) peneiras para solos finos



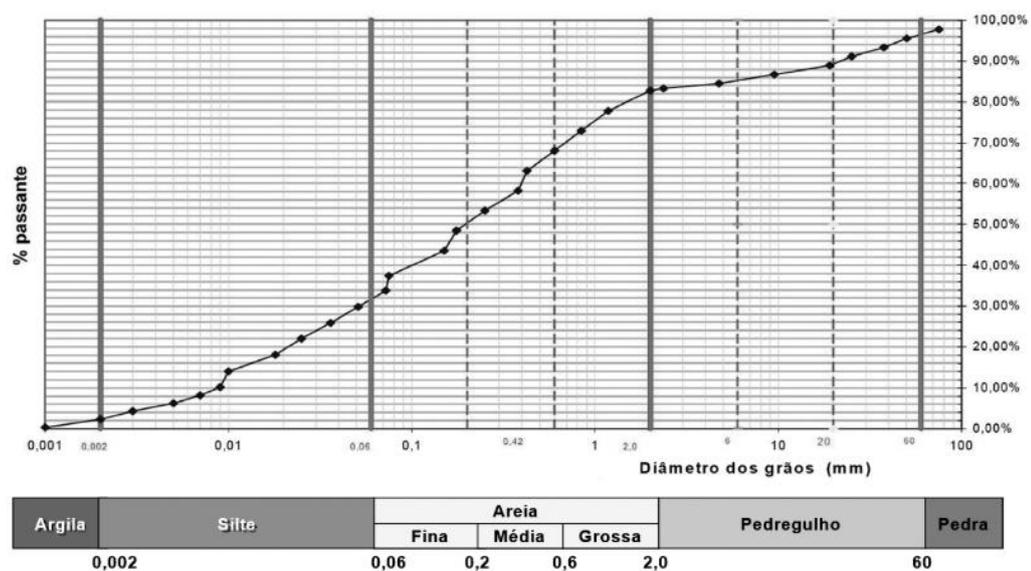
(a)

(b)

Fonte: Aatoria própria, 2019.

A partir do ensaio pode-se desenvolver a curva granulométrica (Figura 5), que permite observar a granulometria do solo, calcular os parâmetros da curva granulométrica (coeficiente de curvatura e não uniformidade) e nomeá-lo de acordo com o diâmetro do grão (Tabela 2). O eixo das abcissas indica o diâmetro das partículas do solo em mm e no eixo das ordenadas indica a porcentagem de material passante ou retido pelas peneiras (varia de 0 a 100%).

Figura 5- Exemplo de curva granulométrica



Fonte: SUPORTE SOLOS, 2018.

Tabela 2 - Nomenclatura do solo de acordo com a granulometria

Tipo de solo em relação a granulometria	Diâmetro
Argila	menor que 0,002mm
Silte	entre 0,002 e 0,06mm
Areias (finas, médias e grossas)	entre 0,06 e 2,0mm
Pedregulho	entre 2,0 e 60mm
Pedra	entre 60 e 200mm
Matacão	maior que 200mm

Fonte: Adaptado da NBR 6502 (ABNT, 1995).

O Coeficiente de Curvatura (CC) é utilizado para identificação das descontinuidades da granulometria do solo. Esse coeficiente fornece a ideia do formato da curva, solos bem graduados têm valores entre 1 e 3, se o valor do CC for menor que 1 a curva apresentará uma descontinuidade havendo ausência de grãos, é definido pela fórmula:

$$CC = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}} \quad (3)$$

Onde:

D_{30} = Diâmetro do grão correspondente a 30% mais fino;

D_{10} = Diâmetro do grão correspondente a 10% mais fino;

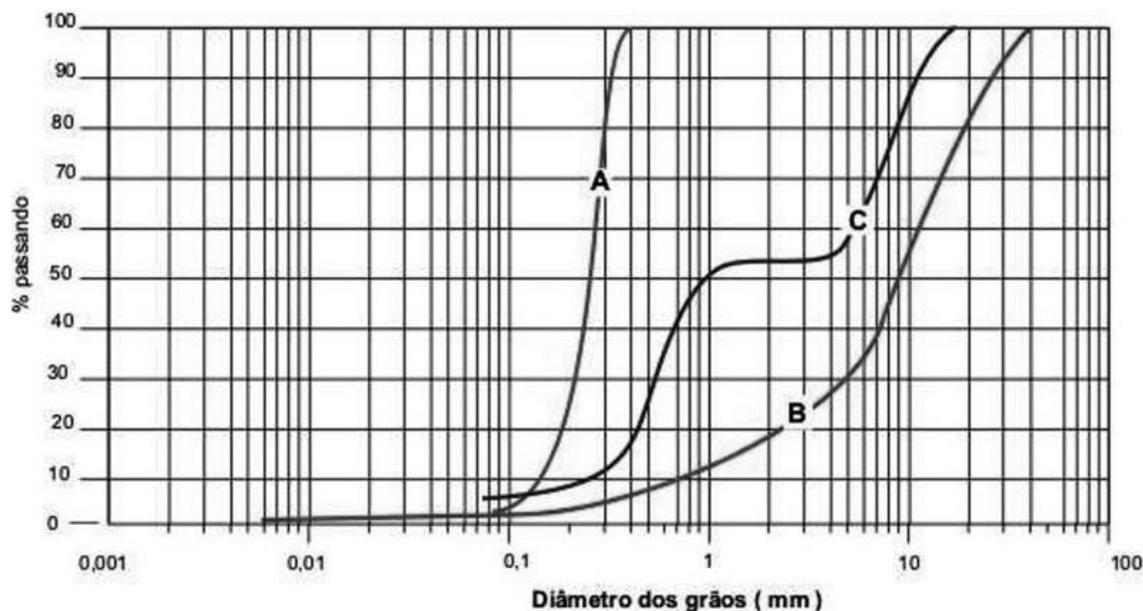
D_{60} = Diâmetro do grão correspondente a 60% mais fino.

O Coeficiente de não uniformidade (CNU) é um parâmetro útil na classificação dos solos mais grosseiros, indicando sua graduação. É representado por uma curva com caimento quase vertical e homogeneidade no tamanho dos grãos. Quando maior for o CNU, mais bem graduado é o solo, definido pela fórmula:

$$CNU = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (4)$$

Na Figura 6 podemos ver o comportamento de três tipos de solo. A Curva A é composta por solos uniformes, ou seja, que tem grãos com diâmetros aproximados. A Curva B é composta por solos bem graduados, diâmetro variado e compõe uma curva mais suave. A Curva C é composta por solos mal graduados, esse tipo de solo apresenta curvas quase horizontais, isso significa que há uma falta de partículas de uma certa dimensão.

Figura 6 - Tipos de curvas granulométricas



Fonte: SUPORTE SOLOS, 2018.

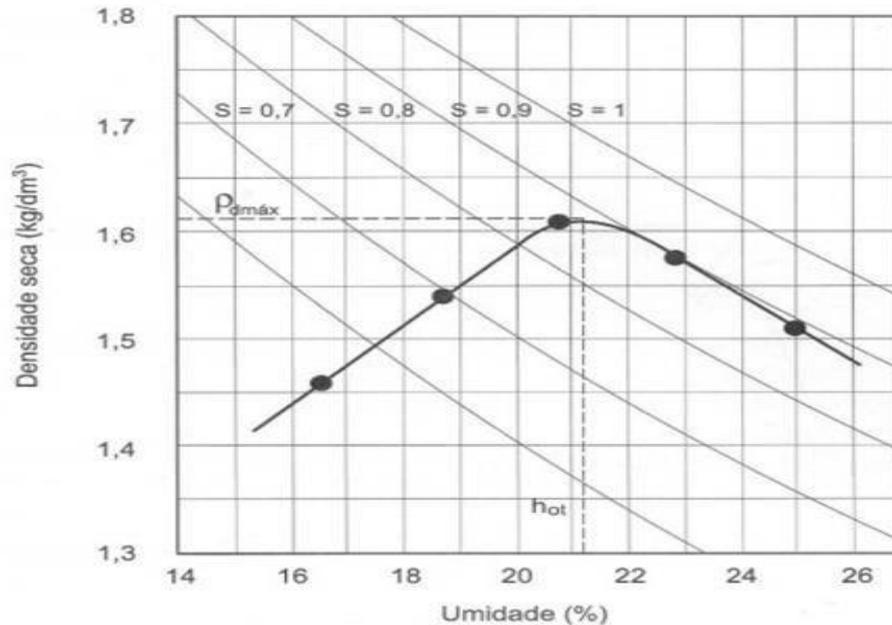
2.3 COMPACTAÇÃO

Craig (2007) ressalta que a compactação é o processo que visa aumentar a densidade de um solo, agrupando as partículas e reduzindo o volume de ar, não havendo grandes mudanças no volume de água no solo. Quanto maior a massa específica seca (ρ_d), maior será a resistência ao cisalhamento e menor a compressibilidade do solo.

Segundo Pinto (2006) a compactação tem dois objetivos: aumentar o contato entre os grãos e tornar o aterro mais homogêneo. O aumento da densidade do solo ou a redução do índice de vazios é desejável porque as propriedades geomecânicas e hidráulicas do solo melhoram.

A curva de compactação foi uma metodologia desenvolvida por Proctor (1933) que consiste em um traçado de uma parábola em coordenadas cartesianas onde o eixo das abcissas corresponde a umidade e das ordenadas a massa específica seca, como mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Curva de compactação do solo



Fonte: PINTO, 2006.

A curva é feita com pelo menos 5 pontos de umidade desenvolvidos no ensaio de compactação, usualmente o ensaio NBR 7182 (ABNT, 2016), dois no ramo seco, um próximo a umidade ótima, preferencialmente ainda no ramo seco e outros dois no ramo úmido.

“A densidade com que um solo é compactado sob uma determinada energia de compactação depende da umidade do solo no momento da compactação.” (PROCTOR, 1933)

Para determinar a massa específica seca se usa a relação da fórmula 5:

$$\rho_d = \frac{P_h}{V(100+w)} * 100 \quad (5)$$

Onde:

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

P_h = peso úmido do solo compactado, em g;

V = volume útil do molde cilíndrico, em cm³.

Outro fator importante a ser observado que é recomendado pela norma é a curva de saturação, apresentadas na figura 7 como as curvas “S”, definida como a relação entre massa específica aparente seca e teor de umidade, determinado pela fórmula 6:

$$\rho_d = \frac{S}{\frac{w}{\delta_a} + \frac{S}{\delta}} * 100 \quad (6)$$

Onde:

S = grau de saturação igual a 100%;

δ = massa específica dos grãos do solo, determinada de acordo com a NBR 6508 ou NBR 6458, em g/cm³;

δ_a = massa específica da água, em g/cm³.

O grau de compactação do solo (GC) é definido pela Equação 7, é dada em porcentagem, onde o grau de compactação será 100% quando a umidade estiver próxima da umidade ótima.

$$GC = \frac{Y_s}{Y_{ref}} * 100 \quad (7)$$

Onde:

GC= grau de compactação;

Y_s = densidade do solo em campo;

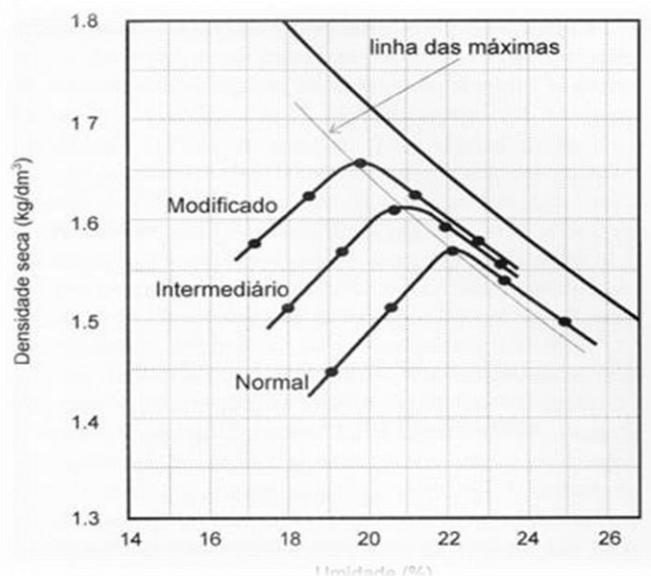
Y_{ref} = densidade do solo obtida em laboratório.

Quaisquer pontos de umidade abaixo ou acima da ótima terão um grau de compactação inferior pois o solo em seu estado seco o arranjo das partículas é dificultado, quando o ponto de umidade é superior ao ótimo a massa específica do solo diminui e a água passa a amortecer a compactação.

O grau de compactação, sendo uma porcentagem, é possível que se obtenha valores acima de 100%, uma vez que a massa específica de laboratório apresenta um valor relativo, quando há em projeto uma tolerância para aceitação do desvio desse grau. Mesmo com um GC maior que 100% não necessariamente o trecho deve ser escarificado, a energia de compactação pode estar dentro do controle e a variação decorrente da não homogeneização do solo poderá acarretar uma diferença da amostra do laboratório e a amostra coletada para o ensaio do frasco de areia.

Pinto (2006) ressalta o efeito do aumento da energia de compactação no solo para uma dada umidade: quando o solo está com umidade inferior da ótima, a aplicação de uma maior energia de compactação causa um aumento da massa específica seca (Figura 8), mas quando a umidade está a cima do teor ótimo, aumentar a energia de compactação não modificará nada (ou quase nada) no aumento de densidade, pois ainda haverá um índice vazios mesmo que pequeno. Pinto ainda compara o que ocorre no campo, uma insistência da passagem de equipamentos de compactação em solo quando o teor de umidade está alto ocasiona um fenômeno chamado borrachudo, onde o solo se comprime na passagem do equipamento no processo do teste de carga como se fosse uma borracha e volta ao estado normal.

Figura 8 - Curvas de compactação com energias diferentes



Fonte: PINTO, 2006.

O ensaio de compactação divide-a em três energias; normal, intermediária e modificada. A compactação pode ser feita com soquetes diferentes; pequeno e grande, sendo de massas iguais a 2,5 kg e 4,5 kg, respectivamente. Cada soquete determinará uma energia de compactação diferente dependendo da quantidade de golpes, referenciadas na NBR 7182 (ABNT, 2016), apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1- Energias de compactação

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

Fonte: NBR 7182 (ABNT, 2016).

2.3.1 Ensaio do frasco de areia

O ensaio padronizado pela norma DNER ME 092 (1994), a determinação da massa específica aparente com o emprego do frasco de areia é um método utilizado “in situ” para constatação da compactação no local de obra. O método consiste em utilizar de um material conhecido (areia) para verificar se a compactação da camada chegou ao mínimo de 100%, como definido na norma DNIT ES 141 (2010).

A norma explica que o material coletado de um furo cilíndrico de aproximadamente 15 cm de diâmetro é pesado e em seguida o frasco de areia é instalado sobre o furo despejando-a, a diferença de peso do frasco de areia antes e depois é o parâmetro para obtenção dos resultados. A comparação é feita com a massa específica da areia para obtenção do volume do furo e a massa de solo que tinha sido retirada desse mesmo furo, assim obtém-se a massa específica aparente. Parte da massa retirada é separada para o ensaio de umidade.

2.4 EXPANSÃO

“Ensaio de expansibilidade de solo é o ensaio por meio do qual se determina o aumento do volume que certos solos apresentam, quando em contato com a água ou quando reduzida a pressão sobre eles.” DNIT 160 (2012).

“Por variação volumétrica entende-se a expansão ou contração do material potencialmente expansivo devido ao ganho ou perda de água, respectivamente, que criam pressões indesejáveis nas estruturas das obras de engenharia.” (PEREIRA, 2004, p.g).

A NBR 9895 (ABNT, 2016) define que o cálculo da expansão e da água absorvida, deve ser feito utilizando tabela a seguir:

Tabela 3 - Cálculo da expansão do solo

Tempo decorrido Dias	Data	Hora	Leitura no relógio comparador (deflectômetro) mm	Diferença de leitura no relógio comparador (defectômetro) mm
Início				
1				
2				
3				
4				
Altura inicial do corpo de prova mm				

Fonte: Adaptado de NBR 9895 (ABNT, 2016).

As colunas apresentadas na tabela indicam respectivamente: os dias de execução do ensaio (4 dias), a data do início do ensaio, a hora das leituras efetuadas no extensômetro, leituras no relógio comparador (deflectômetro) e a diferença de leitura no relógio comparador (defectômetro).

De acordo com a norma NBR 9895 (ABNT, 2016), devem ser registradas a cada 24 horas como porcentagem da altura inicial da amostra. As amostras devem permanecer submersas em água por 96 horas (quatro dias). Após o tempo de imersão os moldes da amostra são retirados deixando escorrer por 15 minutos. Depois esse tempo, o corpo de prova está preparado para a penetração. Calcula-se a expansão usando a seguinte fórmula:

$$\text{Expansão (\%)} = \frac{\text{leitura final} - \text{leitura inicial no extensômetro}}{\text{altura inicial do corpo de prova}} * 100 \quad (8)$$

2.5 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC)

O ensaio de Índice de Suporte Califórnia, também conhecido como *California Bearing Ratio* (CBR) é um método de avaliação de resistência dos solos o qual segue parâmetros definidos na norma NBR – 9895 (ABNT, 2016) Solo - Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio. Para a determinação, adota-se os maiores valores obtidos nas penetrações de 2,54mm e 5,08mm, a qual determina que o cálculo do Índice de Suporte Califórnia correspondente a leitura de cada corpo de prova deve ser feita utilizando a Tabela 4.

Tabela 4 - Cálculo do Índice de Suporte Califórnia

Penetração mm	Pressão			ISC %
	Calculada	Corrigida	Padrão	
2,54				
5,08				

Fonte: NBR 9895 (ABNT, 2006).

As colunas listadas na Tabela 4 indicam respectivamente: a penetração ocorrida no em um determinado tempo, pressão das leituras do anel no gráfico, pressão corrigida, pressão padrão e o Índice de Suporte Califórnia (ISC).

O ISC é dado em porcentagem para cada corpo de prova, e é calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{ISC (\%)} = \frac{\text{pressão calculada ou pressão corrigida}}{\text{pressão padrão}} * 100 \quad (9)$$

2.5.1 Estabilização de Solos

Segundo SARTORI (2015) a pavimentação envolve diretamente o uso de solos para diferentes camadas de sua composição. Para um melhor aproveitamento econômico e desenvolvimento do trabalho, seria ideal utilizar o solo existente no local onde o trabalho será

realizado, no entanto, os solos presentes in loco muitas vezes não cumprem os requisitos mínimos exigidos para a sua utilização, necessitando de um tratamento.

Para Brito e Paranhos (2017) os métodos de estabilização do solo são: a compactação, fazendo a adequação granulométrica ou adição de um estabilizador químico. Esses métodos podem ser aplicados separadamente, na prática, entretanto, a combinação de mais de um método é a mais comum. A escolha do tipo de solução de estabilização do solo depende do tipo e das propriedades do solo disponíveis, da finalidade da aplicação do solo, dos requisitos de projeto e da viabilidade técnica e econômica das opções disponíveis.

2.5.1.1 Estabilização mecânica

A estabilização mecânica é comum ao longo de toda a obra, sendo usada em todas as camadas da pavimentação, é feita por equipamentos de compactação como os rolos compactadores ou o compactador mecânico tipo sapo. Esse método consiste em densificar o solo, buscando uma massa específica seca maior

2.5.1.2 Estabilização química

A solução por estabilização química pode ser executada por diversos tipos de estabilizantes. Segundo o Manual de pavimentação do DNIT (2006) a estabilização com aditivos pode ser feita com cimento, cal ou com betume, sendo o solo-aditivo ou o solo melhorado com aditivo, a diferença dessas nomenclaturas estão na sua dosagem. Essa técnica visa um melhoramento das propriedades mecânicas por meio da modificação da estrutura com o uso do aditivo.

3 PAVIMENTOS

Pavimento é uma constituição de camadas de espessuras finitas, lançada sobre a superfície final do terraplenagem, executada afim de resistir aos esforços resultantes do tráfego de veículos e de condições climáticas, para proporcionar aos usuários melhor condições de rolamento dos veículos evitando trepidações garantindo assim maior conforto, economia e segurança.

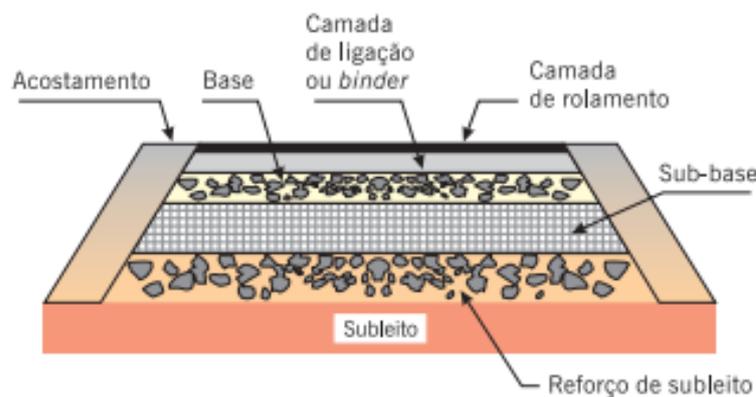
A estrutura é normalmente classificada segundo a maleabilidade do material (rígido e flexível). O Manual de pavimentação do DNIT (2006) define os pavimentos de acordo com as forças emitidas e os materiais a serem utilizados no pavimento.

3.1 PAVIMENTO FLEXÍVEL

“O pavimento flexível é aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas” IPR 719 (DNIT, 2006, p. 95).

As camadas que compõe esse tipo de pavimento são ilustradas a seguir (Figura 9):

Figura 9 - Camadas do pavimento flexível



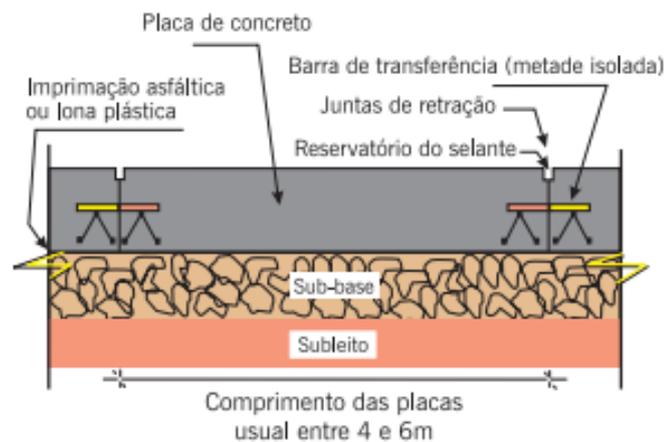
Fonte: MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 2006.

3.2 PAVIMENTO RÍGIDO

“O pavimento rígido é aqueles em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado” IPR 719 (DNIT, 2006, p. 95).

As camadas que compõe esse tipo de pavimento são ilustradas a seguir (Figura 10):

Figura 10 - Camadas do pavimento rígido



Fonte: MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 2006.

3.3 CAMADAS DE PAVIMENTAÇÃO

A pavimentação é composta por camadas, além do pavimento (rígido ou flexível) há camadas inferiores, são elas:

3.3.1 Base

A base é uma camada de pavimento projetada para suportar as forças verticais dos veículos e distribuí-los adequadamente na camada subjacente, realizada sobre a sub-base, subleito ou reforçado subleito, regularizada e compactada. Deve possuir $ISC \geq 80\%$ e expansão $\leq 0.5\%$. (DNIT ES 141, 2010).

3.3.2 Sub-base

A sub-base é uma camada de pavimentação que complementa a base, possui as mesmas funções de resistência e distribuição das cargas, executada sobre o subleito ou reforço do subleito, compactado e regularizado. Deve possuir $ISC \geq 20\%$ e expansão $\leq 1\%$. (DNIT ES 139, 2010).

3.3.3 Subleito

O subleito é uma camada de regularização que fica abaixo da sub-base ou abaixo do reforço do subleito (quando necessário). O material a ser utilizado deve, preferencialmente ser proveniente do próprio local, estar isento de matérias orgânica e quando substituídos deve ser por um material selecionado por um estudo geotécnico do projeto de engenharia. Não possui um ISC definido em norma, ficando a critério de projeto e expansão menor ou igual a 2%. (DNIT ES 137, 2010).

3.4 COMPACTAÇÃO EM CAMPO

Na compactação em campo o serviço de terraplanagem tem como objetivo alcançar um peso específico seco mais próximo do determinado em laboratório pelo método de Proctor a partir da compactação mecânica, os equipamentos que realizam esse procedimento são denominados rolos compactadores, diferenciados pelos cilindros que aplicam a força sobre o solo, esses equipamentos também serão mostrados neste trabalho. Para o método de fiscalização determina-se a massa específica do solo a partir do ensaio do frasco de areia e calcula-se o grau de compactação, segundo a norma DNIT 141 (2010) só serão aceitos valores de $GC > 100\%$.

Segundo MARASCHINE (2017), o teor de umidade, a espessura da camada, o número de passadas do rolo, a velocidade da passada e as características do equipamento como a pressão, área de contato e vibração são os fatores que influenciam na compactação do solo.

3.4.1 Rolo liso

O rolo liso pode ser estático ou vibratório, o estático tem pouca aplicação à terraplanagem, o vibratório é ideal para solos não coesivos (pedras, pedregulhos, cascalhos e areias), ou seja, de partículas grandes e grossas. O efeito da vibração é maior e promove o rearranjo das partículas, preenchendo os vazios entre elas. Esse rolo também é utilizado comumente para acabamento da capa asfáltica (Figura 11).

Figura 11- Rolo liso



Fonte: Autoria própria, 2019.

3.4.2 Rolo pé de carneiro

Esse tipo de rolo utiliza da vibração para compactar. As partículas do solo se assentam junto com a pressão aplicada e a umidade do solo até atingirem seu maior grau de compactação. O conceito de Pé de carneiro é baseado na forma dos relevos no cilindro dianteiro, que têm um desenho ligeiramente arredondado. Depois de compactado, o resultado no solo é um acabamento quase plano em uma forma que se assemelha às pegadas de carneiro. Em geral, este dispositivo é usado para solos com uma composição predominantemente de argila (Figura 12).

Figura 12 - Rolo pé de carneiro



Fonte: Autorial própria, 2019.

3.4.3 Rolo pneu

O rolo pneu é o mais versátil, podendo ser utilizado para solos coesivos e massas asfálticas, vantajoso pelo efeito de amassamento dos pneus e a compactação se dá em toda a espessura da camada. O equipamento que define a qualidade do acabamento de um pavimento asfáltico é o rolo pneu (Figura 13).

Figura 13 - Rolo pneu



Fonte: Autorial própria, 2019.

3.4.4 Sapo mecânico

O compactador de solo do tipo sapo mecânico é controlado manualmente, ideal para a compactação de solos em áreas confinadas, como obras de saneamento, instalações hidráulicas, compactação de solos em valetas, entre outras. Ele é um equipamento que é adequado para todos os tipos de solo, e fornece excelentes resultados de compactação (Figura 14).

Figura 14 - Sapo mecânico

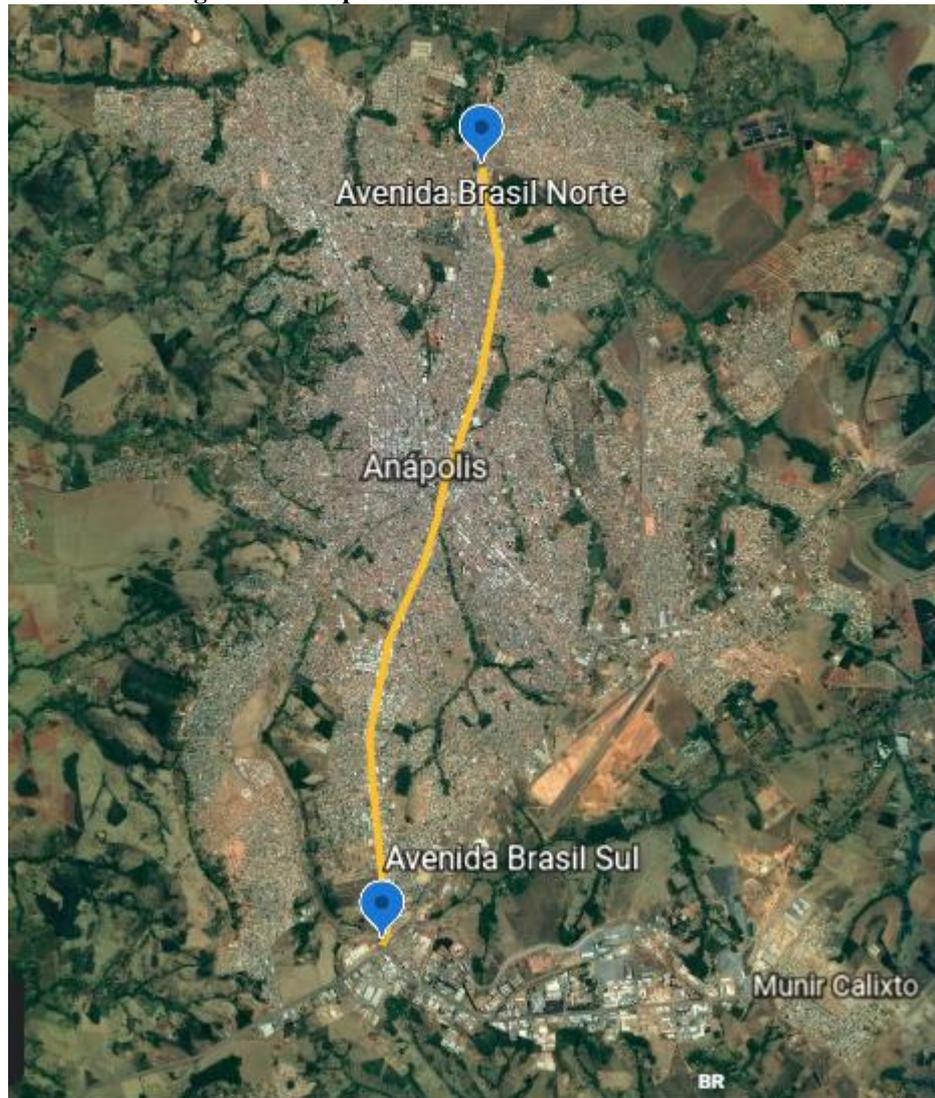


Fonte: A autoria própria, 2019.

4 RESULTADOS

Este capítulo abordará os ensaios realizados como parâmetros de fiscalização dos materiais empregados em toda a extensão da obra na Avenida Brasil em Anápolis-GO (Figura 15), coletados *in loco* para o estudo de umidade, granulometria, compactação, expansão e ISC.

Figura 15 - Mapeamento da Avenida Brasil



Fonte: Autoria própria

Foram utilizadas as normas NBR, DNIT e DNER específicas para a realização dos ensaios, os materiais e resultados serão abordados a seguir.

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Solo melhorado com cimento

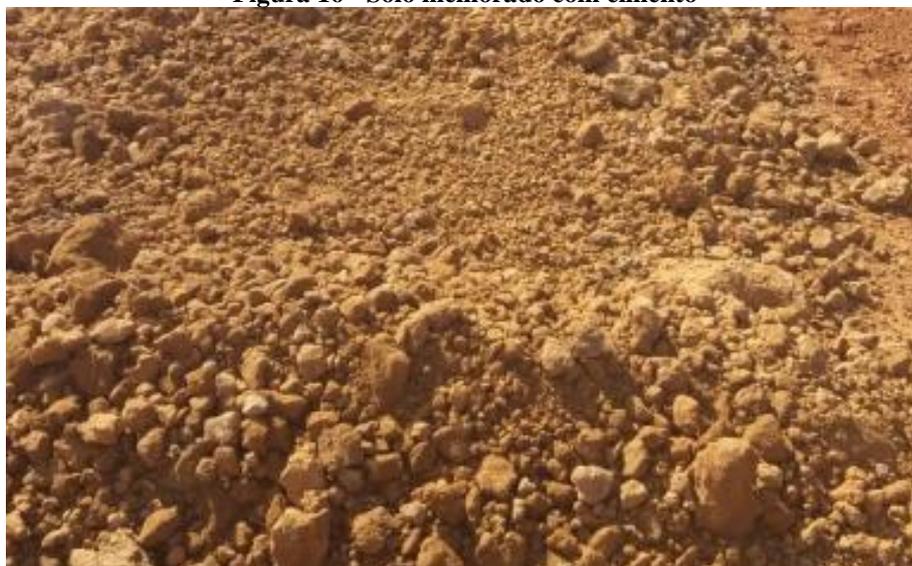
Segundo a ES 142 (DNIT, 2010) o solo melhorado com cimento é um material proveniente da mistura de solo, cimento e água em proporções determinadas por dosagem em laboratório para que apresente melhoras em particularidades de resistência e durabilidade ao material resultante. Para estabilização de solo melhorado as quantidades usuais de cimento estão na faixa de 2 a 4%, do peso total da mistura. Usa-se o cimento CP II F 32, determinado pela norma NBR 12253 (2012) e que obedecem às particularidades da DNER-EM 036 (1995), sem cimento empedrado.

De acordo com Núñez (1991), citado por Vendruscolo (1996) o melhoramento do solo é dado para aqueles que naturalmente não conseguem a resistência necessária, o emprego do estabilizante o deixará com as características para o emprego na pavimentação de bases, mesmo sendo um baixo teor de aditivo necessário para que ocorra esse melhoramento das propriedades mecânicas.

Macêdo (2004) mencionou em seu estudo que o solo melhorado com cimento (Figura 16) mostrou ser uma solução muito eficiente, técnica e economicamente viável para a utilização em várias regiões do Brasil, iniciada em 1935 em decorrência do crescimento da demanda por construção de rodovias.

O solo de estudo é retirado de uma jazida do município de Anápolis.

Figura 16 - Solo melhorado com cimento



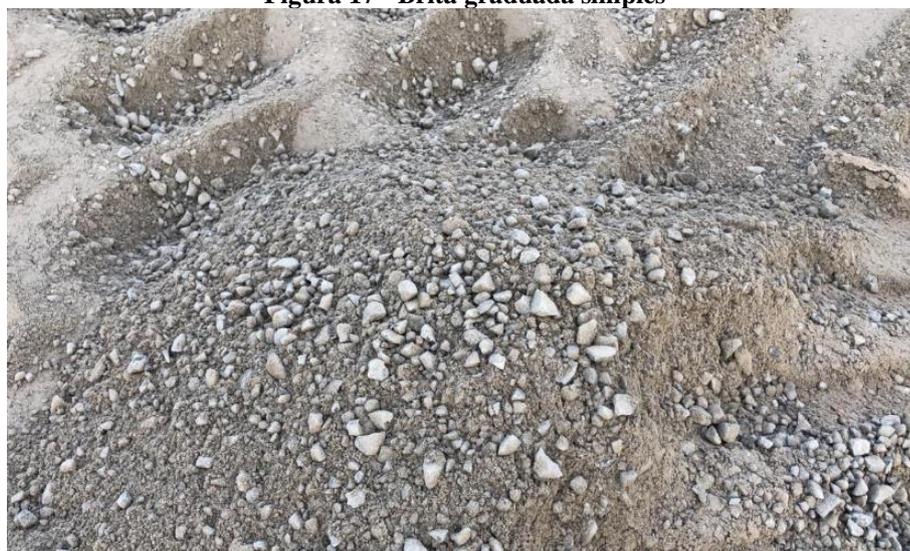
Fonte: Própria Autoria, 2019.

4.1.1 Brita graduada simples (BGS)

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) o BGS (Figura 17) é uma mistura em usina, de produtos de britagem de rocha sã que, em proporções adequadas, resulta no enquadramento em uma faixa granulométrica contínua que, quando devidamente compactada, resulta em um produto final com propriedades adequadas de estabilidade e durabilidade. Sua composição é definida pelo projetista ou quando há normas estaduais ou municipais que a caracterizam. Mesmo definindo a brita graduada simples em um projeto de norma, o DNIT não normatiza o seu emprego, ficando a critério de outras normas.

O material estudado é proveniente da britagem de gnaiss na Pedreira Anápolis, composta por pó de brita (menor que 4,8mm), brita 0 (4,8 a 9,5mm), brita 1 (9,5 a 19mm) e brita 2 (19 a 25mm).

Figura 17 - Brita graduada simples



Fonte: Própria Autoria, 2019.

Este tipo de solo é dosado e homogenizado em usina com controle de umidade e com a porcentagem de agregados nas diferentes faixas granulométricas atendendo a uma das faixas especificadas por norma. São elementos permeáveis a medianamente permeáveis, muito empregados como base ou sub-base em pavimentos asfálticos, sendo comum também sua

aplicação como sub-base de pavimentos de concreto de cimento como exemplo em pavimentos rígidos.

4.2 CONTROLE TECNOLÓGICO LABORATORIAL

Os parâmetros analisados em laboratório, como já citados anteriormente, foram a umidade, granulometria, compactação, expansão e o Índice de Suporte Califórnia, descritos e debatidos ao longo deste trabalho.

Os critérios de aceitação da camada finalizada são definidos pelo DNIT (Tabela 5) com diferentes valores, a umidade e o grau de compactação são obtidos em campo através do método do *speedy* e o ensaio com frasco de areia, respectivamente. Para os parâmetros de expansão e ISC uma amostra de solo foi coletada e levada para o laboratório Engetec.

Tabela 5 - -- Condições mínimas para aceitação da camada estabilizada

Camada	Umidade (%)	Grau de compactação (%)	Expansão (%)	ISC (%)
Base	± 2	≥ 100	≤ 0,05	≥ 80
Sub-base	± 2	≥ 100	≤ 1	≥ 20
Subleito	± 2	≥ 100	≤ 2	-

Fonte: Própria Autoria, 2019.

O ISC mínimo da base é definido de acordo com o tráfego da via, em vias mais movimentadas é maior ou igual a 80%, nas menos movimentadas maior ou igual a 60%.

Na camada subleito não é prescrito o valor mínimo do ISC pois é utilizado solo local, ficando a critério do projetista.

4.2.1 Ensaio de Umidade

Para o ensaio de umidade higroscópica, normalizado pela NBR 6457 (ABNT, 2016), foram utilizadas duas amostras para cada material da base. Em todas as amostras foram feitas as leituras da massa das cápsulas, das cápsulas com solo úmido e das cápsulas com solo seco, foi feita a verificação após 24 horas, dos materiais que permaneceram na estufa com a temperatura de 110°C, como mostrado na Figura 18.

Figura 18 – Secagem de solo em estufa

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

De posse dos resultados foi possível calcular a umidade higroscópica média do Solo melhorado com cimento (SMC) e da Brita graduada simples (BGS). Os resultados estão dispostos na Tabela 6 e na Tabela 7, respectivamente.

Tabela 6 – Umidade higroscópica do SMC

Cápsula N°	1	2
Cápsula (g)	14,32	15,83
Cápsula + Solo Úmido (g)	91,81	97,88
Cápsula + Solo Seco (g)	89,04	94,94
Água (g)	2,77	2,94
Solo (g)	74,72	79,11
Umidade (%)	3,71%	3,72%
Umidade Média (%)	3,71%	

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Tabela 7 – Umidade higroscópica do BGS

Cápsula N°	1	2
Cápsula (g)	16,82	13,41
Cápsula + Solo Úmido (g)	107,42	106,24
Cápsula + Solo Seco (g)	107,25	106,09
Água (g)	0,17	0,15
Solo (g)	90,43	92,68
Umidade (%)	0,19%	0,16%
Umidade Média (%)	0,17%	

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

O solo melhorado com cimento apresentou umidade higroscópica média de 3,71% e a brita graduada simples 0,17%, o que era esperado, pois o SMC tem grande concentração de ferro e alumínio em sua composição, retém mais água do tipo constituição e absorvida, já o BGS é composto por pedra britada que não tem muita retenção de água.

4.2.2 Ensaio de Granulometria

Foram realizados ensaios granulométricos baseados na NBR 7181 (ABNT, 2016) no qual houve peneiramento grosso realizado pelo conjunto de malhas 76,2 até 2,00 mm e peneiramento fino a partir da malha 1,2 até 0,074 mm, o procedimento aconteceu para o solo laterítico, como mostrado na Figura 19 e também para o BGS, como mostrado na Figura 20.

Figura 19 – Ensaio de Análise Granulométrica do solo



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Figura 20 - Ensaio de Análise Granulométrica do BGS



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Após o peneiramento foram obtidos os resultados das massas pesadas com os dados dispostos na Tabela 8, para o SMC.

Tabela 8 - Análise Granulométrica do SMC

Malha (Pol.)	Peneiras (mm)	Peso (g)	% passante	% retida
3"	76,2	0,00	100,00	0,00
2"	50,8	0,00	100,00	0,00
1 1/2"	38,1	0,00	100,00	0,00
1"	25,4	313,60	84,20	15,77
3/4"	19,1	249,30	71,70	28,32
3/8"	9,52	753,88	33,80	66,24
4	4,76	192,55	24,10	75,93
10	2	148,80	16,60	83,40
16	1,2	9,61	15,20	84,80
30	0,6	9,88	13,80	86,20
40	0,42	5,45	13,00	87,00
60	0,25	7,67	11,90	88,10
100	0,15	5,69	11,10	88,90
200	0,074	5,50	10,30	89,70
Fundo	-	71,90	0,00	100,00

Fonte: Autoria própria, 2019.

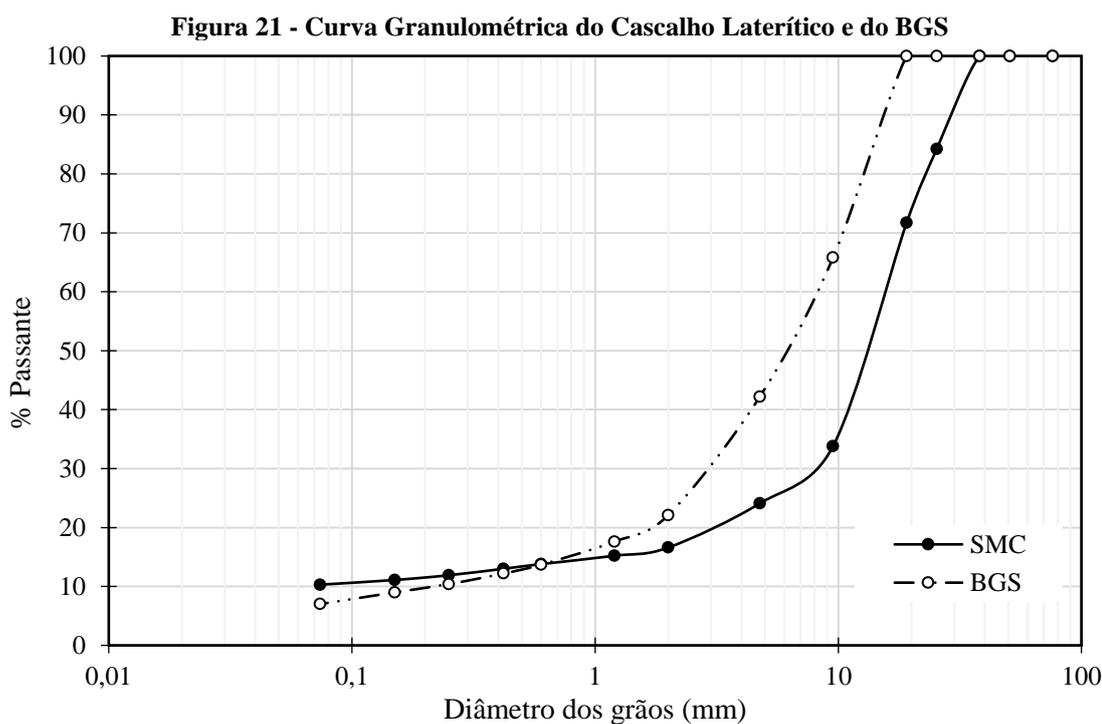
Do mesmo modo o ensaio é feito para o BGS, realizando o peneiramento e a coleta de resultados, dispostos da Tabela 9.

Tabela 9 - Análise Granulométrica do BGS

Malha (Pol.)	Peneiras (mm)	Peso (g)	% passante	% acumulada
3"	76,2	0,00	100,00	0,00
2"	50,8	0,00	100,00	0,00
1 1/2"	38,1	0,00	100,00	0,00
1"	25,4	0,00	100,00	0,00
3/4"	19,1	0,00	100,00	0,00
3/8"	9,52	683,22	65,80	34,17
4	4,76	473,21	42,20	57,84
10	2,0	400,94	22,10	77,90
16	1,2	24,60	17,60	82,40
30	0,6	20,79	13,70	86,30
40	0,42	8,12	12,20	87,80
60	0,25	9,95	10,40	89,60
100	0,15	7,36	9,00	91,00
200	0,074	11,19	7,00	93,00
Fundo	0	37,80	0,00	100,00

Fonte: Autoria Própria, 2019.

A partir dos dados do peneiramento pode-se traçar a curva granulométrica dos dois solos, dispostos em conjunto no gráfico da Figura 21.



Com os dados obtidos a partir do peneiramento faz-se o resumo do solo, como na Tabela 10, no qual separa-se em porcentagem o percentual de solo na faixa granulométrica de pedregulho, areias e finos.

Tabela 10 - Resumo da faixa granulométrica do SMC e do BGS

Solo	Ø máx. (mm)	Ø min. (mm)	% SMC	% BGS
Pedregulho	-	4,8	75,9	57,8
Areia Grossa	4,8	2	7,5	20,1
Areia Média	2	0,42	3,6	9,9
Areia Fina	0,42	0,074	2,7	5,3
Passando N° 200	0,074	-	10,3	7
Total			100	100

Fonte: Autoria Própria, 2019.

A amostra SMC é classificado com um Pedregulho arenoso com poucos finos, pois possui cerca de 75,9% da faixa granulométrica. É nomeado como A-1-a, segundo a classificação HRB da AASHTO M145 (1973) e pela SUCS é GP (Pedregulho mal graduado).

A Brita Graduada simples se encontra como Pedregulho Arenoso com poucos finos, possuindo cerca de 57,8% dos grãos na faixa de pedregulho, também classificado como A-1-a, pela AASHTO e pela SUCS é um GW (Pedregulho bem graduado).

Pode-se observar a partir do ensaio granulométrico, que os dois materiais são pedregulhos com diâmetros variados, ou seja, os grãos menores preenchem os vazios deixados pelos grãos maiores, tornando os solos mais densos.

4.2.3 Ensaio de Compactação

Para o ensaio de compactação, padronizado pela NBR 7182 (ABNT, 2016) foram moldados 5 corpos de prova em pontos de umidade diferentes, uma mais próxima da umidade ótima, duas no ramo seco e duas no ramo úmido e compactados, como mostrado na Figura 22.

Figura 22- Compactação do corpo de prova de SMC



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Para o SMC tomou-se cerca de 6 kg de solo por corpo de prova. Padronizou-se a energia intermediária, portanto, de acordo com o Quadro 1 foi adotado o cilindro e soquete grande, disposto em 5 camadas e 26 golpes por camada, após os ensaios os resultados obtidos foram dispostos na Tabela 11.

Tabela 11 – Dados de compactação Proctor do SMC

Cilindro Proctor N°		I	II	III	IV	V
Molde	(g)	4416	5234	4396	3408	2988
Volume	(cm ³)	2199	2136	2165	2138	2201
Água adicionada	(g)	160	280	400	520	640
Umidade compactação	(%)	6,5	8,6	10,6	12,7	14,8
Molde + Solo úmido	(g)	9030	10132	9670	8570	8300
Solo úmido	(g)	4614	4898	5274	5162	5312
Massa específica natural	(g/cm ³)	2,10	2,29	2,44	2,41	2,41
Massa específica seca	(g/cm ³)	1,97	2,11	2,20	2,14	2,10

Fonte: Autoria Própria, 2019.

O BGS seguiu a mesma norma de compactação, porém utilizou-se 7 kg e para que se obtivesse um Índice de Suporte California (ISC) similar ou próximo do resultado do SMC e atingisse o ISC de projeto foi aplicada a energia modificada, com 55 golpes nas 5 camadas, moldados com cilindro e soquete grandes, com os resultados dispostos na Tabela 12. Foram utilizadas energias diferentes para compactação porque os materiais possuem características

distintas, sendo o solo melhorado com cimento (SMC) de natureza coesiva e a brita graduada simples (BGS) granular.

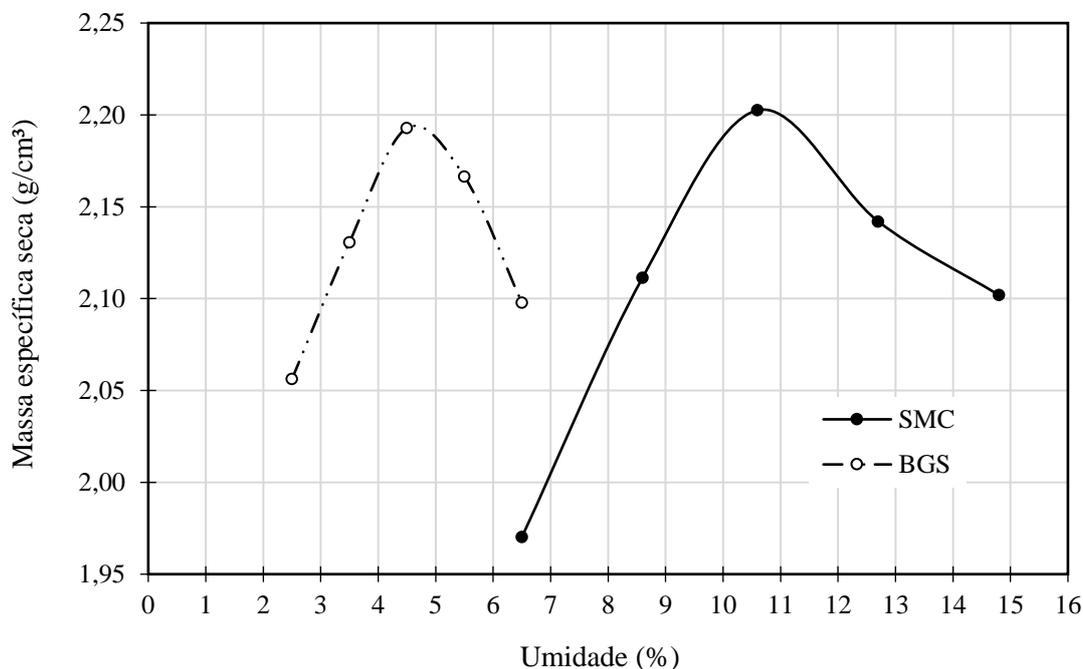
Tabela 12 – Dados de compactação Proctor do BGS

Cilindro Proctor N°		I	II	III	IV	V
Molde	(g)	5714	4582	4252	2910	4348
Volume	(cm ³)	2082	2056	2072	2150	2067
Água adicionada	(g)	160	230	300	370	440
Umidade compactação	(%)	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5
Molde + Solo úmido	(g)	10102	9116	9000	7824	8966
Solo úmido	(g)	4388	4534	4748	4914	4618
Massa específica natural	(g/cm ³)	2,11	2,21	2,29	2,29	2,23
Massa específica seca	(g/cm ³)	2,06	2,13	2,19	2,17	2,10

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Com os resultados das Tabelas 11 e 12 foi possível traçar as curvas de compactação conjuntas para comparação dos materiais, obtidas no gráfico da Figura 23.

Figura 23 – Comparação das curvas de compactação dos solos



Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Como observado a partir do ensaio, conseguiu-se obter um valor da máxima densidade que o solo obteve, em análise, a compactação do SMC obteve uma densidade maior que a do BGS em uma compactação intermediária, chegando a $2,203\text{g/cm}^3$, já o solo melhorado com cimento chegou a $2,195\text{g/cm}^3$, mesmo com uma compactação modificada.

O SMC, por ser uma laterita (solo tropical com fração argila do tipo caulinita e apresenta elevada concentração de ferro e alumínio) teve um comportamento típico de solos lateríticos, conforme observado por Nogami e Viillibor (1995), apresentando ramo seco da curva de compactação íngreme e de acordo com Pinto (2006), umidade ótima próxima de 12 a 14% e massa específica aparente seca superior a $1,9\text{g/cm}^3$. Esse tipo de solo tem a tendência de apresentar ISC elevados e baixa expansão.

O resultado do BGS está em consonância com o obtido por Pinto (2006), para um pedregulho bem graduado pouco argiloso e base estabilizada, cujos valores típicos de umidade e massa específica aparente seca são aproximadamente 6% e $2,05\text{g/cm}^3$, respectivamente.

4.2.4 Ensaio de Expansão

Para o ensaio da expansão do solo, normatizado pela NBR 9895 (ABNT, 2016), leva-se os corpos de prova moldados para uma submersão em água para saturação por 4 dias, como notado na Figura 24 e anota-se os resultados de leitura do extensômetro (equipamento fixado ao corpo de prova que mede a expansão do solo durante o tempo de ensaio) com resultados dispostos na Tabela 13.

Figura 24 – Corpos de prova submersos para expansão



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Tabela 13 - Ensaio de expansão do solo melhorado com cimento na umidade próxima a ótima

Molde nº 783					
Data	Hora	Leitura	Diferença	%	Leitura
19/ago	10:00	5	0	0	5
20/ago	10:00	5	0	0	5
21/ago	10:00	5	0	0	5
22/ago	10:00	5	0	0	5
23/ago	10:00	5	0	0	5

Altura em mm 114

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Do mesmo modo o ensaio ocorre com o BGS, com os resultados dispostos na Tabela 14.

Tabela 14 - Ensaio de expansão BGS do corpo de prova com umidade ótima umidade ótima

Molde nº 35					
Data	Hora	Leitura	Diferença	%	Leitura
19/ago	10:00	5	0	0	5
20/ago	10:00	5	0	0	5
21/ago	10:00	5	0	0	5
22/ago	10:00	5	0	0	5
23/ago	10:00	5	0	0	5

Altura em mm 114

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Como demonstrado nas Tabelas 13 e 14, os solos não apresentaram expansão, o que era esperado, visto que são solos em que a maior parte é granular, ou seja, não coesivos, que são solos menos expansivos, ambos os solos aprovados para utilização no emprego de base, sub base e subleito, segundo as normas do DNIT.

4.2.5 Ensaio de Índice de Suporte Califórnia

O ISC é o parâmetro de resistência do solo, padronizado pela NBR 9895 (ABNT, 2017), o corpo de prova usado na expansão é retirado da submersão e após 15 minutos de secagem é levado a prensa como na Figura 25, que mede a perfuração de um pistão ao longo

de um tempo. As medidas da perfuração de 2,54mm e 5,08mm são os parâmetros do cálculo do ISC, onde é calculada uma pressão calculada e corrigida e adotado o maior valor entre elas.

Figura 25 – Perfuração do corpo de prova na prensa de ISC



Fonte: Autorial Própria, 2019.

A partir do ensaio anota-se os valores e calcula-se as pressões, como disposto na Tabela 15.

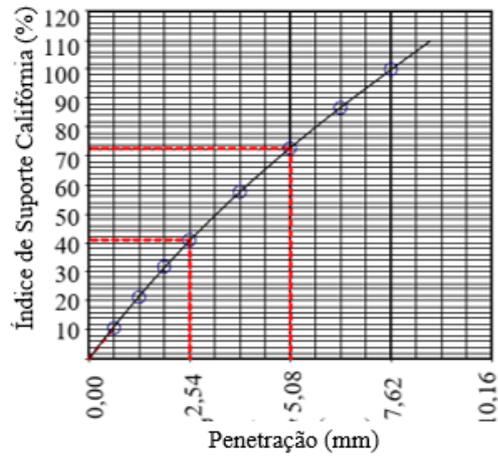
Tabela 15 – Resumo do ISC do solo melhorado com cimento

C.P.	Pressão padrão (kgf/cm ²)	Penetração (mm)	Tempo (minuto)	Leitura Extens. (mm)	Pressão		ISC (%)	ISC final (%)
					Calculada (kgf/cm ²)	Corrigida (kgf/cm ²)		
II	70,31	2,54	2	362	41,1	41,1	58,4	69
	105,46	5,08	4	641	72,7	72,7	69	
III	70,31	2,54	2	592	67,1	68,5	97,5	113,2
	105,46	5,08	4	1041	118	119,4	113,2	
IV	70,31	2,54	2	505	57,3	61,4	87,3	97,9
	105,46	5,08	4	881	99,9	103,2	97,9	

Fonte: Autorial Própria, 2019.

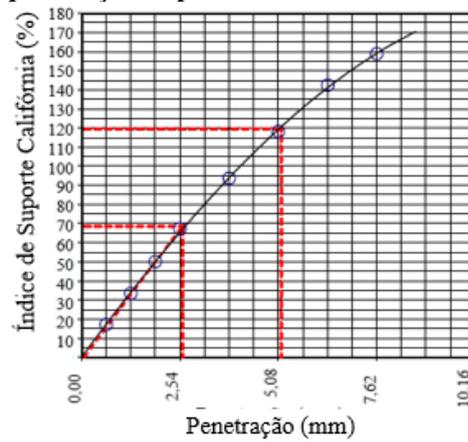
A partir dos valores faz-se os gráficos das Figuras 26, 27 e 28, onde o eixo das abcissas é a penetração em mm e das ordenadas, o ISC em porcentagem.

Figura 26 – Comportamento à penetração do pistão do SMC no CP II



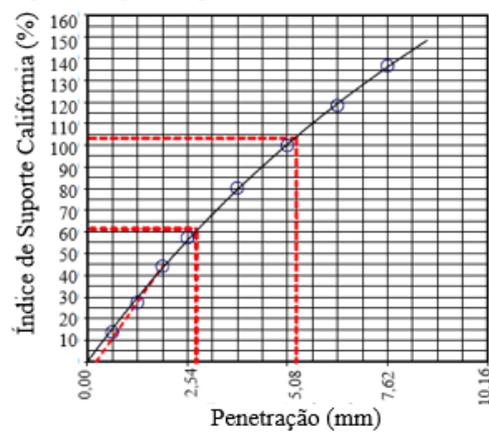
Fonte: Autoria Própria, 2019.

Figura 27– Comportamento à penetração do pistão do SMC no CP III



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Figura 28 -- Comportamento à penetração do pistão do SMC no CP IV



Fonte: Autoria Própria, 2019.

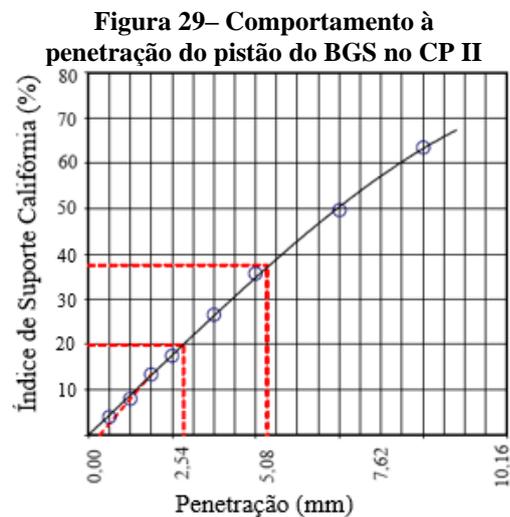
Do mesmo modo o ensaio é realizado para os corpos de prova moldados com o BGS. (Tabela 16).

Tabela 16 – Ensaio de ISC do BGS

C.P.	Pressão padrão (kgf/cm ²)	Penetração (mm)	Tempo (minuto)	Leitura Extens. (mm)	Pressão		ISC %	ISC FINAL (%)
					Calculada (kgf/cm ²)	Corrigida (kgf/cm ²)		
II	70,31	2,54	2	154	17,5	19,9	28,3	35,6
	105,46	5,08	4	314	35,6	37,5	35,6	
III	70,31	2,54	2	424	48,1	54,6	77,7	100,4
	105,46	5,08	4	889	100,8	105,8	100,4	
IV	70,31	2,54	2	295	33,5	38,6	54,9	68,4
	105,46	5,08	4	602	68,3	72,1	68,4	

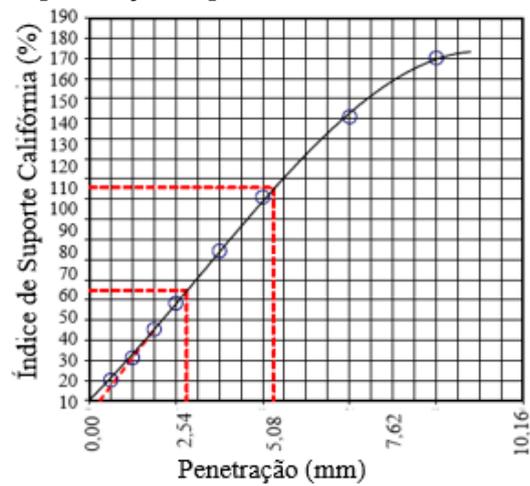
Fonte: Autorial Própria, 2019.

Do mesmo modo é traçado o gráfico para o BGS, como disposto nos gráficos das Figuras 29, 30 e 31.



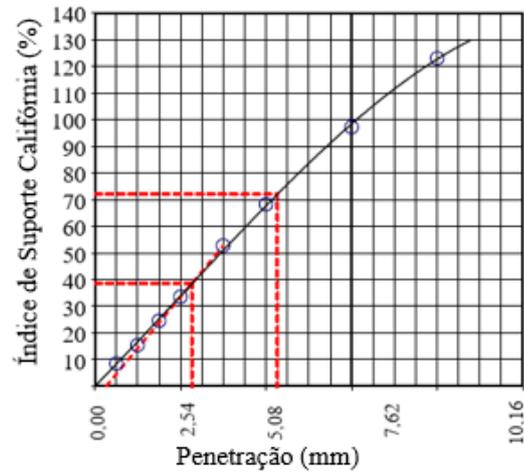
Fonte: Autorial Própria, 2019.

Figura 30 – Comportamento à penetração do pistão do BGS no CP III



Fonte: Autoria Própria, 2019.

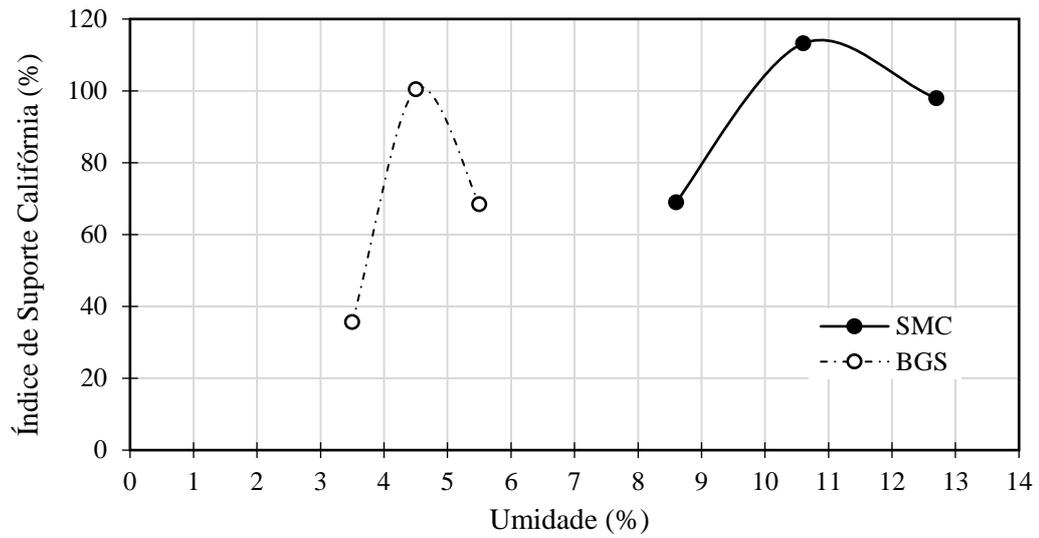
Figura 31 – Comportamento à penetração do pistão do BGS no CP IV



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Monta-se o gráfico para uma comparação entre o ISC final dos dois materiais para melhor visualização, na Figura 32.

Figura 32 -- Comparação entre o ISC do SMC e BGS



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Pela análise, observa-se que o desenvolvimento de resistência no ensaio foi maior no solo melhorado com cimento, chegando a 114,3% de ISC, já o BGS chegou a 101,7% na umidade ótima, o solo melhorado com cimento obteve cerca de 12,39% a mais de resistência.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se, para esse presente trabalho, que os solos estudados trouxeram resultados satisfatórios para a pesquisa, apresentando características positivas no emprego de obras de pavimentação e estando de acordo com os parâmetros de fiscalização nos quesitos mencionados.

Diante os resultados da granulometria conclui-se que as amostras apresentaram uma faixa granulométrica bem graduada, sendo consideradas pedregulhos, o que é o ideal para pavimentação de base e sub-base. Essa faixa granulométrica influenciou bons resultados na compactação do solo, já que as partículas pequenas possibilitam o encaixe entre os vazios das partículas maiores. Para a expansão trouxe ótimos resultados, visto que o limite expansivo da camada mais exigente é de 0,5%, tanto o SMC quanto o BGS não expandiram, ou seja, o que é bom, pois a alta expansividade do solo poderia acarretar problemas na pavimentação, a diferença volumétrica acarretaria futuras trincas.

Para análise de resistência teve-se resultados maiores que o mínimo exigido para pavimentação, sendo a camada de base mais exigente, maior ou igual a 80%, o SMC apresentou ISC de 114,3% e o BGS de 101,7%, na umidade ótima, demonstrando bons resultados no controle tecnológico.

No contexto geral, a trabalhabilidade dos solos foi analisada em campo. O SMC era produzido logo na jazida, misturado em proporção de cimento para um volume de material, enquanto o BGS é um material usinado e pronto. No controle de umidade do solo, o SMC tem um risco maior de ultrapassar o limite de mais ou menos 2, o que raramente acontece com o BGS, por questões do material apresentar uma textura mais uniforme, isso implica em um atraso de obra, visto que o material deverá passar por uma escarificação e secagem ao sol. Na compactação o BGS apresenta maior trabalhabilidade, o material que chega uniforme é espalhado na pista e compactado diretamente, raramente há discrepância no grau de compactação, enquanto o SMC pode chegar na obra com torrões, que deverão ser quebrados, podendo alterar a umidade e atrasando a execução do serviço. Ou seja, a partir da análise conclui-se que o BGS é um solo que possui uma melhor trabalhabilidade quando comparado ao SMC, pois tem uma maior uniformidade.

Portanto, o SMC foi a melhor opção de solo para a camada de base, pois na região centro-oeste a laterita é encontrado com facilidade, o solo é mais resistente, tem menor custo,

quando comparado com BGS. A brita graduada simples entra como alternativa quando não há disponibilidade de solo com as características necessárias para utilização dessa camada (como em outras regiões do país) ou quando definido em projeto, como no caso do pavimento rígido da BRT.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Felipe Maraschine de. **ENERGIAS PARA COMPACTAÇÃO DE SOLOS DESTINADOS A ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**. 2017. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO M 145**: Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. 1973
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12253**: Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16092**: Solo – Determinação do teor de umidade – Método expeditos de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895**: Solo – Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2017.
- BALBO, Jose Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo; Oficina de Textos, 2007.
- BRITO, Laís Costa; PARANHOS, Haroldo da Silva. **Estabilização de Solos**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 06. Ano 02, Vol. 01. pp 425-438, setembro de 2017. ISSN:2448-0959.
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional, 2012.
- CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2018 – Relatório gerencial**. Brasília: Confederação Nacional do Transporte, 2018. Disponível em: <www.cnt.gov.br>. Acesso em: 02 jun. 2019.
- CNT. **Por que os pavimentos das rodovias no Brasil não duram?** Brasília: Confederação Nacional do Transporte, 2018. Disponível em: <www.cnt.gov.br>. Acesso em: 02 jun. 2019.

CRAIG, Robert F. **Mecânica dos solos**. Tradução de Amir Kurban. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2007.

CRISPIM, Flávio Alessandro. **Compactação de solos: Influência de métodos e de parâmetros de compactação na estrutura dos solos**. 2007. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

DENATRAN. **Frota de veículos – 2019**. Brasília: Departamento Nacional do Trânsito, 2019. Disponível em <www.denatran.gov.br>. Acesso em: 02 jun. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ES 303/97**: Pavimentação – base estabilizada granulometricamente. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 036/95**: Cimento Portland – recebimento e aceitação. Rio de Janeiro, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 083/98**: Agregados – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 092/94**: Solo – determinação da massa específica aparente “in situ”, com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 213/94**: Solos – determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 137/2010- ES**. Pavimentação – Regularização do subleito – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 139/2010- ES**. Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 141/2010- ES**. Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 142/2010- ES**. Pavimentação – Base de solo melhorado com cimento – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 049/2013- ES**. Pavimentação – Execução de pavimento rígido com equipamento de fôrmas deslizantes – Especificação de serviços. Rio de Janeiro, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 160/2012- ME**. Solos – Determinação da expansibilidade – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT IPR - 719**. Manual de Pavimentação. 3º edição. Rio de Janeiro, 2006.

MACÊDO, Mirtes Maria de. **Solos modificados com cimento**: Efeito do módulo de resiliência e no dimensionamento de pavimentos. 2004. 309 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2004.

PEREIRA, Eliane Martins. **Estudo do comportamento à expansão de materiais da Formação Guabirotuba em ensaios com sucção controlada**. 2004. 277 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Geotécnica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PROCTOR, R.R. **Fundamental Principles of Soil Compaction**, Engineering News Record, 1933.

SARTORI, Guilherme. **Estudo de estabilização de solos para fins de pavimentação na região de Campo Mourão**. 2015. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo: Pini Ltda, 2001.

SUPORTE SOLOS. **Análise granulométrica do solo** – ensaios geotécnicos, 2018. Disponível em < <http://www.suportesolos.com.br/blog/anlise-granulometrica-do-solo-ensaios-geotcnicos-a-curva-e-os-tipos-de-anlise/72/>>. Acesso em: 04 jun. 2019.

VILLIBOR, Douglas F.; NOGAMI, Job S.; CINCERRE, José R.; SERRA, Paulo R. M.; NETO, Alexandre Z. **Pavimentos de Baixo Custo para Vias Urbanas: Bases alternativas com Solos Lateríticos, Gestão de Manutenção de Vias Urbanas**. 2. ed. São Paulo: Arte & Ciência, 2009. 196 p.