

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Julia Backes de Mello

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE FINOS NO COMPORTAMENTO DE
BASES ESTABILIZADAS GRANULOMETRICAMENTE**

Santa Cruz do Sul

2015

Julia Backes de Mello

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE FINOS NO COMPORTAMENTO DE
BASES ESTABILIZADAS GRANULOMETRICAMENTE**

Trabalho de conclusão apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul para obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador: Prof. Dr. João Rodrigo Guerreiro Mattos

Santa Cruz do Sul

2015

Julia Backes de Mello

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE FINOS NO COMPORTAMENTO DE
BASES ESTABILIZADAS GRANULOMETRICAMENTE**

Trabalho de conclusão apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul para obtenção do título de Engenheira Civil.

Prof. Dr. João Rodrigo Guerreiro Mattos

Professor Orientador – UNISC

Prof. M.Sc. José Antônio Rohlfs Junior

Professor Examinador - UNISC

Prof. M.Sc. Leandro Olivio Nervis

Professor Examinador - UNISC

Santa Cruz do Sul

2015

Dedico este trabalho de conclusão ao meu grande amigo, Vinícius Machado Bernardes, que mesmo de longe, até os últimos dias de vida, sempre foi um grande companheiro, me incentivando e confortando.

Vá com Deus, Vi!

AGRADECIMENTOS

A concretização deste trabalho de conclusão não seria possível sem o apoio, incentivo e orientação de pessoas que se tornaram fundamentais para a conclusão deste estudo. Os meus mais sinceros agradecimentos:

Aos meus pais, Claci Backes e Dario Alves de Mello Filho, que nunca mediram esforços para que eu alcançasse meus grandes objetivos. Obrigada pelo amor, carinho, dedicação, apoio e incentivo incondicional.

Ao meu namorado, Ismael Ketzer, pelo companheirismo, amor, carinho e pela paciência dedicada a mim nesse último ano. Agradeço a grande ajuda em momentos difíceis, nos quais sempre estive ao meu lado.

Ao meu falecido avô, Dario Alves de Mello, seus primeiros ensinamentos de vida foram fundamentais para eu chegar até aqui. Muito obrigada pelo grande exemplo de vida.

Ao meu orientador, João Rodrigo Guerreiro Mattos, pelos ensinamentos, disponibilidade e atenção. Obrigada por, mesmo sem tempo, sempre encontrar disponibilidade para me orientar em minhas dúvidas.

Às pessoas do Laboratório de Solos e Pavimentação da UNISC, em especial aos laboratoristas Rafael e Henrique, que me ajudaram muito na realização dos ensaios deste trabalho e não mediram esforços para que eu concluísse todas as etapas com perfeição. Obrigada pela dedicação e paciência.

Ao colega, Alisson Sturza, que sempre esteve presente para me auxiliar na realização de todos os meus ensaios.

Às colegas e amigas, Bruna Noronha e Fernanda Ines Schwingel, agradeço o companheirismo, incentivo e risadas. Muito obrigada!

Aos demais colegas, obrigada pelo apoio e momentos de descontração.

RESUMO

Este trabalho de conclusão apresenta e analisa os resultados obtidos em um estudo laboratorial sobre o efeito de finos (material passante na peneira nº 4) no comportamento de materiais granulares utilizados em camadas de base de pavimentos. Foram analisados: o peso específico, a umidade ótima, a resistência a penetração e a expansão, através de ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia. Moldando-se três diferentes composições de granulometrias que se enquadram nas faixas A e B do DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Foram realizados 15 ensaios, sendo 5 para cada composição em umidades de 1% à 7%. Os ensaios foram realizados concomitantemente, visando um melhor aproveitamento do material e uma melhor análise da umidade ótima. A partir dos resultados experimentais determinou-se qual a composição granulométrica mais satisfatória em relação à especificação de serviço para bases estabilizadas granulometricamente do DNIT. Os resultados dos ensaios de compactação apresentaram curvas com formatos “atípicos” o que acarretou em uma umidade ótima diferente para o ISC máximo. As três composições mostraram-se satisfatórias em relação às exigências estudadas na norma, porém a composição da faixa B foi a que apresentou a maior resistência à penetração, observando-se que quanto maior o teor de finos maior a resistência à penetração do material. Em relação à expansão, notou-se que quanto mais finos na composição maior a expansão, porém nenhuma das faixas apresentou valores significativos. Concluiu-se que a brita graduada apresenta-se como uma boa alternativa para uso em camadas de base de pavimentos.

Palavras-chave: pavimento, brita, base, estabilização granulométrica.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema de estrutura do trabalho de conclusão	13
Figura 2 - Estrutura de um pavimento flexível	15
Figura 3 - Efeito mecânico em pavimentos flexíveis.	16
Figura 4 - Formação de trincas em um pavimento	16
Figura 5 - Textura da BGS	23
Figura 6 - Mistura solo-brita.....	26
Figura 7- Curva de compactação para a brita GUm estudada por Malysz (2004).....	31
Figura 8 - Curva de compactação para a brita GU2 estudada por Malysz (2004).....	31
Figura 9 - Curva de compactação para a brita GG1 estudada por Malysz (2004)	32
Figura 10 - Índice de Suporte Califórnia para a brita GUm estudado por Malysz (2004).....	33
Figura 11 - Índice de Suporte Califórnia para a brita GU2 estudado por Malysz (2004).....	33
Figura 12 - Índice de Suporte Califórnia para a brita GG1 estudado por Malysz (2004).....	34
Figura 13 – Localização de Sarandi – RS em mapa de satélite	36
Figura 14 – Mapa morfológico do Estado do Rio Grande do Sul	36
Figura 15 - Composição granulométrica - faixa A limite superior	37
Figura 16 - Composição granulométrica - faixa A limite inferior	38
Figura 17 - Composição granulométrica - faixa B	38
Figura 18 - Conjunto de peneiras.....	40
Figura 19 - Separação e armazenamento do material	41
Figura 20 - Mistura de composição granulométrica com água	43
Figura 21 - Conjunto cilindro ISC	47
Figura 22 – Compactação do corpo de prova	47
Figura 23 - Corpo de prova em imersão após 4 dias	48
Figura 24 - Corpo de prova na prensa CBR/Marshall	50
Figura 25 – Curva de compactação da faixa A limite inferior	52
Figura 26 - Curva de compactação da faixa A limite superior	53
Figura 27 - Curva de compactação da faixa B	54
Figura 28 - Curva de ISC da faixa A limite inferior	56
Figura 29 – Curva de ISC da faixa A limite superior.....	58

Figura 30 – Curva de ISC da faixa B.....	59
Figura 31 – Gráfico de resultados de ISC para cada composição	61
Figura 32 – Influência do teor de material passante na peneira nº 4	63
Figura 33 - Influência do teor de material passante na peneira nº 200	63
Figura 34 – Influência do teor de finos na expansão.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Faixas granulométricas para bases de solo melhorado com cimento	20
Tabela 2 - Faixas granulométricas de bases tratadas com cimento.....	21
Tabela 3 - Faixas granulométricas estabelecidas pelo DAER-RS para bases granulares	27
Tabela 4 - Características requeridas pelo DAER-RS para bases granulares	27
Tabela 5 - Faixas granulométricas de bases estabilizadas granulometricamente	28
Tabela 6 - Composições granulométricas avaliadas por Casagrande (2003).	29
Tabela 7 - Características de compactação e ISC das composições granulométricas estudadas por Casagrande (2003).....	30
Tabela 8 - Composição granulométrica GUm estudada por Malysz (2004)	30
Tabela 9- Índice de Suporte Califórnia máximos dos corpos de prova estudados por Malysz (2004).....	32
Tabela 10 - Composição granulométrica - faixa A limite superior	39
Tabela 11 - Composição granulométrica - faixa A limite inferior	39
Tabela 12 - Composição granulométrica - faixa B.....	39
Tabela 13 - Quantidade de material para composição faixa A – limite superior.....	42
Tabela 14 - Quantidade de material para composição faixa A – limite inferior.....	42
Tabela 15 - Quantidade de material para composição faixa B	42
Tabela 16 - Tabela para Cálculo do ISC	49
Tabela 17 – Resultado do ensaio de compactação na faixa A limite inferior	52
Tabela 18 - Resultados do ensaio de compactação na faixa A limite superior	53
Tabela 19 - Resultado do ensaio de compactação na Faixa B	55
Tabela 20 – Resultados dos ensaios de compactação	55
Tabela 21 – Resultados de ISC para faixa A limite inferior	57
Tabela 23 – Expansão na faixa A limite inferior	57
Tabela 23 – Resultados de ISC para faixa A limite superior	58
Tabela 24 - Expansão na faixa A limite superior	59
Tabela 25 - Resultados de ISC para faixa B	60
Tabela 26 – Expansão na faixa B.....	60
Tabela 27 – Resultados de ISC.....	61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Área e limitação do tema	12
1.2 Justificativa.....	12
1.3 Objetivos	12
1.3.1 Objetivo geral	12
1.3.2 Objetivos específicos.....	12
1.4 Estrutura de pesquisa.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 Pavimento	14
2.1.1 Revestimento	17
2.1.2 Subleito	17
2.1.3 Reforço de subleito	18
2.1.4 Sub-base	18
2.1.5 Base.....	19
2.2 Estabilização química	19
2.2.1 Bases de solo melhorado com cimento	20
2.2.2 Base de solo-cimento	21
2.2.3 Base tratada com cimento.....	21
2.3 Estabilização granulométrica.....	22
2.3.1 Brita graduada simples (BGS).....	22
2.3.2 Bica corrida (BC)	24
2.3.3 Macadames hidráulicos (MH) e macadames secos (MS).....	24
2.3.4 Bases estabilizadas granulometricamente	25
3 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 Considerações iniciais.....	35

3.2 Materiais utilizados	35
3.2.1 Brita	35
3.2.2 Composição granulométrica	37
3.2.3 Água	40
3.3 Métodos.....	40
3.3.1 Separação do material	40
3.3.2 Preparação das amostras.....	41
3.4 Ensaio de Compactação.....	43
3.5 Índice de Suporte Califórnia.....	45
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	51
4.1 Compactação.....	51
4.1.1 Faixa A limite inferior	51
4.1.2 Faixa A limite superior	52
4.1.3 Faixa B.....	54
4.1.4 Análise geral	55
4.2 Índice de Suporte Califórnia.....	56
4.2.1 Faixa A limite inferior	56
4.2.2 Faixa A limite superior	57
4.2.3 Faixa B.....	59
4.2.4 Análise Geral	60
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento do transporte de cargas em rodovias brasileiras e as novas tecnologias que tornam os veículos cada vez mais pesados, as solicitações impostas às estruturas de pavimentos crescem. Para que os pavimentos superem as demandas impostas sobre eles, os métodos utilizados em projetos e execuções de pavimentos precisam acompanhar o aumento do tráfego e da carga dos veículos em operação.

Ao usufruir da estrada, os usuários tendem a fazer uma avaliação subjetiva de sua qualidade e com isso percebem vários defeitos, que não propiciam a eles conforto e segurança. Do ponto de vista desses usuários, os problemas da rodovia são apenas defeitos referentes ao revestimento do pavimento, porém técnicos e engenheiros sabem que tais defeitos refletem o mau comportamento da estrutura do pavimento, sendo os problemas causados pela combinação de uma série de fatores tais como o tráfego, o clima, métodos construtivos e características dos materiais.

O pavimento, quando solicitado pelas cargas impostas pelo tráfego, se não dimensionado e executado corretamente, tende a perder sua capacidade de suporte e deteriorar. Os defeitos estruturais estão associados a deformações permanentes e deformações elásticas.

Os principais problemas encontrados na superfície dos pavimentos são as fissuras. Geralmente elas se manifestam no revestimento asfáltico a partir da fadiga das camadas subjacentes. Ela é causada pela repetição das cargas do tráfego, e está associada à deformabilidade elástica da estrutura do pavimento.

Os principais contribuintes na deformação da estrutura dos pavimentos são os materiais granulares que compõem as camadas de base e sub-base. Portanto, para um melhor desempenho do pavimento, eles devem ser bem graduados, possuir partículas resistentes à abrasão, e apresentar elevada capacidade de suporte de cargas.

As camadas de brita graduada são responsáveis pela redução das tensões verticais que as cargas de roda induzem no subleito da rodovia, reduzindo a deformação do pavimento. Sendo assim, uma camada de base com uma brita bem graduada pode ser a responsável por um pavimento mais durável, conseqüentemente reduzindo o custo com manutenções nas rodovias.

1.1 Área e limitação do tema

Na busca de se atingir uma resistência satisfatória em bases de pavimentos, a estabilização granulométrica é uma das técnicas mais adequadas, devido ao seu bom desempenho e baixo custo.

O presente estudo terá como área a pavimentação e abordará o efeito que finos possam gerar em bases estabilizadas granulometricamente através da caracterização de britas graduadas simples. Fazendo-se uso de britas da região norte do estado do Rio Grande do Sul.

1.2 Justificativa

A caracterização da deformabilidade de materiais granulares é de grande importância, pois com ela pode-se dimensionar estruturas de pavimentos que apresentam comportamento mecânico condizente com as características da rodovia a ser implantada, prolongando sua serventia.

O presente trabalho se justifica tendo em vista que com a análise dos finos em britas graduadas pode-se obter um pavimento com um comportamento mecânico que atenda as exigências para a rodovia a ser implantado, com isso gerando uma redução nos custos de manutenção do pavimento.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O presente trabalho de conclusão buscou verificar a influência dos finos no comportamento de bases de brita graduada simples.

1.3.2 Objetivos específicos

Tendo em vista o objetivo geral citado, o presente trabalho irá estudar os efeitos da compactação e do Índice de Suporte Califórnia de três diferentes combinações granulométricas de brita graduada simples para utilização em bases de pavimentação.

1.4 Estrutura de pesquisa

O presente trabalho de conclusão de curso está estruturado da seguinte maneira:

O capítulo 1 contém a introdução, área e limitação do tema, justificativa e objetivos geral e específicos do tema proposto, assim como, a estrutura da pesquisa aqui apresentada.

O capítulo 2 trata de um breve referencial teórico sobre o emprego de brita graduada simples em bases de pavimentação, além de definições de suas propriedades e características.

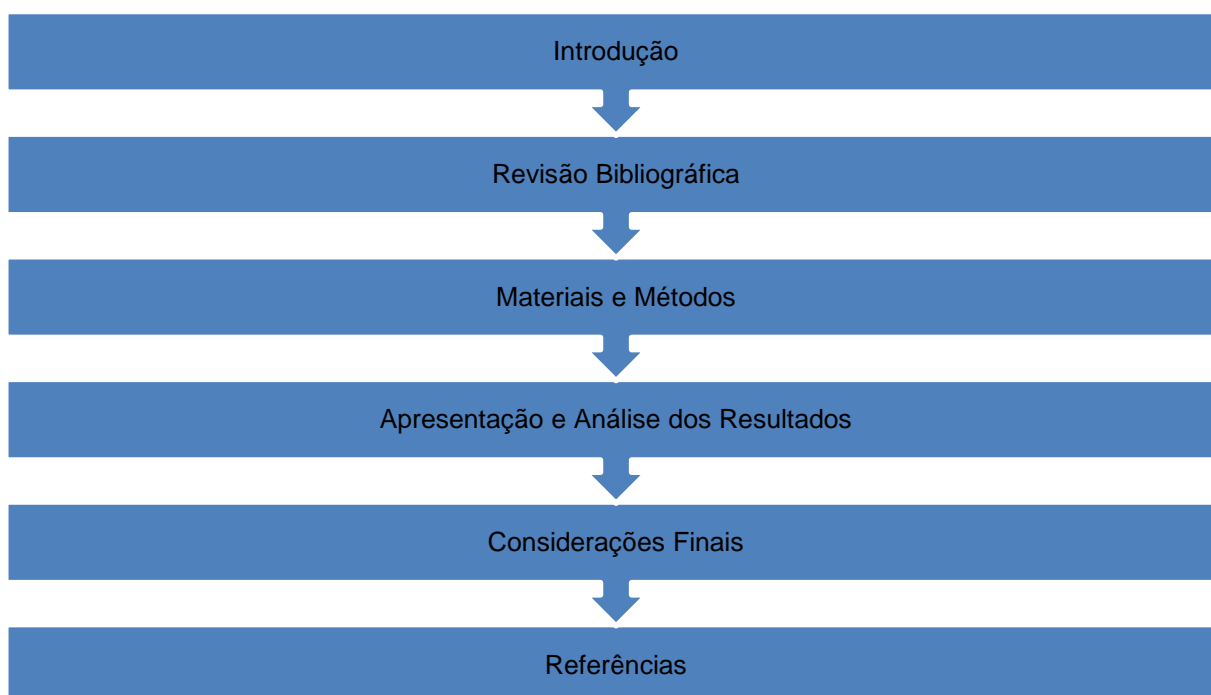
O capítulo 3 apresenta os materiais e a metodologia utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos no programa experimental.

O capítulo 5 apresenta considerações finais sobre o estudo e seus resultados obtidos.

Por fim, apresentam-se as referências bibliográficas utilizadas durante o desenvolvimento deste trabalho de conclusão.

Figura 1 – Esquema de estrutura do trabalho de conclusão



Fonte: Autor, 2015.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo vem aprimorar o conhecimento do tema proposto, e, através de publicações, apresentar definições e posicionamentos referentes às melhorias propostas para bases de pavimentos. Assim, descreve características e propriedades imprescindíveis para o desenvolvimento do trabalho de conclusão.

2.1 Pavimento

O pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas sobrepostas, de diferentes materiais compactados, dispostas sobre uma superfície de terraplenagem. Tem com principal função resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima.

A pavimentação de uma via de circulação de veículos busca, antes de tudo, a melhoria operacional do tráfego. Na medida em que a superfície se torne mais regular, aderente e menos ruidosa, a via garantirá mais conforto e segurança aos usuários. Boas condições de uma via garantem qualidade ao rolamento, o que também gera aos usuários uma considerável redução de custos com operação e manutenção, visto que essas estão associadas às más condições dos pavimentos (BALBO, 2007).

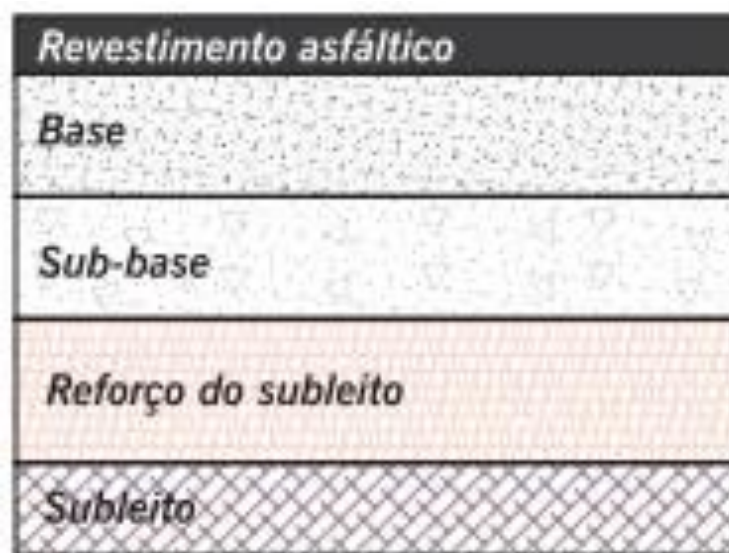
A classificação dos pavimentos é feita tradicionalmente em dois grupos: rígidos e flexíveis, sendo rígidos os pavimentos com revestimento em concreto de cimento Portland e os pavimentos flexíveis aqueles de revestimentos asfálticos. Porém, conforme Balbo (2007), esta classificação não está totalmente correta em termos teóricos, existindo, ainda, uma terceira classificação de pavimentos: semi-rígidos. Pavimentos semi-rígidos seriam aqueles com revestimento de concreto de cimento Portland e base de solo estabilizado quimicamente.

Os pavimentos flexíveis, ou pavimentos asfálticos, são aqueles em que o revestimento é constituído, basicamente, por agregados granulares e ligantes asfálticos.

Como apresenta a Figura 2, o pavimento asfáltico é composto por quatro camadas de materiais diversos. Essas camadas são nomeadas como: revestimento, base, sub-base e reforço de subleito, sendo dispostas sobre uma camada de

subleito, que seria a plataforma após a conclusão de corte e aterro. Em alguns casos o pavimento pode não possuir camadas de sub-base ou reforço de subleito.

Figura 2 - Estrutura de um pavimento flexível

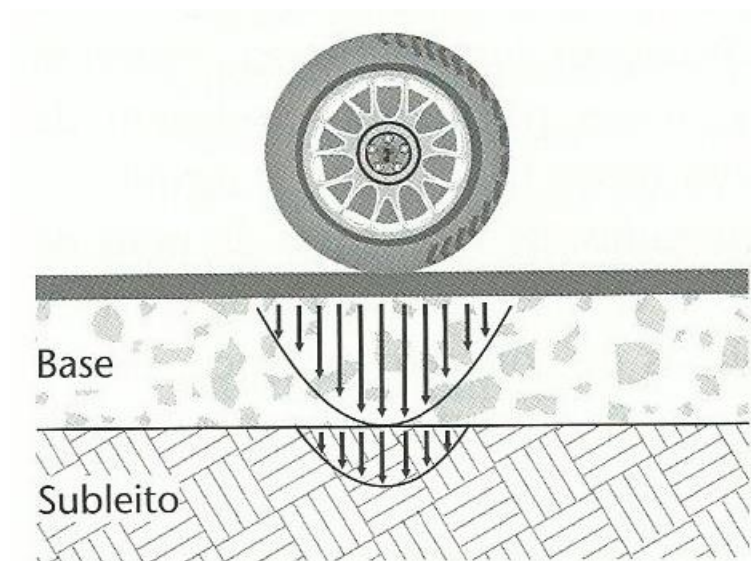


Fonte: Balbo, 2007.

As camadas do pavimento possuem, cada uma, comportamentos mecânicos que devem gerar ao veículo que estiver sobre o rolamento conforto em qualquer condição climática.

Conforme Balbo (2007), as cargas externas geradas pelos veículos sobre a pista de rolamento geram esforços horizontais e verticais. Os esforços verticais se reduzem a solicitações de compressão e de cisalhamento, já os esforços horizontais podem solicitar certos materiais à tração ou atuar confinando outros materiais. Essas cargas geram um campo de tensões muito concentrado nas camadas inferiores ao revestimento, conforme mostra a Figura 3.

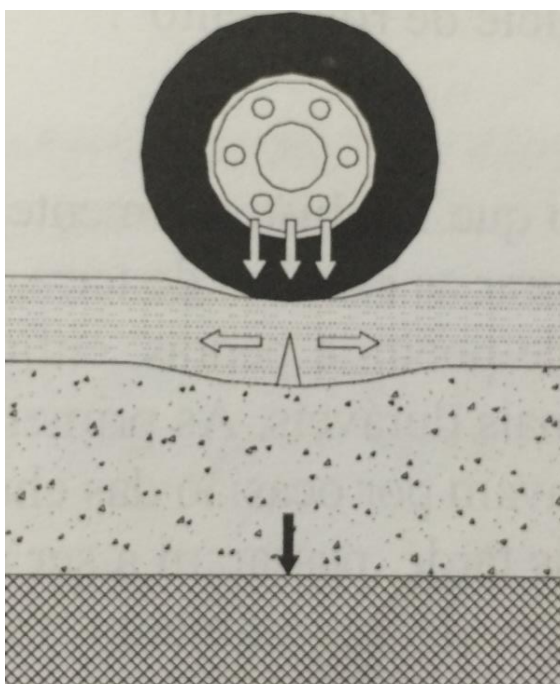
Figura 3 - Efeito mecânico em pavimentos flexíveis.



Fonte: Balbo, 2007.

Conforme demonstra a Figura 4, o revestimento submetido a sucessivas repetições de carga e descarga, geradas pelo tráfego, rompe por fadiga. As trincas surgem na face inferior do revestimento e se propagam para a superfície (MEDINA e MOTTA, 2005).

Figura 4 - Formação de trincas em um pavimento



Fonte: Medina e Motta, 2005.

2.1.1 Revestimento

O revestimento asfáltico é a camada superior do pavimento destinada a receber as cargas e dissipá-las nas camadas inferiores e de receber, também, as ações climáticas. Portanto, essa camada deve ser impermeável e resistir aos esforços que dela forem solicitados além de gerar conforto e segurança ao usuário.

As tensões e deformações geradas na camada asfáltica, induzidas pelas cargas do tráfego, se associam as trincas por fadiga do revestimento. As trincas podem surgir, também, pelo envelhecimento do ligante asfáltico, ações climáticas etc. As camadas de base, sub-base e reforço de subleito, no revestimento asfáltico, são de suma importância estrutural. A mecânica dos pavimentos estuda a importância da combinação dos materiais e das espessuras de cada camada em relação à resistência do pavimento (MEDINA e MOTTA, 2005).

Os revestimentos asfálticos têm, além de diferentes camadas de subdivisão, dois diferentes métodos construtivos: por penetração e por mistura. O primeiro consiste no espalhamento e compressão de camadas de agregados e o mesmo número de camadas de material asfáltico. No segundo, o agregado é pré-envolvido com o material asfáltico antes da compressão (BERNUCCI et al, 2008).

2.1.2 Subleito

Subleito é a camada de corte e aterro do corpo estradal, constituído de material consolidado e compactado de acordo com o solo apresentado.

Como o subleito é a fundação do pavimento, para ele são transmitidas as cargas de forma aliviada, impedindo a ocorrência de deformações incompatíveis com sua utilização, o que geraria um comportamento mecânico inapropriado e a degradação acelerada do pavimento.

As cargas aplicadas no subleito, geralmente, se dissipam no primeiro metro de profundidade, porém deve-se ter maior atenção em seu substrato superior, onde os esforços atuam com maior magnitude (BALBO, 2007).

2.1.3 Reforço de subleito

É uma camada de solo estabilizado de maior qualidade que o subleito, que tem função de reforçar a resistência às cargas atuantes no pavimento. Seu uso não é obrigatório, mas se dá em virtude da economia com camadas maiores de base e sub-base, no caso de revestimento asfálticos sobre solos pobres no subleito.

Como material para reforço de subleito, pode-se utilizar: solo melhorado com cimento, solo-cal, solo arenoso fino laterítico, solo argiloso laterítico, solo laterítico concrecionado, solo saprolítico, solo-agregado ou agregado reciclado de entulho de construção e de demolição (BALBO, 2007).

2.1.4 Sub-base

A camada de sub-base é empregada no pavimento quando a camada de base exigida para distribuir os esforços para as camadas inferiores é muito espessa. Essa estratégia é empregada por razões de natureza construtiva e econômica (BALBO, 2007).

As camadas de base e sub-base tem o intuito de aliviar as pressões sobre as camadas inferiores de solo e desempenhar um papel de drenagem superficial do pavimento.

Conforme especificações de serviço do DAER-RS (Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem do Rio Grande do Sul) há sete tipos usuais de sub-bases de pavimentação, quais sejam:

- Sub-base com produto total de britagem primária (rachão): é constituída por um entrosamento adequado de material proveniente de britagem primária (agregado graúdo) preenchido por agregado miúdo. Sua espessura deverá ter entre 15 e 21 cm e o diâmetro máximo dos grãos ser de 5" (12 cm);
- Sub-base granular: é uma camada constituída de solos, solos misturados com materiais britados ou materiais britados, sendo que o produto final poderá ter expansão máxima de 1%, e grau de compactação mínimo de 100%;
- Sub-base de solo melhorado com cimento: é uma mistura de solo, cimento e água, que deverá ter compactação mínima de 100%, sendo

o solo um material com no máximo 50% de finos, limite de liquidez máxima de 40%, índice de plasticidade máximo de 18% e expansão máxima de 1%;

- Sub-base de areia: é um tipo de sub-base constituída de areia grossa bem graduada;
- Macadame seco: consiste em uma camada de agregado graúdo preenchido, em seus vazios, com agregado miúdo. Os materiais podem ter diâmetro máximo de 1" (2,5 mm) ou 2/3 da espessura final da camada, sendo esta um intervalo entre 16 cm e 21 cm.

2.1.5 Base

Base é a última camada inferior ao revestimento. Sua função é resistir e distribuir os esforços gerados pelas cargas externas. Os materiais empregados são agregados, solos ou a mistura dos dois, devendo ser bem graduados para cumprir com a função da camada.

As especificações de serviço do DAER-RS determinam quatro tipos usuais para uso em rodovias no estado. São elas: base granular, base de solo melhorado com cimento, base de solo-cimento e base tratada com cimento. Já as normas do DNIT especificam os usos de bases estabilizadas granulometricamente, bases de solo melhorado com cimento e bases de solo-cimento.

2.2 Estabilização química

Uma ótima alternativa para uso em locais de difícil acesso, sem material rochoso próximo ou com restrições de orçamento, a estabilização granulométrica em camadas de base de pavimentos garante um bom desempenho e durabilidade.

As bases estabilizadas quimicamente podem ser subdivididas, segundo as normas do DNIT e do DAER-RS, em 3 tipos: base de solo melhorado com cimento, base de solo-cimento e base tratada com cimento.

2.2.1 Bases de solo melhorado com cimento

Bases de solo melhorado com cimento são uma mistura de solo, cimento e água, com dosagem pré-estabelecidas em laboratório. A incorporação do cimento tem função de melhorar o solo, modificando a sua consistência, reduzir a suscetibilidade à água e resistência ao cisalhamento.

Balbo (2007), afirma que com esta técnica não se busca a resistência à compressão ou à tração na flexão do solo a sem empregado na pavimentação, e sim uma estabilização do solo de maneira a torná-lo menos expansivo para que seu emprego no pavimento seja possível pelas exigências normativas.

A especificação DAER-ES-P 09/91, determina que o solo utilizado na mistura tenha LL máximo de 40% e IP máximo de 18%. A Tabela 1 apresenta a faixa granulométrica em que o solo deverá se enquadrar.

Tabela 1 – Faixas granulométricas para bases de solo melhorado com cimento

PENEIRAS		FAIXAS					
ASTM	mm	A	B	C	D	E*	F*
2"	50,8	100	100	-	-	-	-
1"	25,4	-	75-90	100	100	100	100
3/8"	9,5	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-
n° 4	4,8	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
n° 10	2,0	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
n° 40	0,42	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
n° 200**	0,075	2-8	5-15	5-15	5-20	6-20	8-25

* Somente para $N \leq 5 \times 10^6$ (n° de repetições do eixo simples padrão).

** A porcentagem do material que passa na peneira n° 200 não deve ultrapassar 2/3 da porcentagem que passa na peneira n° 40.

Fonte: DAER-RS – ES – P 09/91.

A especificação determina ainda que o grau de compactação da mistura deverá ser no mínimo de 100% em relação à massa específica aparente seca máxima, e o teor de umidade, a umidade ótima $\pm 2\%$. A base deverá, ainda, apresentar ISC mínimo de 80%, expansão máxima de 0,5%, LL inferior ou igual a 25% e IP inferior ou igual a 6% sendo estes determinados com a fração de solo melhorado que passa na peneira n° 40.

2.2.2 Base de solo-cimento

A ideia do emprego de bases com misturas de solo-cimento se deu com o fato de que, em muitas obras viárias, não se encontravam materiais britados disponíveis a um custo razoável. Assim, nos primórdios, foi tomada como alternativa o uso de solo-cimento como pavimentação de baixo custo (BALBO, 2007).

A camada de base de solo-cimento é composta por parcelas de solo, cimento e água em doses pré-determinadas em laboratório.

Os solos empregados devem ser isentos de matérias orgânicas e apresentar algumas características específicas, determinadas pela especificação DAER-ES-P 10/91. Esses solos devem ter teores de 5 – 35% passantes na peneira nº 200, LL máximo de 40% e IP máximo de 18%. O solo utilizado deverá sofrer um processo de pulverização, tornando no mínimo 80% de suas partículas não maiores do que 4,8 mm.

Para uma perfeita camada de base, a compactação deve ser de, no mínimo, 100% em relação à massa específica aparente seca máxima.

2.2.3 Base tratada com cimento

A camada de base com a utilização de materiais tratados com cimento é constituída de misturas de materiais britados com materiais naturais ou produtos totais de britagem e cimento.

Para fins de projeto a especificação DAER-ES-P 11/91 determina uma faixa granulométrica dos agregados a serem empregados em bases desse tipo. A Tabela 2 apresenta esta granulometria.

Tabela 2 - Faixas granulométricas de bases tratadas com cimento

TAMANHO DA PENEIRA	PORCENTAGEM QUE PASSA
1"	100
3/4"	90-100
nº 4	35-75
nº 30	10-40
nº 200	2-15

Fonte: DAER-RS – ES – P 08/91.

A base deverá ter um grau de compactação de, no mínimo, 100% em relação à densidade máxima encontrada.

2.3 Estabilização granulométrica

Balbo (2007) apresenta materiais estabilizados granulometricamente como sendo camadas bem graduadas de agregados britados que recebem estabilização mecânica por efeito de compressão e adensamento de seus materiais. Essas camadas são empregadas em base, sub-base e, eventualmente, em camadas de reforço de subleito de pavimentos. Além disso, podem ainda, em condições muito específicas, ser utilizados como revestimentos.

As pedras britadas são materiais oriundos da trituração ou moagem de rochas. São, comumente, utilizadas em bases e sub-bases de pavimentação tendo em vista suas características de resistência, estabilidade e de não suscetibilidade à água. Sua utilização em pavimentos é notável, tomando como consideração o fato de que serviu de padrão para a definição de capacidade de suporte de solos no ensaio de ISC (BALBO,2007).

A perfeita compactação do material é de suma importância para a resistência da camada aos esforços verticais gerados na estrutura do pavimento pela ação das cargas. Essa é a resistência ao cisalhamento, que é gerada pelo entrosamento das partículas do agregado. À medida que a camada é compactada, a sua resistência ao cisalhamento melhora.

2.3.1 Brita graduada simples (BGS)

As britas graduadas simples são materiais provenientes da mistura de agregados britados bem-graduados, sendo toda sua fração resultante de britagem, geralmente, de uma mesma rocha, com umidade controlada seguida de compactação no pavimento. Seu emprego em pavimentações é comum em camadas de base e sub-base, tendo uma elevada qualidade quando compactada corretamente, sendo comumente uma substituta dos macadames hidráulicos, muito utilizado no passado (BALBO, 2007).

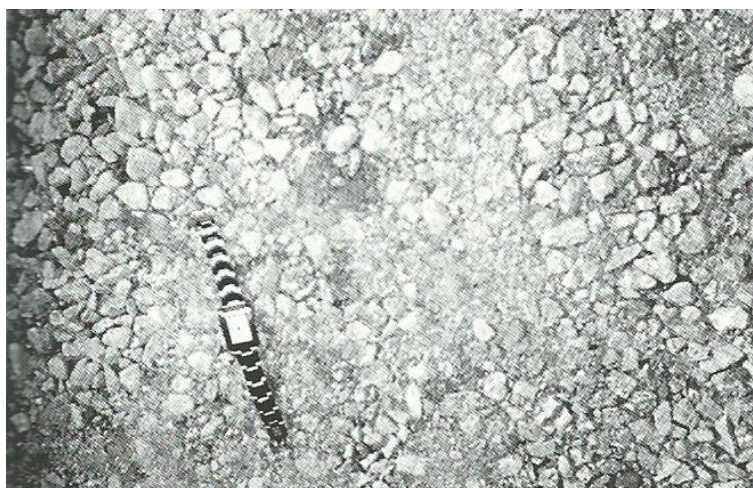
Segundo Bernucci et al (2008), a brita graduada simples é um dos materiais mais utilizados como base e sub-base de pavimentos asfálticos no Brasil. Ela foi introduzida no país na década de 1960, época em que houve um acentuado crescimento da malha rodoviária pavimentada.

São materiais permeáveis a mediamente permeáveis com diâmetro máximo de seus grãos não excedendo 38 cm, e seus finos se limitam a uma faixa de 3% e 9% o que confere um bom intertravamento entre os grãos e uma maior resistência à estrutura.

Balbo (2007) afirma que sua perfeita compactação deve ser feita na energia modificada ou além dessa, sendo a energia modificada usada também para a determinação da umidade ótima, assim, suportando qualquer tipo de tráfego. As camadas são, geralmente, empregadas em uma espessura de 10 a 15 cm.

A brita graduada simples serviu de material padrão para a determinação de um material ideal na pavimentação. Sabendo-se disso, fica claro que uma adequada dosagem, umidade e compactação de uma BGS, serão de melhor qualidade do que o material-padrão (CBR=100%). A Figura 5 apresenta uma textura ideal de camada de brita graduada simples.

Figura 5 - Textura da BGS



Fonte: Balbo, 2007.

Seu processo de produção começa em usina de britagem, onde, deverá haver pelo menos cinco silos de agregados para classificação do material. Este material é misturado e umedecido, nas devidas proporções, ainda em usina. Posterior a isso é transportado até o local de aplicação e espalhado com auxílio de motoniveladora.

Utiliza-se um rolo pneumático para a compactação da BGS na energia modificada e, posteriormente, rolo liso vibratório ou não. Uma atenção especial deve ser dada para a segregação da fração mais fina do material no momento de transporte, situação que em caso de acontecimento deverá ser homogeneizada em pista, o que é uma operação de difícil execução (BALBO, 2007).

2.3.2 Bica corrida (BC)

Bica corrida é um material que após a britagem não passa por classificação, isso é, o material sai do britador secundário e é transportado diretamente para o seu local de destino, não passando por peneiramento e separação das frações britadas, sendo separados, apenas, materiais grandes demais para o uso na camada.

Sua camada em base e sub-base de pavimentação é empregada, geralmente, em espessuras de 10 a 15 cm e, devido a sua resistência inferior em relação à brita graduada simples, em pavimentação de rodovias de baixo ou médio tráfego (BALBO, 2007).

O material da camada deve ser espalhado com auxílio de uma motoniveladora, umedecido por um caminhão pipa, e compactado na energia modificada com auxílio de rolo pneumático e rolo liso.

Seu controle de execução é feito através do ensaio de ISC, pois é fundamental que após a compactação da camada, ela proporcione a resistência desejada.

2.3.3 Macadames hidráulicos (MH) e macadames secos (MS)

Os macadames hidráulicos são camadas granulares, compostas por agregados graúdos, naturais ou britados com os vazios preenchidos em pista por agregados miúdos, aglutinados pela água e compactados mecanicamente. Já os macadames secos são camadas de agregado graúdo de maiores proporções, do tipo rachão, preenchidos por agregados miúdos e energicamente compactados.

Suas granulometrias, segundo a norma do DNIT são de 101,6 mm à 12,7 mm, peneiras de malha 4" e 1/2", respectivamente, para o caso de macadames hidráulicos, sendo o diâmetro máximo dos agregados graúdos entre 1/2 e 2/3 da

espessura final da camada. Já as dimensões dos agregados graúdos dos macadames secos variam de 2” à 5”.

Bernucci et al. (2008) afirma que os macadames hidráulicos foram um dos materiais mais empregados nas primeiras rodovias brasileiras, o que foi baseado na experiência inglesa de McAdam do início do século XIX. Na atualidade, ainda é utilizado em rodovias e em obras urbanas. Em locais que geralmente não se dispõe de usinas para brita graduada simples.

Para Balbo (2007), o uso de MH perdeu terreno para a BGS devido ao processo de fabricação artesanal e a lenta execução dos macadames, o que torna-os mais suscetíveis a erros de execução.

Balbo (2007) afirma ainda que os MS tem forte utilização nos Estados do Sul do Brasil como camadas de base e sub-base, uma evolução do emprego de camadas de rachão como reforço de subleito.

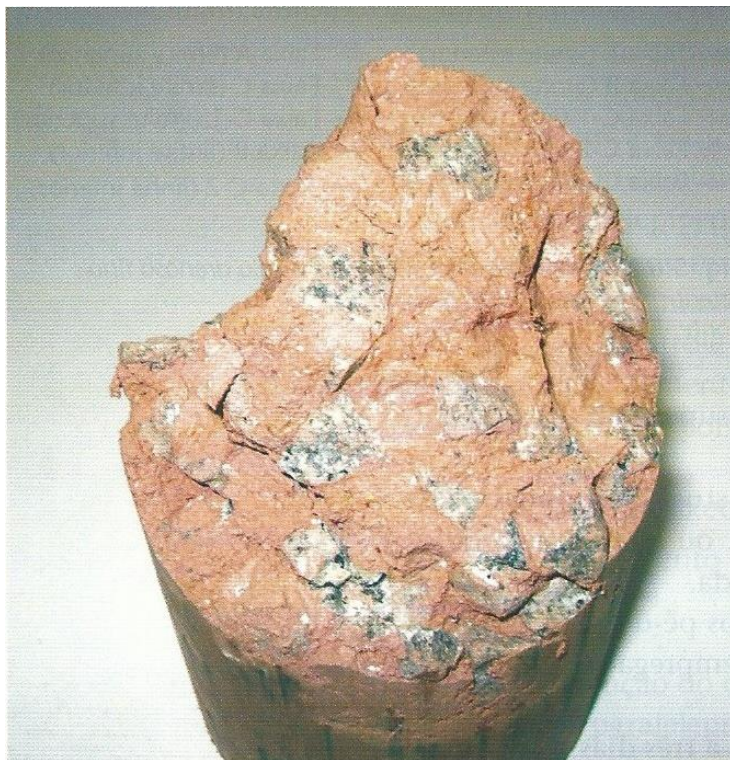
Devido à granulometria dos macadames e seu processo construtivo, a permeabilidade das camadas é maior do que a das britas graduadas simples. Sendo desenvolvido um adequado processo construtivo e os materiais bem selecionados, o macadame apresenta alta resistência e baixa deformabilidade.

2.3.4 Bases estabilizadas granulometricamente

São as camadas de base com mistura de solos e materiais britados ou somente materiais britados em diferentes granulometrias.

As bases com mistura de solo e material britado são as designadas solo-britas, e os produtos de britagem são as bases de brita graduada. Esse tipo de mistura se dá no aproveitamento de solos com características pobres ou propriedades indesejadas. A Figura 6 apresenta um corpo-de-prova de uma mistura entre solo e brita com 50% em peso.

Figura 6 - Mistura solo-brita.



Fonte: Balbo, 2007.

O DAER-RS subdivide as bases granulares em três classes: A, B e C, sendo elas constituídas de pedra britada ou seixo britado, isentas de matéria vegetal ou outras substâncias nocivas. A base deverá ter índice de plasticidade máximo de 6%, limite de liquidez máximo de 25% e expansão máxima de 0,5%. A Tabela 3 apresenta a composição granulométrica do material aceitável e a Tabela 4 mostra os requisitos que o material deverá atender.

Tabela 3 - Faixas granulométricas estabelecidas pelo DAER-RS para bases granulares

TAMANHO DA PENEIRA	PORCENTAGEM QUE PASSA					
	CLASSE A		CLASSE B		CLASSE C	
	TAMANHO MÁXIMO					
	1 ½"	¾"	1 ½"	¾"		
2"	100	-	100	-	-	-
1 ½"	90-100	-	90-100	-	-	-
1"	-	100	-	100	100	100
¾"	50-85	90-100	50-85	90-100	50-85	60-100
n° 4	30-45	35-55	25-45	35-55	35-65	50-85
n° 30	10-25	10-30	10-25	10-30	17-34	28-50
n° 200	2-9	2-9	2-9	2-9	5-15	5-20

Fonte: DAER-RS – ES – P 08/91, adaptado pelo autor.

Tabela 4 - Características requeridas pelo DAER-RS para bases granulares

ENSAIOS	VALORES MÍNIMOS (%)		
	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C
ISC	100	90	80
EA	50	40	30
Abrasão Los Angeles	40	40	40
Sanidade	10	10	10

Fonte: DAER-RS – ES – P 08/91, adaptado pelo autor.

A especificação técnica DAER – ES – P 08/91 determina ainda que o grau de compactação do material de base da pavimentação seja de no mínimo 100% da energia AASHTO Modificado. Os ensaios de compactação e ISC devem ser feitos a cada 500 metros ou 1000 metros, conforme uniformidade do material e dos serviços executados. Já os ensaios de determinação do teor de umidade, caracterização e determinação de densidade, devem ser realizados com espaçamento máximo de 100 metros.

Já Norma DNIT 141/2010 especifica os serviços de bases estabilizadas granulometricamente, tratando estas bases como materiais constituídos de solos, misturas de solos e materiais britados e materiais britados.

A sua composição granulométrica, diferentemente das normas do DAER-RS é composta buscando satisfazer o Número N de tráfego calculado segundo a metodologia do USACE. A Tabela 5 traz a granulometria que compõe uma base deste tipo.

Tabela 5 - Faixas granulométricas de bases estabilizadas granulometricamente

TIPOS	Para N > 5 X 10 ⁶				Para N < 5 X 10 ⁶		Tolerâncias da faixa de projeto
	A	B	C	D	E	F	
	% em peso passando						
2"	100	100	-	-	-	-	± 7
1"	-	75-90	100	100	100	100	± 7
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	± 7
Nº 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	± 5
Nº 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	± 5
Nº 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70	± 2
Nº 200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25	± 2

Fonte: DNIT 141/2010 – ES.

Além da faixa granulométrica, esses materiais devem atender as especificações descritas abaixo:

- A fração passante na peneira Nº 40 deve ter LL ≤ 25% e IP ≤ 6%; no caso desses valores ultrapassarem os limites deve-se ter EA > 30%;
- A porcentagem passante na peneira Nº 200 deve ser menor que 2/3 da porcentagem passante na peneira Nº 40;
- ISC ≥ 60% para Número N ≤ 5 X 10⁶;
- ISC ≥ 80% para Número N > 5 X 10⁶;
- Expansão ≤ 0,5%;
- O material retido na peneira Nº 10, quando submetido ao ensaio de abrasão Los Angeles, não deve apresentar desgaste superior à 55%.

Malysz (2004) salienta que as especificações da norma, embora muito detalhadas, não asseguram um bom comportamento mecânico das camadas granulares do pavimento. O que ela assegura é a durabilidade a solicitações mecânicas e a esforços gerados por variações climáticas, já que um valor elevado de ISC ou uma determinada faixa granulométrica não devem estar associados a um bom desempenho das camadas quanto à deformabilidade e à resistência ao cisalhamento.

Para um perfeito resultado final, o DNIT especifica que não é permitida a execução desse tipo de serviço em dias de chuva. Diz ainda que deve-se ser feita uma mistura prévia do material, em centrais de mistura própria ou, em caso de quantidade não justificadas para uma instalação de central ou uso de materiais

existentes no local da pista, deve-se utilizar uma concha da pá carregadeira como medida-padrão. O material misturado deve ser transportado e depositado na pista em montes espaçados para um melhor espalhamento. Após, é executada a correção e homogeneização da umidade, para uma posterior compactação. A variação no teor de umidade permitida é de menos dois pontos percentuais até mais um ponto percentual. A compactação deve ser executada com espessuras entre 10 cm e 20 cm, com rolos compactadores. O acabamento é feito com uso de rolos de pneus e rolos liso-vibratórios.

Casagrande (2003) estudou em sua dissertação a deformabilidade elástica e a condutividade hidráulica de britas de basalto, utilizando como referência a faixa “A” e a faixa “B” do DNER, atual DNIT. Foram utilizadas 5 composições granulométricas da faixa “A”, sendo elas denominadas GD, GG1, GU, GU1 e GU2 e uma composição da faixa “B”, denominada GB. As composições, bem como as faixas “A” e “B” do DNER, são mostradas na Tabela 6.

Tabela 6 - Composições granulométricas avaliadas por Casagrande (2003).

Peneira	Faixa “A”		Composição					Faixa “B”		GB
	mín.	máx	GD	GG1	GU	GU1	GU2	mín.	máx.	
2”	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1 ½”	-	-	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	-	-	-
1”	-	-	93,9	91,3	88,6	87,8	86,0	75,0	90,0	93,9
¾”	-	-	77,3	67,3	57,8	54,6	48,1	-	-	-
½”	-	-	64,7	50,2	35,3	27,9	18,1	-	-	-
3/8”	30	65	62,7	48,3	33,4	21,8	11,9	40,0	75,0	63,1
Nº 4	25	55	52,2	39,7	26,7	9,5	0,9	30,0	60,0	53,2
Nº 10	15	40	36,1	26,8	17,9	5,8	0,5	20,0	45,0	37,1
Nº 40	8	20	19,6	13,6	9,0	2,5	0,5	15,0	30,0	20,6
Nº 80	5	14	11,3	8,0	5,4	1,7	0,4	-	-	-
Nº 200	2	8	5,0	4,1	2,9	1,3	0,4	5,0	15,0	5,0

Fonte: Casagrande (2003).

No estudo foram utilizados os ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia, segundo o método de ensaio DNER – ME 49 – 94. A Tabela 7 apresenta os resultados encontrados para as diversas granulometrias do estudo de Casagrande.

Tabela 7 - Características de compactação e ISC das composições granulométricas estudadas por Casagrande (2003).

Composição	W_{ot} (%)	γ_d (kN/m ³)	ISC (%)
GD	7,5	22,1	174
GG1	6,6	21,4	196
GU	6,7	21,2	72
GU1	3,7	18,5	63
GU2	3,7	18,4	80
GB	4,6	21,8	120

Fonte: Casagrande (2003).

Casagrande (2003) notou que as composições com maiores quantidades de finos apresentaram maiores pesos específicos secos. Todas as composições moldadas apresentaram resultados satisfatórios quanto ao ISC quando usadas em camadas de base para pavimentos com N menores de 5×10^6 , porém para N maiores as composições GU e GU1 só seriam aceitas para camadas de sub-base.

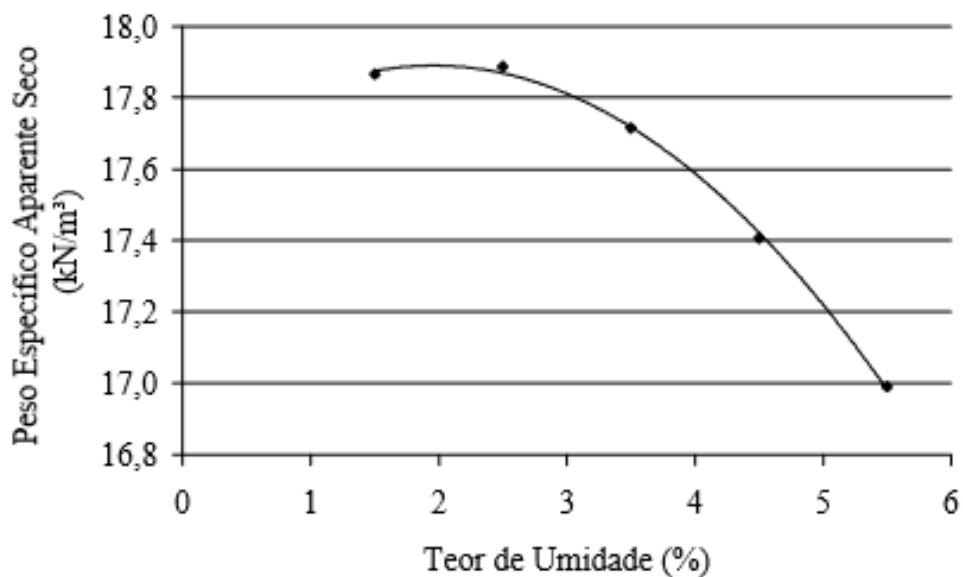
Malysz (2004) fez uso do estudo de Casagrande (2003) em sua dissertação, utilizando apenas as granulometrias GG1 e GU2, da faixa “A” do DNER. Utilizou, ainda, uma granulometria denominada GUm, apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 - Composição granulométrica GUm estudada por Malysz (2004)

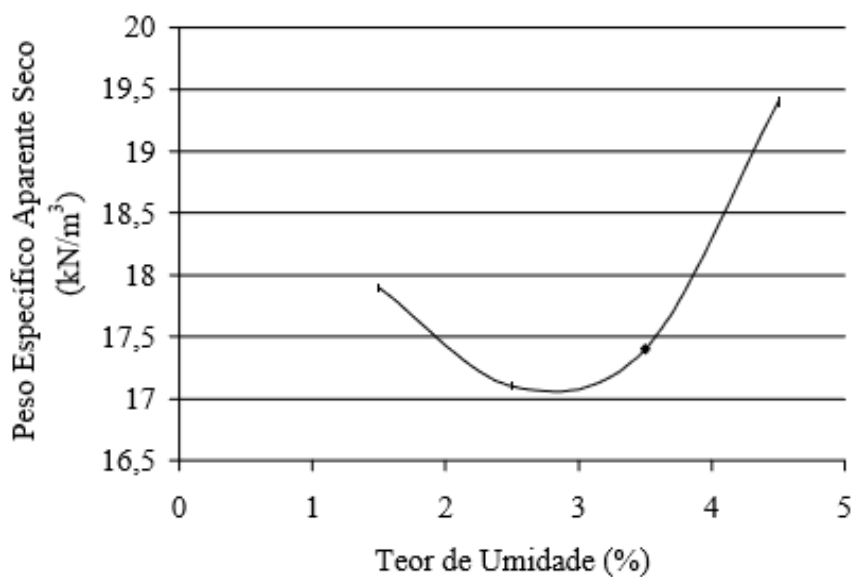
Peneira	1”	¾”	½”	3/8”	N° 4	N°10	N°40	N°80	N°200
Passante (%)	100	99,9	96,4	52,5	6,2	3,6	2,9	2,3	1

Fonte: Malysz (2004).

As Figuras 7, 8 e 9, apresentam os resultados dos ensaios de compactação (energia modificada) realizados por Malysz (2004).

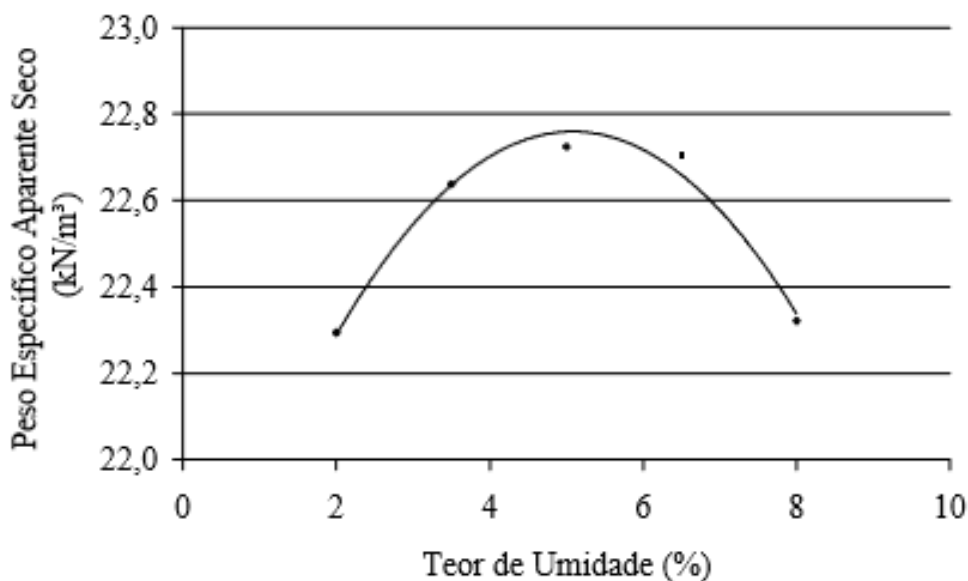
Figura 7- Curva de compactação para a brita GUm estudada por Malysz (2004)

Fonte: Malysz (2004).

Figura 8 - Curva de compactação para a brita GU2 estudada por Malysz (2004)

Fonte: Malysz (2004).

Figura 9 - Curva de compactação para a brita GG1 estudada por Malysz (2004)



Fonte: Malysz (2004).

Malysz (2004), notou que para a composição GU2 a curva de compactação apresentou formato “atípico” (diferente do formato de sino, dito como típico em curvas de compactação). Neste caso o valor de umidade de 4,5% foi desconsiderado. Malysz determinou como umidade ótima do ensaio de compactação aquela para a qual não ocorreu exsudação.

Retore (2005), apresenta que formatos diferentes de sino em curvas de compactação são aqueles em que não se identifica claramente os valores de umidade ótima e peso específico aparente seco máximo, e avalia este acontecimento como comuns em bibliografias nacionais e internacionais. Diz ainda que, quando ocorrer, determina-se como umidade ótima aquela de maior ISC.

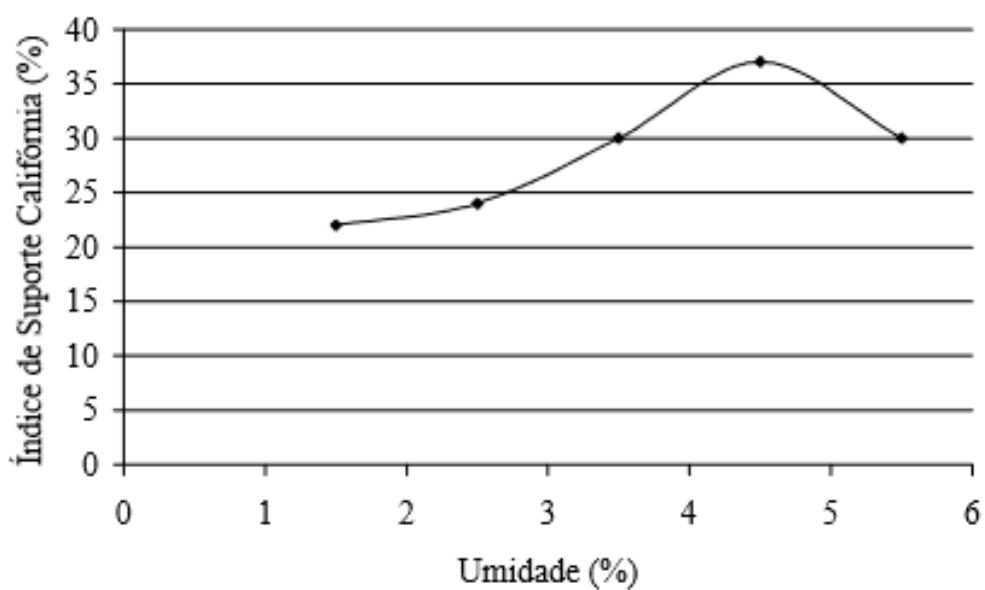
Os resultados do estudo de Malysz (2004) para os ensaios de ISC estão apresentados resumidamente na Tabela 9 e detalhados nas Figuras 10, 11e 12.

Tabela 9- Índice de Suporte Califórnia máximos dos corpos de prova estudados por Malysz (2004)

Brita	ISC (%)
GG1	169
GU2	72
GUm	37

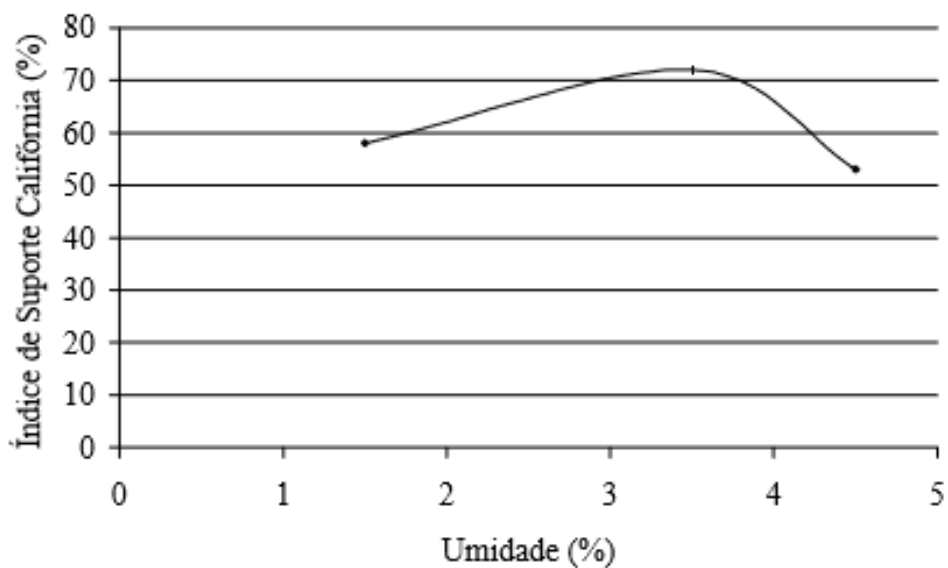
Fonte: Malysz (2004).

Figura 10 - Índice de Suporte Califórnia para a brita GUm estudado por Malysz (2004)



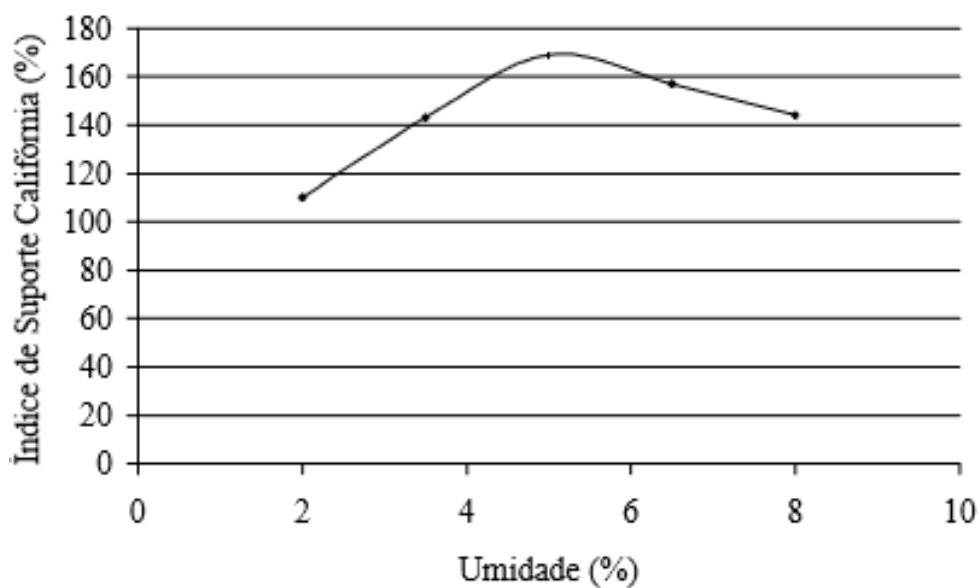
Fonte: Malysz (2004).

Figura 11 - Índice de Suporte Califórnia para a brita GU2 estudado por Malysz (2004)



Fonte: Malysz (2004).

Figura 12 - Índice de Suporte Califórnia para a brita GG1 estudado por Malysz (2004)



Fonte: Malysz (2004).

Na análise de Malysz (2004), a composição GG1 obteve valores satisfatórios para a capacidade de suporte, sendo a única a atender os critérios de ISC do DNER. Notou, ainda, que para as demais composições os valores de umidade ótima nos ensaios de compactação não correspondem ao ISC máximo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Considerações iniciais

Este capítulo abordará a metodologia utilizada no trabalho de conclusão, descrevendo o material, os equipamentos e os procedimentos utilizados na pesquisa. Inicialmente, na primeira e segunda parte são descritos os materiais e as composições granulométricas utilizadas, assim como a preparação destas composições para ensaio. Na última parte descrevem-se os equipamentos e processos utilizados em laboratório para determinação de peso específico, umidade ótima e resistência e expansão dos corpos de prova moldados, fazendo-se uso dos Ensaio de Compactação e Índice de Suporte Califórnia.

3.2 Materiais utilizados

3.2.1 Brita

O material utilizado neste estudo são britas de basalto proveniente de uma empresa de terraplenagem e pavimentação cuja unidade de britagem se localiza em Sarandi, região norte do estado do Rio Grande do Sul. Essa localização, como apresentado nas Figuras 13 e 14, faz parte do Planalto Basáltico do estado.

Figura 13 – Localização de Sarandi – RS em mapa de satélite



Fonte: Google Earth, 2015.

Figura 14 – Mapa morfológico do Estado do Rio Grande do Sul



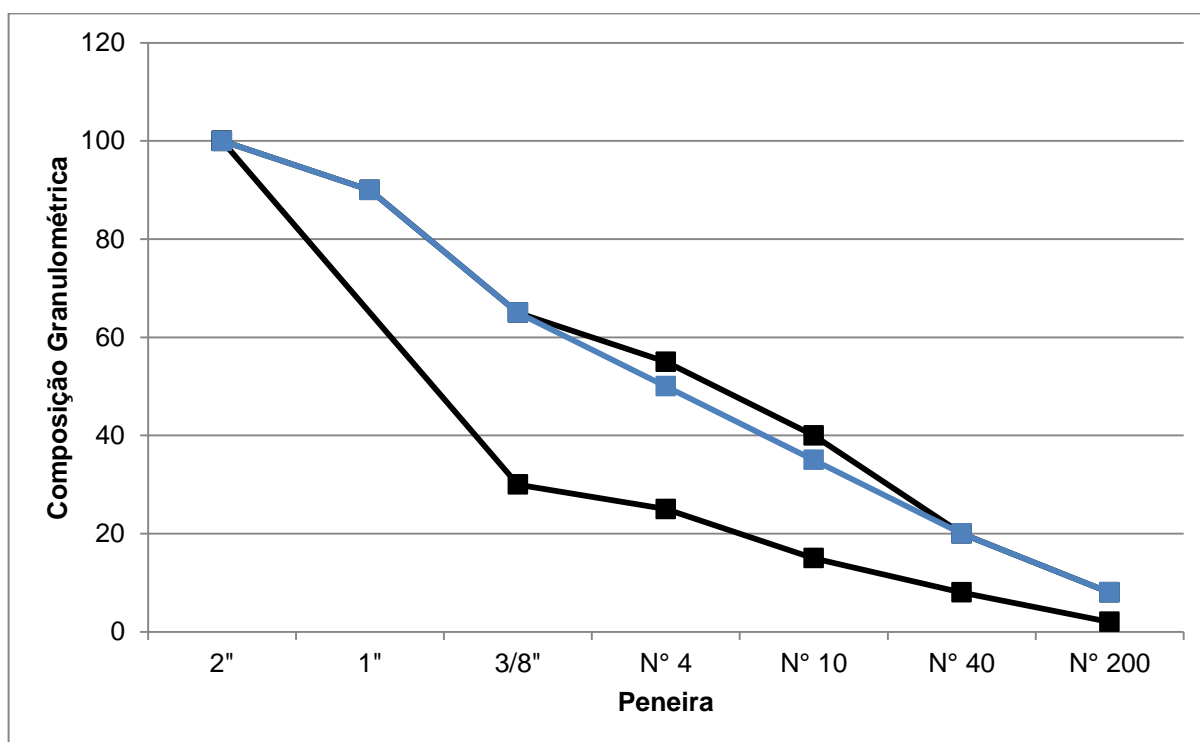
Fonte: disponível em: <<http://www.ufrgs.br/paleotocas/RioGrandedoSul.htm>>. Acesso em: 07 nov. 2015.

3.2.2 Composição granulométrica

As composições granulométricas estudadas utilizarão como parâmetro as classes A e B definidas na Norma DNIT 141/2010 – ES. Essas classes se enquadram em rodovias com número $N > 5 \times 10^6$, sendo determinado, também nesta norma, $ISC \geq 80\%$ e $Expansão \leq 0,5\%$.

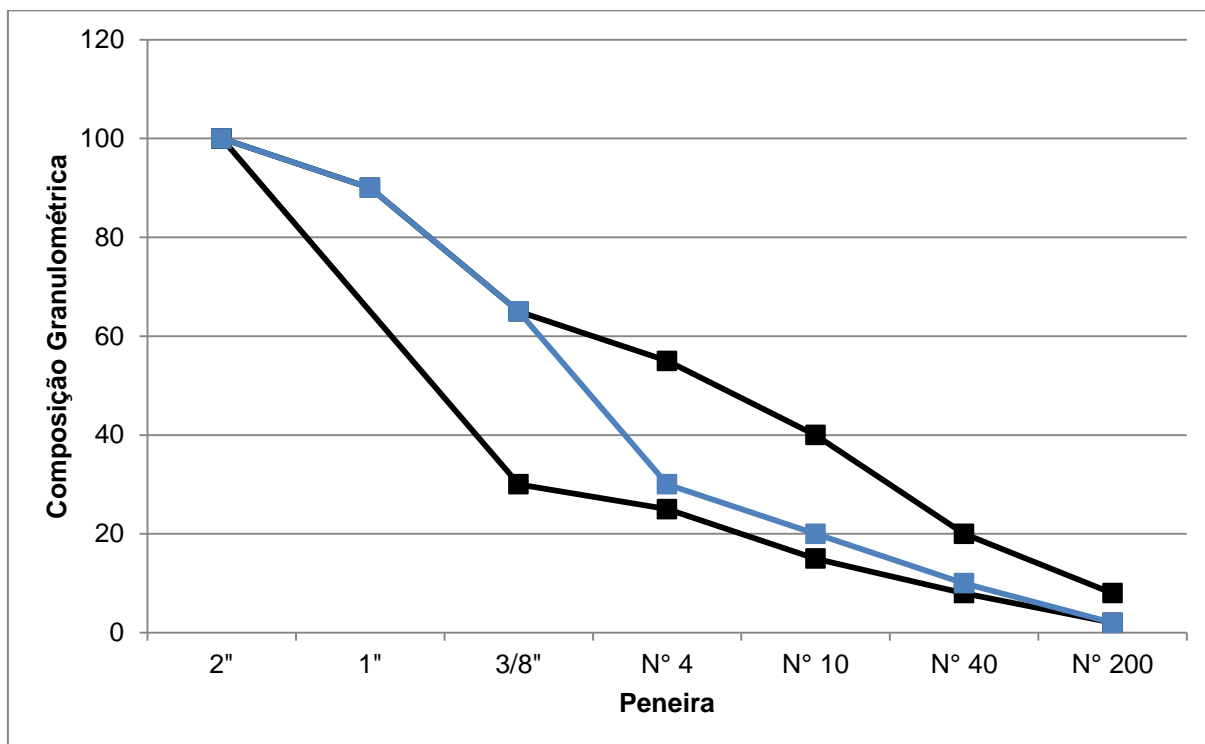
Para o estudo utilizaram-se duas composições da classe A, sendo uma de granulometrias de agregados miúdos (passantes na peneira nº 4) tendendo ao limite superior e outra tendendo ao limite inferior da faixa determinada pelo DNIT. A composição granulométrica da classe B é uma granulometria de agregados miúdos mediana, relacionada à faixa determinada pelo DNIT. O detalhamento das faixas granulométricas e composições de análise se encontram nas Figuras 15, 16 e 17 e nas Tabelas 10, 11 e 12.

Figura 15 - Composição granulométrica - faixa A limite superior



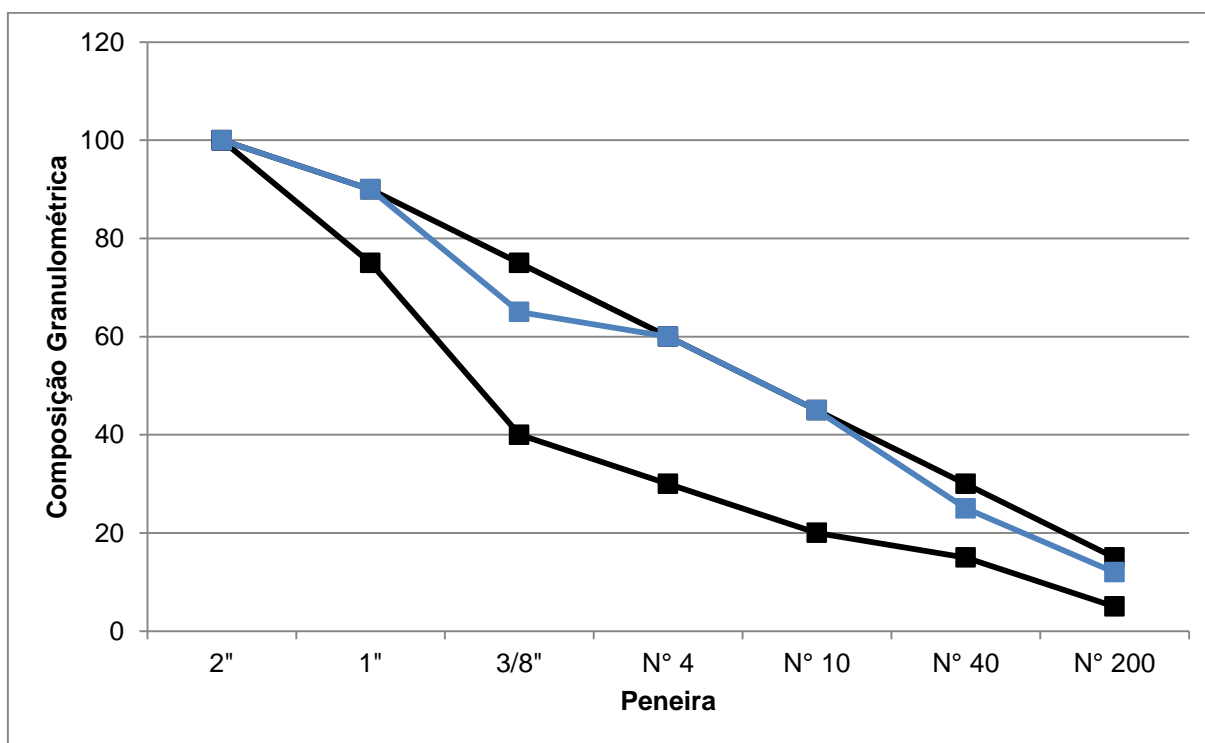
Fonte: Autor, 2015.

Figura 16 - Composição granulométrica - faixa A limite inferior



Fonte: Autor, 2015.

Figura 17 - Composição granulométrica - faixa B



Fonte: Autor, 2015.

Tabela 10 - Composição granulométrica - faixa A limite superior

Peneira	mm	Faixa A		Composição escolhida (% passante)
		mínimo	máximo	
2"	50,80	100	100	100
1"	25,40			90
3/8"	9,50	30	65	65
N° 4	4,80	25	55	50
N° 10	2,00	15	40	35
N° 40	0,42	8	20	20
N° 200	0,074	2	8	8

Fonte: Autor, 2015.

Tabela 11 - Composição granulométrica - faixa A limite inferior

Peneira	mm	Faixa A		Composição escolhida (% passante)
		mínimo	máximo	
2"	50,80	100	100	100
1"	25,40			90
3/8"	9,50	30	65	65
N° 4	4,80	25	55	30
N° 10	2,00	15	40	20
N° 40	0,42	8	20	10
N° 200	0,074	2	8	2

Fonte: Autor, 2015.

Tabela 12 - Composição granulométrica - faixa B

Peneira	mm	Faixa B		Composição escolhida (% passante)
		mínimo	máximo	
2"	50,80	100	100	100
1"	25,40	75	90	90
3/8"	9,50	40	75	65
N° 4	4,80	30	60	60
N° 10	2,00	20	45	45
N° 40	0,42	15	30	25
N° 200	0,074	5	15	12

Fonte: Autor, 2015.

3.2.3 Água

Foi utilizada água destilada nas moldagens dos corpos de prova com finalidade de se obter os teores de umidade necessários para realização dos ensaios.

3.3 Métodos

3.3.1 Separação do material

Para a separação do material foram utilizadas peneiras de 7 diferentes aberturas de furos, ficando assim, o material, separado em 7 granulometrias distintas. As peneiras utilizadas foram: 2", 1", 3/8", N° 4, N° 10, N° 40 e N° 200, conforme apresentado na Figura 18.

Figura 18 - Conjunto de peneiras

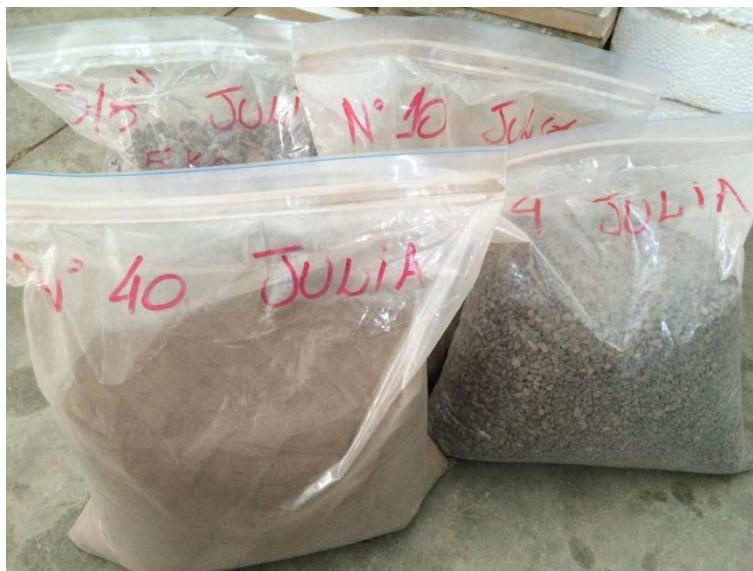


Fonte: Autor, 2015.

A brita foi peneirada até que todo o material passante na peneira ficasse retido no recipiente de fundo. Sua armazenagem foi feita separadamente em sacos

plásticos herméticos para garantir que o material não fosse misturado ou contaminado, como mostra a Figura 19.

Figura 19 - Separação e armazenamento do material



Fonte: Autor, 2015.

3.3.2 Preparação das amostras

A preparação das amostras para a realização dos ensaios inicia-se com a separação da quantidade necessária de cada granulometria para cada composição, conforme Tabelas 13, 14 e 15. Foram totalizados 5500 g de material para cada unidade de composição tomando por base que em cada cilindro de ISC seriam consumidos aproximadamente 5250 g de material e seria necessário material para medição de umidade.

Tabela 13 - Quantidade de material para composição faixa A – limite superior

Peneira	% passante	Massa total = 5,5	
		Kg passante acumulada	Kg retido
2"	100	5,5	
1"	90	4,95	0,55
3/8"	65	3,575	1,375
4	50	2,75	0,825
10	35	1,925	0,825
40	20	1,1	0,825
200	8	0,44	0,66
			0,44

Fonte: Autor, 2015.

Tabela 14 - Quantidade de material para composição faixa A – limite inferior

Peneira	% passante	Massa total = 5,5	
		Kg passante acumulada	Kg retido
2"	100	5,5	
1"	90	4,95	0,55
3/8"	65	3,575	1,375
4	30	1,65	1,925
10	20	1,1	0,55
40	10	0,55	0,55
200	2	0,11	0,44
			0,11

Fonte: Autor, 2015.

Tabela 15 - Quantidade de material para composição faixa B

Peneira	% passante	Massa total = 5,5	
		Kg passante acumulada	Kg retido
2"	100	5,5	
1"	90	4,95	0,55
3/8"	65	3,575	1,375
4	60	3,3	0,275
10	45	2,475	0,825
40	25	1,375	1,1
200	12	0,66	0,715
			0,66

Fonte: Autor, 2015.

Após a separação do material foi retirada uma quantidade de material para determinação da umidade higroscópica e acrescentada água em proporções de 1% à 7% dependendo da composição. No total foram moldados 15 corpos de prova. Para a faixa A limite inferior foram preparadas amostras com teores de umidade de 2% a 6%, para o limite superior moldaram-se corpos de prova com 1%, 2%, 3%, 6% e 7% de umidade, já para a composição faixa B prepararam-se amostras com 2%, 4%, 5%, 6% e 7% de água. A Figura 20 apresenta um material preparado para moldagem.

Figura 20 - Mistura de composição granulométrica com água



Fonte: Autor, 2015.

3.4 Ensaio de Compactação

Os ensaios de compactação foram empregados conforme o que estabelece a NBR 7182/86 – Solo – Ensaio de Compactação. Esse ensaio estabelece a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca do material quando compactado.

Os ensaios de compactação foram realizados juntamente com os ensaio de Índice de Suporte Califórnia, tendo em vista que seriam realizados ensaios de ISC em 5 umidades distintas e não apenas na umidade ótima das composições e ainda considerando a redução no consumo de material.

Para esses ensaios foi empregada a energia Proctor modificado. A utilização da energia de compactação Proctor modificado ao invés da energia de compactação normal gera um aumento no esforço de compactação e isso resulta em um aumento no peso específico aparente seco do material.

Para realização do ensaio, utilizou-se um molde cilíndrico metálico grande (cilindro de ISC) de aproximadamente 177,8 mm de altura e aproximadamente 152,4 mm de diâmetro. O molde é fixado a uma base perfurada e um colarinho de extensão no topo. No interior do molde é adicionado um disco espaçador com altura de 63,5 mm.

O material é misturado em determinada quantidade de água e compactado em 5 camadas com um soquete grande de 4,54 kg a uma altura de queda do soquete de 457 mm. Para essa energia de compactação a norma recomenda 55 golpes de soquete.

No procedimento, após a compactação da última camada, o colarinho de extensão é retirado e o excesso de material é removido e rasado com auxílio de uma régua biselada. O conjunto deve ser pesado e o peso do cilindro subtraído para se ter o peso do material úmido de material compactado. O procedimento se repete para os 5 diferente teores de umidades determinados para a pesquisa.

Para o cálculo do teor de umidade da amostra utiliza-se a Equação 1. Já para determinação do peso específico aparente seco (Equação 4), é necessário primeiramente determinar a massa específica e o peso específico (Equação 2 e Equação 3, respectivamente).

$$w = \frac{m_{H_2O}}{m_{brita\ seca}} \cdot 100 \quad (1)$$

$$\rho = \frac{m_{brita\ úmida}}{V_{cilindro}} \quad (2)$$

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (3)$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \quad (4)$$

Onde:

w = teor de umidade, expressa em %

m = massa, em g

V = volume, em cm^3

ρ = massa específica, em g/cm^3

g = aceleração da gravidade, em m/s^2

γ = peso específico, em kN/m^3

γ_d = peso específico aparente seco, em kN/m^3

A curva de compactação é traçada tendo-se nas abcissas os valores de teor de umidade e nas ordenadas os pesos específicos aparentes secos correspondentes. O esperado é que a curva resultante tenha formato aproximadamente parabólico, sendo o peso específico aparente seco máximo o valor correspondente à ordenada máxima da curva e a umidade ótima o valor de umidade, na curva, correspondente ao peso específico aparente seco máximo.

3.5 Índice de Suporte Califórnia

O ensaio tem por objetivo a determinação de resistência de determinado material à penetração e à expansão, comparando esse material a um material-padrão (CBR 100%). O método foi aplicado conforme descrito na NBR 9895/87 – Solo – Índice de Suporte Califórnia e no método de ensaio DNER-ME 049/94.

Os equipamentos utilizados para a realização desse ensaio foram:

- Balança com precisão de 0,01g;
- Estufa;
- Cápsulas metálicas com tampa;
- Bandejas metálicas;
- Régua biselada de 30 cm;
- Espátulas de lâmina flexível;
- Papel filtro com diâmetro de aproximadamente 150 mm;

- Concha metálica;
- Colher de pedreiro;
- Provetas graduadas de 25 ml, 500 ml e 1000 ml;
- Molde cilíndrico metálico, com diâmetro de aproximadamente 152,4 mm e altura de aproximadamente 177,8 mm;
- Colarinho metálico de mesmo diâmetro do molde e altura de 50,8mm;
- Disco espaçador metálico no mesmo diâmetro do molde cilíndrico e altura de 63,5 mm;
- Soquete metálico grande, com face circular de diâmetro de 50,8 mm e 4.536 g de massa e altura de queda de 457,2 mm acima do topo do solo;
- Prato-base perfurado, contendo ressalto para encaixe do molde, com diâmetro de 165,1 mm;
- Porta-extensômetro metálico;
- Disco anelar de aço, dividido diametralmente em duas partes, totalizando 4540 g de massa, para sobrecarga, com diâmetro externo de 149 mm e interno de 54 mm;
- Extensômetro com curso mínimo de 10 mm graduado em 0,01 mm;
- Prensa CBR/Marshall;
- Extrator de amostras;
- Tanque que permita a absorção total dos corpos-de-prova.

Para a moldagem dos corpos de prova fixa-se o molde cilíndrico à sua base e instala-se o disco espaçador. Após a preparação do material e pesagem do cilindro os corpos de prova são compactados utilizando-se a energia de compactação modificada, sendo compactadas 5 camadas com 55 golpes cada uma, atentando-se para que cada camada deve ter uma altura aproximadamente igual. As Figuras 21 e 22 mostram, respectivamente, o conjunto do molde e o corpo de prova sendo compactado.

Figura 21 - Conjunto cilindro ISC



Fonte: Autor, 2015.

Figura 22 – Compactação do corpo de prova



Fonte: Autor, 2015.

A determinação da umidade do material, h , foi realizada retirando-se uma porção da amostra úmida da bandeja logo após a compactação da segunda camada.

Após a compactação da última camada retira-se o cilindro complementar e remove-se a sobra de material com auxílio de régua biselada. O conjunto é pesado e assim obtém-se a massa úmida de material compactado que é resultado da subtração da massa do molde cilíndrico pela massa total do conjunto.

Repete-se a operação descrita para todos os teores de umidade, até caracterização de uma curva de compactação.

Os corpos-de-prova compactados são fixados invertidos aos pratos-base perfurados, e no espaço aberto deixado pelo disco espaçador acrescenta-se o prato perfurado com haste e os discos anelares de aço, logo após, adapta-se o extensômetro e imerge-se o corpo-de-prova em água, realizando-se a leitura do extensômetro na hora da imersão e após 4 dias. A Figura 23 apresenta um corpo de prova após 4 dias de imersão, nota-se o ponteiro do extensômetro marcando a expansão do material. Essas leituras são utilizadas para o cálculo de expansão do material conforme Equação 5.

Figura 23 - Corpo de prova em imersão após 4 dias



Fonte: Autor, 2015.

$$\text{Expansão (\%)} = \frac{(\text{leitura final} - \text{leitura inicial do extensômetro})}{\text{altura inicial do CP}} \cdot 100 \quad (5)$$

Após o período de 4 dias o corpo de prova é retirado da imersão e o conjunto molde cilíndrico e sobrecargas é colocado na prensa e procede-se ao assentamento do pistão de penetração de aproximadamente 19,32 cm² de área diametral para a aplicação de uma carga de aproximadamente 45 N. O pistão é controlado através do deslocamento do ponteiro do extensômetro. Aciona-se a manivela da prensa com velocidade de 1,27mm/min. Cada leitura do anel no extensômetro é função de uma penetração do pistão no material e de um tempo de ensaio. As leituras são aplicadas na Tabela 16. A Figura 24 apresenta um corpo de prova sendo rompido na prensa CBR/Marshall.

Tabela 16 - Tabela para Cálculo do ISC

Tempo (min)	Penetração		Pressão Padrão kg/cm ²	Leituras no extensômetro (mm)	Molde N°		ISC %
	mm	pol			Pressão		
					Calculada (kg/cm ²)	Corrigida (kg/cm ²)	
0,5	0,63	0,025	-				
1,0	1,27	0,050	-				
1,5	1,90	0,075	-				
2,0	2,54	0,100	70				
3,0	3,81	0,150	-				
4,0	5,08	0,200	105				
6,0	7,62	0,300	132				
8,0	10,16	0,400	161				
10,0	12,7	0,500	182				

Fonte: DNER-ME 049/94, adaptado pelo autor.

Figura 24 - Corpo de prova na prensa CBR/Marshall

Fonte: Autor, 2015.

Para o cálculo do ISC de cada corpo de prova primeiramente traça-se uma curva pressão aplicada x penetração. No caso de a curva apresentar um ponto de inflexão, traça-se uma tangente à curva neste ponto até que a mesma intercepte o eixo das abcissas. Tomando-se por “c” a distância do ponto que a tangente intercepta o eixo das abcissas, soma-se o valor de “c” às abcissas dos pontos correspondentes a penetrações de 2,54 mm e 5,08 mm. A curva utilizada no cálculo do ISC será a curva corrigida e a equação para o cálculo (Equação 6) segue a seguir:

$$ISC = \frac{\textit{pressão calculada ou pressão corrigida}}{\textit{pressão padrão}} \cdot 100 \quad (6)$$

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O presente capítulo é destinado à apresentação e análise dos resultados obtidos nos ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia das composições em estudo no trabalho de conclusão.

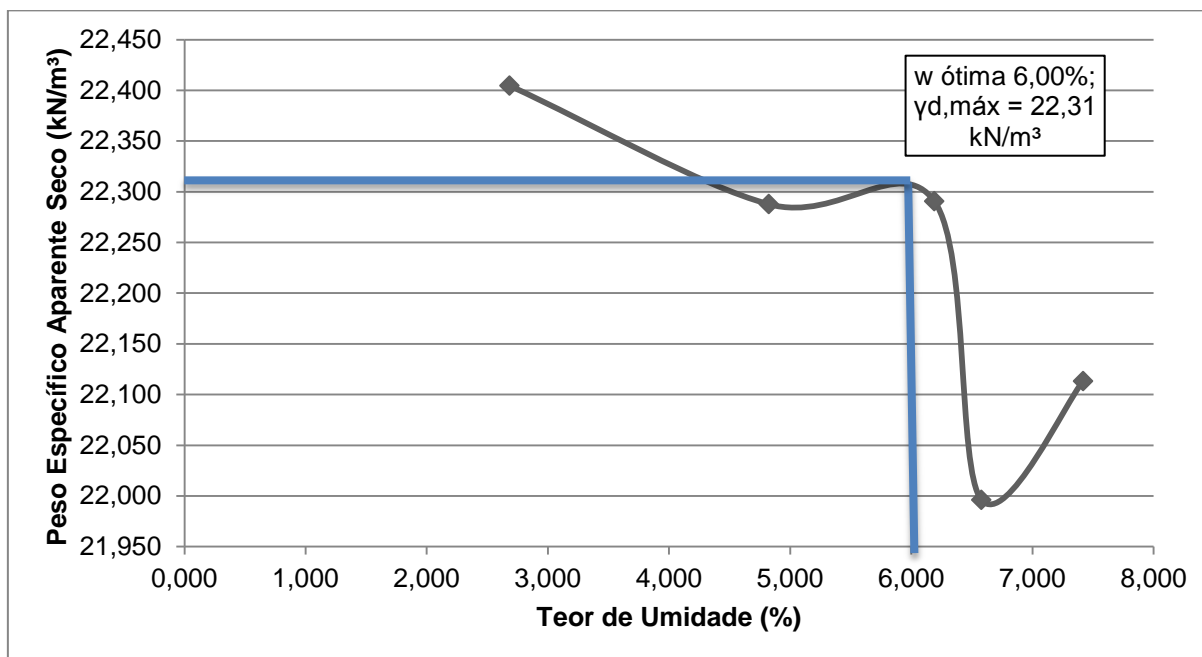
4.1 Compactação

Foram realizados ensaios de compactação em 5 unidades distintas para cada composição granulométrica estudada. Os resultados detalhados de cada composição granulométrica moldada se encontram separadamente nas subseções desse capítulo.

4.1.1 Faixa A limite inferior

Os resultados do ensaio de compactação para a composição da faixa A limite inferior são apresentados na Figura 25. Nela mostra-se a curva de compactação resultante do ensaio obtido com as umidades de 2%, 3%, 4%, 5% e 6%. Com a curva obteve-se a umidade ótima da compactação de 6,00% e o peso específico aparente seco de 22,31 kN/m³. Neste caso não se pode utilizar os parâmetros obtidos no ponto mais extremo ($\omega_{ót} = 2,68\%$ e $\gamma_{dmáx} = 22,405$ kN/m³) como $\omega_{ót}$ e $\gamma_{dmáx}$, pois dificuldades de compactação podem ter levado a um erro no ensaio, portanto este ponto máximo não corresponde ao peso específico aparente seco máximo.

Figura 25 – Curva de compactação da faixa A limite inferior



Fonte: Autor, 2015.

Os valores detalhados de teor de umidade e peso específico aparente seco para a faixa A limite inferior são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Resultado do ensaio de compactação na faixa A limite inferior

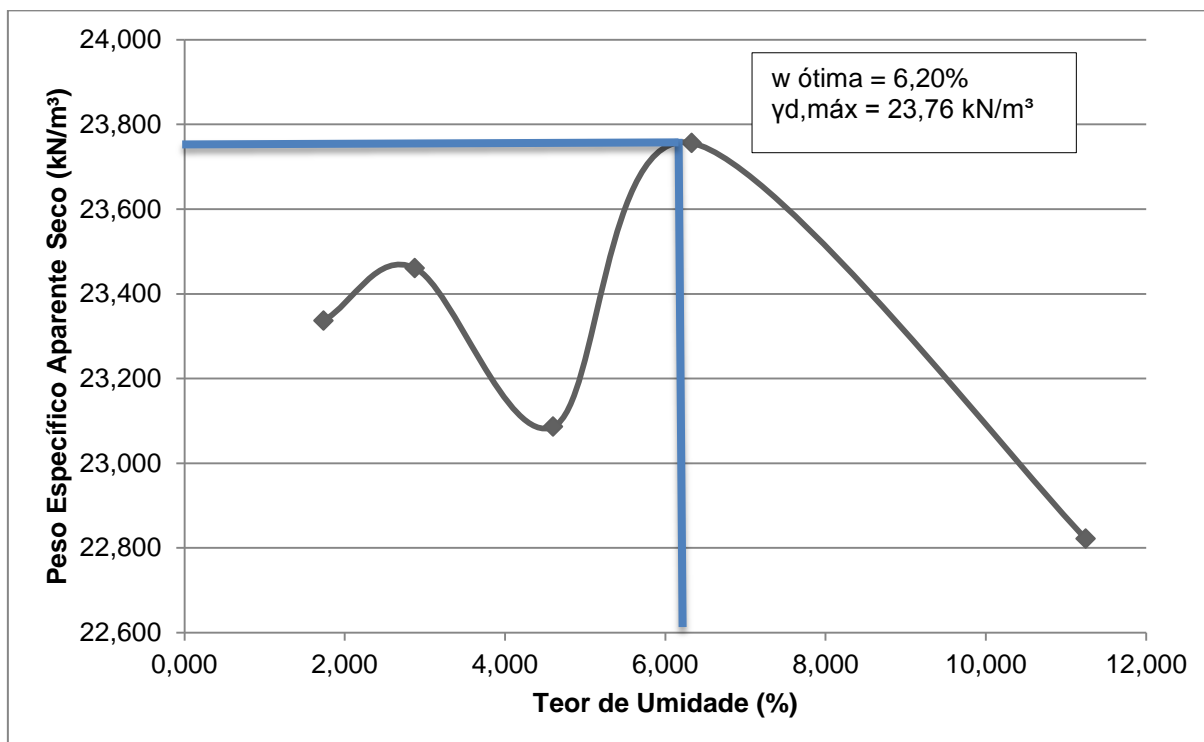
Teor de Umidade (%)	Peso específico aparente seco (kN/m³)
2,684	22,405
4,824	22,288
6,190	22,291
6,579	21,996
7,418	22,113

Fonte: Autor, 2015.

4.1.2 Faixa A limite superior

A curva de compactação da faixa A limite superior é apresentada na Figura 26. Nela observa-se que para a composição granulométrica obteve uma umidade ótima de 6,20% e peso específica aparente seco máximo de 23,76 kN/m³.

Figura 26 - Curva de compactação da faixa A limite superior



Fonte: Autor, 2015.

Os resultados do ensaio de compactação para a composição da faixa A limite superior são apresentados na Tabela 18. Para esta composição os teores de umidade utilizados foram: 1%, 2%, 3%, 6% e 7%.

Tabela 18 - Resultados do ensaio de compactação na faixa A limite superior

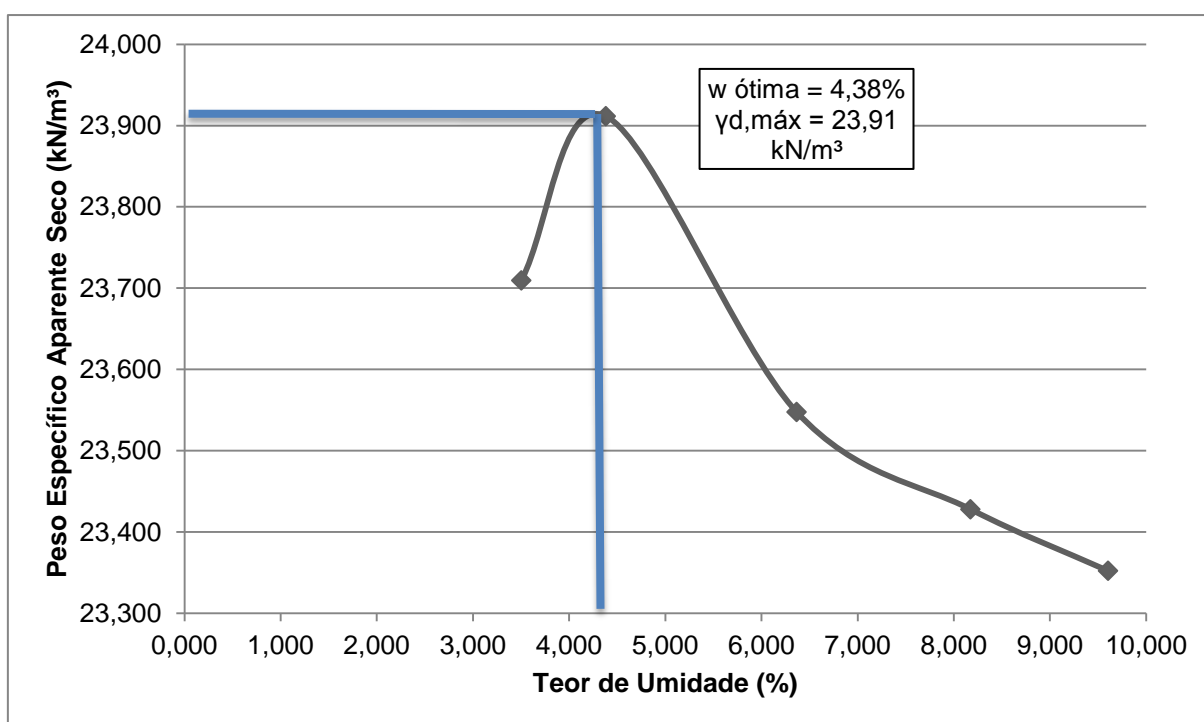
Teor de Umidade (%)	Peso Específico Aparente Seco (kN/m^3)
1,736	23,337
2,874	23,461
4,603	23,086
6,332	23,756
11,249	22,822

Fonte: Autor, 2015.

4.1.3 Faixa B

A curva de compactação da faixa B é apresentada na Figura 27, nela observa-se que para a composição granulométrica obteve uma $w_{ót}$ de 4,38% e $\gamma_{d,máx}$ de 23,91 kN/m³. Observa-se um aumento na umidade ótima da composição em relação às composições da faixa A.

Figura 27 - Curva de compactação da faixa B



Fonte: Autor, 2015.

Os resultados do ensaio de compactação para a composição da faixa B são apresentados na Tabela 19. As umidades utilizadas para as moldagens dos corpos de prova da faixa B foram de: 2%, 4%, 5%, 6% e 7%.

Tabela 19 - Resultado do ensaio de compactação na Faixa B

Teor de Umidade (%)	Peso Específico Aparente Seco (kN/m ³)
3,503	23,709
4,382	23,911
6,366	23,548
8,174	23,428
9,605	23,352

Fonte: Autor, 2015.

4.1.4 Análise geral

Os resultados de umidade ótima e peso específico aparente seco encontram-se na tabela 20.

Tabela 20 – Resultados dos ensaios de compactação

Composição granulométrica	Umidade ótima	Peso específico aparente seco máximo
Faixa A Limite Inferior	6,00%	22,31 kN/m ³
Faixa A Limite Superior	6,20%	23,76 kN/m ³
Faixa B	4,38%	23,91 kN/m ³

Fonte: Autor, 2015.

Com os resultados obtidos notou-se que os ensaios não geraram curvas de compactação com formato de sino, referido na bibliografia como sendo típico. Relatou-se a ocorrência de curvas com formatos “atípicos”, onde não se define claramente os resultados de umidade ótima e peso específico aparente seco máximo, como ocorrido nas composições da faixa A.

A variação de peso específico aparente seco máximo em relação às composições moldadas foram pequenas. O aumento do $\gamma_{dm\acute{a}x}$ das composições da faixa A é de 6,5% e da $\omega_{\acute{o}t}$ é de 3,33%. Já na relação entre a faixa A limite superior e a faixa B, houve um aumento do $\gamma_{dm\acute{a}x}$ de 0,63% e uma redução na $\omega_{\acute{o}t}$ de 41,55%.

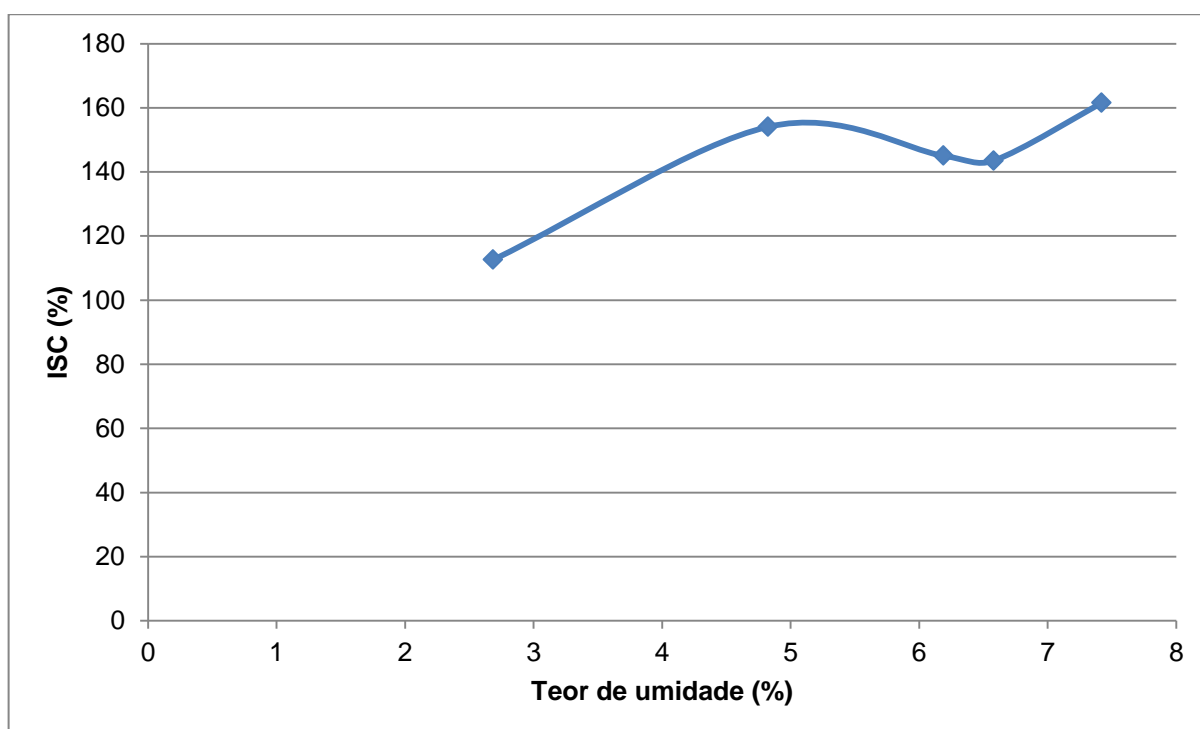
4.2 Índice de Suporte Califórnia

Foram realizados ensaios de Índice Suporte Califórnia nas mesmas 5 umidades do ensaio de compactação para cada composição granulométrica estudada. Os resultados detalhados de cada composição granulométrica moldada se encontram separadamente nas subseções desse capítulo.

4.2.1 Faixa A limite inferior

A curva de ISC da faixa A limite inferior é apresentada na Figura 28, nela, assim como na Tabela 21, observa-se que para a composição granulométrica obteve um ISC de 161,51% para uma umidade de 7,42%. Observa-se, também, um aumento na umidade no ensaio de ISC em relação à umidade ótima do material determinada no ensaio de compactação. Neste caso a umidade determinada para o material para fins de utilização em pavimentação é a do ISC.

Figura 28 - Curva de ISC da faixa A limite inferior



Fonte: Autor, 2015.

Os resultados obtidos nos ensaios de ISC para a composição da faixa A limite inferior são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 – Resultados de ISC para faixa A limite inferior

Teor de Umidade (%)	Índice de Suporte Califórnia (%)
2,68	112,56
4,82	154,06
6,19	145,03
6,58	143,51
7,42	161,51

Fonte: Autor, 2015.

Para a composição em análise, obteve-se expansão conforme dados da Tabela 23. A expansão para o ISC máximo ficou em 0,02%, sendo esta menor do que o limite de 0,50% estabelecido pelo DNIT.

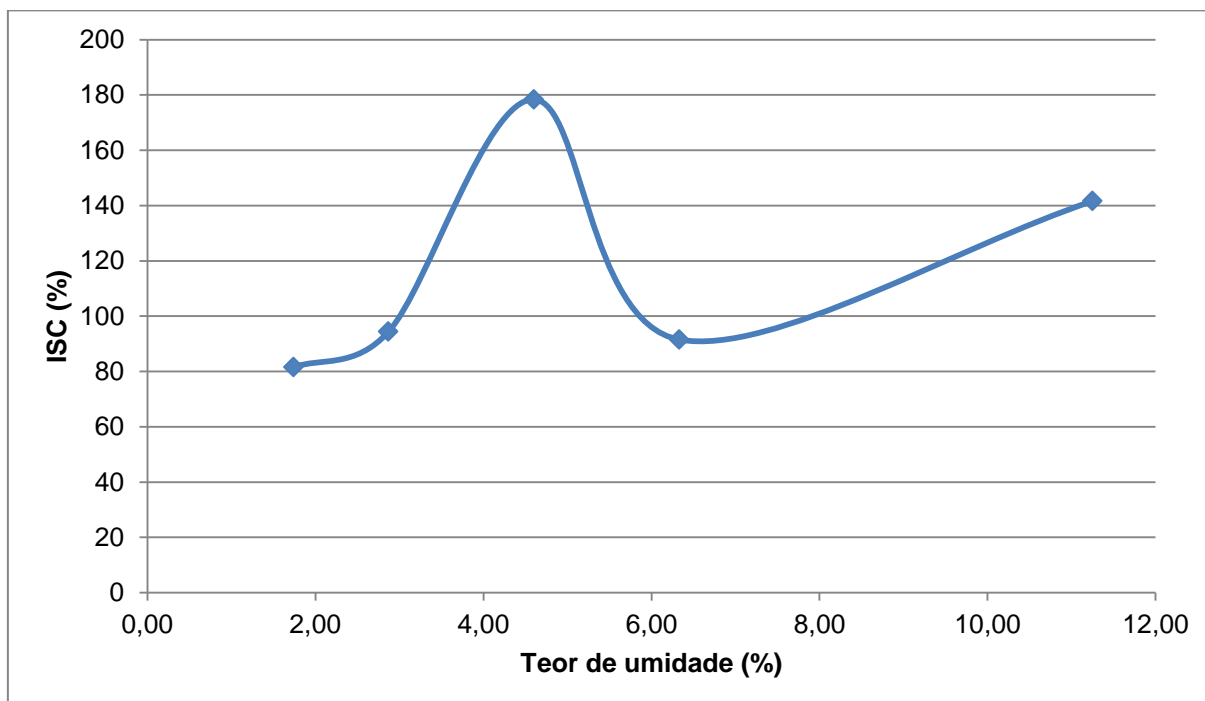
Tabela 22 – Expansão na faixa A limite inferior

Teor de Umidade (%)	Expansão (%)
2,68	0,05
4,82	0,02
6,19	0,03
6,58	0,01
7,42	0,02

Fonte: Autor, 2015.

4.2.2 Faixa A limite superior

A curva de ISC da faixa A limite superior é apresentada na Figura 29. Observa-se que para a composição obteve-se uma umidade de 4,60% para um ISC de 178,40%. Nota-se, ainda, que há uma redução na umidade para um melhor ISC em relação ao ensaio de compactação. Esta composição é a com menores índices de finos, conseqüentemente com menores valores de ISC.

Figura 29 – Curva de ISC da faixa A limite superior

Fonte: Autor, 2015.

Os resultados do ensaio de ISC para a composição da faixa A limite superior são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 – Resultados de ISC para faixa A limite superior

Teor de Umidade (%)	Índice de Suporte Califórnia (%)
1,74	81,53
2,87	94,40
4,60	178,40
6,33	91,54
11,25	141,62

Fonte: Autor, 2015.

Como apresentado na tabela 24, a expansão do material, assim como na composição anterior, foi inferior ao limite estabelecido pelo DNIT, portanto a composição seria bem aceita para uso em bases de pavimentação.

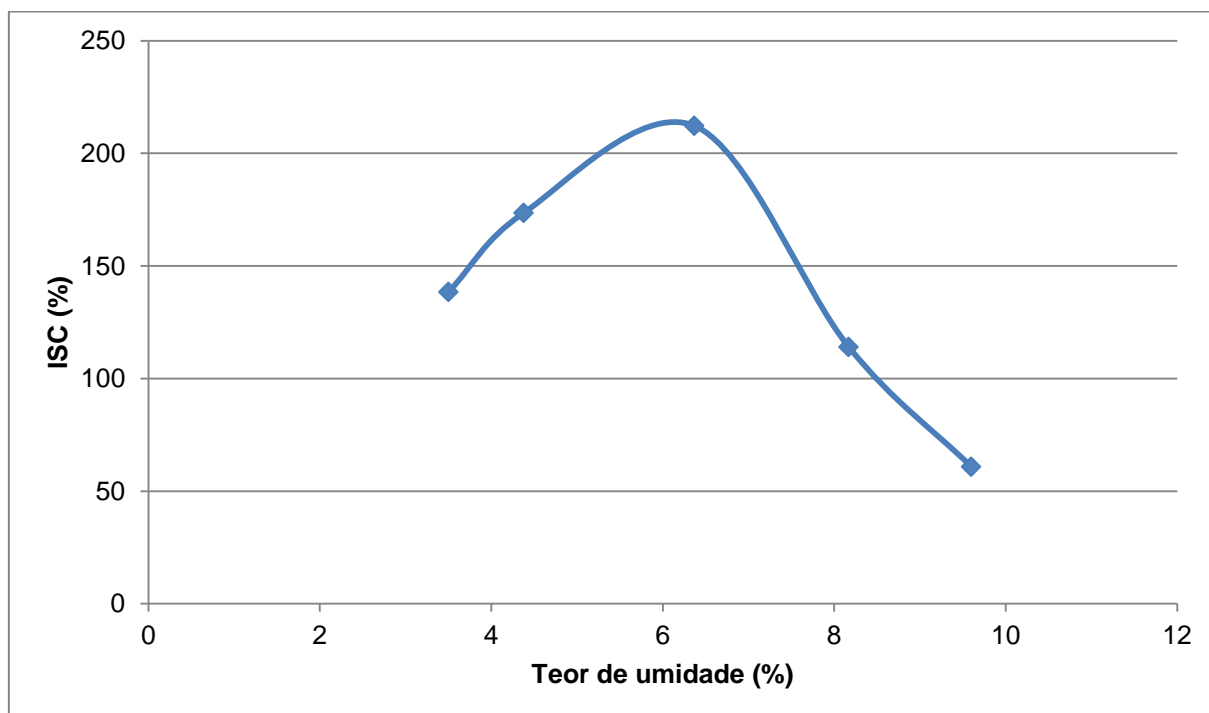
Tabela 24 - Expansão na faixa A limite superior

Teor de Umidade (%)	Expansão (%)
1,74	0,25
2,87	0,10
4,60	0,04
6,33	0,23
11,25	0,05

Fonte: Autor, 2015.

4.2.3 Faixa B

A curva de ISC da faixa B é apresentada na Figura 30, nota-se que esta é a composição com maior resistência a penetração das 3 estudadas, isto sendo explicado pela maior quantidade de finos na mistura. Assim como na faixa A limite inferior observa-se que para a composição granulométrica obteve uma umidade superior ao ensaio de compactação, sendo, nestes casos, a umidade determinada para o material, para fins de utilização em pavimentação a de maior ISC. Na faixa B obteve-se uma umidade de 6,37% e ISC de 212,20%.

Figura 30 – Curva de ISC da faixa B

Fonte: Autor, 2015.

A faixa B apresenta valores de teor de umidade e Índice de Suporte Califórnia conforme apresentado na tabela 25.

Tabela 25 - Resultados de ISC para faixa B

Teor de Umidade (%)	Índice de Suporte Califórnia (%)
3,50	138,40
4,38	173,60
6,37	212,20
8,17	114,00
9,60	60,83

Fonte: Autor, 2015.

Por fim, a tabela 26 apresenta a expansão da composição faixa B. Nota-se que a maior expansão foi na umidade de maior ISC, porém, esta expansão não se aproxima do limite estabelecido pelo DNIT, de 0,5%. Sendo assim, esta composição ainda é a melhor das três estudadas.

Tabela 26 – Expansão na faixa B

Teor de Umidade (%)	Expansão (%)
3,50	0,25
4,38	0,06
6,37	0,35
8,17	0,13
9,60	0,25

Fonte: Autor, 2015.

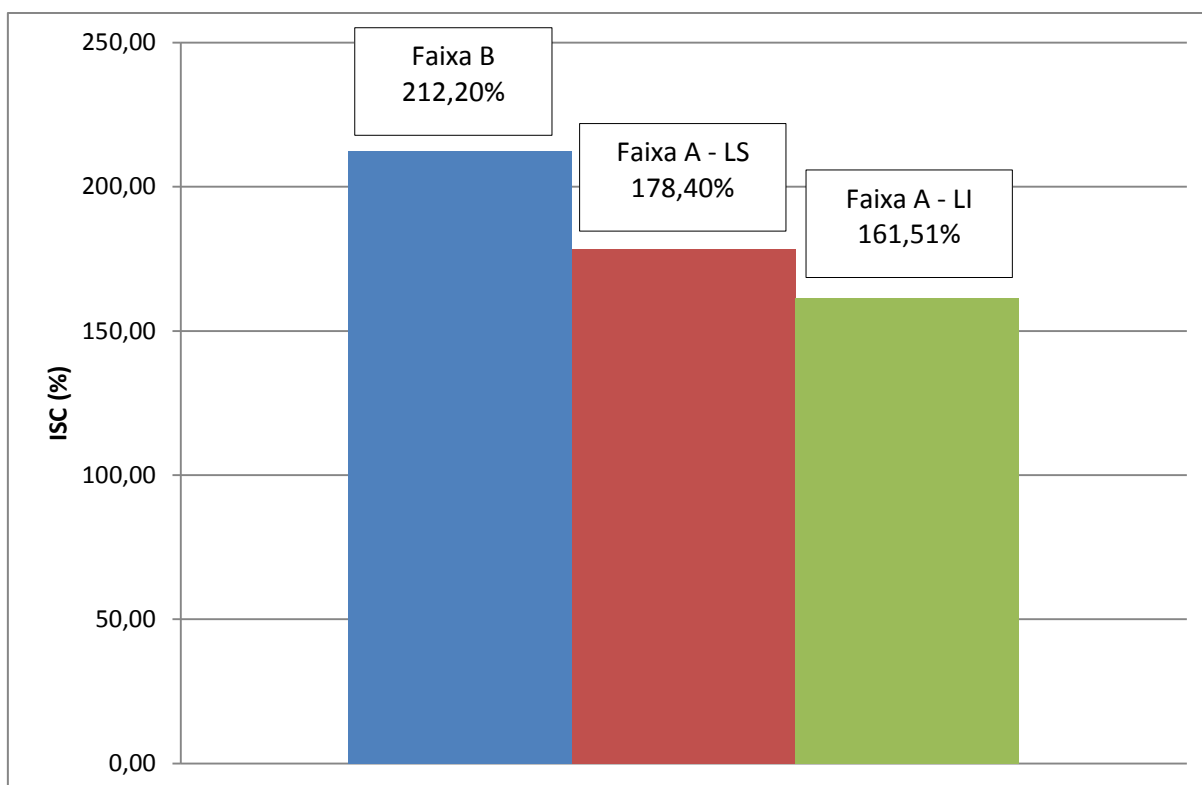
4.2.4 Análise Geral

Os resultados obtidos para os Índices de Suporte Califórnia das composições são apresentados na Tabela 27 e na Figura 31.

Tabela 27 – Resultados de ISC

Composição Granulométrica	Teor de Umidade	ISC
Faixa A limite inferior	7,42%	161,51%
Faixa A limite superior	4,60%	178,40%
Faixa B	6,37%	212,20%

Fonte: Autor, 2015.

Figura 31 – Gráfico de resultados de ISC para cada composição

Fonte: Autor, 2015.

Com base nos resultados obtidos observa-se que a umidade em relação ao maior ISC é significativamente maior no ISC do que na compactação nas composições a faixa A limite inferior e faixa B. Porém na composição faixa A limite superior a umidade é menor no ISC do que na compactação. Conforme a bibliografia esta diferença se da em função da curva de compactação “atípica” gerada pelos ensaios.

Observou-se, ainda, que todas as composições atenderam ao ISC mínimo estabelecido pelo DNIT para uso como base de pavimentação, que é de 80%.

Sendo os valores de ISC superiores na melhor umidade determinada tanto no ensaio de compactação quanto no ISC máximo.

4.3 Influência dos finos

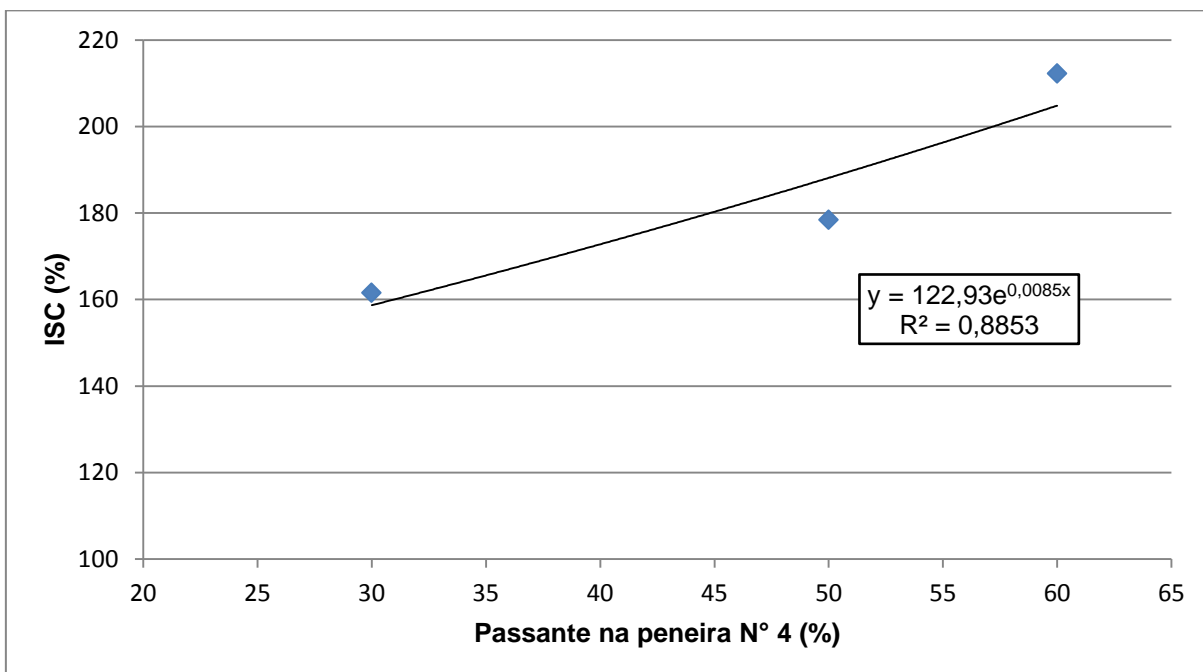
A influência das 3 composições granulométricas estudadas nesta pesquisa ocorrem para as frações mais finas do material. As mudanças ocorrem a partir da peneira n° 4 (abertura 4,8 mm), conforme apresentado na Tabela 28.

Tabela 28 – Influência dos finos

Composição	ISC	Passante na peneira n° 4	Passante na peneira n° 200
Faixa B	212,20%	60%	12%
Faixa A limite superior	178,40%	50%	8%
Faixa A limite inferior	161,51%	50%	2%

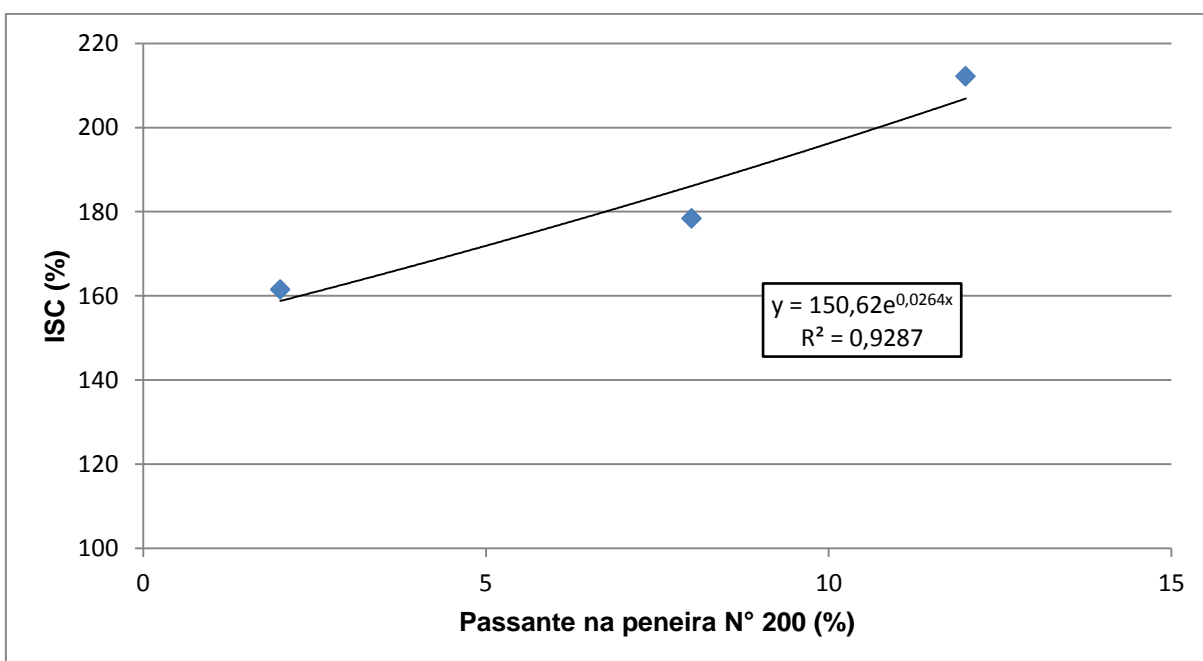
Fonte: Autor, 2015.

Dessa forma, para se demonstrar graficamente o efeito da composição granulométrica, traçou-se um gráfico comparando o ISC com a porcentagem de finos passante na peneira n° 4. Pela Figura 32, observa-se que conforme aumenta a quantidade de finos aumenta, também, o Índice de Suporte Califórnia da composição.

Figura 32 – Influência do teor de material passante na peneira n° 4

Fonte: Autor, 2015.

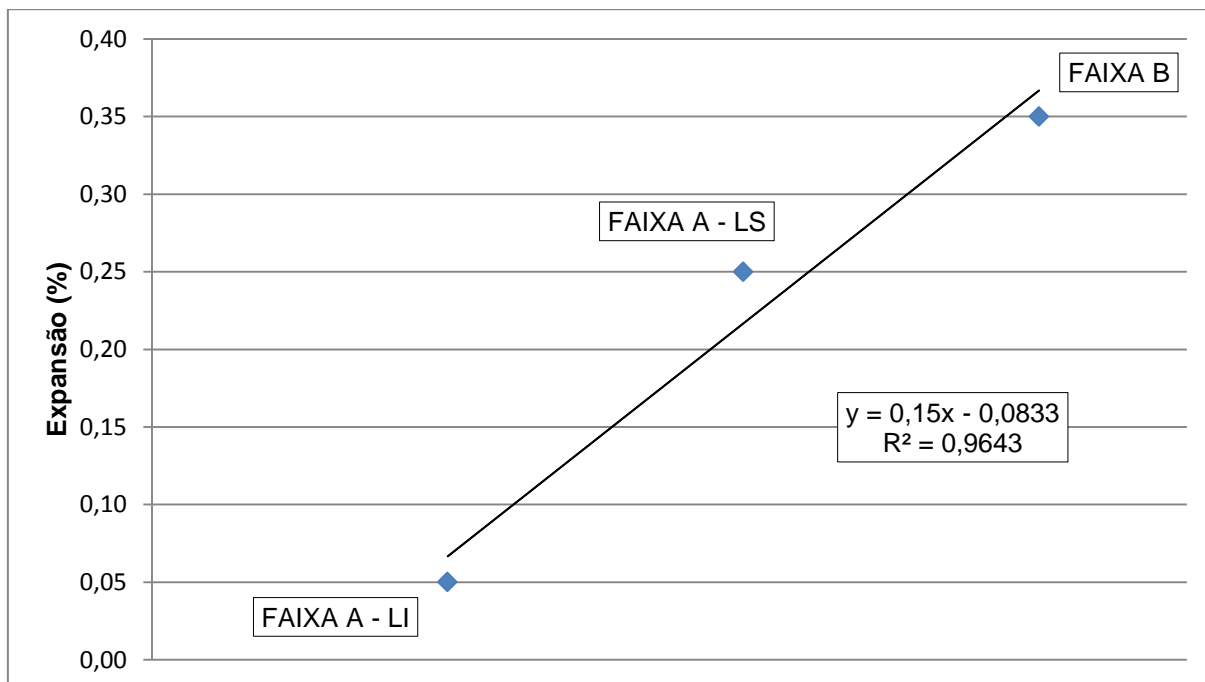
O mesmo foi feito para o material passante na peneira n° 200. Nota-se que novamente, como mostra a Figura 33, ouve uma influência positiva dos finos na resistência do material à penetração.

Figura 33 - Influência do teor de material passante na peneira n° 200

Fonte: Autor, 2015.

Da mesma forma que para um maior teor de finos ocorre uma maior resistência a penetração, em relação à expansão do material há um aumento em relação a um maior índice de finos na mistura, como é apresentado na Figura 34.

Figura 34 – Influência do teor de finos na expansão



Fonte: Autor, 2015.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o estudo das características mecânicas das composições estudadas e da análise dos resultados, tendo em vista os objetivos citados no primeiro capítulo, esse capítulo visa apresentar resumidamente as principais conclusões obtidas após o desenvolvimento deste trabalho de conclusão, e ainda algumas sugestões para novas pesquisas.

Os ensaios de compactação mostraram que não houve grande variação no peso específico entre as amostras ensaiadas. A faixa B apresentou o maior peso específico aparente seco máximo, 23,91 kN/m³, para uma umidade ótima de 4,38%. A maior variação de $\gamma_{dm\acute{a}x}$ foi de 7,17% entre a faixa A limite inferior e a faixa B. Assim como para a maior variação na $\omega_{\acute{o}t}$, também entre essas composições, de 36,99%.

Notou-se que na curva de compactação não ocorreu a típica curva em formato de sino, o que acarretou em diferentes umidades no ensaio de compactação e no ISC. Nessa situação, admitiu-se a umidade para o material como a umidade do ISC ao invés da umidade ótima do ensaio de compactação.

Todas as composições moldadas foram aprovadas quanto ao seu ISC e expansão conforme o que o DNIT estabelece. O maior valor de ISC foi da composição faixa B que ficou com 212,20%, muito acima dos 80% necessários para uso como base de pavimentação. O que explica este valor tão elevado é o alto índice de finos na mistura, o que comprova que com a adição de finos nas misturas se obtém um melhor desempenho em bases de brita graduada simples. As outras composições também ficaram muito acima do limite mínimo, sendo a faixa A limite inferior com 161,51% e o limite superior com 178,40%.

As expansões dos corpos de prova moldados deram entre 0,02%, para a faixa A limite inferior e 0,35% para a faixa B, também muito inferiores ao limite de 0,5% estabelecido pelo DNIT. A elevada expansão da faixa B em relação às outras misturas se dá em relação à alta quantidade de agregados miúdos (passantes na peneira n° 4) na mistura.

Observa-se então, em resposta ao objetivo geral do trabalho de conclusão que, para o material estudado, obteve-se uma influência positiva na análise da adição de finos em bases de brita graduada simples.

A técnica estudada neste trabalho de conclusão de curso mostrou-se eficaz e uma boa alternativa para melhora do desempenho de pavimentos flexíveis. Todas as composições moldadas enquadraram-se nas exigências do DNIT e apresentaram bom comportamento nas análises realizadas.

Para trabalhos futuros sugere-se uma melhor caracterização do material realizando-se ensaios como de abrasão Los Angeles, equivalente de areia, limites de liquidez e plasticidade, entre outros determinados pelo DNIT. Sugere-se ainda, estudos de condutividade hidráulica e deformabilidade elástica nas composições. Por fim, pode-se ainda fazer uma análise da brita estudada como mistura solo-brita.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7181 – Análise Granulométrica de Solos*, 1984.

_____. *NBR 7182 – Solo - Ensaio de Compactação*, 1986.

_____. *NBR 9895 – Solo - Índice de Suporte Califórnia - Método de Ensaio*, 1987.

BALBO, José Tadeu. *Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração*. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p.

BERNUCCI, Liedi Légi Bariani et al. *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 2008. 501 p.

CASAGRANDE, Fernando Luis. *Estudo da Influência do Teor de Finos na Condutividade Hidráulica e Deformabilidade Elástica de Britas*. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, 2003.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS E RODAGEM DO RIO GRANDE DO SUL – DAER/RS ES P 03/91 – Sub-base com Produto de Britagem Primária (Rachão). Especificação de Serviço. Porto Alegre, 1991.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS E RODAGEM DO RIO GRANDE DO SUL – DAER/RS ES P 04/91 – Sub-base Granular. Especificação de Serviço. Porto Alegre, 1991.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS E RODAGEM DO RIO GRANDE DO SUL – DAER/RS ES P 05/91 – Sub-base de Solo Melhorado com Cimento. Especificação de Serviço. Porto Alegre, 1991.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS E RODAGEM DO RIO GRANDE DO SUL – DAER/RS ES P 06/91 – Sub-base de Areia. Especificação de Serviço. Porto Alegre, 1991.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS E RODAGEM DO RIO GRANDE DO SUL – DAER/RS ES P 07/91 – Macadame Seco. Especificação de Serviço. Porto Alegre, 1991.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS E RODAGEM DO RIO GRANDE DO SUL – DAER/RS ES P 08/91 – Base Granular. Especificação de Serviço. Porto Alegre, 1991.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS E RODAGEM DO RIO GRANDE DO SUL – DAER/RS ES P 09/91 – Base de Solo Melhorado com Cimento. Especificação de Serviço. Porto Alegre, 1991.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS E RODAGEM DO RIO GRANDE DO SUL – DAER/RS ES P 10/91 – Base de Solo-Cimento. Especificação de Serviço. Porto Alegre, 1991.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS E RODAGEM DO RIO GRANDE DO SUL – DAER/RS ES P 11/91 – Base Tratada com Cimento. Especificação de Serviço. Porto Alegre, 1991.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM - DNER ME 049/94: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia Utilizando Amostras não Trabalhadas, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM - DNER ES 303/97: Solos – Pavimentação – Base Estabilizada Granulometricamente, 1997.

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 143/2010 - ES - Pavimentação – Base de Solo-cimento - Especificação de serviço, Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, DNIT 152/2010 - ES - Pavimentação – Macadame Hidráulico - Especificação de serviço, Rio de Janeiro, 2010.

MALYSZ, Rodrigo. *Comportamento Mecânico de Britas Empregadas em Pavimentação*. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, 2004.

MARIANI, Bruna Bueno. *Influência do Acréscimo de Cimento Portland na Resistência à Tração de um Solo Residual de Santa Cruz do Sul*. Trabalho de Conclusão. Santa Cruz do Sul, 2014.

MEDINA, Jacques de; MOTTA, Laura Maria Goretti da. *Mecânica dos Pavimentos*. 2. Ed. Rio de Janeiro: 2 ed. 2005. 574 p.

PROJETO PALEOTOCAS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/paleotocas/RioGrandedoSul.htm>>, acesso em: 07 nov. 2015.

RETORE, Taís Steckel. *Comportamento Mecânico de Agregados de Basalto Alterados para Pavimentação, Rejeitos de Garimpo de Ametista*. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, 2005.