

**Projeto de Pavimentação da Rodovia Distrital  
VC-383**

**Brasília-DF  
Setembro de 2020**

## Sumário

1.0	Objetivo	4
2.0	Introdução	4
3.0	Atividades desenvolvidas	5
3.1	Levantamentos de campo	5
3.1.1	Estudo de Tráfego	5
3.1.2	Estudo do Subleito	5
3.1.3	Estudo de Ocorrências (Caixas de Empréstimo)	6
3.2	Análise dos dados coletados	6
3.2.1	Cálculo do Número N de Solicitações	6
3.2.2	Estudo do Subleito (Índice de Suporte Califórnia)	7
3.2.3	Definição do Índice de Suporte Califórnia do Subleito (DNER)	8
3.2.4	Substituição de Material Terroso na Camada de Subleito – ISC	9
3.2.5	Estudos do Solo das Caixas de Empréstimo	9
3.2.5.1	Estudo de Camada de Sub-Base	9
3.2.5.2	Estudos de Solo Melhorado com Cimento para Camada de Base	10
4.0	Dimensionamento do Pavimento Pelo Método Murilo Lopes de Souza	11
4.1	Coefficiente de Equivalência Estrutural e Espessuras das Camadas	11
4.2	Determinação das Espessuras das Camadas	14
4.3	Definição das Espessuras	15
4.3.1	Espessuras das Camadas que Compõem o Pavimento Utilizando o Sistema de Inequações	15
5.0	Verificação Mecanicista – Empírica	16
5.1	Parâmetros de Resistência dos Materiais	20
6.0	Verificações das Soluções de Dimensionamento	24
6.1	Solução de Dimensionamento 01 – Camada de Base em Material Granular Terroso (Cascalho) com adição de Cimento	24
6.2	Solução de Dimensionamento 02 – Camada de BGS	27
6.3	Solução de Dimensionamento 03 – Camada de BGTC	29
7.0	Serviços e Normativas	31
7.1	Estrutura Aprovada – Camada de Base em Material Granular Terroso (Cascalho) com adição de Cimento	31
7.2	Estrutura Aprovada – Camada de Base em Brita Graduada Simples (BGS)	32
7.3	Estrutura Aprovada – Camada de Base com Brita Graduada Tratada com Cimento – BGTC	33
8.0	Serviços De Terraplenagem	34
8.1	Aterros	34
8.2	Cortes	34

<b>8.3</b>	<b>Caixas de Empréstimo/ Bota-Espera</b>	<b>35</b>
<b>8.4</b>	<b>Serviços De Pavimentação</b>	<b>35</b>
<b>8.4.1</b>	<b>Subleito: Corpo de Aterro e Camada Final</b>	<b>35</b>
<b>8.4.2</b>	<b>Sub-Base</b>	<b>35</b>
<b>8.4.3</b>	<b>Base em Material Granular (Cascalho)</b>	<b>36</b>
<b>8.4.4</b>	<b>Imprimação</b>	<b>36</b>
<b>8.4.5</b>	<b>Revestimento (CAUQ)</b>	<b>36</b>
<b>9.0</b>	<b>Conclusão</b>	<b>36</b>

## **ANEXOS**

**A – Estudo de Tráfego**

**B - Estudo de Subleito**

**C – Cálculo do Número N**

**D – Estudos de Caixas de Empréstimo**

**E – Localização e Informações Jazida Terra Nova**

## **1.0 OBJETIVO**

O presente documento tem como objetivo indicar os parâmetros a serem utilizados para a realização da pavimentação asfáltica da VC-383 e parte da VC-379, no trecho compreendido entre a DF-290 até a divisa com o Estado de Goiás, com extensão de 7,0 km.

## **2.0 INTRODUÇÃO**

A VC-383 possui características de tráfego local que se enquadra em volume de tráfego médio bidirecional. Rodovia de pista simples, projetada para o 10º ano, conforme Manual de Implantação Básica de Rodovia (Publicação – IPR/DNIT 742).

Vale ressaltar que os volumes de tráfego que delimitam algumas das classes de projeto são apenas indicativos de ordem de grandeza, não se justificando precisões absolutas, especialmente tratando-se de projeções de tráfego.

As restrições econômicas para a implantação desta classe de rodovia, usualmente, orientam seus projetos para atividades de regularização e melhorias nos caminhos de circulação não pavimentados, já utilizados pela população local. Sendo assim, as soluções propostas devem privilegiar o aproveitamento dos caminhos de circulação pré-existentes, concentrando-se na regularização da geometria e na melhoria das condições de drenagem.

As normas utilizadas para elaboração deste projeto de pavimentação (implantação) foram:

- DNIT-ME 172/2016 – Determinação do Índice de Suporte Califórnia Utilizando Amostras não Trabalhadas;
- DNER-ME 164/2013 – Compactação Utilizando Amostras não Trabalhadas;
- IPR – 719/2006 – Manual de Pavimentação;
- IPR – 742/2010 – Manual de Implantação Básica de Rodovia;
- IP – DE-P00/001 Instrução de Projeto de Pavimentos do DER-SP;
- Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis Pelo Método DNER 1976/1981;
- IP – 08/2004 – Análise Mecanicista à Fadiga de Estruturas de Pavimento (SP).

### **3.0 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS**

As atividades foram divididas de acordo com os seguintes estudos preliminares e de campo:

- a) Levantamentos de Campo:
  - Estudo de Tráfego;
  - Estudo do Subleito;
  - Estudo de Ocorrências (Caixas de Empréstimos).
- b) Análise dos Dados Coletados;
- c) Verificações Mecanicistas (software AEMC);
- d) Solução Adotada.

### **3.1 Levantamentos de Campo**

#### **3.1.1 Estudo de Tráfego**

A contagem manual foi realizada por Equipe Técnica, no dia 10/07/2020. O período de contagem corresponde ao intervalo de 06hs às 20hs, sentidos adotados na contagem foram os seguintes: DF-290/Serra Dourada e Serra Dourada/DF-290 . O registro de veículos foi feito por porte veicular a cada 15 minutos (**Anexo A**).

#### **3.1.2 Estudo do Subleito (Sondagens)**

Objetivando a determinação da resistência do material constituinte da camada de subleito, foram realizados estudos de campo e de laboratório para a obtenção das características físicas e mecânicas do material em duas situações distintas: nas condições reais que prevalecem no campo (in situ) e nas condições ideais de trabalho.

Foram realizadas prospecções do subleito em 30 (trinta) pontos, conforme descrito no Manual de Pavimentação DNIT (Publicação DNIT – IPR 719/2016).

Os boletins de sondagem, nos quais constam os locais de prospecção (estacas), posição em relação ao eixo, profundidades sondadas e classificação expedita dos materiais das camadas constam do **Anexo B – Boletim de Sondagem**.

### 3.1.3 Estudo de Ocorrências (Caixas de Empréstimos)

Foram verificadas as possibilidades de aproveitamento de uma área de empréstimo ao longo da via em questão, nos seguintes locais destinados à empréstimo de material terroso: Caixa de Empréstimo 01 (-15° 59' 32,71" S; - 48° 02' 09,36" W), Caixa de Empréstimo 02 (-15° 59' 42,62" S; - 48° 01' 53,82" W) e Caixa de Empréstimo 03 (-15° 59' 47,57" S; - 48° 01' 49,40" W), baseado nos resultados dos ensaios laboratoriais realizados nas amostras de solos, bem como da viabilidade de exploração da área. Dentro dos limites da ocorrência selecionada, foram executados furos de sondagens, coletando amostras suficientes para a realização de todos os ensaios geotécnicos de caracterização, tanto in natura quanto estabilizado química e granulometricamente para serem usadas como camada de base e camada de sub-base.

## 3.2 Análise dos Dados Coletados

### 3.2.1 Cálculo do Número N de Solicitações

O volume de tráfego coletado pela Equipe Técnica de Campo abrangeu somente o período das 06hs às 20hs, sendo necessária a expansão dos dados para 24 horas. **(Anexo A)**.

Pelo estudo da estimativa de crescimento geométrico de tráfego realizado pela Equipe Técnica de Campo, foi definida a taxa de crescimento geométrico de 4,65%.

Com os dados enviados pela Equipe Técnica de Campo e com base no fator de equivalência de carga descrito nos métodos USACE e AASHTO, foram obtidos os seguintes números "N" de projeto, em função do número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf durante o período de projeto selecionado (10 anos), calculado pelos fatores de equivalência de carga constantes do Manual de Pavimentação IPR/DNIT – 719/2006, para o ano de 2020 **(Anexo C)**:

- km 0,0 da VC-383:
- $N_{USACE} = 5,94 \times 10^5$ ;
- $N_{AASHTO} = 3,36 \times 10^5$ .

Aplicando-se a taxa de crescimento anual geométrico de 4,65%, foram obtidos os seguintes

números “N acumulado” ao final de uma vida útil de 10 anos, adotando-se o ano de 2030.

➤ km 3,0 da VC-383:

- $N_{USACE} = 6,45 \times 10^6$ ;
- $N_{AASHTO} = 3,64 \times 10^6$ .

Para uma melhor segurança no dimensionamento do pavimento da VC-383, foi adotado o valor do número de repetições  $N_{USACE} = 6,45 \times 10^6$ .

### 3.2.2 Estudo do Subleito (Índice de Suporte Califórnia – ISC)

Os ensaios realizados para camada de subleito estão descritos na sequência:

- a) Determinação da Umidade Higroscópica de acordo com o método de ensaio DNER-ME 088/94;
- b) Ensaios de Caracterização (Granulometria por Peneiramento, Limite de Liquidez e Plasticidade) pelos métodos DNER-ME 083/98, 122/94 e 082/94 respectivamente;
- c) Compactação, de acordo com o método de ensaio DNER-ME 164/2013, sendo 5 (cinco) pontos com energia do Proctor Intermediário para subleito;
- d) Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Expansão, de acordo com a metodologia de ensaio DNER-ME 172/2016, com energia do Proctor Normal para subleito. Os estudos foram fixados ao **Anexo B** – Estudo do Subleito.

O quadro, a seguir, apresenta os valores limites e algumas recomendações relativas às principais características geotécnicas dos materiais a serem utilizados no pavimento.

Tabela 01 – Principais Características Geotécnicas

Camada	ISC	Expansão	IG	LL	IP	Faixa Granul.
Base	$> 60\%$ <sup>(1)</sup>	$< 0,5\%$	--	$\leq 25\%$ ou EA $> 30\%$	$\leq 6,0\%$ ou EA $> 30\%$	A, B, C ou D <sup>(1)</sup> E ou F <sup>(2)</sup>
	$> 80\%$ <sup>(2)</sup>					
Sub-Base	$> 20\%$	$\leq 1,0\%$	0	--	--	--
Subleito	$> ISC_{SL}$	$\leq 1,0\%$	$\leq IG_{SL}$	--	--	--
<b>Observações:</b> EA = Equivalente de Areia						

(1) Para $N \leq 5 \times 10^6$
(2) Para $N > 5 \times 10^6$
Subleito: ISC > 6% e Expansão < 2%
Os materiais deverão ser objeto de especificações particulares.

Fonte: Manual de Pavimentação DNIT IPR 719/2006 (Adaptado)

### 3.2.3 Definição do Índice de Suporte do Subleito – ISC (Método DNER)

Para a avaliação da capacidade de suporte do subleito e dos materiais que irão compor as camadas do pavimento é utilizado o ensaio *CBR* (*California Bearing Ratio*) ou ISC em amostras deformadas ou moldadas em laboratório, nas condições de serviço e submetidas à imersão em tanque apropriado por quatro dias.

Serão adotados os resultados provenientes dos ensaios de sondagem de subleito realizado em Laboratório.

**Planilha 01 – Índice de Suporte do Subleito**

VC-383						
EIXO PRINCIPAL						
ORDEM	Estaca Atual	LL	IP	EXP (%)	ISC (Laboratório)	Situação
1	0+00	49,6	16	0,06	35,6	
2	0+250	24,4	8,3	0,05	22	
3	0+500	33,7	12,8	0,02	21,9	
4	0+750	31	8,4	0,02	14,4	
5	1+000	40,6	13,1	0,02	12,9	
6	1+250	42,9	11,8	0,15	12,9	
7	1+500	40,1	11,8	0,1	11,8	
8	0+000	33,4	10,3	0,01	13,2	
9	0+250	47,8	12,8	0,03	13,9	
10	0+500	33,9	5,2	0,12	16,4	
11	0+750	NP	NP	3,83	7,3	Substituição
12	1+000	NP	NP	3,31%	7,00	Substituição
13	1+250	NP	NP	3,90%	6,60	Substituição
14	1+500	NP	NP	4,00%	6,20	Substituição
15	1+750	42,6	7,7	0,08%	50,60	
16	2+000	43,7	7,7	0,03%	49,30	
17	2+250	42,4	6,4	0,00%	51,70	
18	2+500	31,2	9,2	0,00%	52,40	
19	2+750	40,7	12,8	0,15%	44,80	
20	3+000	48,2	10,2	0,06%	41,10	
21	3+250	32,6	6,9	0,15%	35,70	
22	3+500	32,6	7,2	0,15%	27,10	
23	3+750	31,7	13,6	0,08%	22,60	
24	4+000	52,8	14,9	0,01%	21,90	
25	4+250	45,0	11,3	0,06%	13,70	
26	4+500	46,7	14,0	0,14%	16,90	
27	4+750	27,3	10,6	0,14%	15,60	
28	5+000	26,5	6,8	0,12%	24,10	
29	5+250	45,4	12,1	0,01%	29,70	
30	5+500	30,7	12,0	0,12%	19,50	
31	5+750	NP	NP	0,00%	20,60	
<b>MÉDIA</b>		<b>38,76</b>	<b>10,21</b>	<b>0,63%</b>		
					<b>ISC Adotado (%)</b>	<b>12,00</b>



A partir dos resultados das análises estatísticas do subleito, onde foi adotado como Índice de Suporte Califórnia da referida camada:

$$\text{ISC}_{\text{Subleito}} = 12,0\%$$

### **3.2.4 Substituição de Material Terroso na Camada de Subleito – ISC (Método DNER)**

Após os ensaios de sondagem do subleito realizado na rodovia VC-383, conforme orientado pelo Manual de Pavimentação DNIT (Publicação DNIT – IPR 719/2016), foi identificado que entre as estacas 0+500 e 1+750, totalizando 1.250 m, houve ocorrência de solo siltoso com coloração amarelada que obtiveram valores de Índice de Suporte Califórnia (ISC), entre 6,20% e 7,30%, portanto abaixo dos valores de referência adotado para o ISC de Subleito igual a 12,0%, a espessura de material a ser substituída é de 60 cm, contemplando 03 camadas de 20 cm cada uma, o material substituto deverá apresentar  $\text{ISC} \geq 12,0\%$ , sendo compactado na Energia Intermediária, com grau de compactação não inferior a 100%. O material para substituição poderá ser extraído de uma das caixas de empréstimo já citadas anteriormente. Como os furos de sondagem são feitos de forma espaçada, caso seja identificado pela Empresa Contratada para executar os serviços de pavimentação, situação diferente da que foi informada anteriormente, o fato deverá ser reportado ao Executor do Contrato para que as providências cabíveis possam ser tomadas.

### **3.2.5 Estudos do Solo das Caixas de Empréstimo**

#### **3.2.5.1 Estudo de Camada de Sub-Base**

O solo constituinte da camada de sub-base será extraído da faixa lindeira da rodovia em questão (faixa de domínio), o material que será utilizado é constituído por material granular terroso (cascalho), proveniente escavação do corte entre as estacas 1+900 até 2+800 e área da faixa de domínio com largura de 20,0 m de ambos os lados, na VC-383. Material este que apresenta Índice de Suporte Califórnia  $\geq 20,0\%$ , de acordo com as necessidades preconizadas no Manual de Pavimentação IPR/DNIT-719/2006. Antes da execução da obra, a Empresa Contratada deverá refazer estes ensaios para aferir o valor do Índice de Suporte Califórnia (ISC). Para a execução da camada de sub-base, o material utilizado deverá apresentar expansão  $\leq 1,0\%$  e valor de  $\text{ISC} \geq 20\%$ , aferidos pelos seguintes ensaios: Ensaio de Compactação – Norma DNIT 164/2013 ME e Ensaio de

Índice de Suporte Califórnia – ISC – Norma DNIT-ME 172/2016, com energia de compactação intermediária (Método B). A aprovação da camada compactada deverá apresentar grau de compactação não inferior a 100% da massa específica aparente seca, conforme o ensaio realizado pela norma 164/2013 ME, (Método B), respeitado o desvio de umidade de mais ou menos 2,0% em relação a umidade ótima. **(Anexo D).**

*Em hipótese alguma, será aceito para fins de liberação de camada a utilização do Umidímetro SPEEDY, devendo ser realizado, em substituição, o Ensaio de Umidade pelo Método Expedito da Frigideira e/ou Método da Estufa.*

### **3.2.5.2 Estudos de Solo Melhorado com Cimento para Camada de Base**

A estabilização química de solos com cimento pode apresentar-se sob duas formas distintas: solo-cimento (SC) e solo melhorado com cimento (SMC). O Manual de Pavimentação do DNIT (BRASIL, 2006a) define solo-cimento como uma mistura de solo, cimento Portland e água, que devidamente compactada, deve satisfazer a certos requisitos de durabilidade, densidade e resistência. O teor de cimento adotado é geralmente da ordem de 6% a 10%, resultando em um material duro, cimentado e de elevada rigidez à flexão. Já o solo melhorado com cimento é obtido através da adição de pequenos teores de cimento (2% a 4%), resultando em uma mistura considerada flexível, e cujo objetivo primordial é a alteração da sua plasticidade e sensibilidade à água. Portanto, a distinção mais clara entre o solo-cimento e o solo melhorado com cimento consiste no objetivo desejado e no teor de cimento empregado nas misturas. Para o Projeto em questão, através dos ensaios realizados, o teor adotado será de 2,0% de cimento Portland CP- II 32 F, em massa. A localização da extração do material granular terroso (cascalho), será da Cascalheira Terra Nova.

As normas DNIT 142/2010 – ES (DNIT, 2010a) e DNIT 143/2010 – ES (DNIT, 2010b), do Departamento Nacional de Infraestrutura, trazem especificações de serviço para a execução de bases de solo melhorado com cimento e de solo-cimento, respectivamente. Os materiais podem ser misturados em central ou em pista. Segundo ambas as normas, a mistura em central objetiva “as vantagens técnicas e econômicas na dosagem e a homogeneização da mistura solo, cimento e água”. Neste processo, um teor de cimento em volume é misturado ao solo, e caso necessário, uma quantidade de água é adicionada para atender à umidade de compactação (BALBO, 2007).

De posse dos resultados dos ensaios estudados e seguindo as recomendações do Manual de Implantação Básica de Rodovia – IPR/DNIT – 742/2010, Fase de Projeto Executivo e do Manual de

Pavimentação – IPR/DNIT – 719/2006, o projeto de pavimentação foi estudado preliminarmente por uma abordagem empírica de dimensionamento – Método Murilo Lopes de Souza (DNER) – e Verificação Mecânica – IP – 08/2004 – Análise Mecânica à Fadiga de Estruturas de Pavimento (PMSP). (Anexo D)

#### 4.0 Dimensionamento do Pavimento pelo Método Murilo Lopes de Souza – DNIT

Neste item, foi estudado o dimensionamento do pavimento flexível abordando o método de dimensionamento adotado pelo DNIT denominado Método do Engenheiro Murilo Lopes de Souza.

O método tem como base o trabalho: “*Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume*”, da autoria de W.J. Turnbull, C.R Foster e R.G Ahlvin, do Corpo de Engenheiros do Exército dos E.E.U.U. e conclusões obtidas na Pista Experimental da AASHTO.

Relativamente aos materiais integrantes do pavimento, são adotados coeficientes de equivalência estrutural tomando por base os resultados obtidos na pista experimental da AASHTO, com modificações julgadas oportunas.

#### 4.1 Coeficiente de Equivalência Estrutural e Espessuras das Camadas

Os valores dos coeficientes de equivalência estrutural dependem do tipo de material construtivo utilizado no pavimento.

Cada camada possui um coeficiente de equivalência estrutural (k), que relaciona a espessura que a camada deve possuir de material padrão (base granular), com a espessura equivalente do material que realmente irá compor a camada.

São os seguintes os coeficientes de equivalência estrutural para os diferentes materiais constitutivos do pavimento:

Figura 01 – Coeficiente de Equivalência Estrutural

Camada do Pavimento	Coefficiente estrutural (K)
Base ou revestimento de concreto asfáltico	2,0
Base ou revestimento de concreto magro/CCR	2,0
Base ou revestimento de Pré-Misturado a Quente, de graduação Densa / Binder	1,8
Base ou revestimento de Pré-Misturado a Frio, de Graduação Densa	1,4
Base ou revestimento asfáltico por penetração	1,2
Paralelepípedos	1,0
Base de brita graduada simples (BGS) Macadame hidráulico (MH) e estabilizadas granulometricamente	1,0
Sub-bases granulares ou estabilizadas com aditivos	≤ 1,0
Reforço do subleito	≤ 1,0
Base de solo cimento (SC) ou BGTC, com resistência à compressão aos 7 dias, superior a 4,5 MPa	1,7
Base de BGTC com resistência à compressão aos 7 dias entre 2,8 e 4,5 MPa	1,4
Base de solo cimento (SC), com resistência aos 7 dias, menor que 2,8 e maior ou igual a 2,1 MPa	1,2
Base de solo melhorado com cimento, com resistência à compressão aos 7 dias, menor que 2,1 Mpa	1,0

Os coeficientes estruturais são designados, genericamente, por:

- Revestimento:  $K_R$ ;
- Base:  $K_B$ ;
- Sub-base:  $K_S$ ;
- Reforço:  $K_{REF}$ .

Os coeficientes estruturais da sub-base granular e do reforço do subleito serão obtidos pelas equações 02 e 03. Na adoção de base mista, a camada de *MH*, denominada de sub-base, adota-se coeficiente estrutural = 1,0.

$$K_{SB} = \sqrt[3]{\frac{CBR_{SB}}{3 * CBR_{REF}}} < 1 \quad (\text{Equação 02})$$

$$K_{REF} = \sqrt[3]{\frac{CBR_{REF}}{3 * CBR_{SL}}} < 1 \quad (\text{Equação 03})$$

Mesmo que o *CBR* do reforço ou da sub-base seja superior a 20%, deverá ser considerado como se fosse igual a 20% para efeito de cálculo das relações acima.

*Obs: O coeficiente de equivalência estrutural da sub-base granular ou do reforço do subleito deverá ser 1,0 toda vez que o CBR desses materiais for igual ou superior a três vezes o CBR do subleito.*

Tabela 03 – Alguns valores de Coeficiente de Equivalência Estrutural para sub-base granular e reforço do subleito.

CBR <sub>1</sub> /CBR <sub>2</sub>	K <sub>Ref</sub> ou K <sub>s</sub>
1,1	0,72
1,2	0,75
1,3	0,76
1,4	0,78
1,5	0,80
1,6	0,82
1,7	0,83
1,8	0,85
1,9	0,86
2,0	0,88
2,1	0,90
2,2	0,91
2,3	0,92
2,4	0,94
2,5	0,95
2,6	0,96
2,7	0,97
2,8	0,98
2,9	0,99
3,0	1,00

Fonte: Manual de Pavimentação IPR/DNIT –719/2006

A espessura da camada de revestimento asfáltico é, por sua vez, um dos pontos ainda em aberto na engenharia rodoviária, quer seja para proteger a camada de base dos esforços impostos pelo tráfego, quer seja para evitar a ruptura do próprio revestimento por esforços repetidos de tração na flexão. As espessuras recomendadas na figura 02 visam, especialmente, as bases de comportamento puramente granular e são ditadas pelo estudo e experiências já realizados sobre o assunto.

Figura 02 – Espessuras de revestimento.

Espessuras Mínimas de Revestimentos Asfálticos		
N (repetições) do ESRD de 80 kN	Tipo de Revestimento	Espessura (mm)
$\leq 10^6$	Tratamentos superficiais	15 a 30
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	CA, PMQ, PMF	50
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto asfáltico	75
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto asfáltico	100
$N \geq 5 \times 10^7$	Concreto asfáltico	125

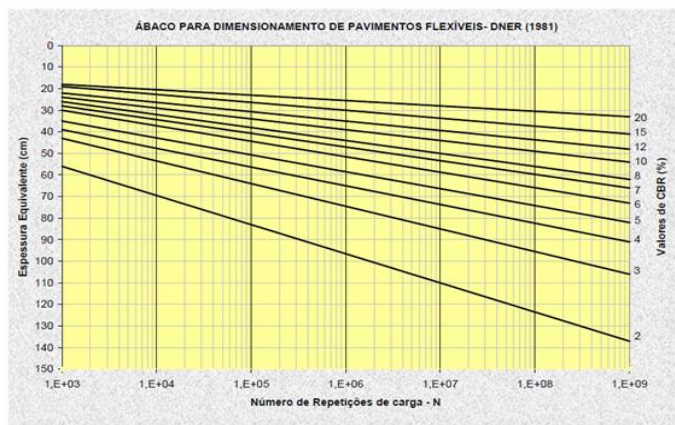
Fonte: Manual de Pavimentação IPR/DNIT –719/2006

Salienta-se que, no caso da adoção de tratamentos superficiais, as bases granulares devem possuir coesão, pelo menos aparente, seja devido à capilaridade ou ao entrosamento de partículas.

## 4.2 Determinação das Espessuras das Camadas

O ábaco na figura 03 apresenta a espessura total do pavimento, em função do número 'N' e do CBR. A espessura fornecida por este ábaco é, em termos de material, com  $K = 1,00$ , isto é, em termos de camada granular. Entrando-se na abscissa com o valor de 'N', procede-se verticalmente até cruzar com a reta representativa da capacidade de suporte – CBR e, procedendo-se horizontalmente, encontra-se, na ordenada, a espessura total do pavimento.

Figura 03 – Ábaco para Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis – DNER (1981).



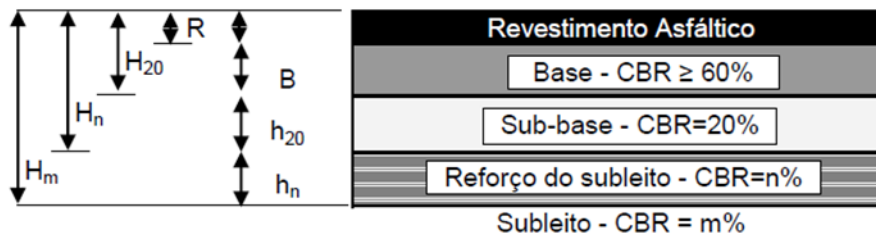
Outro procedimento de obtenção da espessura total do pavimento ( $H_t$ ), em termos de material granular, é por meio da aplicação da equação 04.

$$H_t = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598} \quad (\text{Equação 04})$$

Supõe-se, sempre, que há uma drenagem superficial adequada e que o lençol freático foi rebaixado em, pelo menos, 1,50 m em relação ao greide de regularização projetado.

Na Figura 04, tem-se a simbologia utilizada no dimensionamento do pavimento.

Figura 04 – Estrutura do Pavimento.



Fonte: Manual de Pavimentação IPR/DNIT –719/2006

Ressalta-se que as letras H (maiúsculo) referem-se às espessuras de várias camadas e h (minúsculo) referem-se à espessura de uma única camada, conforme, a seguir:

- $H_m$  = espessura total do pavimento necessária para proteger um material com  $CBR = m\%$ . Observa-se que a espessura  $H_m$  é função do  $CBR$  do subleito ( $m\%$ ).
- $H_n$  = espessura necessária acima do reforço, ou seja, a espessura da sub-base + base + revestimento, para materiais com coeficiente estrutural ( $K$ ) = 1,00.

Os símbolos  $B$  e  $R$  são respectivamente as espessuras da base e do revestimento. Mesmo que o  $CBR$  da sub-base seja superior a 20%, a espessura de pavimento necessária para protegê-la é determinada como se este valor fosse 20% e, por essa razão, usa-se, sempre, os símbolos  $H_{20}$  e  $h_{20}$  (Figura 04) para designar as espessuras de pavimento sobre a sub-base e da sub-base, respectivamente. Assim, para se determinar a espessura  $H_{20}$  utiliza-se o  $CBR$  (sub-base) = 20%, prevalecendo sempre esta condição.

Uma vez determinadas as espessuras  $H_m$ ,  $H_n$  e  $H_{20}$  e a espessura do revestimento, as espessuras da base ( $B$ ), sub-base ( $h_{20}$ ) e reforço do subleito ( $h_n$ ) são obtidas pela resolução sucessiva das seguintes inequações:

- $R_{KR} + B_{KB} \geq H_{20}$  (1)
- $R_{KR} + B_{KB} + h_{20} K_S \geq H_n$  (2)
- $R_{KR} + B_{KB} + h_{20} K_S + h_n K_{Ref} \geq H_m$  (3)

### **Importante:**

- a) Quando o  $CBR$  da sub-base for maior ou igual a 40% e para  $N \leq 10^6$ , admite-se substituir na inequação (1),  $H_{20}$ , por  $0,8 \times H_{20}$ ;
- b) Para  $N > 10^7$ , recomenda-se substituir, na inequação (1),  $H_{20}$  por  $1,2 \times H_{20}$ ;
- c) Nem toda estrutura de pavimento necessitará de material para reforço de subleito;
- d) Quando não forem fornecidas as características dos materiais da base, sub-base e reforço, deve-se utilizar o coeficiente estrutural  $K = 1,0$ . Caso contrário, determiná-lo com a partir da figura 01.

### **4.3 Definição das Espessuras**

Conforme subitem 3.3.1, o número 'N' de projeto adotado é  $N_{USACE} = 6,45 \times 10^6$ .

Dispondo dos Índices de Suporte do subleito, do reforço do subleito e da sub-base, obtém-se, no ábaco da Figura 03, em primeira aproximação, as espessuras necessárias, respectivamente, acima de cada uma destas camadas.

#### 4.3.1 Espessuras das Camadas que Compõem o Pavimento Utilizando o Sistema de Inequações

Figura 05 – Estrutura do Pavimento calculado pelo Método DNER/1981 – Eng. Murillo Lopes

Resolução do Sistema de Inequações	Espressuras Mínima	Espressuras Adotada
$RK_R + BK_B \geq H_{20}$	$B_{\min} = 12,6$ cm	$B = 15,0$ cm
$RK_R + BK_B + h_{20} K_S \geq H_n$	$h_{20 \min} = 9,03$ cm	$h_{20} = 12,0$ cm
$RK_R + BK_B + h_{20} K_S + h_n K_{Ref} \geq H_m$	$h_n \min = -3,0$ cm	$h_n = 0,0$ cm

Resumo da Estrutura do Pavimento					
Capa	7,50	cm	R	$K_R$	REVESTIMENTO
Binder	0,00	cm			
	15,0	cm	B	$K_B$	BASE
	12,0	cm	$h_{20}$	$K_S$	SUB-BASE
	0,0	cm	$h_n$	$K_{Ref}$	REFORÇO DO SUBLEITO

Portanto, a estrutura da VC-383, de acordo com o Método DNER (Eng<sup>o</sup> Murilo Lopes De Souza), deverá ser:

- Revestimento em Concreto Asfáltico Usinado a Quente com 7,5 cm de espessura;
- Base em solo granular terroso (cascalho) com incorporação de 2,0% de cimento Portland CP-II 32 F, compactada a 100% do Proctor Modificado e espessura de 15,0 cm;
- Sub-base em solo granular terroso (cascalho) compactada a 100% do Proctor Intermediário e espessura de 12,0 cm.

#### 5.0 Verificação Mecanicista – Empírica

Para a realização da análise mecanística das soluções de implantação do pavimento da VC-383, foram consideradas as diretrizes constantes da Instrução de Projeto de Pavimentos do DER-SP (IP-DE-P00/001).

A análise mecanística de pavimentos consiste na avaliação das tensões e deformações em pontos específicos da estrutura, provocadas pelo carregamento do tráfego, e na aplicação de modelos de previsão de desempenho.



De acordo com Medina e Motta (2005), no dimensionamento mecânico, parte-se de espessuras admitidas para as camadas do pavimento (como, por exemplo, Método Murilo Lopes – DNIT) e calcula-se o estado de tensões e deformações com o objetivo de comparar com valores limites estabelecidos (admissíveis/projeto).

Para o cálculo das tensões, deformações e deslocamentos na estrutura de pavimento admitida (Método Murilo Lopes) são utilizados programas computacionais (*Elsym5*, AEMC). Os valores obtidos nesta análise computacional são, então, comparados com valores admissíveis calculados por meio dos modelos de fadiga e deformação permanentes disponíveis na literatura (equações estipuladas por meio de estudos), até se chegar a uma estrutura compatível com o tráfego previsto para o período de projeto (10 anos).

De forma geral, adota-se um modelo estrutural para as camadas do pavimento e para o carregamento do tráfego e, com o auxílio do *software* específico AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas (Método Medina – DNIT, disponível gratuitamente no site do IPR/DNIT), são calculadas as tensões e deformações em determinados pontos da estrutura. Os valores calculados são então comparados com valores admissíveis obtidos mediante a aplicação de modelos de previsão de desempenho.

Para pavimentos flexíveis, normalmente são verificados os seguintes critérios:

- 1) Deflexão: verifica-se o deslocamento vertical recuperável na superfície do revestimento;
- 2) Fadiga do revestimento asfáltico: verifica-se a deformação específica horizontal de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico;
- 3) Subleito: verifica-se a deformação específica vertical permanente no topo do solo de fundação.

No caso de pavimentos semirrígidos, além dos critérios listados anteriormente, verifica-se também o problema do trincamento por fadiga na camada de base cimentada, que costuma ser o problema mais crítico neste tipo de pavimento.

De acordo com a instrução de Projeto de Pavimentação do DER/SP (IP-DE-P00/001), as cargas a serem inseridas na análise mecanicista devem simular o eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN (8,2 toneladas), utilizando quatro pontos de aplicação de carga de 20,5 kN (2,05 toneladas) cada e pressão de contato pneu pavimento de 0,560 MPa (5,60 kgf/cm<sup>2</sup>).

Para verificação das tensões e deformações na estrutura do pavimento foram tomados dois pontos de análise, nas seguintes posições:

- (X=0 cm; Y=0 cm);
- (X=17 cm; Y=0 cm);

Na tabela 04, é apresentada a relação entre o ponto analisado e o tipo de defeito que se deseja avaliar na estrutura do pavimento.

Tabela 04 – Pontos Analisados/Defeitos

Localização do Ponto	Resultado de Interesse	Defeito Avaliado
Topo da superfície da camada de revestimento	Deslocamento/Deflexão (D)	Trincamento do revestimento por fadiga
Fibra inferior da camada de revestimento	Tensão ou deformação de tração ( $\sigma_t$ e $\epsilon_t$ )	Trincamento do revestimento por fadiga
Fibra inferior da camada de base cimentada	Tensão de deformação de tração (Base cimentada.) – ( $\sigma_t$ e $\epsilon_t$ )	Trincamento da camada de base cimentada por fadiga
Topo da superfície da camada de subleito	Tensão ou deformação vertical de compressão ( $\sigma_v$ e $\epsilon_v$ )	Deformação permanente

Nesta análise, foi utilizado o programa computacional AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas que integra o Novo Método Dimensionamento Nacional (MeDiNa), o qual está em vias de ser oficializado pelo DNIT. Trata-se de um programa desenvolvido com base na teoria das camadas elásticas e no método das diferenças finitas. Neste tipo de modelagem, os valores dos módulos de resiliência dos materiais (MR) são constantes, isto é, não variam com o estado de tensões aplicado.

Para a presente análise, foi considerada a modelagem do tipo elástico linear e as camadas como aderidas.

Para a seleção dos modelos de avaliação de desempenho considerados nas análises, foram utilizadas as orientações da instrução de Projeto de Pavimentação do DER/SP (IP-DE-P00/001). Assim, foram selecionados os seguintes modelos:

**a) Deslocamento vertical recuperável (Deflexão) –  $D_{adm}$  em 0,01 mm**

O deslocamento vertical recuperável máximo da superfície do pavimento que também é denominado deflexão.

Para a verificação deste critério, foram consideradas as equações dos métodos DNER-PRO 011/79 e DNER-PRO 269/94, conforme equações 05 e 06.

– DNER-PRO 011/79:

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \times \log N^{(USACE)} \quad (\text{Equação 05})$$

N = número equivalente de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN acumulado para o período de projeto (10 anos), segundo a metodologia USACE;

$D_{adm}$  = deflexão admissível, em 0,01 mm.

**b) Deformação Específica de Tração ( $\epsilon_t$ ) na Fibra Inferior da Camada de Concreto Asfáltico**

$$N = K \times (1/\epsilon_t)^n \text{ (Equação 07)}$$

Onde:

N: número equivalente de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN acumulado para o período de projeto (10 anos);

$\epsilon_t$ : deformação específica horizontal na tração;

K e n: coeficientes determinados por regressões lineares.

– FHWA (1976):

$$N = 1,092 \times 10^{-6} \times (1/\epsilon_t)^{3,512} \text{ (Equação 08)}$$

**c) Para a base ou sub-base de solo-cimento**

Para a base ou sub-base de Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC), as deformações horizontais de tração,  $\epsilon_t$ , ou tensões horizontais de tração,  $\sigma_t$ , na fibra inferior da camada de BGTC, causadas pelos carregamentos na superfície dos pavimentos, podem causar sua ruptura por fadiga se forem excessivas. Para a análise mecânica recomenda-se utilização de equação de fadiga quanto à flexão de misturas de BGTC desenvolvida por Balbo (1993), apresentada a seguir:

$$N = 10^{(17,137 - 19,608 \times SR)} \text{ (Equação 04)}$$

Onde:

N: número equivalente de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN acumulado para o período de projeto (Utilizar o  $N_{USACE}$ );

SR: relação entre tensões de tração na fibra inferior da camada cimentada e a resistência a tração na flexão do material aos 28 dias. Com:  $SR = \frac{\sigma_t}{f_{ctk}} \therefore f_{ctk} = 10 \text{ kgf/cm}^2$ .

Deve-se considerar que o número “N” resultante é o obtido pela metodologia da USACE.

**d) Deformação específica vertical de compressão no topo do subleito**

Para análise da deformação específica vertical de compressão atuante no topo do subleito, foram consideradas as equações definidas por *Dormon & Metcalf* (1965) e *Shell* (1985), constante da Instrução de Pavimentação do DER-SP, conforme equações 12, 13, 14 e 15.

$$N = K \times (1/ \varepsilon_v)^n \quad (\text{Equação 12})$$

– *Dormon & Metcalf* (1965):

$$N = 6,069 \times 10^{-10} \times (1/ \varepsilon_v)^{4,762} \quad (\text{Equação 13})$$

Sendo:

N = número equivalente de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 KN acumulado para o período de projeto, segundo metodologia do USACE;

$\varepsilon_v$  = deformação específica permanente de compressão no topo do subleito.

## 5.1 Parâmetros de Resistência dos Materiais

O cálculo das tensões e deformações atuantes na estrutura do pavimento, resultantes da aplicação das cargas solicitantes, exige o conhecimento das características elásticas dos materiais, como módulo de resiliência (MR) e coeficiente de *Poisson* ( $\nu$ ).

Estes parâmetros podem ser obtidos por meio da realização de ensaios de laboratório específicos para os materiais constituintes das camadas do pavimento (Módulo de Resiliência para Solos e Misturas Asfálticas). Entretanto, como ainda não se dispõem dos referidos ensaios para os materiais indicados para a estrutura do pavimento, os valores dos módulos de resiliência e coeficientes de *Poisson* foram obtidos mediante consulta a valores típicos disponíveis em fontes bibliográficas.

A instrução de Projeto de Pavimentação do DER/SP apresenta alguns valores típicos de coeficientes de *Poisson*, conforme tabela 06.

Tabela 06 – Valores usuais de coeficiente de Poisson

Material	Intervalo de Valores de Coeficiente de Poisson	Valor Recomendado de Coeficiente Poisson
Concreto de Cimento Portland	0,10 – 0,20	0,15
Materiais Est. com Cimento	0,15 – 0,30	0,20
Misturas Asfálticas	0,15 – 0,45	0,30
Misturas Granulares	0,30 – 0,40	0,36
Solos do Subleito	0,30 – 0,50	0,40

Fonte: Instrução de Projeto – IP-DE-P00/001 – Rev. A

Na instrução de Projeto de Pavimentação do DER/SP, também são apresentados valores típicos de módulo de resiliência (ou elasticidade) para os materiais das camadas de pavimentos, conforme tabela 07.

Tabela 07 – Valores usais de módulo de resiliência ou elasticidade

<b>Materiais</b>	<b>Intervalo de Valores de Módulos de Resiliência (MPa)</b>
<b>Concretos Asfálticos</b>	
Revestimento (CAP 50-70)	2000 - 5000
Revestimento (CAP 30 - 45)	2500 - 4500
Binder (CAP 50-70)	2000 - 3000
Binder (CAP 30 - 45)	2500 - 4000
<b>Materiais Granulares</b>	
Brita Graduada	150 - 300
Macadame Hidráulico	250 - 450
<b>Materiais Estabilizados. Quimicamente</b>	
Solo-cimento	5000 - 10000
Brita Graduada Tratada com Cimento	7000 - 18000
Concreto Compactado com Rolo	7000 - 22000
Concreto de Cimento Portland	30000 - 35000
Solos Finos em Base e Sub-base	150 - 300
<b>Solos Finos em Subleito e Reforço do Subleito</b>	
Solos de Comportamento Laterítico LA, La', LG'	100 - 200
Solos de Comportamento não Laterítico	25 - 75
Solos Finos Melhorados com Cimento para Reforço de Subleito	200 - 400
Concreto de Cimento Portland	28000 - 45000

Fonte: Instrução de Projeto – IP-DE-P00/001 – Rev. A

Para os solos do subleito, a instrução de Projeto de Pavimentação do DER/SP recomenda as seguintes correlações entre módulo de resiliência e capacidade de suporte ISC:

– Solos lateríticos arenosos (LA') e lateríticos argilosos (LG'):

$$MR = 22 \times ISC^{0,8} \text{ (MPa)} \quad (\text{Equação 16})$$

Para a presente análise, será considerada a primeira expressão referente a solos de comportamento laterítico para a determinação do módulo de resiliência do subleito a partir do valor de ISC. Tal consideração foi baseada nos boletins de sondagem e ensaios geotécnicos do solo do subleito, que nos mostra a existência de plasticidade e os baixos resultados de expansão, que são indicativos de solos lateríticos argilosos de Brasília.

Assim, considerando a correlação aplicável a solos lateríticos, tem-se o seguinte valor de módulo de resiliência do subleito para os trechos:

$$ISC = 12,0\%$$

$$MR_{\text{subleito}} = 22 \times 12^{0,8} \approx \mathbf{160 \text{ MPa}}$$

Para o material da camada de sub-base constituído por solo granular terroso com comportamento laterítico e compactado na energia intermediária, foram adotadas as correlações contidas na Instrução de Projeto – IP-DE-P00/001 – Rev. A, conforme equação 19.

SUB-BASE	GRANULAR	$E_{REF} = 18,0(CBR_{SB})^{0,64} \times 3 \sqrt{\frac{3CBR_{SL}}{CBR_{SB}}}$
----------	----------	--

$$MR_{\text{subl-base}} = \mathbf{148 \text{ MPa}}$$

Base com material granular terroso “In natura”

Para o material da camada de base, constituída por material granular terroso (cascalho), compactada na energia modificada, foi utilizada a equação apresentada por Heukelon e Klomp (1962) e Nazaal (2003), chegando-se ao seguinte Módulo de Resiliência:

$$MR_{\text{base}} = 10,34 \times 50,6 = \mathbf{523,0 \text{ MPa}}$$

Base com material granular terroso “In natura” com incorporação de 2,0% de cimento Portland CP-II 32 F.

Para o material da camada de base, constituída por material granular terroso (cascalho), com adição de 2,0% de cimento Portland CP-II 32 F, compactada na energia modificada, foi utilizada a equação apresentada por Heukelon e Klomp (1962) e Nazaal (2003), chegando-se ao seguinte Módulo de Resiliência:

$$MR_{base} = 10,34 \times 120,4 = \mathbf{1244 \text{ MPa}}$$

A favor da segurança será utilizado o Módulo de Resiliência com valor igual a 1000 MPa.

Na tabela 08, encontram-se os valores dos parâmetros de módulos de resiliência e coeficientes de *Poisson* considerados nas análises realizadas no *software* AEMC.

Tabela 08 – Módulos de Resiliência e Coeficientes de *Poisson*

Camada	Material	Módulo de Resiliência (MPa)	Coefficiente de Poisson ( $\nu$ )
Revestimento	CAUQ	3500	0,30
Base	Material Granular Terroso (Cascalho) “In natura”	523	0,35
Base	Material Granular Terroso (Cascalho) c/ adição de 2,0% de Cimento CP-II 32 F	1000	0,20
Base	Brita Graduada Simples (BGS)	220	0,35
Base	Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC)	7500	0,25
Sub-base	Material Granular Terroso (Cascalho)	148	0,36
Subleito	Argila/Material Granular Terroso (Cascalho)	160	0,40

A seguir, são apresentados os resultados das análises mecânicas para as estruturas de pavimento da VC-383.

## 6.0 Verificações das Soluções de Dimensionamento.

### 6.1 Solução de Dimensionamento 01 – Camada de Base em Material Granular Terroso (Cascalho) com adição de Cimento.

Iniciaremos a análise com a estrutura de pavimento obtida através da aplicação do Método DNER – Eng. Murillo Lopes. Devido a demonstração através de ensaios geotécnicos que o Material Granular Terroso (Cascalho) “in natura”, proveniente da Jazida Terra Nova, não atende aos critérios de capacidade de suporte, preconizado nas especificações técnicas vigentes, para a camada de base, iniciaremos a presente análise mecânica compondo a camada de base, com Material Granular Terroso com adição de 2,0% de Cimento Portland CP-II 32 F, em massa. A estrutura de pavimento a ser avaliada:

- **Camada de Revestimento:** CAUQ Faixa C - CAP 50/70, camada de rolamento com  $e = 7,5$  cm;
- **Camada de Base:** Material Granular Terroso (Cascalho) + 2,0% de Cimento Portland) com  $e = 15,0$  cm;
- **Camada de Sub-Base:** Material Granular Terroso (Cascalho) com  $e = 12,0$  cm.
- **Camada de Subleito**

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA							
N USACE	6,45E+06						
N AASHTO	3,64E+06						
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA Estrutura 09' Base com Cimento							
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Poisson			
Revestimento	CAUQ (FAIXA C)	7,50	35000	0,30			
Base	Mat Gran Ter + 2,0% Cimento	15,00	10000	0,20			
Sub-base	Mat Gran Terroso	12,00	1480	0,36			
Subleito	Argila/Mat Gran Terroso	Infinita	1600	0,40			
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO							
Autor	Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Et	Verificação
FHWA (1976)	1976	1,092E-06	3,512	3,64E+06	2,72E-04	3,04E-04	Reprovado
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO							
Autor	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Ev	Verificação
Dormon & Metcalf	1965	6,069E-10	4,762	6,45E+06	4,31E-04	1,84E-04	Aprovado
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO							
Procedimento	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante AEMC Daemc	Verificação
DNER - PRO 11/79	1979	3,01	0,176	6,45E+06	64,79	44,55	Aprovado
Previsão de Desempenho							
5,42E+07					USACE		
2,46E+06					AASHTO		4,35E+06
3,72E+08					USACE		



Diante dos resultados apresentados acima, verificou-se que a estrutura dimensionada pelo Método DNER/1981 – Eng. Murillo Lopes, não atendeu, quando avaliado pelo Método Mecanicista Empírico, aos critérios de: deformação específica de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico.

Com isso, prosseguimos com a verificação mecânica, por tentativa com a seguinte estrutura de pavimento:

- **Camada de Revestimento:** CAUQ Faixa C - CAP 50/70, camada de rolamento com e = 8,0 cm;
- **Camada de Base:** Material Granular Terroso (Cascalho) + 2,0% de Cimento Portland) com e = 17,0 cm;
- **Camada de Sub-Base:** Material Granular Terroso (Cascalho) com e = 17,0 cm.
- **Camada de Subleito**

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA							
N USACE	6,45E+06						
N AASHTO	3,64E+06						
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA Estrutura 11' Base com Cimento							
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Poisson			
Revestimento	CAUQ (FAIXA C)	8,00	35000	0,30			
Base	Mat Gran Ter + 2,0% Cimento	17,00	10000	0,20			
Sub-base	Mat Gran Terroso	17,00	1480	0,36			
Subleito	Argila/Mat Gran Terroso	Infinita	1600	0,40			
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO							
Autor	Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Et	Verificação
FHWA (1976)	1976	1,092E-06	3,512	3,64E+06	2,72E-04	2,83E-04	Reprovado
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO							
Autor	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Ev	Verificação
Dormon & Metcalf	1965	6,069E-10	4,762	6,45E+06	4,31E-04	1,52E-04	Aprovado
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO							
Procedimento	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante AEMC Daemc	Verificação
DNER - PRO 11/79	1979	3,01	0,176	6,45E+06	64,79	42,93	Aprovado
Previsão de Desempenho							
6,69E+07					USACE		
3,16E+06					AASHTO		5,60E+06 USACE
9,23E+08					USACE		

Diante dos resultados apresentados acima, verificou-se que a estrutura apresentada, não atendeu, quando avaliado pelo Método Mecanicista Empírico, aos critérios de: deformação específica de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico.

Com isso, prosseguimos com a verificação mecanística, por tentativa com a seguinte estrutura de pavimento:

- **Camada de Revestimento:** CAUQ Faixa C - CAP 50/70, camada de rolamento com  $e = 7,5$  cm;
- **Camada de Base:** Material Granular Terroso (Cascalho) + 2,0% de Cimento Portland) com  $e = 20,0$  cm;
- **Camada de Sub-Base:** Material Granular Terroso (Cascalho) com  $e = 20,0$  cm.
- **Camada de Subleito**

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA								
N USACE	6,45E+06							
N AASHTO	3,64E+06							
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA Estrutura 04								
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Poisson				
Revestimento	CBUQ (FAIXA C)	7,50	35000	0,30				
Base	Cascalho com 2% de cimento	20,00	10000	0,20				
Sub-base	Cascalho	20,00	1480	0,36				
Reforço								
Subleito	Argila	Infinita	1600	0,40				
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO								
Autor	Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Et	Verificação	
FHWA (1976)	1976	1,092E-06	3,512	3,64E+06	2,72E-04	2,63E-04	Aprovado	
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO								
Autor	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Ev	Solicitante AEMC Ev	Verificação	
Dormon & Metcalf	1965	6,069E-10	4,762	6,45E+06	4,31E-04	1,29E-04	Aprovado	
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO								
Procedimento	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante AEMC Daemc	Verificação	
DNER - PRO 11/79	1979	3,01	0,176	6,45E+06	64,79	40,9	Aprovado	
4 - PREVISÃO DE DESEMPENHO								
					8,76E+07	USACE		
					4,09E+06	AASHTO	7,24E+06	USACE
					2,02E+09	USACE		

Diante dos resultados apresentados acima, verificou-se que a estrutura apresentada atendeu, quando avaliado pelo Método Mecanicista Empírico.

## 6.2 Solução de Dimensionamento 02 – Camada de Base em Brita Graduada Simples - BGS.

Serão apresentadas as análises realizadas com a base composta por Brita Graduada Simples – BGS e a sub-base em composta com material granular terroso (cascalho). A estrutura de pavimento a ser avaliada:

- **Camada de Revestimento:** CAUQ Faixa C - CAP 50/70, camada de rolamento com  $e = 9,5$  cm;
- **Camada de Base:** Brita Graduada Simples (BGS) com  $e = 20,0$  cm;
- **Camada de Sub-Base:** Material Granular Terroso (Cascalho) com  $e = 20,0$  cm.
- **Camada de Subleito**

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA							
N USACE	6,45E+06						
N AASHTO	3,64E+06						
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA Estrutura 07' Base BGS							
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Poisson			
Revestimento	CAUQ (FAIXA C)	9,50	35000	0,30			
Base	BGS	20,00	220	0,35			
Sub-base	Mat Gran Terroso	20,00	1480	0,36			
Subleito	Argila/Mat Gran Terroso	Infinita	1600	0,40			
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO							
Autor	Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Et	Verificação
FHWA (1976)	1976	1,092E-06	3,512	3,64E+06	2,72E-04	2,75E-04	Reprovado
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO							
Autor	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Ev	Verificação
Dormon & Metcalf	1965	6,069E-10	4,762	6,45E+06	4,31E-04	1,11E-04	Aprovado
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO							
Procedimento	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante AEMC Daemc	Verificação
DNER - PRO 11/79	1979	3,01	0,176	6,45E+06	64,79	45,47	Aprovado
Previsão de Desempenho							
4,82E+07	USACE						
3,49E+06	AASHTO	6,19E+06	USACE				
4,12E+09	USACE						

Diante dos resultados apresentados acima, verificou-se que a estrutura apresentada, não atendeu, quando avaliado pelo Método Mecanicista Empírico, aos critérios de: deformação específica de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico.

Com isso, prosseguimos com a verificação mecanística, por tentativa com a seguinte estrutura de pavimento:

- **Camada de Revestimento:** CAUQ Faixa C - CAP 50/70, camada de rolamento com  $e = 10,0$  cm;
- **Camada de Base:** Brita Graduada Simples (BGS) com  $e = 18,0$  cm;
- **Camada de Sub-Base:** Material Granular Terroso (Cascalho) com  $e = 18,0$  cm.
- **Camada de Subleito**

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA							
N USACE	6,45E+06						
N AASHTO	3,64E+06						
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA Estrutura 08' Base BGS							
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Poisson			
Revestimento	CAUQ (FAIXA C)	10,00	35000	0,30			
Base	BGS	18,00	220	0,35			
Sub-base	Mat Gran Terroso	18,00	1480	0,36			
Subleito	Argila/Mat Gran Terroso	Infinita	1600	0,40			
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO							
Autor	Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Et	Verificação
FHWA (1976)	1976	1,092E-06	3,512	3,64E+06	2,72E-04	2,70E-04	Aprovado
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO							
Autor	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Ev	Verificação
Dormon & Metcalf	1965	6,069E-10	4,762	6,45E+06	4,31E-04	1,17E-04	Aprovado
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO							
Procedimento	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante AEMC Daemc	Verificação
DNER - PRO 11/79	1979	3,01	0,176	6,45E+06	64,79	44,61	Aprovado
Previsão de Desempenho							
5,38E+07					USACE		
3,73E+06					AASHTO		6,60E+06 USACE
3,21E+09					USACE		

Diante dos resultados apresentados acima, verificou-se que a estrutura apresentada atendeu, quando avaliado pelo Método Mecanicista Empírico.

### 6.3 Solução de Dimensionamento 03 – Camada de Base com Brita Graduada Tratada com Cimento - BGTC.

Serão apresentadas as análises realizadas com a base composta por Brita Graduada Tratada com Cimento – BGTC e a sub-base em composta com material granular terroso (cascalho). A estrutura de pavimento a ser avaliada:

- **Camada de Revestimento:** CBUQ Faixa C - CAP 50/70, camada de rolamento com e = 7,0 cm;
- **Camada de Base:** Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC) com e = 16,0 cm;
- **Camada de Sub-Base:** Material Granular Terroso (Cascalho) com e = 13,0 cm;
- **Camada de Subleito**

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA							
N USACE	6,45E+06						
N AASHTO	3,64E+06						
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA 18' - BGTC							
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Poisson			
Revestimento	CAUQ FAIXA C	7,00	35000	0,30			
Base	BGTC	16,00	75000	0,25			
Sub-base	Cascalho	13,00	1480	0,36			
Subleito	Argila	Infinita	1600	0,40			
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO							
Autor	Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Et	Verificação
FHWA (1976)	1976	1,092E-06	3,512	3,64E+06	2,72E-04	3,24E-05	Aprovado
2 - TENSÃO DE TRAÇÃO NA FIBRA INFERIOR DA CAMADA CIMENTADA (BGTC)							
Autor	Ano	N Projeto (USACE)	σt Tensão na Flexão de Ruptura (kgf/cm <sup>2</sup> )	σt Tensão Admissível (kgf/cm <sup>2</sup> )	σt Tensão Atuante/AEMC (kgf/cm <sup>2</sup> )	Verificação	
Balbo	1993	6,45E+06	10	5,27	5,51	Reprovado	
3 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO							
Autor	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Ev	Solicitante AEMC Ev	Verificação
Dormon & Metcalf	1965	6,069E-10	4,762	6,45E+06	4,31E-04	1,56E-04	Aprovado
4 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO							
Procedimento	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante AEMC Et	Verificação
DNER - PRO 11/79	1979	3,01	0,176	6,45E+06	64,79	18,82	Aprovado
5 - PREVISÃO DE DESEMPENHO							
7,25E+09					USACE		
6,39E+09					AASHTO		1,13E+10 USA 26
8,16E+08					USACE		

Diante dos resultados apresentados acima, verificou-se que a estrutura apresentada, não atendeu, quando avaliado pelo Método Mecanicista Empírico, aos critérios de: deformação específica de tração na fibra inferior da camada cimentada.

Com isso, prosseguimos com a verificação mecânica, por tentativa com a seguinte estrutura de pavimento:

- **Camada de Revestimento:** CBUQ Faixa C - CAP 50/70, camada de rolamento com  $e = 7,0$  cm;
- **Camada de Base:** Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC) com  $e = 17,0$  cm;
- **Camada de Sub-Base:** Material Granular Terroso (Cascalho) com  $e = 14,0$  cm;
- **Camada de Subleito**

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA							
N USACE	6,45E+06						
N AASHTO	3,64E+06						
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA 19' - BGTC							
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Poisson			
Revestimento	CAUQ FAIXA C	7,00	35000	0,30			
Base	BGTC	17,00	75000	0,25			
Sub-base	Cascalho	14,00	1480	0,36			
Subleito	Argila	Infinita	1600	0,40			
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO							
Autor	Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Et	Verificação
FHWA (1976)	1976	1,092E-06	3,512	3,64E+06	2,72E-04	3,11E-05	Aprovado
2 - TENSÃO DE TRAÇÃO NA FIBRA INFERIOR DA CAMADA CIMENTADA (BGTC)							
Autor	Ano	N Projeto (USACE)	$\sigma_t$ Tensão na Flexão de Ruptura (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_t$ Tensão Admissível (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_t$ Tensão Atuante/AEMC (kgf/cm <sup>2</sup> )	Verificação	
Balbo	1993	6,45E+06	10	5,27	5,18	Aprovado	
3 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO							
Autor	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Ev	Solicitante AEMC Ev	Verificação
Dormon & Metcalf	1965	6,069E-10	4,762	6,45E+06	4,31E-04	1,44E-04	Aprovado
4 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO							
Procedimento	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante AEMC Et	Verificação
DNER - PRO 11/79	1979	3,01	0,176	6,45E+06	64,79	18,22	Aprovado
5 - PREVISÃO DE DESEMPENHO							
8,71E+09					USACE		
7,37E+09					AASHTO		1,31E+10 USACE
1,19E+09					USACE		

Diante dos resultados apresentados acima, verificou-se que a estrutura apresentada atendeu, quando avaliado pelo Método Mecanicista Empírico.

## 7. Serviços e Normativas.

### 7.1 Estrutura Aprovada – Camada de Base em Material Granular Terroso (Cascalho) com adição de Cimento.

<b>Estrutura Aprovada</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>– <b>Camada de Revestimento:</b> CAUQ Faixa C - CAP 50/70, camada de rolamento com e = 7,5 cm;</li><li>– <b>Camada de Base:</b> Material Granular Terroso (Cascalho) + 2,0% de Cimento Portland) com e = 20,0 cm;</li><li>– <b>Camada de Sub-Base:</b> Material Granular Terroso (Cascalho) com e = ,0 cm.</li><li>– <b>Camada de Subleito</b></li></ul>
<b>Serviços a serem executados e Normativas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Executar camada de subleito com 60,0 cm de espessura, sendo 03 camadas de 20,0 cm cada uma, compactadas na Energia Intermediária com GC <math>\geq</math> 100,0%, com ISC <math>\geq</math> 12,0%, conforme a Especificação DNIT 108/2009-ES;</li><li>- Executar camada de sub-base com 20,0 cm de espessura, em Material Granular Terroso (Cascalho), compactada na Energia Intermediária com GC <math>\geq</math> 100,0%, ISC <math>\geq</math> 20,0% conforme a Especificação DNIT 139/2010-ES;</li><li>- Executar camada de base com 20,0 cm de espessura, em Material Granular Terroso (Cascalho) + 2,0% de Cimento Portland CP-II 32 F, com ISC <math>\geq</math> 80,0%, compactada na Energia Modificada com GC <math>\geq</math> 100,0%, conforme a Especificação DNIT 142/2010-ES, com exceção do subitem 5.3.1 letra c);</li><li>- Execução de Imprimação com Emulsão Asfáltica Imprimante (EAI), taxa de aplicação de 0,9 a 1,3 l/m<sup>2</sup>, conforme Especificação DNIT 144/2014 – ES.</li><li>- Executar Pintura de Ligação, com emulsão asfáltica diluída com água com proporção de 1:1, tipo RR-1C, taxa de aplicação de 0,8 a 1,0 l/m<sup>2</sup> e taxa residual entre 0,4 e 0,5 l/m<sup>2</sup>, conforme Especificação DNIT 145/2014 – ES.</li><li>- Executar 4,0 cm de CAUQ Faixa C – CAP 50/70, camada de ligação em toda a plataforma, conforme Especificação DNIT 031/2006 – ES;</li><li>- Executar Pintura de Ligação, com emulsão asfáltica diluída com água com proporção de 1:1, tipo RR-1C, taxa de aplicação de 0,8 a 1,0 l/m<sup>2</sup> e taxa residual entre 0,4 e 0,5 l/m<sup>2</sup>.</li><li>- Executar 3,5 cm de CAUQ Faixa C - CAP 50/70, nas faixas de rolamento;</li></ul>

## 7.2 Estrutura Aprovada – Camada de Base em Brita Graduada Simples (BGS).

<b>Estrutura Aprovada</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>– <b>Camada de Revestimento:</b> CAUQ Faixa C - CAP 50/70, camada de rolamento com e = 10,0 cm;</li><li>– <b>Camada de Base:</b> Brita Graduada Simples (BGS) com e = 18,0 cm;</li><li>– <b>Camada de Sub-Base:</b> Material Granular Terroso (Cascalho) com e = 18,0 cm.</li><li>– <b>Camada de Subleito</b></li></ul>
<b>Serviços a serem executados e Normativas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Executar camada de subleito com 60,0 cm de espessura, sendo 03 camadas de 20,0 cm cada uma, compactadas na Energia Intermediária com <math>GC \geq 100,0\%</math>, com <math>ISC \geq 12,0\%</math>, conforme a Especificação DNIT 108/2009-ES;</li><li>- Executar camada de sub-base com 18,0 cm de espessura, em Material Granular Terroso (Cascalho), compactada na Energia Intermediária com <math>GC \geq 100,0\%</math>, <math>ISC \geq 20,0\%</math> conforme a Especificação DNIT 139/2010-ES;</li><li>- Executar camada de base em Brita Graduada Simples (BGS), com <math>ISC \geq 100\%</math>, com espessura de 18,0 cm, sendo compactada na Energia Modificada com Grau de Compactação <math>\geq 100\%</math>, de acordo com a Especificação Técnica do DER-SP – ET-DE-P00/008 – Jul/2005 – Rev. A.</li><li>- Execução de Imprimação com Emulsão Asfáltica Imprimante (EAI), taxa de aplicação de 0,9 a 1,3 l/m<sup>2</sup>, conforme Especificação DNIT 144/2014 – ES.</li><li>- Executar Pintura de Ligação, com emulsão asfáltica diluída com água com proporção de 1:1, tipo RR-1C, taxa de aplicação de 0,8 a 1,0 l/m<sup>2</sup> e taxa residual entre 0,4 e 0,5 l/m<sup>2</sup>, conforme Especificação DNIT 145/2014 – ES.</li><li>- Executar 5,0 cm de CAUQ Faixa C – CAP 50/70, camada de ligação em toda a plataforma;</li><li>- Executar Pintura de Ligação, com emulsão asfáltica diluída com água com proporção de 1:1, tipo RR-1C, taxa de aplicação de 0,8 a 1,0 l/m<sup>2</sup> e taxa residual entre 0,4 e 0,5 l/m<sup>2</sup>.</li><li>- Executar 5,0 cm de CAUQ Faixa C – CAP 50/70, nas faixas de rolamento.</li></ul>



### 7.3 Estrutura Aprovada – Camada de Base com Brita Graduada Tratada com Cimento - BGTC.

<b>Estrutura Aprovada</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>– <b>Camada de Revestimento:</b> CBUQ Faixa C - CAP 50/70, camada de rolamento com e = 7,0 cm;</li><li>– <b>Camada de Base:</b> Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC) com e = 17,0 cm;</li><li>– <b>Camada de Sub-Base:</b> Material Granular Terroso (Cascalho) com e = 14,0 cm;</li><li>– <b>Camada de Subleito</b></li></ul>
<b>Serviços e Especificações</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Executar camada de subleito com 60,0 cm de espessura, sendo 03 camadas de 20,0 cm cada uma, compactadas na Energia Intermediária com GC <math>\geq</math> 100,0%, com ISC <math>\geq</math> 12,0%, conforme a Especificação DNIT 108/2009-ES;</li><li>- Executar camada de sub-base com 14,0 cm de espessura, em Material Granular Terroso (Cascalho), compactada na Energia Intermediária com GC <math>\geq</math> 100,0%, ISC <math>\geq</math> 20,0% conforme a Especificação DNIT 139/2010-ES;</li><li>- Executar camada de base em Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC), com teor de cimento variando de 4,0 a 5,0%, em massa, com espessura de 17,0 cm, sendo compactada na Energia Intermediária com Grau de Compactação <math>\geq</math> 100%, tendo como base a Especificação Técnica do DER-SP – ET-DE-P00/009 – Jul/2005 – Rev. A. A Resistência a Compressão Simples Axial aos 07 dias de 3,5 MPa, aos 28 dias de 5,0 MPa. Resistência a Tração por Compressão Diametral de 1,0 MPa, aos 28 dias.</li><li>- A cura deverá ser realizada com banho de emulsão asfáltica tipo RR-1C, taxa de aplicação de 0,6 a 0,8 l/m<sup>2</sup>, com taxa residual <math>\geq</math> 0,3%, conforme Especificação DNIT 145/2014 – ES;</li><li>- Executar Tratamento Superficial Duplo (TSD), com emulsão asfáltica modificada por polímero - SBS, tipo RR-1C-E, conforme Especificação DNER 392/99 – ES. Sugerimos que a distribuição dos agregados pétreos e da emulsão, sejam realizadas por meio de caminhão distribuidor;</li><li>- Executar Pintura de Ligação, com emulsão asfáltica diluída com água com proporção de 1:1, tipo RR-1C, taxa de aplicação de 0,8 a 1,0 l/m<sup>2</sup> e taxa residual entre 0,4 e 0,5 l/m<sup>2</sup>, conforme Especificação DNIT 145/2014 – ES.</li><li>- Executar camada de 4,0 cm de CAUQ Faixa C – CAP 50/70, camada de ligação em toda a plataforma, conforme Especificação DNIT 031/2006 – ES;</li></ul>

- Executar Pintura de Ligação, com emulsão asfáltica diluída com água com proporção de 1:1, tipo RR-1C, taxa de aplicação de 0,8 a 1,0 l/m<sup>2</sup> e taxa residual entre 0,4 e 0,5 l/m<sup>2</sup>.
- Executar camada de 3,0 cm de CAUQ Faixa C - CAP 50/70, nas faixas de rolamento;

Portanto, após as verificações mecânicas, conclui-se que as três estruturas apresentadas no dimensionamento pelo método DNER atendem critérios exigidos para um bom desempenho desta rodovia. Assim, sugerimos em favor da facilidade do material na região, por tanto mais próximo a rodovia, a seguinte estrutura de pavimento:

- Revestimento em CAUQ Faixa C - CAP 50/70, camada de rolamento com e = 7,5 cm;
- Camada de Base: Material Granular Terroso (Cascalho) + 2,0% de Cimento Portland) com e = 20,0 cm;
- Camada de Sub-base: Material Granular Terroso (Cascalho) com e = 20,0 cm.

*OBS: Pela análise mecânica, não há necessidade de reforço no dimensionamento desta rodovia.*

## **8.0 Serviços de Terraplenagem**

### **8.1 Aterros**

Os aterros serão construídos de acordo com a especificação DNIT 108/2009-ES. O material será obtido de cortes e/ou de caixas de empréstimo/bota-espera, conforme indicado em projeto, e compactado com grau mínimo de 100% do método DNER-ME 129/94 (energia normal), sendo as últimas três camadas, com espessura de 20 cm cada, compactadas com grau mínimo de 100% do método DNER-ME 129/94 (energia intermediária).

Nos aterros com altura de até 0,30 m, serão executados serviços de escavação do subleito e posterior enchimento com material selecionado de modo a se obter, no mínimo, três camadas com espessuras de 20 cm cada, e grau de compactação não inferior a 100% do método DNER-ME 129/94 (energia intermediária).

As caixas de empréstimo/bota-espera deverão ser localizadas, preferencialmente, dentro da faixa de domínio ao longo da rodovia, ou em locais específicos definidos em projeto (pela Diretoria de Meio Ambiente – DIMAM/SUTEC) e obedecer à especificação DNIT 107/2009-ES, bem como, no que se refere à sua recuperação ambiental.

### **8.2 Cortes**

Deverão ser executados de acordo com a especificação DNIT 106/2009-ES. O material obtido será transportado para utilização em aterro ou depositado em locais (bota-fora) determinados pela fiscalização ou conforme projeto de terraplenagem. Os bota-foras deverão ser recuperados, ambientalmente, conforme especificado.

Nos cortes cujo material apresentar CBR < 10% (energia normal) para o **primeiro trecho** e CBR < 20% para o **segundo trecho**, serão executados serviços de escavação do subleito e posterior enchimento com material selecionado, de modo a se obter no mínimo três camadas com espessuras de 20 cm cada e grau de compactação não inferior a 100% do método DNER-ME 129/94 (energia intermediária).

### 8.3 Caixas de Empréstimo/ Bota-Espera

A execução das caixas de empréstimo/bota-espera deverá obedecer à Especificação DNIT 107/2009-ES e ao que se referem os cuidados ambientais descritos anteriormente.

### 8.4 Serviços De Pavimentação

Serão realizados serviços de pavimentação para a implantação de faixas de rolamento e acostamento.

Em alguns serviços de pavimentação, será adotada, sem prejuízo das demais especificações atinentes a cada uma das camadas, a avaliação das mesmas por meio da *Viga Benkelman*, de acordo com o método DNER-ME 24/94, que deverá apresentar valores inferiores àqueles valores máximos admissíveis relativos a cada uma, considerado um grau de confiabilidade de 90%.

#### 8.4.1 Subleito: Corpo de Aterro e Camada Final

O corpo de aterro, segundo a definição da Norma DNIT 108/2009-ES, é a parte do aterro situada sobre o terreno natural até 0,60 m abaixo da cota correspondente ao greide de terraplenagem do projeto. O material constituinte desta camada deverá apresentar capacidade de suporte com  $ISC \geq 2,0\%$  e expansibilidade menor ou igual a 4,0%. Ainda, deverá apresentar um grau de compactação igual ou superior a 100%, na energia de compactação normal.

A camada final, segundo a definição da Norma DNIT 108/2009-ES, é a parte do aterro constituída de material selecionado, com 60 cm de espessura, sendo dividida em três camadas de 20 cm cada uma, assentada sobre o corpo de aterro ou sobre o terreno remanescente de um corte e cuja superfície é definida pelo greide de terraplenagem. O material constituinte desta camada deverá apresentar capacidade de suporte com  $ISC \geq 10\%$  para o **primeiro trecho** e  $ISC \geq 20\%$  para o **segundo trecho** e expansibilidade menor ou igual a 2,0%. Ainda, deverá apresentar grau de compactação igual ou superior a 100%, na energia de compactação intermediária.

A deflexão recuperável, a ser obtida sobre a superfície acabada da camada final de subleito, deverá apresentar um valor máximo de 90 centésimos de milímetros.

#### 8.4.2 Sub-Base

Executar camada de sub-base com 18,0 cm de espessura, em Material Granular Terroso (Cascalho), compactada na Energia Intermediária com  $GC \geq 100,0\%$ ,  $ISC \geq 20,0\%$  conforme a Especificação DNIT 139/2010-ES e Ensaio de Índice de Suporte Califórnia – ISC – Norma DNER-ME 49/94. A deflexão recuperável, a ser obtida sobre a superfície acabada da camada final de sub-base, deverá apresentar um valor máximo de 80 centésimos de milímetros.

### 8.4.3 Base em Material Granular (Cascalho)

Executar camada de base com 18,0 cm de espessura, em Material Granular Terroso (Cascalho) + 2,0% de Cimento Portland CP-II 32 F, com  $ISC \geq 80,0\%$ , compactada na Energia Modificada com  $GC \geq 100,0\%$ , conforme a Especificação DNIT 142/2010-ES, com exceção do subitem 5.3.1 letra c). A deflexão recuperável, a ser obtida sobre a superfície acabada da base, deverá apresentar um valor máximo de 70 centésimos de milímetros.

### 8.4.4 Imprimação

Sobre a superfície de base acabada e devidamente liberada pelo DER/DF, será feita imprimação com emulsão asfáltica tipo EAI, em conformidade com a norma DNIT 165/2013-EM, bem como qualquer outro parâmetro descrito na Norma DNIT 144/2014-ES, a qual deverá ser seguida, em sua totalidade, à taxa de aplicação de 0,9 a 1,3 l/m<sup>2</sup> (definida em ensaios *In Situ*).

### 8.4.5 Revestimento (CAUQ)

Pintura de ligação que deverá ser executada conforme especificação DNIT 145/2010-ES, com emulsão asfáltica RR-1C, diluída em água na proporção de 1:1, aplicando-se a mistura, numa taxa residual, no mínimo 0,40 l/m<sup>2</sup> (a taxa de aplicação de emulsão diluída é da ordem de 0,8 l/m<sup>2</sup> a 1,0 l/m<sup>2</sup>).

Executar 4,0 cm de CAUQ Faixa C – CAP 50/70, camada de ligação em toda a plataforma, conforme Especificação DNIT 031/2006 – ES;

Executar Pintura de Ligação, com emulsão asfáltica diluída com água com proporção de 1:1, tipo RR-1C, taxa de aplicação de 0,8 a 1,0 l/m<sup>2</sup> e taxa residual entre 0,4 e 0,5 l/m<sup>2</sup>.

Executar 4,0 cm de CAUQ Faixa C - CAP 50/70, nas faixas de rolamento;

## 9.0 Conclusão

A seguir, é apresentado o resumo do dimensionamento do pavimento, respeitando as espessuras e o ISC mínimo:

- Revestimento em CAUQ Faixa C - CAP 50/70, camada de rolamento com  $e = 8,0$  cm;
- Camada de Base: Material Granular Terroso (Cascalho) + 2,0% de Cimento Portland) com  $e = 18,0$  cm;
- Camada de Sub-base: Material Granular Terroso (Cascalho) com  $e = 18,0$  cm.

Brasília-DF, 23 de setembro de 2020.



**Eng. Civil Paulo Robert Santos Machado**

CREA 18774/D-DF

ANEXO A  
**Estudo de Tráfego**

ANEXO B

**Estudo de Subleito**

ANEXO C

**Cálculo do Número N**

ANEXO D

**Estudos Caixas de Empréstimo**



ANEXO E

**Informações Jazida Terra Nova**