

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL  
ENG 1092 – TRABALHO FINAL DE CURSO II

FELIPE HERNESTO SOUSA NEGREIROS  
VALDESON CARVALHO NASCIMENTO

EXECUÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DE BASE E SUB-BASE DE BRITA  
GRADUADA SIMPLES – BGS – EM PAVIMENTOS DE RODOVIAS

GOIÂNIA  
2021

FELIPE HERNESTO SOUSA NEGREIROS

VALDESON CARVALHO NASCIMENTO

EXECUÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DE BASE E SUB-BASE DE BRITA  
GRADUADA SIMPLES – BGS – EM PAVIMENTOS DE RODOVIAS

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Benjamim Jorge Rodrigues dos Santos

GOIÂNIA  
2021

EXECUÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DE BASE E SUB-BASE DE BRITA  
GRADUADA SIMPLES – BGS – EM PAVIMENTOS DE RODOVIAS

FELIPE HERNESTO SOUSA NEGREIROS

VALDESON CARVALHO NASCIMENTO

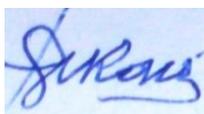


---

Prof. Dr. Benjamim Jorge Rodrigues dos Santos

---

Prof. Me. Edson Nishi



---

Prof. Me. Paulo José Mascarenhas Roriz

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela saúde e força concedidas, nos momentos de dificuldade.

À instituição, pelo ambiente, mesmo que virtual, amigável e criativo, que nos foi proporcionado.

Ao honorável orientador Prof. Dr. Benjamim Rodrigues, pelo suporte técnico, mesmo no pouco tempo que lhe coube, e pelas suas correções e incentivos.

À nossas famílias, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

E a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte dessa jornada, rumo à vindoura formação acadêmica, o nosso muito obrigado.

## RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresenta considerações sobre a aplicabilidade de bases de Brita Graduada Simples – BGS, em camadas de base e sub-base de rodovias. Contém referências bibliográficas sobre o tema e análises de aplicações e pesquisas realizadas, anteriormente, em um trecho experimental da Rodovia Fernão Dias, BR-381, que liga São Paulo a Belo Horizonte, no qual foi executado um segmento de BGS, com 100 metros de extensão. No desenvolvimento deste trabalho, consideraram-se as características granulométricas de composições de BGS, de suporte e deformabilidade. As principais conclusões foram, por um lado, que camadas de BGS são aplicáveis em estruturas de rodovias destinadas a tráfego leve a médio, na ordem de  $10^6$ , que camadas de BGS não são adequadas para tráfego muito pesado, da ordem de  $10^8$ , por apresentarem deformações plásticas e refletirem trincas comprometedoras para a superfície do pavimento e que, por outro lado, camadas de BGS exercem funções drenantes que agregam benefícios à estrutura de pavimentos, submetidos a tráfego mediano, tais como aumento do suporte e diminuição das tensões que chegam na interface do subleito, o que contribui para o aumento da vida útil do pavimento.

**Palavras-chaves: pavimento, bases granulares, brita graduada.**

## **ABSTRACT**

This graduation course conclusion paper presents considerations on the applicability of Simple Graduated Gravel (BGS) bases in base and sub-base layers of highways. It contains bibliographic references on the subject and analysis of applications and research previously carried out, on an experimental stretch of the Fernão Dias Highway, BR-381, which connects São Paulo to Belo Horizonte, in which a 100-meter long BGS segment was executed. In the development of this work, granulometric characteristics of BGS, support and deformability compositions were considered. The main conclusions were, on one hand, that layers of BGS are applicable in highway structures intended for light to medium traffic, in the order of  $10^6$ , whereas layers of BGS are not suitable for very heavy traffic, in the order of  $10^8$ , as they present plastic deformations and reflect compromising cracks to the surface of the pavement. On the other hand, layers of BGS exert draining functions that add benefits to the pavement structure, subjected to medium traffic, such as increasing the support and reducing the stresses that arrive at the interface the subgrade, which contributes to increasing the useful life of the pavement.

Keywords: pavement, granular foundations, graded gravel.

## LISTA DE QUADROS

- **Capítulo 3**

Quadro 1: Faixas Granulométricas DER/PR.....	15
Quadro 2: Faixas Granulométricas GOINFRA/GO.....	16
Quadro 3: Faixas Granulométricas DERSA/SP.....	16
Quadro 4: Faixas Granulométricas NOVACAP/DU – DF.....	16
Quadro 5: Faixas Granulométricas DNIT.....	17

## LISTA DE FIGURAS

- **Capítulo 2**

Figura 01: Camadas do Pavimento.....	12
--------------------------------------	----

- **Capítulo 3**

Figura 02: Medição de deflexões através da Viga Benkelman.....	19
Figura 03: Execução de ensaio FWD.....	19
Figura 04: Medição de irregularidade longitudinal com o Merlin.....	20
Figura 05: Medição de afundamento de trilha de roda –ATR, com uso de treliça.....	20

- **Capítulo 4**

Figura 06a: Sinalização indicando trecho experimental.....	21
Figura 06b: Aspecto do trecho.....	21
Figura 07: Fresagem do pavimento.....	22
Figura 08: Pós - Fresagem.....	23
Figura 09: Aplicação do BGS.....	23
Figura 10: Execução da Capa Asfáltica.....	24
Figura 11: Estrutura Figura final do pavimento.....	25

## LISTA DE TABELAS

- **Capítulo 4**

Tabela 1: Composição granulométrica do CBUQ executado.....	25
Tabela 2: Faixa granulométrica da BGS executada.....	25

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
1.1	Objetivos .....	11
1.2	Estrutura da Monografia .....	11
<b>2</b>	<b>SEÇÃO TRANSVERSAL DE UM PAVIMENTO.....</b>	<b>11</b>
2.1	A camada de Sub - Base .....	13
2.2	A camada de Base.....	13
2.3	O Reforço do Subleito .....	13
<b>3</b>	<b>SOBRE AS BASES E SUB-BASES GRANULARES EXECUTADAS COM BRITA GRADUADA SIMPLES (BGS).....</b>	<b>14</b>
3.1	As características da Brita Graduada Simples - BGS .....	15
3.2	Produção, Transporte e Execução.....	18
3.3	Avaliação do Pavimento .....	18
<b>4</b>	<b>APLICAÇÕES DA BRITA GRADUADA SIMPLES - BGS .....</b>	<b>21</b>
4.1	Processo de Execução da Fresagem do Pavimento .....	22
4.2	Execução da Camada de Base de Bgs e Revestimento.....	23
4.3	Estrutura Final do Pavimento Executado.....	24
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DAS EXPERIÊNCIAS COM A BGS.....</b>	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>26</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>28</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A prática da engenharia de pavimentos rodoviários, no Brasil, basicamente, iniciou – se nos anos 1930, quando surgiu a necessidade de se dar trafegabilidade permanente a caminhos estreitos e precários, visando ao progresso da nação. A técnica possível de ser aplicada foi denominada de Macadamização e consistia no espalhamento de pedras de granulometria fina, sobre o leito da rodovia escarificado, o que garantia suporte e consolidação do terreno, para resistir aos esforços do tráfego. Em obras posteriores, na mesma rodovia, o espalhamento executado se transformava em fundação do pavimento superposto.

Nos anos 1960, a brita graduada (BGS) foi introduzida no país, como opção para a execução de bases e sub-bases de rodovias, isto por causa da alta capacidade de suporte e da possibilidade de ser produzida em escala industrial, o que possibilitava a uniformização do processo construtivo e facilitava, também, a padronização do controle tecnológico. Com o aumento da demanda para atender à expansão da indústria automobilística e com o progresso que o país experimentou, nas obras de infraestrutura, incentivou-se a execução de bases e sub-bases de BGS. Os financiamentos provenientes do Fundo Rodoviário Nacional, os impostos arrecadados sobre o consumo de combustíveis líquidos, consolidaram a base do sistema rodoviário brasileiro.

A crescente demanda de tráfego de veículos comerciais tem levado os pavimentos a processos de deterioração acelerado, principalmente os pavimentos asfálticos flexíveis, com base granular. As bases granulares, principalmente de Brita Graduada Simples (BGS), consolidaram – se como um dos materiais mais empregados na construção de pavimentos.

A Brita Graduada Simples (BGS) é a composição de diferentes faixas granulométricas de pedras, a serem misturadas, conforme especificações dos órgãos responsáveis pela execução de rodovias. É uma mistura feita em usina, de produtos de britagem de rocha sã que, nas proporções adequadas, resulta no enquadramento em uma faixa granulométrica contínua que, corretamente compactada, apresenta um produto final com propriedades adequadas de estabilidade e durabilidade. A BGS utilizada como base de pavimentos deve se enquadrar em uma faixa granulométrica ou esqueleto granulométrico, em escala de A até E. Sendo a faixa A mais grossa e a F mais fina, de acordo com as especificações do projetista.

A BGS, quando bem graduada e densificada, apresenta resistência satisfatória e resulta em um esqueleto mineral intertravado, que trabalha à compressão e tem rigidez intrinsecamente variável pelo confinamento.

O tráfego, o clima, as tensões e a qualidade dos materiais que compõem a estrutura do pavimento são fatores que influenciam a sua vida útil. Bases e sub-bases com características drenantes podem minimizar os efeitos nocivos da ação da água e do tráfego, nas camadas superpostas. É recomendável que essas camadas drenantes sejam constituídas por materiais estabilizados granulometricamente, para que possam também resistir e distribuir esforços verticais para a fundação do pavimento. As camadas drenantes devem ser mais abertas, ou seja, a quantidade de agregados finos deve ser consideravelmente inferior à quantidade de agregados graúdos, para que a água possa percolar mais livremente (BORBA E SANTOS, 2013).

Ao longo de sua vida útil, o pavimento é solicitado pelas repetições das cargas impostas pelo tráfego e tende, no decorrer do tempo, a perder sua capacidade de suporte e a se deteriorar. As patologias estruturais são decorrentes de deformações permanentes e de deformações elásticas. Irregularidades nos revestimentos dos pavimentos, como fissuras e afundamento de trilhas de roda, surgem devido à fadiga das camadas subjacentes. Assim, para melhor desempenho do pavimento, essas camadas devem ser bem graduadas, serem resistentes à abrasão, e apresentar elevada resistência ou capacidade de suporte. Através de camadas de brita graduada, ocorre considerável redução das tensões verticais que chegam na interface do subleito da rodovia, o que também implica em redução da deformação do pavimento. Portanto, camadas de BGS contribuem para que o pavimento seja mais durável e necessite de menos manutenção (MELLO, 2015).

A maioria das especificações que normatizam a execução de base e sub-base de BGS estabelece critérios de qualidade do material e abordam características físicas, químicas e propriedades mecânicas. Neste aspecto, o presente Trabalho de Conclusão de Curso foca-se nos materiais constituintes e na execução de BGS, apresenta uma análise comparativa do desempenho da BGS, diante de outras alternativas, com fundamento em pesquisas, resultados de aplicações em trechos experimentais, estudos de especificações técnicas e literaturas normativas consolidadas e largamente utilizadas na Engenharia.

## **1.1 OBJETIVO**

Esta pesquisa tem por objetivo estabelecer análises comparativas entre literaturas normativas sobre o emprego de BGS em camadas de base e sub-base de rodovias e apresentar recomendações e sugestões sobre a sua aplicabilidade . O trabalho fundamenta-se em bibliografia que apresenta resultados obtidos em trechos rodoviários experimentais e na análises do comportamento da estabilização.

## **1.2 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA**

Este trabalho é composto por 6 capítulos, referências bibliográficas, apêndices e anexos. O primeiro capítulo destina-se à introdução ao tema a ser abordado pela pesquisa e sua relevância, e definição dos principais objetivos a serem alcançados.

No segundo capítulo, encontra-se a revisão bibliográfica sobre o tema abordado nesta pesquisa, que possibilitou o desenvolvimento dos estudos. Aborda o desempenho de BGS, quando empregada em camadas de sub-base e base, seu processo construtivo e apresenta os principais documentos normativos.

No terceiro capítulo, complementa-se a revisão bibliográfica e procede-se a uma análise detalhada do emprego da BGS, em camadas da estrutura do pavimento de rodovias.

No quarto capítulo, descreve-se as características da aplicação de BGS, em uma pista experimental, com foco na sua flexibilização e capacidade de suporte.

No quinto capítulo, são apresentados os resultados do desempenho de bases e sub-bases de BGS, no trecho da pista experimental objeto das análises.

No sexto capítulo, são expostos as considerações finais acerca do tema abordado, bem como os resultados obtidos, as conclusões a que se chegou e as sugestões propostas para desenvolvimento de trabalhos futuros.

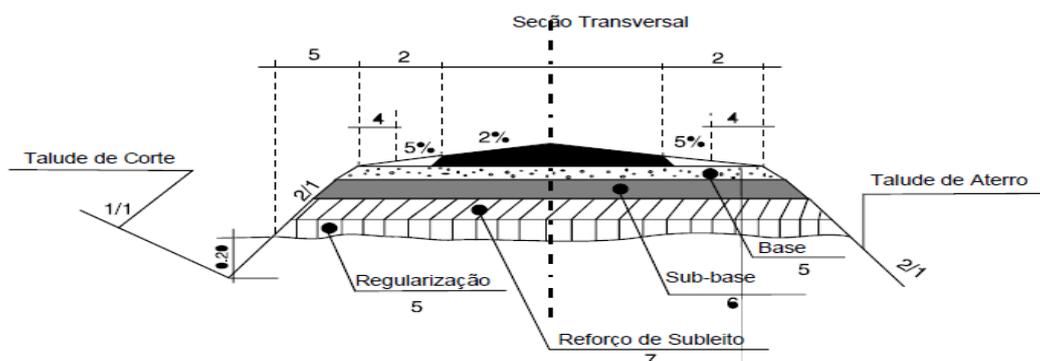
Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas, conforme foram citadas na redação do trabalho. E, ao final, como Apêndice, apresenta-se dados sobre as camadas de pavimentação executadas com BGS, para melhor entendimento do trabalho.

## **2. A SEÇÃO TRANSVERSAL DO PAVIMENTO**

As definições dos diversos constituintes da estrutura do pavimento, segundo o DNIT (1996), mostrados na seção transversal da Figura 1, são apresentadas abaixo:

- *Pavimento*: É a estrutura construída após a terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente em seu conjunto, a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos do tráfego, melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e conforto e resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície de rolamento.
- *Subleito*: É o terreno fundação do pavimento.
- *Leito*: É a superfície obtida pela terraplenagem ou obra de arte e conformada ao seu greide e perfis transversais.
- *Greide do leito*: É o perfil do eixo longitudinal do leito.
- *Regularização*: É a camada posta sobre o leito, destinada a conformá-lo transversal e longitudinalmente de acordo com as especificações. A rigor, é uma operação que pode ser reduzida em corte do leito implantado ou em sobreposição a este.
- *Reforço do Subleito*: É uma camada de espessura constante, posta por circunstâncias técnico-econômicas, acima da regularização, com características geotécnicas inferiores ao material usado na camada superior, porém melhores que o material do subleito.
- *Sub-base*: É a camada complementar à base, quando por circunstâncias técnico-econômicas não for aconselhável construir base diretamente sobre a regularização.
- *Base*: É a camada destinada a resistir e distribuir os esforços oriundos do tráfego e sobre a qual se constrói o revestimento.
- *Revestimento*: É a camada tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos e destinada a melhorá-la, quanto à comodidade e segurança e a resistir ao desgaste.

**Figura 01: Camadas do pavimento (Fonte: Manual de Pavimentação – DNIT, 1996)**



Fonte: Manual de Pavimentação – DNIT (1996).

## **2.1. A CAMADA DE SUB-BASE**

Os pavimentos são estruturas constituídas por múltiplas camadas de espessuras finitas, construídas sobre a terraplanagem, com a função principal de fornecer aos usuários segurança, conforto e garantir trafegabilidade em qualquer época do ano, em diferentes condições climáticas.

Com a função de resistir e transmitir as tensões verticais e horizontais oriundas do tráfego, de forma economicamente viável, a estrutura do pavimento é composta por diferentes camadas, de acordo com os níveis de esforços a que cada uma está submetida. Assim, tradicionalmente, os materiais mais nobres e resistentes estão mais próximos da superfície e os menos nobres e menos resistentes estão mais próximos da camada de terraplanagem. De modo amplo, pode-se dividir a estrutura dos pavimentos asfálticos nas seguintes camadas: *camada de rolamento, binder ou intermediária* - ambas constituem o revestimento asfáltico - *base, sub-base e reforço do subleito*. Estas camadas são assentadas sobre o subleito, que é a camada final da terraplanagem, ou a fundação do pavimento.

A sub-base é a camada complementar à base, com as mesmas funções desta e executada quando, por razões de ordem econômica, for conveniente reduzir a espessura da base. Deve ser usada quando não for aconselhável executar a base diretamente sobre o leito regularizado ou sobre o reforço, por circunstâncias técnico-econômicas. (DNIT, 1996).

## **2.2. A CAMADA DE BASE**

A base, objeto deste trabalho, é a camada situada imediatamente abaixo da capa ou revestimento asfáltico. Possui a função de resistir às cargas atuantes devido ao tráfego e minimizar as deformações de consolidação e os esforços cisalhantes, nas camadas subjacentes. Considerando-se a camada de revestimento asfáltico, as características mecânicas da base são essenciais para garantir o controle da magnitude das tensões na capa, de maneira que não causem manifestação patológica prematura, na camada de superfície (PINTO e PREUSSLER, 2002).

## **2.3. O REFORÇO DO SUBLEITO**

Camada existente nos pavimentos muito espessos, executada com o objetivo de reduzir a espessura da camada de sub-base. O reforço é executado logo acima da

regularização, com características geotécnicas superiores às do subleito. Visto isso, a capacidade de suporte - CBR - do reforço deve ser maior que a do subleito. Os pavimentos rodoviários destinados a tráfego pesado, ou seja, que possuem base com CBR maior ou igual a 80%, mas de espessura considerável, carecem de uma camada adicional - o reforço do subleito - para que se possa executar a estrutura com menor espessura de sub-base, complementada por uma camada de material menos nobre.

### **3. SOBRE AS BASES E SUB-BASES GRANULARES EXECUTADAS COM BRITA GRADUADA SIMPLES (BGS)**

Segundo Yoder e Witczak (1975), o comportamento flexível dos pavimentos caracteriza-se pela maneira como a carga se distribui de forma concentrada, na proximidade do local de sua aplicação e, assim, transmite ao subleito uma carga pontual de área muito reduzida. Estudos realizados na Califórnia sobre essas cargas concentradas, a partir do ano de 1938, determinaram uma série de medições de deslocamentos verticais em pavimentos, quando estes estavam sujeitos à ação de uma carga de roda.

A parcela dos deslocamentos verticais que é elástica - recuperável ao cessar o carregamento - foi denominada *deflexão*. Ao cessar a solicitação, a parcela das deformações que se recuperou de forma elástica foi chamada de *resiliente*, enquanto a outra, não recuperável, foi denominada de *plástica* (HVEEM, 1955). A necessidade de conhecer as magnitudes dos deslocamentos recuperáveis e sua variação, com o estado de tensão, proporcionou o desenvolvimento do ensaio triaxial com cargas repetidas, nos anos 1950, resultando na determinação do Módulo de Resiliência.

O início da utilização de materiais granulares em estradas remonta a milhares de anos, pela necessidade de se estabelecer, por vias comerciais, a comunicação entre as comunidades. Os materiais granulares são empregados há mais de 2 mil anos, desde as primeiras estradas do Império Romano, que, de forma racional, já construía pavimentos divididos em camadas. O método romano de pavimentos foi utilizado, até que Tresaguet, na França, a partir de 1775, modificou o método, introduzindo uma camada para drenar a camada de superfície. O engenheiro escocês Mac-Adam (1756-1836) é considerado o precursor dos pavimentos modernos, e seu método baseia-se na compactação das camadas, embricamento das partículas granulares e preservação de camada drenante. Este material foi denominado de macadame. Embora Mac-Adam

procurasse a densificação dos materiais, o primeiro compactador de rolo só veio a ser utilizado na cidade de Nova York, no ano de 1869 (HASS, 1994).

No Brasil, o uso da brita graduada simples difundiu-se nos anos 1960. Atualmente, uma parcela muito elevada de projetos de pavimentos de rodovias brasileiras ainda indica o uso de BGS em camadas de base e sub-base, para tráfegos menores que  $N=5 \times 10^5$ . A boa resistência da BGS, quando bem graduada e densificada, forma um esqueleto mineral intertravado, que trabalha à compressão e que tem sua rigidez intrinsecamente variável pelo confinamento.

### 3.1. AS CARACTERÍSTICAS DA BRITA GRADUADA SIMPLES - BGS

A maioria das especificações que normatizam a execução de base e sub-base de BGS estabelecem critérios de qualidade do material, envolvendo características físicas, químicas e propriedades mecânicas. A qualidade do material é avaliada com fundamento em critérios físicos, como a forma dos agregados - DNER-ME 086/1994, o desgaste por meio do ensaio de abrasão Los Angeles - DNER-ME 035/1998, a equivalência de areia da fração fina - DNER-ME 054/1997 e a durabilidade em solução de sulfato de Sódio - DNER-ME 089/1994.

Acrescente-se, ainda, a graduação, que é um dos critérios mais importantes, pois é a característica responsável por parte do intertravamento granular, sendo expressa, em geral, por faixas granulométricas. Como exemplificação, apresenta-se nos Quadros 1 a 4, a seguir, apresentam – se as faixas granulométricas recomendadas pelo DNIT, GOINFRA, NOVACAP, DERSA-SP e DER-PR, órgãos rodoviários com atuação no Centro-Oeste e Sudeste do país, sendo que o DNIT tem caráter nacional. Tais órgãos, reconhecidamente, investem em tecnologia e publicam obras literárias sobre engenharia rodoviária, que são difundidas em todo o Brasil.

**Quadro 1 – Faixas granulométricas recomendadas pelo DER-PR**

Peneira de malha quadrada		Percentagem passando, em peso.		
ABNT	Abertura, mm	Faixa I	Faixa II	Faixa III
2"	50,8	100	-	-
1 ½"	38,1	90-100	100	100
1"	25,4	-	-	77-100
¾"	19,1	50-85	60-95	66-88
⅝"	9,5	35-65	40-75	46-71
n.º 4	4,8	25-45	25-60	30-56
n.º 10	2,0	18-35	15-45	20-44
n.º 40	0,42	8-22	8-25	8-25
n.º 200	0,074	3-9	2-10	5-10

**Fonte: DER/PR – ES-P 05/18**

**Quadro 2 – Faixas granulométricas recomendadas pela GOINFRA-GO**

Peneira de malha quadrada		Percentagem passando, em peso.			Tolerância (%)
ASTM	Abertura (mm)	Faixa I	Faixa II	Faixa III	
2"	50,8	100	-	-	± 7
1 ½"	38,1	90-100	100	100	± 7
1"	25,4	-	-	77-100	± 7
¾"	19,1	50-85	60-95	66-88	± 7
3/8"	9,5	35-65	40-75	46-71	± 7
Nº 4	4,8	25-45	25-60	30-56	± 5
Nº 10	2,0	18-35	15-45	20-44	± 5
Nº 40	0,42	8-22	8-25	8-25	± 5
Nº 200	0,074	3-9	2-10	5-10	± 2

FONTE: GOINFRA ES - PAV 005/2019

**Quadro 3 – Faixas granulométricas recomendadas pela DERSA-SP**

Peneira de Malha Quadrada		% em Massa, Passando				Tolerância
ASTM	mm	A	B	C	D	
2"	50,0	100	100	-	-	± 7
1 ½"	37,5	90 - 100	-	-	-	± 7
1"	25,0	-	82 - 90	100	100	± 7
¾"	19,0	50 - 68	-	-	-	± 7
3/8"	9,5	30 - 46	60 - 75	50 - 85	60 - 100	± 7
Nº 4	4,8	20 - 34	45 - 60	35 - 65	50 - 85	± 5
Nº 10	2,0	-	32 - 45	25 - 50	40 - 70	± 5
Nº 40	0,42	4 - 12	22 - 30	15 - 30	25 - 45	± 5
Nº 200	0,075	1 - 4	10 - 15	5 - 15	5 - 20	± 2
Espessura da camada acabada em cm		10 - 17	10 - 17	10 - 13	10 - 13	

Fonte: ET-DE-P00/008

**Quadro 4 – Faixas granulométricas recomendadas pela NOVACAP – DF**

Peneira de Malha Quadrada		% em Massa passando				Tolerância
ASTM	mm	A	B	C	D	
2"	50,0	100	100	-	-	±7
1½"	37,5	90-100	-	-	-	±7
1"	25,0	-	82-90	100	100	±7
¾"	19,0	50-68	-	-	-	±7
3/8"	9,5	30-46	60-75	50-85	60-100	±7
Nº 4	4,8	20-34	45-60	35-65	50-85	±5
Nº 10	2,0	-	32-45	25-50	40-70	±5
Nº 40	0,42	4-12	22-30	15-30	25-45	±5
Nº 200	0,075	1-4	10-15	5-15	5-20	±2

Fonte: NOVACAP/DU – ESP 05

**Quadro 5 – Faixa Granulométrica DNIT**

Tipos	Para N > 5 X 10 <sup>6</sup>				Para N < 5 X 10 <sup>6</sup>		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: DNER – ES 303/97**

Nota-se que as faixas relacionadas variam de 3 a 4 tipos de granulometria, com uma constância observada, em sua maioria, de 7% para mais ou para menos de material passante na peneira de 3/8". Encontram-se coincidências com as Instruções Normativas do DF e DERSA – SP, com 4 (quatro) faixas. Já na GOINFRA – GO e DER – PR, há uma diferença com 3 (três) faixas.

A qualidade dos materiais granulares como a BGS, para uso em projetos de pavimentação, normalmente, é expressa em termos de suporte ou resistência. No Brasil, em geral, emprega-se, como critério de aceitabilidade dos materiais granulares, o ensaio *California Bearing Ratio* - CBR, traduzido no país como Índice de Suporte Califórnia - ISC, padronizado pelo método de ensaio DNER-ME 049/1994.

Geralmente, a BGS possui resistência variando de 60% a 120%. O emprego do CBR, como referência de suporte de materiais empregados na estrutura de pavimentos, tem sido questionado, nas últimas décadas, no meio técnico-científico brasileiro. Assim, em vários projetos de pavimentos, com fundamento em análises mecanicistas, têm-se realizado ensaios de deformabilidade, no lugar dos ensaios de resistência, quando também é determinado o Módulo de Resiliência - MR, padronizado pelo método de ensaio DNIT-ME 134/2010, que, atualmente, está passando por modificação de procedimento. Valores típicos de MR da BGS, geralmente, ficam na faixa de 100 a 400 Mpa (BERNUCCI et al, 2008).

Embora parte considerável das bases granulares de BGS correspondam a uma distribuição granulométrica próxima à máxima densidade, há situações onde o ideal seriam bases granulares de graduação mais aberta, de modo a serem mais permeáveis.

### **3.2. PRODUÇÃO, TRANSPORTE E EXECUÇÃO**

O procedimento de execução de camadas de BGS é padronizado, em algumas normas brasileiras como: ABNT NBR 12264-1991 e EP-DE-P00-008 do DER-SP, entre outras. A BGS é utilizada em diversos tipos de pavimentos e, também, em diferentes camadas, seja de base ou sub-base. O processo de execução se inicia com o desmonte da rocha sã, que deve ser britada e reduzida a frações compatíveis com a faixa granulométrica desejada. Deve-se, então, iniciar o peneiramento do material britado para separar as diferentes frações granulométricas. Geralmente, esta fase ainda é realizada na pedreira, onde é feito o processo de britagem.

O uso de uma usina para se realizar a mistura dos agregados e a adição de água é fundamental para a formação e o controle da curva granulométrica desejada com material homogêneo. No transporte para o local da obra, podem ser usados caminhões basculantes comuns, devendo-se tomar cuidado para que não ocorra a segregação do material, tanto no momento de carga destes caminhões, quanto no transporte e descarga.

A superfície que irá receber a BGS precisa estar seca, desempenada, limpa, isenta de pó e demais substâncias estranhas. O espalhamento pode ser executado em múltiplas camadas, que não devem ser inferiores a 10,0 cm e nem superiores a 20,0 cm, por meio de vibroacabadora, sempre que possível, pois assim minimiza-se a segregação e a perda de umidade. Embora a norma EP-DE-P00-008 do DER-SP indique o uso de vibroacabadora, em grande parte das obras, utiliza-se motoniveladora. Os problemas são a densificação diferenciada decorrente dos pneus da motoniveladora, a irregularidade superficial causada, que acaba por se refletir no revestimento asfáltico, principalmente quando este tem apenas uma camada. A compactação é executada por rolos de pneus e/ou lisos, com ou sem vibração. Após a conclusão da compactação, a umidade da camada deve ser preservada. Opta-se por realizar o umedecimento da superfície constantemente, até que se execute a camada subsequente ou se realize a imprimação.

### **3.3. AVALIAÇÃO DO PAVIMENTO**

Os pavimentos, quando bem dimensionados, executados, e compostos por materiais de boa qualidade, não sofrem rupturas frágeis e súbitas. Porém, sofrem degradação contínua e acumulativa, em função da aplicação de carga, devido à ocorrência de tráfego e atuação do clima. Assim, os programas de gerência de pavimentos se baseiam em avaliações contínuas de pavimentos, que fornecem

informações sobre os estados de conservação, monitorando critérios funcionais, como a ocorrência de defeitos, e parâmetros estruturais, que estão associados aos danos ligados à capacidade de carga do pavimento (HASS, 1994).

Os deslocamentos verticais ou deflexões possibilitam uma avaliação das irregularidades, na superfície do revestimento. Tais deflexões podem ser obtidas em ensaios ou levantamentos de campo, através de equipamentos, como a Viga Benkelman ou ensaio *Falling Weight Deflectometer* – FWD, ilustrados nas Figuras a seguir.

**Figura 02 - Medição de deflexões através da Viga Benkelman.**



Fonte: ANDRADE (2017).

A ilustração acima mostra a operação na superfície do revestimento da Rodovia Fernão Dias, BR-381, que liga São Paulo a Belo Horizonte.

**Figura 03 – Execução de ensaio FWD.**



Fonte: ANDRADE (2017).

O FWD é um equipamento deflectométrico de impacto, com processamento totalmente informatizado, que registra os deslocamentos verticais recuperáveis que ocorrem na superfície do pavimento, devido à ação de cargas. Simula a passagem de um veículo com eixo padrão de 80 kN, a uma velocidade de 60 a 80 km/h.

As irregularidades longitudinais da superfície do pavimento podem ser medidas também com o emprego do *Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation* - Merlin e as deformações permanentes ou afundamentos nas trilhas de roda – ATR, podem ser avaliadas utilizando-se treliça ou ATR, ilustrados nas figuras a seguir.

**Figura 04 – Medição de irregularidade longitudinal com o Merlin.**



Fonte: ANDRADE (2017).

**Figura 05 – Medição de afundamento de trilha de roda –ATR, com uso de treliça.**



Fonte: ANDRADE (2017).

#### 4. APLICAÇÕES DA BRITA GRADUADA SIMPLES – BGS

Neste trabalho, considerou-se uma análise da aplicação de BGS em uma pista-teste, construída no Sudeste brasileiro, especificamente na rodovia Fernão Dias - BR-381. Este trecho faz a ligação entre Guarulhos, região metropolitana de São Paulo-SP e o município de Confins, região metropolitana de Belo Horizonte – MG, com 561,1 km de extensão, realizada por Andrade (2017). Essa análise permitiu construir uma ideia sobre o desempenho da BGS, como camada de base de rodovia submetida a tráfego muito pesado, da ordem de  $N=10^8$  repetições do eixo padrão. O trecho experimental foi executado na faixa 2, do km 948 ao 949 da pista Sul, e considerou-se uma extensão de 100,0 metros da rodovia. As Figuras 2a e 2b, a seguir, ilustram o trecho estudado.

**Figura 06a – Sinalização indicando o trecho experimental.**



Fonte: ANDRADE (2017).

**Figura 6b – Aspecto do trecho.**



Fonte: ANDRADE (2017).

Todos os segmentos do trecho experimental foram construídos sobre uma infraestrutura remanescente do pavimento anterior, constituído por camada de solo compactado de alta qualidade. Após a conclusão do referido trecho, procedeu-se à operação de fresagem profunda, com cerca de 370 mm, na estrutura do pavimento, abrangendo a camada de revestimento asfáltico e a da base.

#### 4.1. PROCESSO DE EXECUÇÃO DA FRESAGEM DO PAVIMENTO

Segundo o relatório da pesquisa, a etapa inicial consistiu na execução de fresagem na faixa 2 - faixa da direita - destinada a veículos mais pesados, obtendo-se uma caixa de 370mm de profundidade, por 3600mm de largura. Na seção estudada, identificou-se diversas camadas: uma composta por 150 mm de uma mistura de Concreto Betuminoso Usinado a Quente - CBUQ bem denso; outra com 220 mm de material betuminoso, provavelmente resultado de sucessivos recapeamentos; também uma camada de *binder* de Pré Misturado a Frio - PMF de granulometria grossa e algumas camadas de solo, que não foram fresadas.

As Figuras 7a até 7d ilustram as etapas da operação de fresagem e as Figuras 4a e 4b mostram o aspecto da seção, após a fresagem.

**Figura 07: Fresagem do pavimento. Processo de fresagem da camada de revestimento (a), Esteira de carregamento do material fresado (b), Pilhas de estoque de material fresado (c), Fresagem da camada de revestimento (d).**



Fonte: ANDRADE (2017).

**Figura 08 – Pós – fresagem. Camada remanescente de solo (a),  
Figura 08b – camada remanescente do solo (b).**



Fonte: ANDRADE (2017).

#### **4.2. EXECUÇÃO DA CAMADA DE BASE DE BGS E REVESTIMENTO**

Inicialmente, na recomposição do pavimento inicialmente executou-se a camada de base com BGS. A mistura empregada foi fornecida por uma usina da região, onde foi dosada na umidade adequada e segundo as normas técnicas de execução. O material foi espalhado na caixa de execução por motoniveladora e, em seguida, compactado por rolos pé de carneiro vibratório e, posteriormente, por um rolo pneumático, em uma única camada. As Figuras 9a até 9d mostram a operação de recomposição do pavimento.

**Figura 09: Aplicação do BGS. Descarregamento do material de britagem (a),  
Espalhamento do material com uso de motoniveladora (b), Compactação com rolo  
pé-de-carneiro (c), Compactação com rolo de pneus (d).**



Fonte: ANDRADE (2017).

A superfície da camada de base executada foi impermeabilizada com emulsão RR-2C, que se constituiu em pintura de ligação com o revestimento, que, por sua vez, foi construído em duas camadas de aproximadamente 60mm cada uma, compondo uma camada de revestimento asfáltico de 120mm. O espalhamento foi realizado por uma vibroacabadora e a compactação foi feita por rolo liso, seguido por um pneumático. As Figuras 10a até 10d ilustram a execução do revestimento ou capa asfáltica.

**Figura 10: Execução Capa Asfáltica. Execução de pintura de ligação em RR-2C (a), Aplicação de CBUQ com uso de vibroacabadora (b), Espalhamento e adensamento da massa aplicada com uso de Rolo Chapa Liso (c), Acabamento Final, nivelamento e adensamento com uso de Rolo de Pneus (d).**

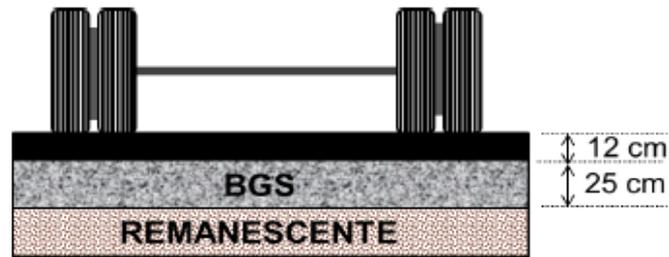


Fonte: ANDRADE (2017).

#### **4.3. ESTRUTURA FINAL DO PAVIMENTO EXECUTADO**

Ao final da execução obteve-se a seguinte estrutura de pavimento: camada de base com 25 cm de BGS, com uso da faixa “C” do DERSA – SP, conforme Quadro 3; pintura de ligação com emulsão de ruptura rápida RR-2C com taxa de aplicação de 1,0 l/m<sup>2</sup> e revestimento em CBUQ faixa “C” com CAP 30-45 em duas camadas de 6,0 cm, totalizando 12,0 cm de capa asfáltica. A Figura 7 ilustra a estrutura final do pavimento executado, a Tabela 1 apresenta características da faixa granulométrica da BGS e a Tabela 2 traz a composição granulométrica do CBUQ.

**Figura 11: Estrutura Figura final do pavimento.**



Fonte: ANDRADE (2017).

**Tabela 1 – Faixa granulométrica da BGS executada.**

Peneira de malha quadrada		% em Massa, Passando	
ASTM	mm	BGS	DER-SP Faixa C
1"	25,0	-	100
3/4"	19,0	100	-
3/8"	9,5	68,8	50-85
Nº 4	4,8	52,3	35-65
Nº 10	2,0	31,5	25-50
Nº 40	0,42	12,1	15-30
Nº 200	0,075	6,1	5-15

Fonte: ANDRADE (2017).

**Tabela 2 – Composição granulométrica do CBUQ executado.**

Peneira de malha quadrada		% em Massa, Passando	
ASTM	mm	Concreto Asfáltico	Faixa de Trabalho
1"	25	100	100
3/4"	19	98	92 - 100
1/2"	12,5	81	68 - 82
3/8"	9,5	69	56 - 70
Nº 4	4,75	49	38 - 48
Nº 10	2	32	21 - 31
Nº 40	0,42	13	7 - 17
Nº 80	0,18	7	5 - 11
Nº 200	0,075	5	4 - 8

Fonte: ANDRADE (2017).

## 5. ANÁLISE DAS EXPERIÊNCIAS COM A BGS

No desenvolvimento da experiência, Andrade (2017) elaborou análises após a realização de ensaios, utilizando o Módulo de Resiliência de corpos de prova de 100 x 200 mm, de material coletado em campo, no momento da construção da camada de

base. A compactação da base de BGS foi feita na energia normal do ensaio Proctor, de modo a se tentar obter o mesmo grau de compactação do campo, que, aliás, foi baixo. O corpo de prova compactado nesta energia apresentou também baixa resistência. Para o manuseio do corpo de prova com segurança, após a compactação, o mesmo foi congelado a - 10°C. Após o confinamento na prensa hidráulica, esperou-se 24 horas para o descongelamento e só depois foi realizado o ensaio. Após a obtenção dos resultados, percebeu-se que os valores encontrados estavam de acordo com o exigido na execução das camadas do pavimento.

Os estudos de Andrade (2017) também salientam que uma base de BGS pode ser executada sob uma sub-base tratada com cimento e, então, trabalhar como camada de drenagem subsuperficial e evitar a reflexão de trincas da camada cimentada na superfície do revestimento flexível. Os pavimentos com estas características são denominados pavimentos semirrígidos invertidos.

Segundo os estudos de Mello (2015), todas as composições de BGS moldadas foram satisfatórias quanto ao CBR e à expansão que o DNIT recomenda, para a execução de bases. O maior valor de CBR foi o da composição relativa à faixa B, do DNIT, que alcançou 212,20%, muito acima dos 80% estabelecidos. Esse autor explicou que o suporte tão elevado foi devido ao alto índice de finos na mistura, o que leva a inferir que a adição de finos nas misturas corresponde ao melhor desempenho das bases de BGS. As outras composições também resultaram em suporte acima do limite mínimo, sendo que a faixa A apresentou limite inferior de 161,51% e superior de 178,40%. Quanto à expansão os corpos de prova moldados, apresentaram 0,02%, para a faixa A e 0,35% para a faixa B, valores também inferiores ao limite de 0,5% estabelecido pelo DNIT. A expansão maior verificada na faixa B foi devida à alta quantidade de agregados miúdos - passantes na peneira n° 4 - na mistura.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES**

Neste Trabalho de Conclusão de Curso, considerou-se o emprego da brita graduada simples – BGS, como material utilizado em camadas de sub-base e base, em pavimentos de rodovias, e procedeu-se análises de sua aplicabilidade, com fundamento em pesquisa bibliográfica e em resultados de pesquisas já realizadas, em um trecho experimental.

Dos estudos e ensaios de laboratório realizados por Mello (2015), que analisou a aplicabilidade e execução de BGS em rodovias submetidas a tráfego leve a médio, até da ordem de  $N= 5 \times 10^6$ , pode-se recomendar o uso de proporções medianas de finos, para que se obtenha um maior peso específico seco e, conseqüentemente, um suporte melhor, ou seja, adotar a faixa B, do DNIT, como recomendável na execução da camada de base. Os resultados dos ensaios referentes a esta faixa granulométrica foram satisfatórios quanto ao suporte, bem acima do CBR mínimo de 80% recomendado pelo DNIT e, também, com expansão menor que os 0,5%, também recomendado por aquele órgão rodoviário.

Para desenvolvimento da pesquisa, reportou-se aos estudos realizados por Andrade (2017), que analisou o emprego de BGS em uma pista experimental, construída na Rodovia Fernão Dias, BR-381, entre Guarulhos – SP e Confins – MG, onde estudou – se o desempenho da base executada, em um segmento de 100,00 metros de extensão. Nas análises dos resultados da referida pista experimental, procederam-se a controles tecnológicos da execução, considerando-se as recomendações de diversas normas de execução.

Desses estudos na BR-381, foram apresentados resultados que comprovaram que bases de BGS não são recomendáveis para o caso de tráfego muito pesado, ou seja, da ordem de  $N=10^8$ , ou seja, 100 milhões de repetições do eixo padrão, durante o período de projeto, cerca de 20 anos. No trecho estudado, foram verificadas patologias no revestimento asfáltico, como fissuras e trincas comprometedoras da estrutura do pavimento.

Em adição às conclusões advindas dos estudos, pode-se inferir que, para rodovias submetidas a tráfego muito pesado, as bases de BGS deverão ser estabilizadas ou tratadas com Cimento Portland, para evitar patologias no revestimento asfáltico como as trincas de reflexão.

Assim, é razoável concluir que bases de BGS podem ser aplicadas, sem maiores problemas em rodovias que serão submetidas a tráfego médio a pesado, até a ordem de  $10^7$ , ou centenas de milhares de repetições do eixo padrão.

Uma outra ponderação conclusiva, que se pode auferir desta pesquisa, é que as bases de BGS podem contribuir para a vida útil de pavimentos flexíveis, haja vista que funcionam como uma excelente camada drenante, direcionando, assim, as águas pluviais para fora da estrutura do pavimento. Para melhor desempenho, a granulometria

dos materiais empregados na execução devem ser abertos, ou seja com maior porcentagem de graúdos que de finos.

Outra aplicabilidade da BGS descortinada, a partir da pesquisa, é o seu uso como camada de drenagem sub-superficial de rodovias, construída entre uma base tratada com cimento e a camada de revestimento ou capa asfáltica.

Por fim, certificou-se que a BGS contribui para o aumento do suporte da camada a que se destina e, assim, pode resistir adequadamente aos esforços advindos do tráfego e transmitir, para a fundação ou subleito da rodovia, parcelas mais reduzidas de tensões. Portanto, as deflexões ou deslocamentos na vertical, que ocorrem no subleito, serão de menores magnitudes.

Para complementação de futuras pesquisas e análises estruturais sobre o desempenho de bases e sub-bases de BGS, é recomendável que se considerem os resultados de levantamentos de deflexões, com emprego de viga *benkelman*, em trechos experimentais de rodovias submetidos a tráfego médio a pesado. A finalidade seria a de se determinar a vida útil do pavimento, ante a adoção de espessuras e tipo de material empregado nas camadas da estrutura do pavimento, além de considerações sobre as características tecnológicas da infraestrutura formada pelo subleito e terraplenagem. Ademais, inserções dos dados obtidos na deflectometria, em programas de modelagem, podem demonstrar, graficamente, o comportamento do pavimento, no decorrer do tempo.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AGÊNCIA GOIANA DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES, GOINFRA – ES – PAV 005/2019 – Pavimentação – Brita Graduada – Especificação de Serviço, Goiânia, 2019.

ANDRADE, Lucas Rodrigues. Comparação do comportamento de pavimentos asfálticos com camadas de base granular, tratada com cimento e com estabilizantes Asfálticos para tráfego muito pesado. Dissertação de Mestrado. São Paulo, 2017.

BERNUCCI, L. L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros. ABEDA, Petrobras, Rio de Janeiro, 2008.

BORBA, V., SANTOS, A., *Projeto de base drenante realizado de acordo com a especificação técnica DER/SP ET-DE-P00/008*. Publicação de Artigo. Criciúma, 2013.

COMPANHIA URBANIZADORA DA NOVA CAPITAL DO BRASIL, NOVACAP – ESP 05/2012 - Especificação Técnica para Execução de Sub-Base e Base de Brita Graduada (BGS) – Especificação de Serviço, Brasília, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, DNER – Manual de Pavimentação – Especificação de Serviço, Rio de Janeiro, 1996.

DEPARTAMENTO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, DNIT – Manual de Pavimentação – Especificação de Serviço, Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO, DERSA - ET-DE-P00/008 - Sub-Base ou Base de Brita Graduada – Especificação de Serviço, São Paulo, 2005.

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

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ, DER/PR - ES-P 05/18 - Pavimentação: Brita Graduada – Especificação de Serviço, Curitiba, 2018.

Hveem, F. N., (1955). Pavement deflection and fatigue failures. IN: Annual Meeting – 1955.

HASS, R., Modern Pavement Management, Florida, 1994

MELLO, José Carlos. A Evolução do Transporte Rodoviário, 2015, Disponível em: <<https://docslide.com.br/documents/a-evolucao-do-transporterodoviario.html>>.

PINTO, S. PREUSSLER, E. Pavimentação Rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis. Editora Copiarte, ISBN: 85-902537-1-6. Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

YODER, E.; WITCZAK, M. Principles of pavement design. 2ª edição, Nova Iorque, EUA, John Willey&Sons, 1975.