



**DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO DISTRITO FEDERAL – DER/DF
SUPERINTENDÊNCIA TÉCNICA – SUTEC
DIRETORIA DE TECNOLOGIA – DITEC
GERÊNCIA DE GEOTECNIA – GETEC**

Projeto de Pavimentação da Rodovia Distrital DF-220, trecho compreendido entre a BR-080 e a DF-001 (EPCT).

**Brasília-DF
Fevereiro de 2022**

Sumário

1.0	Objetivo.....	7
2.0	Introdução.....	8
3.0	Atividades desenvolvidas.....	8
3.1	Levantamentos de campo	9
3.1.1	Estudo de Tráfego.....	9
3.1.2	Estudo do Subleito	9
3.1.3	Estudo de Ocorrências (Caixas de Empréstimo e Jazidas.....	10
3.2	Análise dos dados coletados.....	11
3.2.1	Cálculo do Número N de Solicitações.....	11
3.2.2	Número N – USACE e AASHTO.....	11
3.3	Estudo do Subleito.....	21
3.3.1	Definição do Índice de Suporte do Subleito – ISC	
Método DNER (1981).....		22
3.4	Estudos de Estabilização para a Camada de Sub-base.....	25
3.5	Estudos de Estabilização para a Camada de Base.....	27
4.0	Dimensionamento do Pavimento pelo Método Murilo Lopes de	
	Sousa – DNER 1981.....	30
4.1	Coeficiente de Equivalência Estrutural e Espessuras das Camadas.....	30
4.2	Determinação das Espessuras das Camadas.....	33
4.3	Definição das Espessuras.....	35
4.3.1	Espessuras das Camadas que Compõem o Pavimento	
Utilizando o Sistema de Inequações.....		35
5.0	Parâmetros Mecânicos para o Pavimento da Rodovia DF-220.....	36
5.1	Parâmetros de Resistência dos Materiais.....	42
6.0	Verificação Mecânica das Soluções de Dimensionamento.....	47

6.1 Solução com Camada de Base composta por misturas de: solo granular terroso (cascalho) + 3,0% de Cimento Portland CP-32 F e 30,0% de material terroso + 70,0% de Brita Nº 0 (zero) + 3,0% de Cimento Portland CP-32 F e Concreto Asfáltico Convencional	47
6.2 Solução com Camada de Base composta por Brita Graduada Simples – BGS e Concreto Asfáltico Convencional	51
6.3 Solução com Camada de Base composta por Brita Graduada Tratada com Cimento – BGTC e Concreto Asfáltico Convencional	53
7.0 Resumo das Soluções de Pavimento – DF-220.....	55
7.1 Base composta por misturas de: solo granular terroso (cascalho) + 3,0% de Cimento Portland CP-32 F e 30,0% de material terroso + 70,0% de Brita Nº 0 (zero) + 3,0% de Cimento Portland CP-32 F e CAUQ Convencional – Intervenções Necessárias – DF-220.....	55
7.2 Base em Brita Graduada Simples (BGS) e CAUQ Convencional – Intervenções Necessárias – DF-220.....	58
7.3 Base em BGTC e CAUQ Convencional – Intervenções Necessárias – DF-220.....	60
8.0 Camada Anti-Reflexão de Trincas (CART) em Tratamento Superficial Duplo (TSD).....	62

ANEXOS:

A – Estudo de Tráfego

B – Boletins de Sondagem

C – Solo Melhorado com Cal – Sub-base e Estabilização Química – Camada de Base (Solo Melhorado com Cimento Portland)

D – Complementação de Estudo da Camada de Base

E – Mapa de Localização das Caixas de Empréstimo

F – Coordenadas das Caixas de Empréstimo

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Quantidades de veículos comerciais de carga.....	11
Tabela 2 – Tipos de Veículos Comerciais e Quantidade de Eixos.....	12
Tabela 3 – Percentuais de cada tipo de veículo.....	13
Tabela 4 – Fatores de Equivalência de Carga: AASHTO e USACE.....	14
Tabela 5 – Fator de Veículos USACE – 65% com Carregamento Máximo Legal.....	15
Tabela 6 – Fator de Veículos – USACE – 10% Vazios (sem carga).....	16
Tabela 7 – Fator de Veículos - USACE – 25% Carregado com excesso de peso (tolerância de 12,5%).....	16
Tabela 8 – Número N – USACE.....	17
Tabela 9 – Fator de Veículos – AASHTO – 65% com Carregamento Máximo Legal.....	18
Tabela 10 – Fator de Veículos - AASHTO – 10% Vazios (sem carga).....	19
Tabela 11 – Fator de Veículos – AASHTO – 25% Carregado com excesso de peso (tolerância de 12,5%.....	19
Tabela 12 – Número N – AASHTO.....	20
Tabela 13 – Principais Características Geotécnicas	22
Tabela 14 – Valores de IS em Função do Índice de Grupo.....	23
Tabela 15 – Índice de Suporte do Subleito.....	24
Tabela 16 – Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Sub-base (NULSO/DER-DF).....	25
Tabela 17 – Índice de Suporte Califórnia – Camada de Base (NULSO/DER-DF).....	27
Tabela 18 – Índice de Suporte Califórnia – Camada de Base (NULSO/DER-DF).....	29
Tabela 19 – Coeficiente de Equivalência Estrutural	31
Tabela 20 – Espessuras de revestimento.....	32
Tabela 21 – Alguns valores de Coeficientes de Equivalência Estrutural para sub-base granular e reforço de subleito.....	32
Tabela 22 – Pontos Analisados/Defeitos.....	39
Tabela 23 – Valores Usuais de Coeficiente de Poisson.....	42
Tabela 24 – Valores Típicos de Módulos de Resiliência.....	43
Tabela 25 – Estimativas dos Módulos de Resiliência.....	44
Tabela 26 – Resumo dos Módulos Utilizados para esta Análise – DF-220.....	47
Tabela 27 – Verificação Mecânica – DF-220 – Eng. Murillo Lopes de Souza – Material Terroso Melhorado com Cimento e CAUQ Convencional.....	48
Tabela 28 – Verificação Mecânica – DF-220 – Base em Material Terroso Melhorado com Cimento e CAUQ Convencional.....	49

Tabela 29 – Verificação Mecanística – DF-220 – Base em Material Terroso	
Melhorado com Cimento e CAUQ Convencional – Aprovada.....	50
Tabela 30 – Verificação Mecanística – DF-220 – Base em BGS –	
CAUQ Convencional.....	51
Tabela 31 – Verificação Mecanística – DF-220 – Base em BGS –	
CAUQ Convencional – Aprovada.....	52
Tabela 32 – Verificação Mecanística – DF-220 – Base em BGTC –	
CAUQ Convencional.....	53
Tabela 33 – Verificação Mecanística – DF-220 – Base em BGTC –	
CAUQ Convencional – Aprovada.....	54
Tabela 34 – Intervenções Necessárias – DF-220 – Base em Solo Melhorado	
com Cimento Portland e CAUQ Convencional.....	55
Tabela 35 – Intervenções Necessárias – DF-220 – Base em BGS e	
CAUQ Convencional.....	58
Tabela 36 – Intervenções Necessárias – DF-220 – Base em BGTC e	
CAUQ Convencional.....	60

Lista de Figuras

Figura 1 – Localização do Trecho a ser Pavimentado.....	7
Figura 2 – Ábaco para Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis - DNER (1981).....	33
Figura 3 – Estrutura do Pavimento.....	34
Figura 4 – Estrutura do Pavimento calculado pelo Método DNER/1981 - Eng. Murillo Lopes de Souza.....	35
Figura 5 – Tipo de Carregamento – Eixo Padrão.....	38

1.0 Objetivo

O presente documento tem como objetivo indicar os parâmetros a serem utilizados para a realização da pavimentação asfáltica da DF-220, no trecho compreendido entre a BR-080 e a DF-001, com extensão aproximada de 15,9 km, onde neste caso será feito um procedimento de Revisão e Adequação do Projeto de Pavimentação de autoria da Empresa Projetista ASTEC Engenharia S/C, contratado pelo DER-DF para o desenvolvimento do Projeto de Pavimentação da referida rodovia no ano de 2004, estas adequações foram motivadas por meio do Despacho DER-DF/DG/SUTEC documento SEI (63902277) - Processo SEI 00113-00009504/2021-60.

Figura 1 – Localização do Trecho a ser Pavimentado



Fonte do Autor

2.0 Introdução

A rodovia DF-220 possui um volume de tráfego médio bidirecional. 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.

A região de interesse onde se localiza o trecho, se apresenta com topografia propícia para culturas de grande produção como soja, amplamente implantada no centro-oeste brasileiro, que torna a DF-220 como um importante corredor para transporte desta produção em veículos pesados, reboques e semirreboques.

Conciliado a este fator, as ligações da malha do Distrito Federal, promove a DF-220 escoamento também de produtos industriais e minerais, como observado no tráfego atual, com transporte de cimento e calcário com veículos pesados.

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 (Foram utilizados os furos de Sondagem da Empresa ASTEC Engenharia S/C Ltda no ano de 2004);
- Estudo de Ocorrências (Caixas de Empréstimos e Jazidas de Material Granular Terroso - Foram utilizados os furos de Sondagem da Empresa ASTEC Engenharia S/C Ltda no ano de 2004).

b) Análise dos Dados Coletados;

c) Verificações Mecanicistas (software AEMC);

d) Soluções Adotadas.

3.1 Levantamentos de Campo

3.1.1 Estudo de Tráfego

A contagem manual foi realizada por técnicos do Núcleo de Pesquisa e Coleta de Dados (NUPCD/SUTRAN/DER-DF), no dia 05/10/2021, no km 11,0; da DF-220. O período de contagem corresponde ao intervalo de 06 h às 12 h e das 14 h às 20 h. A expansão dos dados para 24 horas se dará com a utilização da proporção horária de um equipamento de fiscalização, localizado no quilômetro 127 da DF-001, sentido entrada Vila Basevi. **(Anexo A).**

3.1.2 Estudo do Subleito (Sondagens)

Objetivando a determinação da resistência do material constituinte da camada de subleito, foram aproveitados os estudos de campo e de laboratório realizados pela Empresa ASTEC Engenharia S/C Ltda no ano de 2004, 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 (em laboratório).

Foram realizadas prospecções do subleito em 72 (setenta e dois) pontos, de acordo com o 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)

A Empresa Projetista ASTEC Engenharia S/C Ltda à época contratada pelo DER-DF, realizou ensaios ao longo da rodovia em questão, com o intuito de que o material terroso ensaiado fosse aproveitado para a execução das obras de pavimentação, na Jazida - J-01: Ocorrência de cascalho localizada entre as estacas 0+900 e 1+600 no lado direito, no sentido BR-080 para a DF-001, com estimativa de volume de 65.600,00 m³, de acordo com Volume 3-A, que consta no Projeto de Pavimentação. Mas, foi verificado que jazida estava praticamente toda explorada com volume de material insuficiente para a execução das camadas de sub-base e base, com isso, o NULSO promoveu a realização de furos de sondagem complementares para proceder o estudo do material terroso a fim de que o mesmo componha as camadas do pavimento da rodovia em questão. Com isso, foram delimitadas novas Caixas de Empréstimo, conforme descrito a seguir: Caixa 01 – com início Latitude: 15° 36' 30,044" S e Longitude: 48° 04' 48,259" W e finalizando na coordenada: Latitude: 15° 36' 05,623" S e Longitude: 48° 05' 09,662" W, composta por material terroso – solo fino, lado esquerdo, sentido DF-001/BR-080. Caixa 02 – com início Latitude: 15° 35' 39,355" S e Longitude: 48° 05' 46,899" W e finalizando na coordenada: Latitude: 15° 35' 47,179" S e Longitude: 48° 06' 49,700" W, composta por material terroso – solo fino, lado esquerdo, sentido DF-001/BR-080. Caixa 03 – com início Latitude: 15° 36' 04,702" S e Longitude: 48° 09' 08,478" W e finalizando na coordenada: Latitude: 15° 36' 10,789" S e Longitude: 48° 09' 37,213" W, composta por material terroso – solo fino, lado direito, sentido DF-001/BR-080. Caixa 04 – com início Latitude: 15° 36' 41,597" S e Longitude: 48° 11' 03,109" W e finalizando na coordenada: Latitude: 15° 36' 52,170" S e Longitude: 48° 11' 31,998" W, composta por material granular terroso (cascalho), lado direito, sentido DF-

001/BR-080. Caixa 4.1 – material granular terroso – cascalho, lado esquerdo sentido DF-001/BR-080, esta não poderá ser utilizada na execução dos serviços de pavimentação, pois segundo o Relatório 2, documento SEI (79496479), existe restrição ambiental. (**ANEXO C e D**)

3.2 Análise dos Dados Coletados

3.2.1 Cálculo do Número N de Solicitações

O volume de tráfego coletado pelo NUCPD/SUTRAN/DER-DF abrangeu os períodos de 06 h às 12 h e das 14 h às 20 h, sendo necessária a expansão dos dados para 24 horas, a qual foi realizada pela GESET/SUTRAN/DER-DF por meio da utilização da proporção horária de um equipamento de fiscalização, localizado no quilômetro 127 da DF-001, sentido entrada Vila Basevi. (**Anexo A**).

Pelo estudo da estimativa de crescimento geométrico de tráfego realizado pela GESET/SUTRAN/DER-DF, foi definida a taxa de crescimento geométrico anual de 3,74%.

Com os dados enviados pela GESET/SUTRAN/DER-DF 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).

3.2.2 Número N – USACE e AASHTO

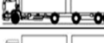
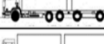
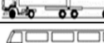
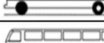
Tabela 1 – Quantidades de veículos comerciais de carga

Médios	Pesados	Semirreboques	Reboques	Ônibus
21	16	12	18	23

Fonte do Autor

De acordo com a contagem de tráfego fornecida pelo Núcleo de Pesquisa e Coleta de Dados (NUPCD), onde os veículos foram separados pelas características de carga e não pela tipologia de cada veículo, diante disto, foram realizadas observações em campo e a critério do Projetista foi feita a seguinte divisão, detalhando os tipos de veículos que serão utilizados, bem como a quantidade de eixos que cada um possui, conforme a tabela abaixo:

Tabela 2 – Tipos de Veículos Comerciais e Quantidade de Eixos

Detalhamento dos Eixos								
Veículos			Quantidade de Eixos					
			ESRS	CED	ESRD	TD	TT	TD(6p)
Médios		2C	1		1			
Pesados		3C	1			1		
		4CD		1		1		
Semi-reboques		2S2	1		1	1		
		2S3	1		1		1	
		3S2	1			2		
		3S3	1			1	1	
		3S3	1			1	1	
Reboques		2C3	1		2	1		
		3C3	1		1	2		
		3D4	1			3		
		2J4	1		3	1		
Ônibus		2CB	1		1			
		3CB	1					1

Fonte do Autor

Com o intuito em dar prosseguimento ao presente Relatório do Projeto de Pavimentação da DF-220, trecho compreendido entre a BR-080 até a DF-001 (EPCT), de maneira a possibilitar o desenvolvimento dos cálculos foi necessário fazer uma divisão percentual de cada tipo de veículo dentro de sua classificação. Com isto, a divisão ficou da seguinte maneira: **Médios: 2C = 100%; Pesados: 3C = 50% e 4CD = 50%; Semirreboques: 2S2 = 15%, 2S3 = 15%, 3S2 = 35% e 3S3 = 35%; Reboques: 2C3 = 35%, 3C3 = 35%, 3D4 = 15% e 2J4 = 15%; Ônibus: 2CB = 80% e 3CB = 20%, conforme a tabela 3.**

Tabela 3 – Percentuais de cada tipo de veículo

Classificação	Veículos	Percentual
Médios	2C	100%
Pesados	3C	50%
	4CD	50%
Semirreboques	2S2	15%
	2S3	15%
	3S2	35%
	3S3	35%
Reboques	2C3	35%
	3C3	35%
	3D4	15%
	2J4	15%
Ônibus	2CB	80%
	3CB	20%

Fonte do Autor

O tráfego é considerado no dimensionamento de pavimentos através do conceito de equivalência de carga, onde se transformam todas as solicitações no número de passagens de um eixo padrão de 8,2 tf, também conhecido como número “N”. Essa transformação normalmente é feita através da aplicação do fator de veículo ao volume previsto para o período de projeto.

Para o cálculo do Número N, necessita-se agrupar todos os eixos pesados em simples, duplos e triplos, para então aplicar os fatores de equivalência de carga, já que esses dependem do tipo de eixo e nível de carga.

As equações de equivalência de carga utilizadas foram aquelas propostas pelo: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) e Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE). Conforme demonstradas a seguir:

Tabela 4 – Fatores de Equivalência de Carga: AASHTO e USACE

AASHTO

Tipos de eixo	Equações (P em tf)
Simples de rodagem simples	$FC = (P / 7,77)^{4,32}$
Simples de rodagem dupla	$FC = (P / 8,17)^{4,32}$
Tandem duplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 15,08)^{4,14}$
Tandem triplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 22,95)^{4,22}$

P = Peso bruto total sobre o eixo

USACE

Tipos de eixo	Faixas de Cargas (t)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 – 8	$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	≥ 8	$FC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 – 11	$FC = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
	≥ 11	$FC = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,464}$
Tandem triplo	0 – 18	$FC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$

P = peso bruto total sobre o eixo

Fonte: DNER PRO 011/1979

- Cálculo do Fator de Veículos (Fv)

O fator de veículos (Fv) é um multiplicador que permite a determinação do número de eixos equivalentes ao eixo padrão a partir do volume de veículos que trafega durante o período de projeto. O fator de veículos é calculado a partir da seguinte expressão:

$$F_v = FE \times FC$$

Onde:

FE = fator de eixo;

FC = fator de equivalência de carga.

Para proceder a composição do fluxo de veículos comerciais de carga na faixa de projeto, o mesmo será dividido em: 65% com carregamento máximo legal, 10% sem carga (vazios) e 25% com excesso de peso (tolerância de 12,5%), de acordo com a Lei Nº 14.229 de 2021. Ressalta-se que o carregamento máximo permitido pela Lei da Balança (Código de Trânsito

Brasileiro - Lei nº 9.053, de 23.09.1997 – Resolução nº 12 de 06/02/1998) é de 6,0 tf no eixo simples dianteiro e de 10,0 tf, 17,0 tf e 25,5 tf para os eixos simples de rodagem dupla, tandem duplo e tandem triplo traseiros, respectivamente. Pode-se então calcular o fator de veículo da amostra através do cálculo dos fatores individuais de veículo, ponderados em função da percentagem de cada um dos tipos de veículos.

- Fator de Veículos – USACE

Tabela 5 – Fator de Veículos USACE – 65% com Carregamento Máximo Legal

Cálculo do FV - USACE (Veículos Carregados) - DF-220										
Veículos		Quantidade de Eixo por Veículo						FV	% de Veículos	FV*%/100
		ESRS	CED	ESRD	TD	TT	TD(6p)			
Médios	2C	0,2779		3,2895				3,5674	23,33	0,8324
Pesados	3C	0,2779			8,5488			8,8267	8,89	0,7846
	4CD		1,2658		8,5488			9,8146	8,89	0,8724
Semi-reboques	2S2	0,2779		3,2895	8,5488			12,1162	2,00	0,2423
	2S3	0,2779		3,2895		9,2998		12,8672	2,00	0,2573
	3S2	0,2779			17,0976			17,3755	4,67	0,8109
	3S3	0,2779			8,5488	9,2998		18,1265	4,67	0,8459
Reboques	2C3	0,2779		6,5789	8,5488			15,4056	7,00	1,0784
	3C3	0,2779		3,2895	17,0976			20,6650	7,00	1,4465
	3D4	0,2779			25,6464			25,9243	3,00	0,7777
	2I4	0,2779		9,8684	8,5488			18,6951	3,00	0,5609
Ônibus	2CB	0,2779		3,2895				3,5674	20,44	0,7293
	3CB	0,2779					2,4148	2,6927	5,11	0,1376
TOTAL								166,0768	100,00	9,3763
65% do Total										6,0946

Fonte do Autor

Tabela 6 – Fator de Veículos – USACE – 10% Vazios (sem carga)

Cálculo do FV - USACE (Veículos Vazios) - DF-220										
Veículos		Quantidade de Eixo por Veículo						FV	% de Veículos	FV*%/100
		ESRS	CED	ESRD	TD	TT	TD(6p)			
Médios	2C	0,0172		0,0431				0,0603	23,33	0,0141
Pesados	3C	0,0172			0,0801			0,0973	8,89	0,0086
	4CD		0,0425		0,0801			0,1226	8,89	0,0109
Semi-reboques	2S2	0,0172		0,0431	0,0801			0,1404	2,00	0,0028
	2S3	0,0172		0,0431		0,1278		0,1880	2,00	0,0038
	3S2	0,0172			0,1602			0,1774	4,67	0,0083
	3S3	0,0172			0,0801	0,1278		0,2250	4,67	0,0105
Reboques	2C3	0,0172		0,0862	0,0801			0,1835	7,00	0,0128
	3C3	0,0172		0,0431	0,1602			0,2205	7,00	0,0154
	3D4	0,0172			0,2403			0,2575	3,00	0,0077
	2I4	0,0172		0,1293	0,0801			0,2266	3,00	0,0068
Ônibus	2CB	0,0172		0,0431				0,0603	20,44	0,0123
	3CB	0,0172					0,0425	0,0597	5,11	0,0031
TOTAL								1,9586	100,00	0,1171
10% do Total										0,0117

Fonte do Autor

Tabela 7 – Fator de Veículos - USACE – 25% Carregado com excesso de peso (tolerância de 12,5%)

Cálculo do FV - USACE (Veículos Carregados - Lei Nº 14.229 de 2021) - DF-220										
Veículos		Quantidade de Eixo por Veículo						FV	% de Veículos	FV*%/100
		ESRS	CED	ESRD	TD	TT	TD(6p)			
Médios	2C	0,4595		7,8839				8,3434	23,33	1,9468
Pesados	3C	0,4595			16,4262			16,8857	8,89	1,5010
	4CD		2,4148		16,4262			18,8410	8,89	1,6748
Semi-reboques	2S2	0,4595		7,8839	16,4262			24,7696	2,00	0,4954
	2S3	0,4595		7,8839		17,9847		26,3282	2,00	0,5266
	3S2	0,4595			32,8524			33,3119	4,67	1,5546
	3S3	0,3833			13,5923	14,1716		28,1473	4,67	1,3135
Reboques	2C3	0,4595		15,7678	16,4262			32,6535	7,00	2,2857
	3C3	0,3833		5,9704	27,1846			33,5383	7,00	2,3477
	3D4	0,4595			49,2786			49,7381	3,00	1,4921
	2I4	0,4595		23,6517	16,4262			40,5374	3,00	1,2161
Ônibus	2CB	0,4595		7,8839				8,3434	20,44	1,7058
	3CB	0,4595					4,6276	5,0871	5,11	0,2600
TOTAL								318,1815	100,00	18,3200
25% do Total										4,5800

Fonte do Autor

FV = FV (65% Carregado) + FV (10% Vazios) + FV (25% Carregado com Tolerância de 12,5%, de acordo com a Lei Nª 14.229 de 2021) = FV = 10,6863

Como o volume de tráfego coletado por técnicos do Núcleo de Pesquisa e Coleta de Dados (NUPCD), aplicando-se a taxa de crescimento geométrico anual de 3,74%, foi considerado que o ano de 2023 será o de abertura da rodovia ao tráfego, devido o prazo para a tramitação do processo de licitação e de conclusão das obras. Sendo que o ano de 2032 será o final do horizonte de projeto.

Seguiu-se, então, com a determinação dos valores do número “N”, para a DF-220, trecho compreendido entre a BR-080 até a DF-001, tendo em vista a metodologia preconizada pela USACE, calculado pela seguinte expressão:

$$N = 365 \times VDM \times F_v \times FR$$

Onde:

N = Número Equivalente de Operações do Eixo Padrão;

VDM = Volume Diário Médio de Tráfego;

Fv = Fator de Veículo;

FR = Fator Climático Regional (FR = 1,0);

Tabela 8 – Número N – USACE

Projeção de Tráfego e Cálculo do Número N - USACE - DF-220																				
Ano	Volume Diário Médio (VDM)													VDM Comer cial	FV	FR	N	N Acumulado		
	Médios		Pesados		Semirreboques				Reboques				Ônibus							
	2C	3C	4CD	2S2	2S3	3S2	3S3	2C3	3C3	3D4	2J4	2CB	3CB							
2021	21	8,0	8,0	1,80	1,80	4,20	4,20	6,30	6,30	2,70	2,70	18,4	4,6	90	10,686	1,0	3,51E+05	3,51E+05		
2022	21,79	8,30	8,30	1,87	1,87	4,36	4,36	6,54	6,54	2,80	2,80	19,09	4,77	93	10,6863	1,0	3,64E+05	7,15E+05		
2023	22,60	8,61	8,61	1,94	1,94	4,52	4,52	6,78	6,78	2,91	2,91	19,80	4,95	97	10,6863	1,0	3,78E+05	1,09E+06		
2024	23,45	8,93	8,93	2,01	2,01	4,69	4,69	7,03	7,03	3,01	3,01	20,54	5,14	100	10,6863	1,0	3,92E+05	1,48E+06		
2025	24,32	9,27	9,27	2,08	2,08	4,86	4,86	7,30	7,30	3,13	3,13	21,31	5,33	104	10,6863	1,0	4,07E+05	1,89E+06		
2026	25,23	9,61	9,61	2,16	2,16	5,05	5,05	7,57	7,57	3,24	3,24	22,11	5,53	108	10,6863	1,0	4,22E+05	2,31E+06		
2027	26,18	9,97	9,97	2,24	2,24	5,24	5,24	7,85	7,85	3,37	3,37	22,93	5,73	112	10,6863	1,0	4,38E+05	2,75E+06		
2028	27,15	10,34	10,34	2,33	2,33	5,43	5,43	8,15	8,15	3,49	3,49	23,79	5,95	116	10,6863	1,0	4,54E+05	3,20E+06		
2029	28,17	10,73	10,73	2,41	2,41	5,63	5,63	8,45	8,45	3,62	3,62	24,68	6,17	121	10,6863	1,0	4,71E+05	3,68E+06		
2030	29,22	11,13	11,13	2,50	2,50	5,84	5,84	8,77	8,77	3,76	3,76	25,61	6,40	125	10,6863	1,0	4,89E+05	4,16E+06		
2031	30,32	11,55	11,55	2,60	2,60	6,06	6,06	9,10	9,10	3,90	3,90	26,56	6,64	130	10,6863	1,0	5,07E+05	4,67E+06		
2032	31,45	11,98	11,98	2,70	2,70	6,29	6,29	9,44	9,44	4,04	4,04	27,56	6,89	135	10,6863	1,0	5,26E+05	5,20E+06		

Fonte do Autor

Para o ano de 2023 – Ano de Abertura:

$$\underline{\text{NUSACE} = 1,09 \times 10^6}$$

Para o ano de 2032 – Horizonte de Projeto:

$$\underline{\text{NUSACE} = 5,20 \times 10^6}$$

Fator de Veículos – AASHTO

Tabela 9 – Fator de Veículos – AASHTO – 65% com Carregamento Máximo Legal

Cálculo do FV - AASHTO (Veículos Carregados) - DF-220										
Veículos		Quantidade de Eixo por Veículo						FV	% de Veículos	FV*%/100
		ESRS	CED	ESRD	TD	TT	TD(6p)			
Médios	2C	0,3273		2,3944				2,7218	23,33	0,6351
Pesados	3C	0,3273			1,6424			1,9697	8,89	0,1751
	4CD		0,3884		1,6424			2,0307	8,89	0,1805
Semi-reboques	2S2	0,3273		2,3944	1,6424			4,3642	2,00	0,0873
	2S3	0,3273		2,3944		2,1453		4,8670	2,00	0,0973
	3S2	0,3273			3,2848			3,6121	4,67	0,1686
	3S3	0,3273			1,6424	2,1453		4,1150	4,67	0,1920
Reboques	2C3	0,3273		4,7888	1,6424			6,7586	7,00	0,4731
	3C3	0,3273		2,3944	3,2848			6,0065	7,00	0,4205
	3D4	0,3273			4,9272			5,2545	3,00	0,1576
	2J4	0,3273		7,1833	1,6424			9,1530	3,00	0,2746
Ônibus	2CB	0,3273		2,3944				2,7218	20,44	0,5564
	3CB	0,3273					0,6324	0,9597	5,11	0,0491
TOTAL								51,8129	100,0	3,4672
65% do Total										2,2537

Fonte do Autor

Tabela 10 – Fator de Veículos - AASHTO – 10% Vazios (sem carga)

Cálculo do FV - AASHTO (Veículos Vazios) - DF-220										
Veículos		Quantidade de Eixo por Veículo						FV	% de Veículos	FV*%/100
		ESRS	CED	ESRD	TD	TT	TD(6p)			
Médios	2C	0,0164		0,1199				0,1363	23,33	0,0318
Pesados	3C	0,0164			0,0220			0,0384	8,89	0,0034
	4CD		0,0104		0,0220			0,0324	8,89	0,0029
Semi-reboques	2S2	0,0164		0,1199	0,0220			0,1583	2,00	0,0032
	2S3	0,0164		0,1199		0,0192		0,1555	2,00	0,0031
	3S2	0,0164			0,0441			0,0604	4,67	0,0028
	3S3	0,0164			0,0220	0,0192		0,0577	4,67	0,0027
Reboques	2C3	0,0164		0,2398	0,0220			0,2782	7,00	0,0195
	3C3	0,0164		0,1199	0,0441			0,1803	7,00	0,0126
	3D4	0,0164			0,0661			0,0825	3,00	0,0025
	2J4	0,0164		0,3596	0,0220			0,3981	3,00	0,0119
Ônibus	2CB	0,0164		0,1199				0,1363	20,44	0,0279
	3CB	0,0164					0,0104	0,0267	5,11	0,0014
TOTAL								1,6048	100,00	0,1256
10% do Total										0,0126

Fonte do Autor

Tabela 11 – Fator de Veículos – AASHTO – 25% Carregado com excesso de peso (tolerância de 12,5%)

Cálculo do FV - AASHTO (Veículos Carregados - Lei 14.229 de 2021) - DF-220										
Veículos		Quantidade de Eixo por Veículo						FV	% de Veículos	FV*%/100
		ESRS	CED	ESRD	TD	TT	TD(6p)			
Médios	2C	0,5621		4,3794				4,9415	23,33	1,1530
Pesados	3C	0,5621			2,6890			3,2511	8,89	0,2890
	4CD		0,6324		2,6890			3,3215	8,89	0,2952
Semi-reboques	2S2	0,5621		4,3794	2,6890			7,6306	2,00	0,1526
	2S3	0,5621		4,3794		2,5690		7,5105	2,00	0,1502
	3S2	0,5621			5,3781			5,9402	4,67	0,2772
	3S3	0,4626			2,3308	2,1453		4,9386	4,67	0,2305
Reboques	2C3	0,5621		8,7588	2,6890			12,0100	7,00	0,8407
	3C3	0,4626		3,6142	4,6616			8,7384	7,00	0,6117
	3D4	0,5621			8,0671			8,6292	3,00	0,2589
	2J4	0,5621		13,1382	2,6890			16,3894	3,00	0,4917
Ônibus	2CB	0,5621		4,3794				4,9415	20,44	1,0103
	3CB	0,5621					4,6276	5,1897	5,11	0,2653
TOTAL		TOTAL						88,4907	100,00	6,0262
25% do Total										1,5066

Fonte do Autor

FV = FV (65% Carregado) + FV (10% Vazios) + FV (25% Carregado com Tolerância de 12,5%, de acordo com a Lei N^a 14.229 de 2021) = FV = 3,7728

Seguiu-se, então, com a determinação dos valores do número “N”, para a DF-220, tendo em vista a metodologia preconizada pela AASHTO:

Tabela 12 – Número N – AASHTO

Projeção de Tráfego e Cálculo do Número N - AASHTO - DF-220																				
Ano	Volume Diário Médio (VDM)													VDM Come rcial	FV	FR	N	N Acumulado		
	Médios		Pesados		Semi Reboques				Reboques				Ônibus							
	2C	3C	4CD	2S2	2S3	3S2	3S3	2C3	3C3	3D4	2J4	2CB	3CB							
2021	21	8,0	8,0	1,80	1,80	4,20	4,20	6,30	6,30	2,70	2,70	18,4	4,6	90	3,7728	1,0	1,24E+05	1,24E+05		
2022	21,79	8,30	8,30	1,87	1,87	4,36	4,36	6,54	6,54	2,80	2,80	19,09	4,77	93	3,7728	1,0	1,29E+05	2,53E+05		
2023	22,60	8,61	8,61	1,94	1,94	4,52	4,52	6,78	6,78	2,91	2,91	19,80	4,95	97	3,7728	1,0	1,33E+05	3,86E+05		
2024	23,45	8,93	8,93	2,01	2,01	4,69	4,69	7,03	7,03	3,01	3,01	20,54	5,14	100	3,7728	1,0	1,38E+05	5,24E+05		
2025	24,32	9,27	9,27	2,08	2,08	4,86	4,86	7,30	7,30	3,13	3,13	21,31	5,33	104	3,7728	1,0	1,44E+05	6,68E+05		
2026	25,23	9,61	9,61	2,16	2,16	5,05	5,05	7,57	7,57	3,24	3,24	22,11	5,53	108	3,7728	1,0	1,49E+05	8,17E+05		
2027	26,18	9,97	9,97	2,24	2,24	5,24	5,24	7,85	7,85	3,37	3,37	22,93	5,73	112	3,7728	1,0	1,54E+05	9,71E+05		
2028	27,15	10,34	10,34	2,33	2,33	5,43	5,43	8,15	8,15	3,49	3,49	23,79	5,95	116	3,7728	1,0	1,60E+05	1,13E+06		
2029	28,17	10,73	10,73	2,41	2,41	5,63	5,63	8,45	8,45	3,62	3,62	24,68	6,17	121	3,7728	1,0	1,66E+05	1,30E+06		
2030	29,22	11,13	11,13	2,50	2,50	5,84	5,84	8,77	8,77	3,76	3,76	25,61	6,40	125	3,7728	1,0	1,72E+05	1,47E+06		
2031	30,32	11,55	11,55	2,60	2,60	6,06	6,06	9,10	9,10	3,90	3,90	26,56	6,64	130	3,7728	1,0	1,79E+05	1,65E+06		
2032	31,45	11,98	11,98	2,70	2,70	6,29	6,29	9,44	9,44	4,04	4,04	27,56	6,89	135	3,7728	1,0	1,86E+05	1,83E+06		

Fonte do Autor

Para o ano de 2023 – Ano de Abertura:

$$\underline{\mathbf{N_{AASHTO} = 3,86 \times 10^5}}$$

Para o ano de 2032 – Horizonte de Projeto:

$$\underline{\mathbf{N_{AASHTO} = 1,83 \times 10^6}}$$

Para trabalhar a favor da segurança no dimensionamento do pavimento da DF-220, será adotado o valor do número de repetições **N_{USACE} = 5,20 x 10⁶**.

3.3 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) Ensaio 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 Normal 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 13 – Principais Características Geotécnicas

Camada	ISC	Expansão	IG	LL	IP	Faixa Granulométrica
Base	> 60% ⁽¹⁾	< 0,5%	--	≤ 25% ou EA > 30%	≤ 6,0% ou EA > 30%	A, B, C ou D ⁽¹⁾
	> 80% ⁽²⁾					E ou F ⁽²⁾
Sub-Base	> 20%	≤ 1,0%	0	--	--	--
Subleito	> ISC _{SL}	≤ 1,0%	≤ IG _{SL}	--	--	--
Observações: EA = Equivalente de Areia						
⁽¹⁾ Para N ≤ 5 x 10 ⁶						
⁽²⁾ Para N > 5 x 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)

3.3.1 Definição do Índice de Suporte do Subleito – ISC (Método DNER/1981)

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.

Buscando uma maior segurança, a norma recomenda utilizar o Índice de Suporte (*IS*), que é um *CBR* corrigido em função do Índice de Grupo (*IG*), conforme expressão a seguir:

$$IS = \frac{IS_{CBR} + IS_{IG}}{2}$$

Onde:

IS_{CBR} = índice de suporte numericamente igual ao Índice de Suporte Califórnia (obtido em ensaio e dado em %)

IS_{IG} = índice de suporte derivado do índice de grupo (*IG*), correspondendo, praticamente, a uma inversão de escala em relação ao *IG*, fazendo com que solos de boa qualidade tenham os maiores valores de IS_{IG} , conforme tabela 02.

Tabela 14- Valores de *IS* em função do Índice de Grupo

Valores do CBR_{IG} em função do IG.	
Índice de grupo (I.G.)	Índice de suporte (C.B.R. _{IG})
0	20
1	18
2	15
3	13
4	12
5	10
6	9
7	8
8	7
9 a 10	6
11 a 12	5
13 a 14	4
15 a 17	3
18 a 20	2

Fonte: Manual de Pavimentação DNIT IPR 719/2006

Impõe-se a condição de que o Índice de Suporte seja, no máximo, igual ao ISC, ou seja, quando o cálculo do *IS* resultar num índice maior que o *ISC*, adota-se o valor do *ISC*, como Índice de Suporte, ou seja:

$$IS \leq CBR$$

Diante do que o método impõe e com intuito de um melhor suporte ao pavimento, foram feitas análises estatísticas dos resultados das sondagens feitas no subleito da rodovia em questão, chegando-se aos seguintes valores de Índice de Suporte do subleito:

Tabela 15 – Índice de Suporte do Subleito

DF-220 - Trecho BR-080/DF-001									
EIXO PRINCIPAL									
ORDEM	Estaca Atual	IG	LL	IP	EXP (%)	ISC (IG)	ISC (Laboratório)	IS=[IS(IG)+IS(LAB)]/2 OU ISC LAB	Situação
1	0+100	9	43,0	9,0	0,04%	6	18,00	12,00	
2	0+300	1	38,0	10,0	0,07%	18	19,00	18,50	
3	0+700	1	41,0	11,0	0,17%	18	48,00	33,00	
4	1+100	1	39,0	10,0	0,07%	18	53,00	35,50	
5	1+700	1	43,0	9,0	0,53%	18	23,00	20,50	
6	1+900	9	44,0	9,0	0,50%	6	20,00	13,00	
7	2+100	9	46,0	7,0	0,79%	6	19,00	12,50	
8	2+300	9	47,0	10,0	0,40%	6	23,00	14,50	
9	2+500	9	45,0	9,0	0,51%	6	22,00	14,00	
10	2+700	9	44,0	10,0	0,37%	6	19,00	12,50	
11	2+900	9	45,0	10,0	0,41%	6	18,00	12,00	
12	3+500	9	43,0	9,0	0,06%	6	19,00	12,50	
13	3+700	9	45,0	10,0	0,09%	6	16,00	11,00	
14	3+900	9	43,0	9,0	0,11%	6	16,00	11,00	
15	4+100	9	45,0	8,0	0,05%	6	17,00	11,50	
16	4+300	9	44,0	10,0	0,14%	6	19,00	12,50	
17	4+500	9	43,0	9,0	0,16%	6	21,00	13,50	
18	4+700	9	46,0	10,0	0,11%	6	22,00	14,00	
19	4+900	9	44,0	9,0	0,22%	6	20,00	13,00	
20	5+100	9	43,0	9,0	0,08%	6	26,00	16,00	
21	5+300	9	44,0	11,0	0,14%	6	23,00	14,50	
22	5+500	9	45,0	11,0	0,25%	6	18,00	12,00	
23	5+700	11	44,0	11,0	0,42%	5	20,00	12,50	
24	5+900	9	45,0	9,0	0,30%	6	16,00	11,00	
25	6+100	10	38,0	10,0	0,07%	6	20,00	13,00	
26	6+300	8	41,0	10,0	0,15%	7	22,00	14,50	
27	6+500	9	43,0	11,0	0,61%	6	22,00	14,00	
28	6+700	9	44,0	10,0	0,25%	6	20,00	13,00	
29	6+900	9	44,0	9,0	0,33%	6	17,00	11,50	
30	7+100	9	47,0	10,0	0,70%	6	24,00	15,00	
31	7+300	9	45,0	10,0	0,58%	6	17,00	11,50	
32	7+500	9	44,0	9,0	0,28%	6	20,00	13,00	
33	7+700	9	45,0	11,0	0,15%	6	16,00	11,00	
34	7+900	9	46,0	11,0	0,14%	6	22,00	14,00	
35	8+100	9	46,0	10,0	0,12%	6	16,00	11,00	
36	8+300	9	46,0	10,0	0,08%	6	24,00	15,00	
37	8+500	9	45,0	11,0	0,08%	6	20,00	13,00	
38	8+700	9	47,0	10,0	0,08%	6	21,00	13,50	
39	8+900	9	46,0	11,0	0,10%	6	21,00	13,50	
40	9+100	9	46,0	10,0	0,08%	6	24,00	15,00	
41	9+300	9	46,0	11,0	0,12%	6	20,00	13,00	
42	9+500	10	49,0	11,0	0,15%	6	20,00	13,00	
43	9+700	9	46,0	10,0	0,16%	6	18,00	12,00	
44	9+900	9	46,0	9,0	0,13%	6	19,00	12,50	
45	10+100	10	48,0	10,0	0,18%	6	21,00	13,50	
46	10+300	10	48,0	11,0	0,19%	6	22,00	14,00	
47	10+500	9	46,0	10,0	0,05%	6	18,00	12,00	
48	10+700	9	45,0	11,0	0,20%	6	18,00	12,00	
49	10+900	9	45,0	10,0	0,11%	6	23,00	14,50	
50	11+100	9	43,0	9,0	0,09%	6	19,00	12,50	
51	11+300	9	43,0	9,0	0,06%	6	21,00	13,50	
52	11+500	9	46,0	11,0	0,11%	6	19,00	12,50	
53	11+700	9	43,0	9,0	0,08%	6	25,00	15,50	
54	11+900	9	43,0	10,0	0,11%	6	21,00	13,50	
55	12+100	9	46,0	11,0	0,41%	6	23,00	14,50	
56	12+300	9	46,0	9,0	0,13%	6	21,00	13,50	
57	12+500	9	46,0	11,0	0,14%	6	23,00	14,50	
58	12+700	9	45,0	9,0	0,20%	6	22,00	14,00	
59	12+900	9	46,0	9,0	0,17%	6	21,00	13,50	
60	13+100	9	43,0	10,0	0,18%	6	24,00	15,00	
61	13+300	9	46,0	10,0	0,13%	6	23,00	14,50	
62	13+500	9	46,0	10,0	0,15%	6	22,00	14,00	
63	13+700	9	46,0	11,0	0,12%	6	21,00	13,50	
64	13+900	9	45,0	11,0	0,14%	6	23,00	14,50	
65	14+100	9	46,0	11,0	0,07%	6	19,00	12,50	
66	14+300	9	44,0	10,0	0,08%	6	23,00	14,50	
67	14+500	8	42,0	9,0	0,12%	7	25,00	16,00	
68	14+700	9	44,0	11,0	0,09%	6	24,00	15,00	
69	14+900	8	39,0	8,0	0,05%	7	25,00	16,00	
70	15+100	8	37,0	7,0	0,06%	7	27,00	17,00	
71	15+300	8	38,0	9,0	0,10%	7	23,00	15,00	
72	15+500	9	43,0	9,0	0,15%	6	24,00	15,00	
73	15+700	9	46,0	10,0	0,07%	6	23,00	14,50	
MÉDIA		8,58	44,29	9,84	0,19%			73	
		ISC - MÉDIO						14,18	
		ISC - DESVIO PADRÃO						3,79	
		Xmáx						17,44	
		Xmin						10,93	
		ISC - SUGERIDO						11,00	

Fonte do Autor

A partir dos resultados das análises estatísticas do subleito, será adotado como Índice de Suporte Califórnia – ISC – do Subleito para o desenvolvimento dos cálculos da estrutura do pavimento o valor igual a **11,0%**.

3.4 Estudos de Estabilização para a Camada de Sub-base

Quando um solo não tem as características geotécnicas exigidas para suportar a obra projetada, principalmente quanto à sua resistência, torna-se necessário corrigi-lo ou substituí-lo por outro, com a adição ou subtração de componentes, ou com a ação de agentes químicos (orgânicos ou inorgânicos). A escolha da técnica deve ser baseada na economia e ainda na finalidade da obra.

Com o propósito de complementar os ensaios geotécnicos de campo, foram realizados ensaios pelo NULSO, com o material das caixas de empréstimo (01, 02 e 03 e parte da 04) nas regiões lindeiras à rodovia em questão, localizadas na faixa de domínio, estas foram indicadas pela Diretoria de Meio Ambiente (DIMAM), diante disto, foi realizada a estabilização química com Cal Hidratada CH-I, nos percentuais de: 3,0; 4,0 e 5,0%. Onde podem ser verificados os resultados dos ensaios de Índice de Suporte Califórnia de acordo com o apresentado através da Tabela 16, a seguir), e os valores da Expansibilidade variaram de 0,00 a 0,07%, portanto, em acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT, Publicação IPR-719/2006.

Tabela 16 – Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Sub-base (NULSO/DER-DF)

Furo	Solo Natural	Índice de Suporte Califórnia – ISC - Solo + 3,0 de Cal Hidratada (%)	Índice de Suporte Califórnia – ISC - Solo + 4,0 de Cal Hidratada (%)	Índice de Suporte Califórnia – ISC - Solo + 5,0 de Cal Hidratada (%)	Coordenadas
1	16,8	21,6	39,8	41,0	-15° 36' 15,768" S -48° 49' 56,280" W
2	8,0	25,4	28,8	60,0	-15° 35' 42,136" S -48° 06' 14,755" W
3	14,0	21,6	50,9	61,0	-15° 36' 07,848" S -48° 09' 30,033" W

Fonte: Resultados – Ensaio Geotécnicos Complementares - NULSO/DER-DF

Como podemos observar na Tabela 16, a mistura de solo natural com adição de 3,0% de Cal Hidratada CH-I obteve resultados de Índice de Suporte Califórnia nos Furos: 1 e 3, igual a 21,6%, com isso, como os resultados obtidos foram muito próximos do limite inferior, previsto nas especificações técnicas relativas à camada de sub-base que deve ser igual ou maior do que 20,0%, deste modo, com o intuito de trabalhar a favor da segurança devido a possibilidade de heterogeneidade do solo, o percentual de Cal Hidratada – CH-I a ser adotado para a estabilização química da camada de sub-base da rodovia em questão, deverá ser igual a **4,0%**.

Os ensaios de estabilização química do solo proveniente da Caixa de Empréstimo 04 (material granular), iniciando na coordenada: Latitude: 15° 36' 47,76" S e Longitude: 48° 11' 15,14" W e finalizando na coordenada: Latitude: 15° 36' 52,17" S e Longitude: 48° 11' 24,78" W, com a adição de Cal Hidratada CH-I, como a referida caixa de empréstimo não será suficiente para a execução por completo da camada de sub-base, será necessária a utilização de material terroso proveniente das demais caixas de empréstimo, de acordo com o Mapa de Localização das Caixas de Empréstimo **(Anexo C)**, os ensaios geotécnicos foram norteados com a utilização da Especificação Técnica ET-DE-P00/005 – abril de 2006 – DER-SP, com exceção do subitem 3.1, onde quando da execução da obra, a Cal Hidratada deverá atender o subitem 5.1 Exigências químicas, conforme Especificação Técnica ABNT NBR 7175- 2003. Antes da execução da obra, a Empresa contratada deverá refazer estes ensaios e aferir o teor de Cal Hidratada, bem como o valor do Índice de Suporte Califórnia (ISC), após esta adição. Para a execução da camada de sub-base, o material utilizado deverá apresentar expansão $\leq 1,0\%$ e valor de 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 igual ou maior que 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.

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. Caso haja a intenção de utilizar outro método de ensaio, este deve ser apresentado à GETEC/DITEC para emissão de análise e parecer.

3.5 Estudos de Estabilização para a Camada de Base

Para a constituição da camada de base, primeiramente foram realizados ensaios complementares em caixas de empréstimo (localizadas na faixa de domínio da rodovia a ser pavimentada). Foram realizados 04 (quatro) furos de sondagem lado direito da rodovia sentido DF-001/BR-080. A seguir serão apresentados de acordo coma Tabela 17, os resultados de Índice de Suporte Califórnia do material granular terroso (cascalho) em seu estado natural, e também promovendo a estabilização química com acréscimo de 2,0% e 3,0% de Cimento Portland CP-32 F.

Tabela 17 – Índice de Suporte Califórnia – Camada de Base (NULSO/DER-DF)

Furo	Índice de Suporte Califórnia – ISC Solo Granular Natural (%)	Índice de Suporte Califórnia – ISC - Solo Granular + 2,0 de Cimento Portland (%)	Índice de Suporte Califórnia – ISC - Solo Granular + 3,0 de Cimento Portland (%)	Coordenadas
1	64,0	72,0	144,1	-15° 36' 44,511" S -48° 11' 05,528" W
2	36,6	114,6	112,0	-15° 36' 45,666" S -48° 11' 07,78" W
3	46,0	94,0	116,0	-15° 36' 43,612" S -48° 11' 05,685" W
4	47,4	85,1	115,2	-15° 36' 42,95" S -48° 11' 03,88" W

Fonte: Resultados – Ensaio Geotécnicos Complementares - NULSO/DER-DF

Com relação aos ensaios de Expansibilidade, os valores estão variando entre 0,00% e 0,07%, com isto os valores estão abaixo de 0,50%, portanto em conformidade com os parâmetros do Manual de Pavimentação do DNIT – Publicação 719/2006.

Com isso, analisando os resultados dos ensaios geotécnicos foi verificado que o material granular terroso (cascalho), em seu estado natural não atingiu valores de Índice de Suporte Califórnia – ISC $\geq$ 80%, foi realizada uma estabilização química com Cimento Portland no

percentual de 2,0% em massa, sendo que a amostra proveniente do Furo de Sondagem 1, não atingiu valor de ISC $\geq$ 80,0%. Com isso, o percentual de Cimento Portland foi aumentado para 3,0%, tendo como resultados os valores de ISC, superiores a 80%. Para a estabilização química do material granular terroso (cascalho) com Cimento Portland CP-32 F, será utilizada a Caixa de Empréstimo 04, com início na coordenada: Latitude: 15° 36' 42,4" S e Longitude: 48° 11' 02,64" W e finalizando na coordenada: Latitude: 15° 36' 47,76" S e Longitude: 48° 11' 15,14" W.

Devido ao material granular terroso (cascalho) da Caixa de Empréstimo 04, apresentar volume insuficiente para a execução da camada de base em sua totalidade, objetivando a realização de ensaios geotécnicos para os materiais que irão complementar a camada de base, foram realizados estudos promovendo a estabilização granulométrica e química de materiais terrosos encontrados na faixa de domínio da rodovia, nos seguintes locais georreferenciados:

- Caixa de Empréstimo 01: com início na (coordenada: Latitude: 15° 36' 30,044" S e Longitude: 48° 04' 48,259" W e finalizando na coordenada: Latitude: 15° 36' 05,623" S e Longitude: 48° 05' 09,662" W;
- Caixa de Empréstimo 02: com início na (coordenada: Latitude: 15° 35' 39,355" S e Longitude: 48° 05' 46,899" W e finalizando na coordenada: Latitude: 15° 35' 47,179" S e Longitude: 48° 06' 49,700" W;
- Caixa de Empréstimo 03: com início na (coordenada: Latitude: 15° 36' 04,702" S e Longitude: 48° 09' 08,478" W e finalizando na coordenada: Latitude: 15° 36' 10,789" S e Longitude: 48° 09' 37,213" W.

Deste modo, promovendo a mistura de 30,0% de solo natural com o acréscimo de 70,0% de agregado britado – Brita Nº 0 e também foram feitos ensaios visando a estabilização granulométrica e química, com 30,0% de solo natural + 70,0% de Brita Nº 0 (zero), com a adição de Cimento Portland CP 32 F, nos percentuais de 2,0 e 3,0% em massa na mistura. Onde os resultados dos ensaios geotécnicos com ênfase no Índice de Suporte Califórnia

(ISC), podem ser melhores observados na Tabela 18, a seguir:

Tabela 18 – Índice de Suporte Califórnia – Camada de Base (NULSO/DER-DF)

Furo	Índice de Suporte Califórnia – ISC 30,0% Solo + 70,0% Brita Nº 0 (%)	Índice de Suporte Califórnia – ISC - 30,0% Solo + 70,0% Brita Nº 0 + 2,0% de Cimento Portland (%)	Índice de Suporte Califórnia – ISC - 30,0% Solo + 70,0% Brita Nº 0 + 3,0% de Cimento Portland (%)	Coordenadas
1	52,0	93,0	163,0	-15° 36' 15,768" S -48° 49' 56,280" W
2	78,0	92,0	191,7	-15° 35' 42,136" S -48° 06' 14,755" W
3	58,0	84,0	144,0	-15° 36' 07,848" S -48° 09' 30,033" W

Fonte: Resultados – Ensaio Geotécnicos Complementares - NULSO/DER-DF

Diante do exposto, podemos notar que as estabilizações granulométricas realizadas com os materiais terrosos dos furos 1, 2 e 3, contendo 30,0% de solo natural + 70,0% de Brita Nº 0 (zero), apresentaram valores de Índice de Suporte Califórnia inferiores a 80,0%. Portanto em desacordo com o Manual de Pavimentação do DNIT. Deste modo, foram realizados ensaios geotécnicos complementares de acordo com o descrito na tabela acima, com a mistura de 30,0% de solo natural + 70,0 de Brita Nº 0 (zero) + 2,0% de Cimento Portland CP 32F, sendo aferido o Índice de Suporte Califórnia (ISC), no Furo 3, igual a 84,0%, valor este muito próximo do limite inferior que é de ISC igual a 80,0%. Com o intuito de trabalhar a favor da segurança e levando em consideração a heterogeneidade do material terroso coletado em campo, para a execução dos ensaios geotécnicos laboratoriais da rodovia em questão, iremos adotar o teor de 3,0% de Cimento Portland, tanto para a estabilização química do material terroso granular (cascalho) com a adição de Cimento Portland conforme Tabela 17, quanto para a mistura com estabilização granulométrica e química de acordo com a Tabela 18.

4.0 Dimensionamento do Pavimento pelo Método Murillo Lopes de Sousa – DNER (1981)

Neste item, será estudado o dimensionamento do pavimento flexível abordando o método de dimensionamento adotado pelo DNIT denominado Método do Engenheiro Murillo Lopes de Sousa.

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:

Tabela 19 – Coeficiente de Equivalência Estrutural

Camada do Pavimento	Coeficiente 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

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

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.

$$K_{SB} = \sqrt[3]{\frac{CBR_{SB}}{3 * CBR_{REF}}} < 1$$

$$K_{REF} = \sqrt[3]{\frac{CBR_{REF}}{3 * CBR_{SL}}} < 1$$

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 20 – Espessuras de revestimento.

N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos Superficiais Betuminosos
$10^6 < N \leq 5.10^6$	Revestimentos Betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5.10^6 < N \leq 10^7$	Concreto Betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5.10^7$	Concreto Betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5.10^7$	Concreto Betuminoso com 12,5 cm de espessura

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

Tabela 21 – Alguns valores de Coeficiente de Equivalência Estrutural para sub-base granular e reforço do subleito.

CBR_1/CBR_2	K_{Ref} ou K_s
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

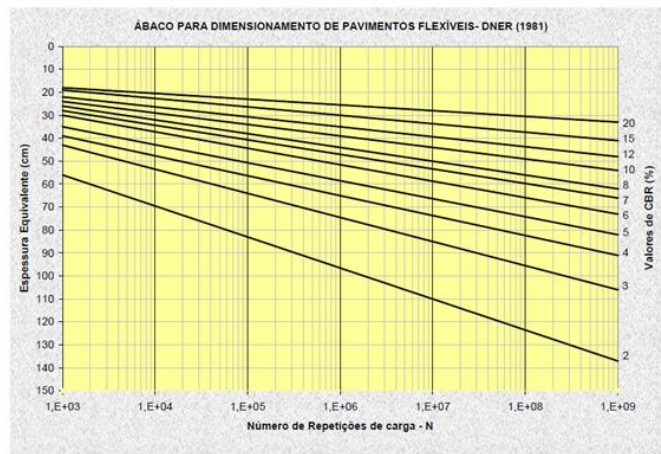
A espessura da camada de revestimento asfáltico é, por sua vez, um dos pontos ainda em aberto na engenharia rodoviária, quer seja para proteger a camada de base dos esforços impostos pelo tráfego, quer seja para evitar a ruptura do próprio revestimento por esforços repetidos de tração na flexão. As espessuras recomendadas na Tabela 17, visam, especialmente, as bases de comportamento puramente granular e são ditadas pelos estudos e experiências já realizados sobre o assunto.

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



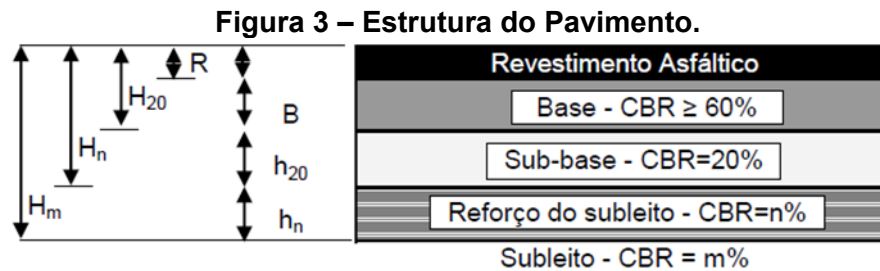
Fonte: Manual de Pavimentação IPR/DNIT –719/2006

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

$$H_t = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598}$$

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 03, tem-se a simbologia utilizada no dimensionamento 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:

- *Hm* = espessura total do pavimento necessária para proteger um material com CBR = *m*%. Observa-se que a espessura *Hm* é função do CBR do subleito (*m*%);
- *Hn* = 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 *H₂₀* e *h₂₀* (Figura 04) para designar as espessuras de pavimento sobre a sub-base e da sub-base, respectivamente. Assim, para se determinar a espessura *H₂₀* utiliza-se o CBR (sub-base) = 20%, prevalecendo sempre esta condição.

Uma vez determinadas as espessuras *Hm*, *Hn* e *H₂₀* e a espessura do revestimento, as espessuras da base (*B*), sub-base (*h₂₀*) e reforço do subleito (*hn*) são obtidas pela resolução sucessiva das seguintes inequações:

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

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 3.2.2, o Número “N” de projeto adotado é o $N_{USACE} = 5,20 \times 10^6$.

Dispondo dos Índices de Suporte do subleito, do reforço do subleito e da sub-base, obtém-se, no ábaco da Figura 2, 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 4 – Estrutura do Pavimento calculado pelo Método DNER/1981 – Eng. Murillo Lopes de Souza

Resolução do Sistema de Equações		Espessuras Mínima		Espessuras Adotada	
$RK_R+BK_B \geq H_{20}$		$B_{\min} = 13,2$	cm	$B = 15,0$	cm
$RK_R+BK_B+h_{20} K_s \geq H_n$		$h_{20 \min} = 11,71$	cm	$h_{20} = 12,0$	cm
$RK_R+BK_B+h_{20} K_s +h_n K_{Ref} \geq H_m$		$h_n \min = -0,3$	cm	$h_n = 0,0$	cm

Resumo da Estrutura do Pavimento					
Revestimento 7,50 cm	R	K_R	REVESTIMENTO		
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		

Fonte do Autor

Portanto, a estrutura de pavimento calculada para a DF-220, trecho compreendido entre a BR-080 e a DF-001, de acordo com o Método DNER (Eng. Murillo Lopes de Souza), deve ser:

- Camada de Rolamento em CAUQ Faixa B - CAP 50/70, com $e = 4,0$ cm;
- Camada de Ligação em CAUQ Faixa B - CAP 50/70, com $e = 3,5$ cm;
- Camada de Base em Solo + 3,0% de Cimento Portland, com $e = 15,0$ cm;
- Camada de Sub-Base em Solo com adição de 4,0% de Cal Hidratada CH-I com $e = 12,0$ cm;
- Subleito: ISC = 11,0%

5.0 Parâmetros Mecanísticos para o Pavimento da Rodovia DF-220

Tendo sido utilizado o Método DNER/1981 – Eng. Murillo Lopes de Souza, para o desenvolvimento dos cálculos para o dimensionamento das espessuras da camada do pavimento e do revestimento em Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ), da rodovia DF-220.

Diante dos dados expostos e dos ensaios executados e para uma avaliação mecanicista empírica da solução com base granular, foram obtidos os módulos de resiliência das camadas de subleito, sub-base, pela metodologia descrita na IP-08/2004 da PMSP e/ou descrita na IP-DE-P00/001 do DER-SP.

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 mecanístico, parte-se de espessuras admitidas para as camadas do pavimento e calcula-se o estado de tensões e deformações com o objetivo de comparar com valores limites estabelecidos.

Para o cálculo das tensões, deformações e deslocamentos na estrutura de pavimento admitida são utilizados programas computacionais. Os valores obtidos são então comparados com valores admissíveis calculados por meio dos modelos de fadiga e deformações permanentes disponíveis na literatura, até se chegar a uma estrutura compatível com o tráfego previsto para o período de projeto.

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 – Módulo de Cálculo de Tensões e Deformações – v. 2.4.2 (Jun/2020), programa desenvolvido por Filipe Augusto Cinque de Proença Franco, D. Sc., feito download a partir do site do DNIT – IPR – Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Trata-se de um programa desenvolvido com base teoria das camadas elásticas e no método das diferenças finitas, considerando modelagem do tipo elástico linear. Neste tipo de modelagem os valores dos módulos de resiliência dos materiais são constantes, isto é, não variam com o estado de tensões aplicado, 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:

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

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 kN (2,05 toneladas) cada e pressão de contato pneu pavimento de 0,560 MPa (5,60 kgf/cm²).

Figura 5: Tipo de Carregamento – Eixo Padrão

Tipo de carregamento:

Eixo padrão rodoviário

Eixo simples

Dois eixos simples (direcional)

Eixo duplo

Dois eixos duplos

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO	
Número de rodas:	4
Análise	Semi-eixo
Carga de eixo (ton):	8,20
Carga de roda (ton):	2,05
Pressão de pneus (MPa):	0,56
Ty (cm):	0,00
Tx (cm):	32,40
Lx (cm):	181,00
Área (cm ²):	366,07
Raio (cm):	10,79

Fonte: Quadro Software AEMC

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

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

Na tabela 19 é apresentada a relação entre o ponto analisado e o tipo de defeito que se deseja avaliar na estrutura do pavimento.

Tabela 22 – 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 (σ_t e ϵ_t)	Trincamento do revestimento por fadiga
Fibra inferior da camada de base cimentada	Tensão de deformação de tração (Base cimentada.) - (σ_t e ϵ_t)	Trincamento da camada de base cimentada por fadiga
Topo da superfície da camada de subleito	Tensão ou deformação de compressão (σ_v e ϵ_v)	Deformação permanente

Fonte do Autor

Nesta análise será utilizado o programa AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas, para o cálculo das tensões e deformações solicitantes na estrutura do pavimento.

Para a seleção dos modelos de avaliação de desempenho considerados nas análises, recorreu-se às orientações da Instrução de Projeto de Pavimentação do DER/SP (IP-DE-P00/001 – Jan/2016). Assim, foram selecionados os seguintes modelos:

a) Deslocamento Vertical Recuperável (Deflexão).

O deslocamento vertical recuperável máximo da superfície do pavimento que também é denominado deflexão. Para a verificação deste critério foi considerada a equação do método **DNER-PRO 11/79**.

– **DNER-PRO 11/79**

$$\log D_{Adm} = 3,01 - 0,176 \times \log N^{(USACE)}$$

Sendo:

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

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

b) Deformação Específica de Tração (ϵ_t) da Fibra Inferior da Camada de Concreto Asfáltico.

Dentre as inúmeras equações de fadiga desenvolvida por pesquisadores em estudos nacionais e internacionais, recomenda-se para a camada de revestimento de concreto asfáltico o emprego de umas das expressões matemáticas cujos parâmetros são indicados nas seguintes equações:

$$N = K \times (1/\epsilon_t)^n$$

Onde:

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

ϵ_t : deformação específica horizontal na tração;

K e **n**: coeficientes determinados por regressões lineares.

– **FHWA (1976)**:

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

Obs: Deve-se considerar que o número **N** resultante é o obtido pela metodologia da **AASHTO**.

c) Para a base ou sub-base de Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC), as deformações horizontais de tração, ϵ_t , ou tensões horizontais de tração, σ_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:

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

Onde:

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

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 Vertical no Topo da Camada de Subleito.

Para análise da deformação específica vertical de compressão atuante no topo do subleito foi utilizada a equação desenvolvida por *Dormon & Metcalf* (1965), constante da Instrução de Pavimentação do DER-SP, expressos pelas seguintes equações:

$$N = K \times (1/\epsilon_v)^n$$

– *Dormon & Metcalf* (1965):

$$N = 6,069 \times 10^{-10} \times (1/\epsilon_v)^{4,762}$$

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*;

ϵ_v = deformação específica 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 e Coeficiente de Poisson.

Estes parâmetros podem ser obtidos por meio da realização de ensaios de laboratório específicos para os materiais constituintes das camadas do pavimento. Entretanto, como não se dispõe 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 à valores típicos disponíveis em fontes bibliográficas.

A Instrução de Projeto de Pavimentação – IP-DE-P00/001 - DER/SP – Jan/2006 – apresenta alguns valores típicos de coeficientes de Poisson, também são apresentados valores típicos de módulo de resiliência ou elasticidade para os materiais das camadas de pavimentos, conforme Tabelas 20 e 21.

Tabela 23 – Valores Usuais de Coeficiente de Poisson

Material	Intervalo de Valores de Coeficiente de <i>Poisson</i>	Valor Recomendado de Coeficiente de <i>Poisson</i>
Concreto de cimento <i>Portland</i>	0,10 – 0,20	0,15
Materiais estabilizados com cimento	0,15 – 0,30	0,20
Misturas asfálticas	0,15 – 0,45	0,30
Materiais granulares	0,30 – 0,40	0,35
Solos do subleito	0,30 – 0,50	0,40

Fonte: Instrução de Projeto de Pavimentação – IP-DE-P00/001 - DER/SP – Jan/2006

Tabela 24 – Valores Típicos de Módulos de Resiliência

Materiais	Intervalo de Valores de Módulos de Resiliência (Mpa)
Concretos Asfálticos:	
Revestimento (CAP 50/70)	2000 – 5000
Revestimento (CAP 30 /45)	2500 – 4500
Binder (CAP 50/70)	2000 – 3000
Binder (CAP 30 /45)	2500 – 4000
Materiais Granulares:	
Brita Graduada	150 – 300
Macadame Hidráulico	250 – 450
Materiais Estab. Quimicamente	
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
Solos Finos em Subleito e Reforço do Subleito	
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 de Pavimentação – IP-DE-P00/001 - DER/SP – Jan/2006

Na IP-08/2004 PMSP Análise Mecanicista à Fadiga de Estruturas de Pavimento também são apresentados valores típicos de módulo de resiliência ou elasticidade para os materiais das camadas de pavimentos, conforme Tabela 22.

Tabela 25 – Estimativas dos Módulos de Resiliência

CAMADAS	TIPOS	ESTIMATIVAS EM MPa
SUBLEITO	LATERÍTICO (LA' e LG')	$E_{SL} = 22,0 (CBR)^{0,8}$
	NÃO LATERÍTICO (NS' e NG')	$E_{SL} = 18,0 (CBR)^{0,64}$
	ARENOSO <i>POUCO</i> OU NÃO COESIVO (LA, NA e NA')	$E_{SL} = 14,0 (CBR)^{0,7}$
REFORÇO	LATERÍTICO (LA' e LG')	$E_{REF} = 22,0 (CBR)^{0,8}$
	NÃO LATERÍTICO (NA' e NG')	$E_{REF} = 18,0 (CBR_{REF})^{0,64} \times \sqrt[3]{\frac{3CBR_{SL}}{CBR_{REF}}}$
SUB-BASE	GRANULAR	$E_{REF} = 18,0 (CBR_{SB})^{0,64} \times \sqrt[3]{\frac{3CBR_{SL}}{CBR_{SB}}}$
BASE	GRANULAR	$100 \leq E_B \leq 500$
	BETUMINOSA	$800 \leq E_B \leq 1.000$
	CIMENTADA (BGTC)	$5.000 \leq E_B \leq 15.000$
MISTURAS BETUMINOSAS	CONCRETO ASFÁLTICO (C.A.)	$3.000 \leq E_{CA} \leq 5.000$
	PRÉ-MISTURADO A QUENTE (PMQ)	$2.000 \leq E_{PMQ} \leq 2.500$
	BINDER	$1.400 \leq E_{BD} \leq 1.800$
	PRÉ-MISTURADO A FRIO (PMF) OU MACADAME BETUMINOSO SELADO	$1.000 \leq E_{PMF} \leq 1.400$

Fonte: Instrução de Projeto de Pavimentação – IP-08/2004-PMSP

Para os solos do Subleito a IP-08/2004-PMSP – Análise Mecanicista à Fadiga de Estruturas de Pavimento recomenda as seguintes correlações entre Módulo de Resiliência e Capacidade de Suporte ISC:

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

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

Para os solos da camada de sub-base, segundo a Instrução de Projeto de Pavimentação – IP-DE-P00/001 - DER/SP – Jan/2006, para solos finos com adição de Cal Hidratada utilizados em camada de sub-base o Módulo de Resiliência tem valores entre 150 MPa e 300 MPa. Para esta análise será adotado para a camada de sub-base, Módulo de Resiliência igual a 200 MPa.

$$150 \text{ MPa} \leq MR \leq 300 \text{ MPa}$$

Para esta análise será adotado para a camada de sub-base, Módulo de Resiliência igual a **200 MPa**.

Para as misturas de: solo granular terroso (cascalho) + 3,0 de Cimento Portland CP-32 e 30,0% de solo + 70,0 de Brita Nº 0 (zero) + 3,0% de Cimento Portland, que compõem a camada de base, segundo a IP-08/2004-PMSP – Análise Mecanicista à Fadiga de Estruturas de Pavimento recomenda as seguintes correlações entre módulo de resiliência:

$$100 \text{ MPa} \leq MR \leq 500 \text{ MPa}$$

Para esta análise será adotado para a camada de base, Módulo de Resiliência igual a **300 MPa**.

Para o material da camada de base, constituída por Brita Graduada Simples compactada na energia do Proctor Modificado, adotou-se o Módulo de Resiliência igual a **200 Mpa**, valor este compreendido entre os limites informados pela Instrução de Projeto de Pavimentação – IP-DE-P00/001DER/SP (150 a 300 Mpa). Será adotada a Massa Específica Média Aparente Seca igual a 2,2 g/cm³ e Coeficiente de Poisson igual a 0,35.

Para o material da camada de base constituída por Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC) adotou-se Módulo de Resiliência igual a **7500 MPa**, valor este compreendido entre os limites informados pela Instrução de Projeto de Pavimentação – IP-DE-P00/001 DER/SP – (5000 a 15000 MPa). Será adotada a Massa Específica Média Aparente Seca igual a 2,2 g/cm³ e Coeficiente de Poisson igual a 0,25. O teor de Cimento Portland CP-32 F, deve ser igual a 6,0% em massa.

Para as camadas de Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ), sendo que, para a Camada de Ligação na Faixa “B” adotou-se o Módulo de Resiliência igual a **3000 Mpa** e para a Camada de Rolamento na Faixa “B”, adotou-se o Módulo de Resiliência igual a **4000 Mpa**, valores estes também compreendidos entre os limites informados pela Instrução de Projeto de Pavimentos do DER-SP (2000 a 5000 Mpa – CAP 50/70). Será adotada a Densidade igual a 2,4 g/cm³ e Coeficiente de Poisson igual a 0,30.

- Cálculo do Módulo de Resiliência da Camada de Subleito – $ISC_{\text{Subleito}} = 11,0\%$

$$MR_{\text{subleito}} = 22 \times 11^{0,8} \approx \mathbf{149,81MPa}.$$

Levando em consideração as estimativas para valores de Módulos de Resiliência presentes na Tabela 21 contida na Instrução de Projeto de Pavimentação – IP-DE-P00/001 - DER/SP – Jan/2006 e trabalhando a favor da segurança o Módulo de Resiliência do Subleito adotado será igual a 120 Mpa.

Módulo Adotado para o Subleito:

$$MR_{\text{subleito}} = \mathbf{120 MPa}.$$

Massa Específica Média Aparente Seca igual a 1,42 g/cm³.

Coeficiente de Poisson adotado igual a 0,40.

- Módulo de Resiliência para a camada de sub-base em Solo Fino com adição de 4,0% de Cal Hidratada tipo CH-I.

$$\mathbf{MR_{\text{sub-base}} = 200 MPa.}$$

Massa Específica Média Aparente Seca igual a 1,58 g/cm³.

Coeficiente de Poisson adotado igual a 0,37.

- Módulo de Resiliência para a camada de base, das misturas de: solo granular terroso

(cascalho) + 3,0 de Cimento Portland CP-32 F e 30,0% de solo + 70,0 de Brita Nº 0 (zero) + 3,0% de Cimento Portland CP – 32 F.

MR_{base} = 300 MPa.

Massa Específica Média Aparente Seca igual a 1,82 g/cm³.

Coeficiente de Poisson adotado igual a 0,27.

Tabela 26 – Resumo dos Módulos Utilizados Para Esta Análise – DF-220.

Camada	Material	Módulo de Resiliência (Mpa)	Coeficiente de Poisson
Revestimento (Camada de Rolamento)	CAUQ Faixa B – 50/70	4000	0,30
Camada de Ligação	CAUQ Faixa B – 50/70	3000	0,30
Base	Material Granular Terroso + 3,0% de Cimento Portland	300	0,27
Base	30,0% Material Terroso + 70,0 Brita Nº 0 (zero) + 3,0% de Cimento Portland	300	0,27
Base	Brita Graduada Simples (BGS)	200	0,35
Base	Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC)	7500	0,25
Sub-base	Material Terroso + 4,0% de Cal Hidratada – CH-I	200	0,37
Subleito	Argila	120	0,40

Fonte do Autor

A seguir, são apresentados os resultados das análises mecânicas para as estruturas de pavimento da DF-220, trecho compreendido entre a BR-080 e a DF-001 (EPCT).

6.0 Verificação Mecânica das Soluções de Dimensionamento.

6.1 – Solução com Camada de Base composta por misturas de: Material Granular Terroso (cascalho) + 3,0 de Cimento Portland CP-32 F e 30,0% de Material Terroso + 70,0 de Brita Nº 0 (zero) + 3,0% de Cimento Portland CP – 32 F e **Concreto Asfáltico Convencional.**

Com isso, iniciaremos utilizando a estrutura de pavimento encontrada após a aplicação do Método DNER/1981 – Eng. Murillo Lopes de Souza, obtendo como resultado a seguinte estrutura:

- Camada de Rolamento em CAUQ (50/70), Faixa B – com e = 4,0 cm;
- Camada de Ligação em CAUQ (50/70), Faixa B – com e = 3,5 cm;
- Base em Material Terroso + 3,0% de Cimento Portland CP – 32 F, com e = 15,0 cm;
- Sub-base em Material Terroso + 4,0% Cal Hidratada – CH-I), com e = 12,0 cm;
- Subleito – ISC = 11,0%.

Tabela 27 – Verificação Mecânica – DF-220 – Eng. Murillo Lopes de Souza – Material Terroso Melhorado com Cimento e CAUQ Convencional

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA							
N USACE	5,20E+06						
N AASHTO	1,83E+06						
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA-01 - DF-220 - Eng. Murillo Lopes de Souza							
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson			
Revestimento	CBUQ (FAIXA B)	4,00	40000	0,30			
Camada de Ligação	CBUQ (FAIXA B)	3,50	30000	0,30			
Base	Solo + Cimento	15,00	3000	0,27			
Sub-base	Solo + Cal Hidratada	12,00	2000	0,37			
Subleito	Argila	Infinita	1200	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	1,83E+06	3,31E-04	3,86E-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	5,20E+06	4,51E-04	3,32E-04	Aprovado
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO							
Procedimento	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm (x0,01 mm)	Solicitante AEMC Daemc	Verificação
DNER - PRO 11/79	1979	3,01	0,176	5,20E+06	67,30	65,51	Aprovado

Fonte: do autor (dados obtidos no software AEMC)

Diante dos resultados apresentados acima, verificou-se que a estrutura obtida através da aplicação do Método DNER/1981 – Eng. Murillo Lopes de Souza, não atendeu, quando avaliado pelo Método Mecanicista Empírico, ao critério de deformação específica de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico.

Diante do exposto, prosseguiremos com a verificação mecanística da estrutura de pavimento a seguir:

- Camada de Rolamento em CAUQ (50/70), Faixa B – com $e = 4,5$ cm;
- Camada de Ligação em CAUQ (50/70), Faixa B – com $e = 3,5$ cm;
- Base em Material Terroso + 3,0% de Cimento Portland CP – 32 F, com $e = 16,0$ cm;
- Sub-base em Material Terroso + 4,0% Cal Hidratada – CH-I), com $e = 13,0$ cm;
- Subleito – ISC = 11,0%.

Tabela 28 – Verificação Mecanística – DF-220 – Base em Material Terroso Melhorado com Cimento e CAUQ Convencional

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA							
N USACE	5,20E+06						
N AASHTO	1,83E+06						
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA-02 - DF-220 - Base: Solo							
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson			
Revestimento	CBUQ (FAIXA B)	4,50	40000	0,30			
Camada de Ligação	CBUQ (FAIXA B)	3,50	30000	0,30			
Base	Solo + Cimento	16,00	3000	0,27			
Sub-base	Solo + Cal Hidratada	13,00	2000	0,37			
Subleito	Argila	Infinita	1200	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	1,83E+06	3,31E-04	3,46E-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	5,20E+06	4,51E-04	3,08E-04	Aprovado
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO							
Procedimento	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm (x0,01 mm)	Solicitante AEMC Daemc	Verificação
DNER - PRO 11/79	1979	3,01	0,176	5,20E+06	67,30	63,89	Aprovado

Fonte: do autor (dados obtidos no software AEMC)

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

Diante do exposto, prosseguiremos com a verificação mecanística da estrutura de pavimento a seguir:

- Camada de Rolamento em CAUQ (50/70), Faixa B – com $e = 5,0$ cm;
- Camada de Ligação em CAUQ (50/70), Faixa B – com $e = 3,5$ cm;
- Base em Material Terroso + 3,0% de Cimento Portland CP – 32 F, com $e = 16,0$ cm;
- Sub-base em Material Terroso + 4,0% Cal Hidratada – CH-I), com $e = 14,0$ cm;
- Subleito – ISC = 11,0%.

Tabela 29 – Verificação Mecanística – DF-220 – Base em Material Terroso Melhorado com Cimento e CAUQ Convencional – Aprovada

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA								
N USACE	5,20E+06							
N AASHTO	1,83E+06							
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA-03 - DF-220 - Base: Solo								
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson				
Revestimento	CBUQ (FAIXA B)	5,00	40000	0,30				
Camada de Ligação	CBUQ (FAIXA B)	3,50	30000	0,30				
Base	Solo + Cimento	16,00	3000	0,27				
Sub-base	Solo + Cal Hidratada	14,00	2000	0,37				
Subleito	Argila	Infinita	1200	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	1,83E+06	3,31E-04	3,25E-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	5,20E+06	4,51E-04	2,94E-04	Aprovado
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO								
Procedimento		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm (x0,01 mm)	Solicitante AEMC Daemc	Verificação
DNER - PRO 11/79		1979	3,01	0,176	5,20E+06	67,30	62,98	Aprovado

Fonte: do autor (dados obtidos no software AEMC)

Pelo resultado exposto anteriormente, verificamos que a estrutura testada foi aprovada e atende aos critérios mecanicistas empíricos.

6.2 Solução com Camada de Base composta por Brita Graduada Simples (BGS) e Concreto Asfáltico Convencional

Serão apresentadas as análises realizadas com a base composta por Brita Graduada Simples – BGS e a sub-base em composta por material terroso com adição de 4,0% de Cal Hidratada tipo CH-I, em massa. A estrutura de pavimento a ser avaliada:

- Camada de Rolamento em CAUQ (50/70), Faixa B – com $e = 5,0$ cm;
- Camada de Ligação em CAUQ (50/70), Faixa B – com $e = 4,5$ cm;
- Base em Brita Graduada Simples (BGS), com $e = 16,0$ cm;
- Sub-base em Material Terroso + 4,0% Cal Hidratada – CH-I), com $e = 15,0$ cm;
- Subleito – ISC = 11,0%.

Tabela 30 – Verificação Mecanística – DF-220 – Base em BGS – CAUQ Convencional

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA							
N USACE	5,20E+06						
N AASHTO	1,83E+06						
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA-06 - DF-220 - Base: BGS							
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson			
Revestimento	CBUQ (FAIXA B)	5,00	40000	0,30			
Camada de Ligação	CBUQ (FAIXA B)	4,50	30000	0,30			
Base	BGS	16,00	2000	0,35			
Sub-base	Solo + Cal Hidratada	15,00	2000	0,37			
Subleito	Argila	Infinita	1200	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	1,83E+06	3,31E-04	3,34E-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	5,20E+06	4,51E-04	2,88E-04	Aprovado
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO							
Procedimento	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm (x0,01 mm)	Solicitante AEMC Daemc	Verificação
DNER - PRO 11/79	1979	3,01	0,176	5,20E+06	67,30	66,10	Aprovado

Fonte: do autor (dados obtidos no software AEMC)

Diante dos resultados apresentados acima, verificou-se que a estrutura apresentada, não atendeu, quando avaliado pelo Método Mecanicista Empírico, ao critério 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 Rolamento em CAUQ (50/70), Faixa B – com $e = 5,0$ cm;
- Camada de Ligação em CAUQ (50/70), Faixa B – com $e = 5,0$ cm;
- Base em Brita Graduada Simples (BGS), com $e = 16,0$ cm;
- Sub-base em Material Terroso + 4,0% Cal Hidratada – CH-I), com $e = 15,0$ cm;
- Subleito – ISC = 11,0%.

Tabela 31 – Verificação Mecanística – DF-220 – Base em BGS – CAUQ Convencional – Aprovada

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA										
N USACE	5,20E+06									
N AASHTO	1,83E+06									
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA-07 - DF-220 - Base: BGS										
CAMADA	MATERIAL							ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson
Revestimento	CBUQ (FAIXA B)							5,00	40000	0,30
Camada de Ligação	CBUQ (FAIXA B)							5,00	30000	0,30
Base	BGS	16,00	2000	0,35						
Sub-base	Solo + Cal Hidratada	15,00	2000	0,37						
Subleito	Argila	Infinita	1200	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	1,83E+06	3,31E-04	3,21E-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	5,20E+06	4,51E-04	2,83E-04	Aprovado			
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO										
Procedimento	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm (x0,01 mm)	Solicitante AEMC Daemc	Verificação			
DNER - PRO 11/79	1979	3,01	0,176	5,20E+06	67,30	65,29	Aprovado			

Fonte: do autor (dados obtidos no software AEMC)

Pelo resultado exposto acima, verificamos que a estrutura testada foi aprovada e atende aos critérios mecanicistas empíricos.

6.3 Solução com Camada de Base composta por Brita Graduada Tratada com Cimento – BGTC e Concreto Asfáltico Convencional.

Serão apresentadas as análises realizadas com a base composta por Brita Graduada Tratada com Cimento – BGTC e a sub-base em composta com material terroso com adição de 4,0% de Cal Hidratada tipo CH-I, em massa. A estrutura de pavimento a ser avaliada:

- Camada de Rolamento em CAUQ (50/70), Faixa B – com $e = 5,5$ cm;
- Base em Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC), com $e = 17,0$ cm;
- Sub-base em Material Terroso + 4,0% Cal Hidratada – CH-I), com $e = 12,0$ cm;
- Subleito – ISC = 11,0%.

Tabela 32 – Verificação Mecanística – DF-220 – Base em BGTC – CAUQ Convencional

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA							
N USACE	5,20E+06						
N AASHTO	1,83E+06						
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA 09 - DF-220 - Base BGTC							
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson			
Revestimento	CBUQ (FAIXA C)	5,50	4000	0,30			
Base	BGTC	17,00	75000	0,25			
Sub-base	Solo + Cal Hidratada	12,00	2000	0,37			
Subleito	Argila	Infinita	1200	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	1,83E+06	3,31E-04	3,97E-05	Aprovado
2 - TENSÃO DE TRAÇÃO NA FIBRA INFERIOR DA CAMADA CIMENTADA (BGTC)							
Autor	Ano	N Projeto (USACE)	σ Tensão na Flexão de Ruptura (kgf/cm²)		σ Tensão Admissível (kgf/cm²)	σ Tensão Atuante/AEMC (kgf/cm²)	Verificação
Balbo	1993	5,20E+06	10		5,31	5,63	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	5,20E+06	4,51E-04	1,96E-04	Aprovado
4 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO							
Procedimento	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm (x0,01mm)	Solicitante AEMC Daemc	Verificação
DNER - PRO 11/79	1979	3,01	0,176	5,20E+06	67,30	21,91	Aprovado

Fonte: do autor (dados obtidos no software AEMC)

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

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

- Camada de Rolamento em CAUQ (50/70), Faixa B – com $e = 6,0$ cm;
- Base em Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC), com $e = 18,0$ cm;
- Sub-base em Material Terroso + 4,0% Cal Hidratada – CH-I), com $e = 12,0$ cm;
- Subleito – ISC = 11,0%.

Tabela 33 – Verificação Mecanística – DF-220 – Base em BGTC – CAUQ Convencional – Aprovada

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA							
N USACE	5,20E+06						
N AASHTO	1,83E+06						
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA 10 - DF-220 - Base BGTC							
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson			
Revestimento	CBUQ (FAIXA C)	6,00	4000	0,30			
Base	BGTC	18,00	75000	0,25			
Sub-base	Solo + Cal Hidratada	12,00	2000	0,37			
Subleito	Argila	Infinita	1200	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	1,83E+06	3,31E-04	3,45E-05	Aprovado
2 - TENSÃO DE TRAÇÃO NA FIBRA INFERIOR DA CAMADA CIMENTADA (BGTC)							
Autor	Ano	N Projeto (USACE)	σ Tensão na Flexão de Ruptura (kgf/cm²)	σ Tensão Admissível (kgf/cm²)	σ Tensão Atuante/AEMC (kgf/cm²)	Verificação	
Balbo	1993	5,20E+06	10	5,31	5,15	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	5,20E+06	4,51E-04	1,78E-04	Aprovado
4 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO							
Procedimento	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm (x0,01mm)	Solicitante AEMC Daemc	Verificação
DNER - PRO 11/79	1979	3.01	0.176	5.20E+06	67.30	20.93	Aprovado

Fonte: do autor (dados obtidos no software AEMC)

Pelo resultado exposto acima, verificamos que a estrutura testada foi aprovada e atende aos critérios mecanicistas empíricos.

7.0 Resumo das Soluções de Pavimento – DF-220.

7.1 Base composta por misturas de: material granular terroso (cascalho) + 3,0 de Cimento Portland CP-32 F e 30,0% de material terroso + 70,0 de Brita Nº 0 (zero) + 3,0% de Cimento Portland CP – 32 F e Concreto Asfáltico Convencional.

Tabela 34 – Intervenções Necessárias – DF-220 – Base em Solo Melhorado com Cimento Portland e CAUQ Convencional

DF-220 – Trecho: BR-080/DF-001
Número N (USACE) = $5,20 \times 10^6$
Número N (AASHTO) = $1,83 \times 10^6$
<u>Estrutura do Pavimento</u>
- Camada de Rolamento CAUQ Faixa B (50/70) – e = 5,0 cm
- Camada de Ligação CAUQ Faixa B (50/70) – e = 3,5 cm
- Base composta por misturas de: solo granular terroso (cascalho) + 3,0 de Cimento Portland CP-32 F (12,0 km) e 30,0% de solo + 70,0 de Brita Nº 0 (zero) + 3,0% de Cimento Portland CP – 32 F (3,9 km), com e = 16,0 cm;
- Sub-base (Material Terroso + 4,0% Cal Hidratada – CH-I), com e = 14,0 cm;
- Subleito em Argila – ISC = 11,0%.
<u>Intervenções Necessárias</u>
- 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 $\geq 100,0\%$, com ISC $\geq 11,0\%$, conforme a Especificação DNIT 108/2009-ES;
- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de 100 centésimos de milímetros;
- Executar camada de sub-base com 14,0 cm de espessura, em Material Terroso, podendo ser utilizadas as Caixas de Empréstimo: 01, 02, 03 e parte da Caixa de Empréstimo 04 (material granular terroso), iniciando na coordenada: Latitude: 15º

36' 47,76" S e Longitude: 48° 11' 15,14" W e finalizando na coordenada: Latitude: 15° 36' 52,17" S e Longitude: 48° 11' 24,78" W) (Localização: **Anexos D e E**) + 4,0% de Cal Hidratada Tipo CH-I, compactada na Energia Intermediária com GC $\geq 100,0\%$, ISC $\geq 20,0\%$; conforme Especificação Técnica ET-DE-P00/005 – abril de 2006 – DER-SP, com exceção do subitem 3.1, onde quando da execução da obra, a Cal Hidratada CH-I, deverá atender o subitem 5.1 Exigências químicas, conforme Especificação Técnica ABNT NBR 7175- 2003, concomitantemente atendendo a Especificação DNIT 421/2019-ES. Para o cálculo da massa de Cal Hidratada a ser adicionada a mistura, considerar a Massa Específica Aparente Seca do Material Terroso igual a 1,580 g/cm³. Sugerimos que a distribuição da Cal CH-I, seja realizada por meio de caminhão distribuidor;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de 92 centésimos de milímetros;

- Executar camada de base com 16,0 cm de espessura, estabilizada granulometricamente e quimicamente, sendo que deverá ser executado 12 km da camada de base com a mistura de composta por **Solo Granular Terroso (Cascalho) + 3,0 de Cimento Portland CP-32 F**, proveniente de parte da Caixa de Empréstimo 04, coordenada com início, na **Latitude: 15° 36' 42,4" S e Longitude: 48° 11' 02,64" W e finalizando na coordenada: Latitude: 15° 36' 47,76" S e Longitude: 48° 11' 15,14" W**. Sendo que o restante da camada de base, aproximadamente 3,9 km deverá ser executada com a mistura de: **30,0% de material terroso + 70,0 de Brita Nº 0 (zero) + 3,0% de Cimento Portland CP – 32 F**, para a retirada do material terroso, poderão ser utilizadas as seguintes Caixas de Empréstimo:

- **Caixa de Empréstimo 01:** com início na (coordenada: Latitude: 15° 36' 30,044" S e Longitude: 48° 04' 48,259" W e finalizando na coordenada: Latitude: 15° 36' 05,623" S e Longitude: 48° 05' 09,662" W;

- **Caixa de Empréstimo 02:** com início na (coordenada: Latitude: 15° 35' 39,355" S e Longitude: 48° 05' 46,899" W e finalizando na coordenada: Latitude: 15° 35' 47,179" S e Longitude: 48° 06' 49,700" W;

- **Caixa de Empréstimo 03:** com início na (coordenada: Latitude: 15° 36' 04,702" S e Longitude: 48° 09' 08,478" W e finalizando na coordenada: Latitude: 15° 36' 10,789" S e Longitude: 48° 09' 37,213" W. A camada de base, deverá ser compactada na Energia Modificada com $GC \geq 100,0\%$, $ISC \geq 80,0\%$; (Localização: **Anexos C e D**)

Deverá ser utilizada a Especificação Técnica do DNIT 142/2010 – ES, com exceção do item 5.1.4 em relação à espera do tempo de cura de 72h. Para o cálculo da massa de Cimento Portland a ser adicionada a mistura, considerar a Massa Específica Aparente Seca igual a $1,82 \text{ g/cm}^3$. Sugerimos que a distribuição do agregado (Brita Nº 0 – zero) e do Cimento Portland sejam realizadas por meio de caminhão distribuidor;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de 75 centésimos de milímetros;

- Execução de Imprimação com Emulsão Asfáltica Imprimante (EAI), taxa de aplicação de $0,9$ a $1,3 \text{ l/m}^2$, conforme Especificação DNIT 144/2014 – 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 $1,0 \text{ l/m}^2$ e taxa residual entre $0,4$ e $0,5 \text{ l/m}^2$, conforme Especificação DNIT 145/2014 – ES;

- Executar Camada Asfáltica de Ligação com $3,5 \text{ cm}$ de CAUQ Faixa B – CAP 50/70, em toda a plataforma, conforme Especificação DNIT 031/2006;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de 60 centésimos de milímetros;

- 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 $1,0 \text{ l/m}^2$ e taxa residual entre $0,4$ e $0,5 \text{ l/m}^2$, conforme Especificação DNIT 145/2014 – ES.

- Executar Camada Asfáltica de Rolamento com $5,0 \text{ cm}$ de CAUQ Faixa B – CAP 50/70, conforme Especificação DNIT 031/2006;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de 48 centésimos de milímetros.

Fonte do Autor

7.2 Base em Brita Graduada Simples (BGS) e CAUQ Convencional – Intervenções Necessárias – DF-220.

Tabela 35 – Intervenções Necessárias – DF-220 – Base em BGS e CAUQ Convencional

DF-220 – Trecho: BR-080/DF-001
Número N (USACE) = $5,20 \times 10^6$
Número N (AASHTO) = $1,83 \times 10^6$
<u>Estrutura do Pavimento</u>
- Camada de Rolamento CAUQ Faixa B (50/70) – e = 5,0 cm
- Camada de Ligação CAUQ Faixa B (50/70) – e = 5,0 cm
- Base composta por Brita Graduada Simples (BGS), com e = 16,0 cm;
- Sub-base (Material Terroso + 4,0% Cal Hidratada – CH-I), com e = 15,0 cm;
- Subleito em Argila – ISC = 11,0%.
<u>Intervenções Necessárias</u>
- 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 $\geq 100,0\%$, com ISC $\geq 11,0\%$, conforme a Especificação DNIT 108/2009-ES; - A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de 100 centésimos de milímetros; - Executar camada de sub-base com 15,0 cm de espessura, em Material Terroso, podendo ser utilizadas as Caixas de Empréstimo: 01, 02, 03 e parte da 04 (material granular terroso), iniciando na coordenada: Latitude: 15° 36' 47,76" S e Longitude: 48° 11' 15,14" W e finalizando na coordenada: Latitude: 15° 36' 52,17" S e Longitude: 48° 11' 24,78" W) + 4,0% de Cal Hidratada Tipo CH-I, compactada na Energia Intermediária com GC $\geq 100,0\%$, ISC $\geq 20,0\%$; conforme Especificação Técnica ET-DE-P00/005 – abril de 2006 – DER-SP, com exceção do subitem 3.1, onde quando da execução da obra, a Cal Hidratada CH-I, deverá atender o subitem 5.1 Exigências químicas, conforme Especificação Técnica ABNT NBR 7175- 2003, concomitantemente atendendo a Especificação DNIT 421/2019-ES. Para o cálculo da massa de Cal Hidratada a ser adicionada a mistura, considerar a Massa Específica Aparente Seca do Material Terroso igual

a 1,580 g/cm³. Sugerimos que a distribuição da Cal CH-I, seja realizada por meio de caminhão distribuidor;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de 92 centésimos de milímetros;

- Executar camada de base com 16,0 cm de espessura, utilizando Brita Graduada Simples (BGS), compactada na Energia Modificada com GC ≥ 100,0%, ISC ≥ 100,0% conforme a Especificação Técnica do DER-SP – ET-DE-P00/008 – Jul/2005 – Rev. A.;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de 82 centésimos de milímetros;

- Execução de Imprimação com Emulsão Asfáltica Imprimante (EAI), taxa de aplicação de 0,9 a 1,3 l/m², conforme Especificação DNIT 144/2014 – 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/m² e taxa residual entre 0,4 e 0,5 l/m², conforme Especificação DNIT 145/2014 – ES;

- Executar Camada Asfáltica de Ligação com 5,0 cm de CAUQ Faixa B – CAP 50/70, em toda a plataforma, conforme Especificação DNIT 031/2006;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de 65 centésimos de milímetros;

- 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/m² e taxa residual entre 0,4 e 0,5 l/m², conforme Especificação DNIT 145/2014 – ES;

- Executar Camada Asfáltica de Rolamento com 5,0 cm de CAUQ Faixa B – CAP 50/70, conforme Especificação DNIT 031/2006;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de 50 centésimos de milímetros.

Fonte do Autor

7.3 Base em Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC) e CAUQ Convencional – Intervenções Necessárias – DF-220.

Tabela 36 – Intervenções Necessárias – DF-220 – Base em BGTC e CAUQ Convencional

DF-220 – Trecho: BR-080/DF-001
Número N (USACE) = $5,20 \times 10^6$
Número N (AASHTO) = $1,83 \times 10^6$
<u>Estrutura do Pavimento</u>
- Camada de Rolamento CAUQ Faixa B (50/70) – e = 6,0 cm
- Base composta por Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC), com e = 18,0 cm;
- Sub-base (Material Terroso + 4,0% Cal Hidratada – CH-I), com e = 12,0 cm;
- Subleito em Argila – ISC = 11,0%.
<u>Intervenções Necessárias</u>
- 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 $\geq 100,0\%$, com ISC $\geq 11,0\%$, conforme a Especificação DNIT 108/2009-ES; - A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de 100 centésimos de milímetros. - Executar camada de sub-base com 12,0 cm de espessura, em Material Terroso, podendo ser utilizadas as Caixas de Empréstimo: 01, 02, 03 e parte da 04 (material granular terroso), iniciando na coordenada: Latitude: 15° 36' 47,76" S e Longitude: 48° 11' 15,14" W e finalizando na coordenada: Latitude: 15° 36' 52,17" S e Longitude: 48° 11' 24,78" W) + 4,0% de Cal Hidratada Tipo CH-I, compactada na Energia Intermediária com GC $\geq 100,0\%$, ISC $\geq 20,0\%$; conforme Especificação Técnica ET-DE-P00/005 – abril de 2006 – DER-SP, com exceção do subitem 3.1, onde quando da execução da obra, a Cal Hidratada CH-I, deverá atender o subitem 5.1 Exigências químicas, conforme Especificação Técnica ABNT NBR 7175- 2003, concomitantemente atendendo a Especificação DNIT 421/2019-ES. Para o cálculo da massa de Cal Hidratada a ser adicionada a mistura, considerar a Massa Específica Aparente Seca do Material Terroso igual

a 1,580 g/cm³. Sugerimos que a distribuição da Cal CH-I, seja realizada por meio de caminhão distribuidor;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de 95 centésimos de milímetros;

- Executar a camada de base em Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC), com teor de cimento variando de 4,0 a 6,0%, em massa, para fins de Orçamento adotar o percentual de 6,0%, com espessura de 18,0 cm, sendo compactada na Energia Modificada com Grau de Compactação $\geq 100\%$, tendo como base a Especificação Técnica do DER-SP – ET-DE-P00/009 – Jul/2005 – Rev. A., exceto com relação à Energia de Compactação, item 5.5, folha 8/24 da referida Especificação. Deverá apresentar Resistência a Compressão Simples Axial aos 07 dias, igual a 3,5 MPa, aos 28 dias de 5,0 MPa. Resistência a Tração na Compressão Diametral de 1,0 MPa, aos 28 dias. Para o cálculo da quantidade de Cimento Portland, para fins de Orçamento, considerar a Massa Específica Aparente Seca da BGTC igual a 2.200 kg/m³.

- A cura deverá ser realizada com banho de emulsão asfáltica tipo RR-1C, taxa de aplicação de 0,6 a 0,8 l/m², com taxa residual $\geq 0,3$ l/m², conforme Especificação DNIT 145/2014 – ES;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de 28 centésimos de milímetros.

- Executar Tratamento Superficial Duplo (TSD), com emulsão asfáltica modificada por polímero - SBS, tipo RR-1C-E, conforme Especificação DNER 392/99 – 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/m² e taxa residual entre 0,4 e 0,5 l/m², conforme Especificação DNIT 145/2014 – ES;

- Executar Camada Asfáltica de Rolamento com 6,0 cm de CAUQ Faixa B – CAP 50/70, em toda a plataforma, conforme Especificação DNIT 031/2006;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de 23 centésimos de milímetros.

Fonte do Autor

8.0 Camada Anti-Reflexão de Trincas (CART) em Tratamento Superficial Duplo (TSD)

A Camada Anti-Reflexão de Trincas tem a função de conter e postergar as trincas advindas da camada cimentada (BGTC) subjacente. Será executada em Tratamento Superficial Duplo – TSD, formado por duas aplicações de ligante asfáltico e duas aplicações de agregado mineral, sucessivas e alternadas.

A referida camada será executada conforme Especificação do DNIT, DNER – ES 392/99, utilizando como ligante betuminoso, a emulsão asfáltica modificada por polímero – SBS, tipo RR-1C-E.

Deverá ser executada duas camadas de Tratamento Superficial, a primeira camada de tratamento superficial constituída de uma aplicação de ligante betuminoso, taxa de 1,2 a 1,8 l/m², coberta por camada de agregado, com taxa variando de 20 a 25 kg/m², sendo enquadrado na Faixa Granulométrica “A” e submetida a compressão. A segunda camada de tratamento superficial será constituída de uma aplicação de ligante betuminoso, taxa de 0,8 a 1,2 l/m², coberta por camada de agregado, com taxa variando de 10 a 12 kg/m², sendo enquadrado na Faixa Granulométrica “B” e submetida a compressão.

Brasília-DF, 21 de fevereiro de 2022.



Eng. Civil Wilkerson Victor da Silva
Gerente de Geotecnia
Mat. 221.148-3
SUTEC/DITEC/GETEC
DER-DF