

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO DISTRITO FEDERAL

SUPERINTENDÊNCIA TÉCNICA – SUTEC

DIRETORIA DE TECNOLOGIA – DITEC

**Complementação da Revisão e Atualização do Projeto
Executivo de Pavimento da Duplicação da DF-250,
realizado pela Empresa STE – Serviços Técnicos de
Engenharia S. A. em 2014 - Trecho Compreendido
Entre a DF-001 / Entrada para Sobradinho dos
Melos.**

Acréscimo de mais uma solução de pavimento com sub-base em Solocal a 3,0% de Cal Hidratada CH-I, camada de base em Material Granular Terroso (Cascalho) + 3,0% de Cimento Portland) e revestimento em Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ).

Brasília – DF

Número “N”

Conforme Relatório de Revisão e Atualização do Projeto Executivo de Pavimento da Duplicação da DF-250, realizado pela Empresa STE – Serviços Técnicos de Engenharia S. A. em 2014 - Trecho Compreendido Entre a DF-001 / Entrada para Sobradinho dos Melos, documento SEI (54879962), anexado ao processo SEI 0113-013987/2013, onde consta a tabela abaixo:

Tabela 01 – Número N - Atualizado

Ano	Número N	
	USACE	AASHTO
2024	5,42E+07	1,19E+07
2025	5,58E+07	1,23E+07
2026	5,75E+07	1,26E+07
2027	5,92E+07	1,30E+07
2028	6,10E+07	1,34E+07
2029	6,28E+07	1,38E+07
2030	6,47E+07	1,42E+07
2031	6,67E+07	1,46E+07

Após a extrapolação dos valores foram encontrados os seguintes valores de Número “N”, para o ano de 2031: **$N_{USACE} = 6,67 \times 10^7$** e **$N_{AASHTO} = 1,46 \times 10^7$** .

Conforme solicitação da Superintendência Técnica, no referido Processo SEI citado acima, de acordo com o Despacho DER-DF/DG/SUTEC (55828121), será feita uma complementação das soluções de pavimento, no item 7.0 Verificação das Soluções de Dimensionamento, acrescentando uma solução com sub-base em Solocal com adição de 3,0% de Cal Hidratada – CH-I, camada de base em Material Granular Terroso com 3,0% de Cimento Portland e revestimento em Concreto Asfáltico Usinado a Quente.

Análise Mecânica do Pavimento Atualizado para a Duplicação da Rodovia DF-250

Programa Computacional – Modelos de Previsão de Desempenho Utilizados.

Tendo sido o pavimento dimensionado pelo método do DNER/1981, faz-se então a verificação mecanicista empírica da estrutura do pavimento.

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

De acordo com Medina e Motta (2005), no dimensionamento mecânico, parte-se de espessuras admitidas para as camadas do pavimento 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 – Análise Elástica de Múltiplas Camadas - AEMC – Módulo de Cálculo de Tensões e Deformações – v. 2.4.1 (Jan/2019), programa desenvolvido por Filipe Augusto Cinque de Proença Franco, D. Sc., download feito a partir do site do DNIT – IPR – Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 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).

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

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

Na tabela 03 é apresentada a relação entre o ponto analisado e o tipo de defeito que se quer avaliar na estrutura do pavimento.

Tabela 03 – 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

Nesta análise será utilizado o programa AEMC para o cálculo das tensões e deformações solicitantes na estrutura do pavimento. A rotina de análise original do *AEMC*, foi desenvolvida por Filipe Augusto Cinque de Proença Franco, D. Sc., e disponibilizado pelo 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.

Equações para avaliação de Parâmetros de Desempenho Admissíveis

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:

Deslocamento Vertical Recuperável (Deflexão) Admissível.

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 011/79***.

– DNER-PRO 011/79

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

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.

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:

$$N = K \times (1/\epsilon_t)^n \text{ (Equação 02)}$$

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):

$$N = 1,092 \times 10^{-6} \times (1/\epsilon_t)^{3,512} \text{ (Equação 03)}$$

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

Deformação Específica de Tração (ϵ_t) da Fibra Inferior da Camada Cimentada.

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:

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

Onde:

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

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

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

Deformação Específica Vertical de Compressão (ϵ_v) 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:

$$N = K \times (1/\epsilon_v)^n \text{ (Equação 05)}$$

– *Dormon & Metcalf (1965)*:

$$N = 6,069 \times 10^{-10} \times (1/\epsilon_v)^{4,762} \text{ (Equação 06)}$$

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.

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: 04, 05 e 06.

Tabela 04 – Valores Usuais de Coeficiente de Poisson

Material	Intervalo de Valores de Coeficiente de Poisson	Valor Recomendado de Coeficiente de Poisson
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

Tabela 05 – Valores Típicos de Módulo 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 OU NÃO COESIVO</i> (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	$1.000 \leq E_{PMF} \leq 1.400$

Tabela 06 – Estimativas dos 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

Cálculo do Módulo de Resiliência do Subleito

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'):

$$MR = 22 \times ISC^{0,8} \text{ (MPa) (Equação 07)}$$

Para a análise em questão será considerada a expressão (Equação 07), referente a solos de comportamento laterítico, para a determinação do módulo de resiliência do subleito a partir do valor de ISC. Tal consideração foi baseada nos boletins de sondagem e ensaios geotécnicos do solo do subleito, que nos mostra a existência de plasticidade e os baixos resultados de expansão, que são indicativos de solos lateríticos argilosos de Brasília-DF.

Assim, considerando a correlação aplicável a solos lateríticos, tem-se o seguinte valor de módulo de resiliência em questão:

$$ISC_{projeto} = 7,0\%$$

$$MR_{subleito} = 22 \times 7^{0,8} = 104,0 \text{ MPa}$$

Massa Específica Média Aparente Seca igual a 1,51 g/cm³.

Coefficiente de Poisson adotado igual a 0,40.

Cálculo do Módulo de Resiliência da Sub-base

Devido ao tempo decorrido entre a realização do Projeto Executivo de Duplicação pela Empresa STE – Serviços Técnicos de Engenharia S. A., posteriormente com os prazos a serem cumpridos no Processo Licitatório, e a efetiva execução da obra, com isso, corre-se o risco da Jazida de Material Granular Terroso no momento da execução dos serviços estar exaurida ou impedida pelos Órgãos Ambientais de fornecer o material por falta de Licença Ambiental. Por este motivo, foram realizados ensaios geotécnicos, promovendo a estabilização química com a mistura de Solo Fino Argiloso proveniente de caixas de empréstimos, localizadas nas faixas lindeiras à referida rodovia com incorporação de 3,0% de Cal Hidratada tipo CH-I, para ser utilizado como material constituinte da camada de sub-base. Foram ensaiados os materiais provenientes das três ocorrências nas caixas de empréstimo que apresentaram os menores valores de ISC, primeiramente, ensaios geotécnicos de laboratório com o solo no seu estado natural, nos seguintes locais: Estaca 05 (Bordo Direito), com ISC = 11,5%, Estaca 09 (Bordo Esquerdo), com ISC = 12,0% e Estaca 11 (Bordo Direito), com ISC = 12,0%, com os resultados obtidos verificamos que as ocorrências com adição de 2,0% de Cal Hidratada CH-I, tiveram resultados muito próximos do limite inferior conforme as especificações preconizadas para a camada de sub-base, com isso, levando em conta a execução dos serviços durante a execução da obras e trabalhando a favor da segurança, por critério do projetista foi adotado para a camada de sub-base, o teor de 3,0% de Cal Hidratada tipo CH-I, conforme Tabela 07 abaixo, os resultados completos dos ensaios de laboratório são apresentados no Anexo A.

Tabela 07 – Solo Melhorado com Cal Hidratada

Local da Coleta	ISC (%) Solo Fino - Natural	ISC (%) Solo Fino + 2,0% de Cal Hidratada – CH-I	ISC (%) Solo Fino + 3,0% de Cal Hidratada – CH-I	ISC (%) Solo Fino + 4,0% de Cal Hidratada – CH-I
ST-05 BD	11,5%	21,0%	24,5%	27,9%
ST-09 BE	12,0%	22,5%	26,8%	31,4%
ST-11 BD	12,0%	22,1%	25,6%	31,1%

Para o material da Sub-base em Solo Fino Argiloso com adição de 3,0% de Cal Hidratada tipo CH-I, consideramos o $ISC_{sub-base} \geq 20,0\%$. Aplicando a (Equação 09), obtemos a seguir o valor do Módulo de Resiliência.

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

(Equação 08)

$MR_{sub-base} = 124 \text{ MPa}$.

Massa Específica Média Aparente Seca igual a $1,55 \text{ g/cm}^3$.

Coefficiente de Poisson adotado igual a 0,38.

Cálculo do Módulo de Resiliência da Base

Para a camada de Base, conforme estudos geotécnicos apresentados no Relatório de Fase Executiva de autoria da Empresa STE, ao analisar os resultados obtidos para o Material Granular Terroso “in natura” e os ensaios relativos ao Material Granular Terroso com adição de Material Pétreo (Brita e Pedrisco), ambos não atenderam aos critérios preconizados nas especificações técnicas vigentes com relação à capacidade de suporte, por este motivo foram descartados. Para o material da camada de base, será

considerado para as avaliações mecânicas iniciais, o Material Granular Terroso com incorporação de 3,0% de Cimento Portland do tipo CP-II 32 F, compactado na energia modificada, para os cálculos consideramos a ocorrência que apresentou o menor valor de Índice de Suporte Califórnia - ISC, contido na Tabela 08 do Relatório citado acima, tendo como valor de ISC igual a 88,0%, para o desenvolvimento dos cálculos, adotou-se as correlações contidas no guia da AASHTO (1993) para dimensionamento de pavimentos que nos fornece as equações abaixo propostas por Heukelon e Klomp (1962) e Nazaal (2003):

$$\text{MR (psi)} = 1500 \times \text{CBR} \text{ ou } \text{MR (Mpa)} = 10,34 \times \text{CBR} \quad (\text{Equação 09})$$

$$\text{MR}_{base} = 10,34 \times 88 = 909,92 = \mathbf{900 \text{ MPa}}$$

Massa Específica Média Aparente Seca igual a 1,95 g/cm³.

Coefficiente de Poisson adotado igual a 0,20.

Para a camada de revestimento em **Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ) faixa "C" DNIT tipo 50/70**, adotou-se o módulo de resiliência igual a **4000 Mpa**, valor este também compreendido 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.

Tabela 08 – Resumo dos Módulos Utilizados Para Esta Análise.

Camada	Material	Módulo de Resiliência (Mpa)	Coefficiente de Poisson
Revestimento	CAUQ Faixa C - 50/70	4000	0,30
Base	Material Granular Terroso + 3,0% cimento CP-II 32 F	900	0,20
Sub-base	Solocal (3,0% de cal CH-I)	124	0,38
Subleito	Argila	104	0,40

Verificação da Solução de Dimensionamento.

Solução de Dimensionamento 07 – Camada de Base em Material Granular Terroso (Cascalho) com adição de Cimento.

Material Granular Terroso (Cascalho) “in natura”, proveniente da Jazida localizada na Fazenda Santa Bárbara, iniciaremos a presente análise mecânica compondo a camada de base, com Material Granular Terroso com adição de 3,0% de Cimento Portland CP-II 32 F, em massa, a camada de sub-base será em Solo Fino Argiloso + 3,0% de Cal Hidratada CH-I e revestimento em Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ). A estrutura de pavimento a ser avaliada:

- **Camada de Revestimento:** CAUQ Faixa C - CAP 50/70, camada de rolamento com e = 13,0 cm;
- **Camada de Base:** Material Granular Terroso (Cascalho) + 3,0% de Cimento Portland) com e = 17,0 cm;
- **Camada de Sub-Base:** Solo Fino Argiloso + 3,0% de Cal Hidratada CH-I, com e = 20,0 cm.
- **Camada de Subleito**

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA							
N USACE	6,67E+07						
N AASHTO	1,46E+07						
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA Estrutura 16' Base com cimento Eng. Murillo Lopes							
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson			
Revestimento	CAUQ (FAIXA C)	13,00	40000	0,30			
Base	Mat. Gran. Terr + 3% Cimento	17,00	9000	0,20			
Sub-base	Solocal a 3%	20,00	1240	0,38			
Subleito	Argila	Infinita	1040	0,40			
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRACÇÃO (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	1,46E+07	1,83E-04	2,15E-04	Reprovado
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO							
Autor	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Ev	Verificação
Dormon & Metcalf	1965	6,069E-10	4,762	6,67E+07	2,64E-04	1,40E-04	Aprovado
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO							
Procedimento	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante AEMC Daemc	Verificação
DNER - PRO 11/79	1979	3,01	0,176	6,67E+07	42,95	44,63	Reprovado
4 – PREVISÃO DE DESEMPENHO							
					5,36E+07	USACE	
					8,29E+06	AASHTO	3,79E+07 USACE
					1,37E+09	USACE	

Fonte do Autor

Diante dos resultados apresentados acima, verificou-se que a estrutura verificada, atendeu, quando avaliado pelo Método Mecanicista Empírico, aos critérios de: deformação específica de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico e deslocamento vertical do revestimento asfáltico e deformação de compressão no topo da camada de subleito.

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

- **Camada de Revestimento:** CAUQ Faixa C - CAP 50/70, camada de rolamento com $e = 13,5$ cm;
- **Camada de Base:** Material Granular Terroso (Cascalho) + 3,0% de Cimento Portland) com $e = 20,0$ cm;
- **Camada de Sub-Base:** Solo Fino Argiloso + 3,0% de Cal Hidratada CH-I, com $e = 20,0$ cm.
- **Camada de Subleito**

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA								
N USACE	6,67E+07							
N AASHTO	1,46E+07							
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA Estrutura 17' Base com cimento Eng. Murillo Lopes								
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson				
Revestimento	CAUQ (FAIXA C)	13,50	40000	0,30				
Base	Mat. Gran. Terr + 3% Cimento	20,00	9000	0,20				
Sub-base	Solocal a 3%	20,00	1240	0,38				
Subleito	Argila	Infinita	1040	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	1,46E+07	1,83E-04	1,81E-04	Aprovado	
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO								
Autor	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Ev	Verificação	
Dormon & Metcalf	1965	6,069E-10	4,762	6,67E+07	2,64E-04	1,28E-04	Aprovado	
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO								
Procedimento	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante AEMC Daemc	Verificação	
DNER - PRO 11/79	1979	3,01	0,176	6,67E+07	42,95	41,95	Aprovado	
Fonte do Autor					4 - PREVISÃO DE DESEMPENHO			
					7,62E+07	USACE		
					1,52E+07	AASHTO	6,93E+07	USACE
					2,09E+09	USACE		

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

Serviços e Especificações.

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

Estrutura Aprovada
<ul style="list-style-type: none">– Camada de Revestimento: CAUQ Faixa C - CAP 50/70, camada de rolamento com e = 13,5 cm;– Camada de Base: Material Granular Terroso (Cascalho) + 3,0% de Cimento Portland) com e = 20,0 cm;– Camada de Sub-Base: Solo Fino Argiloso + 3,0% de Cal Hidratada CH-I, com e = 20,0 cm.– Camada de Subleito :. ISC = 7,0%
Serviços e Especificações
<ul style="list-style-type: none">- 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 7,0%, conforme a Especificação DNIT 108/2009-ES;- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de 103 centésimos de milímetros;- Executar camada de sub-base com 20,0 cm de espessura, em Solo Fino Argiloso com adição de 3,0% de Cal Hidratada – CH-I, compactada na Energia Intermediária com GC \geq 100,0% e ISC \geq 20,0%;- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de 90 centésimos de milímetros.- Executar camada de base com 20,0 cm de espessura, em Material Granular Terroso (Cascalho) + 3,0% de Cimento Portland CP-II 32 F, com ISC \geq 80,0%, compactada na Energia Modificada com GC \geq 100,0%, conforme a Especificação DNIT 142/2010-ES, com exceção do subitem 5.3.1 letra c). Sugerimos que a distribuição do Cimento Portland seja realizada por meio de caminhão distribuidor;- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de 80 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 5,0 cm de CAUQ Faixa C – CAP 50/70, camada de ligação em toda a plataforma, conforme Especificação DNIT 031/2006 – ES;

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 l/m² e taxa residual entre 0,4 e 0,5 l/m².

- Executar 5,0 cm de CAUQ Faixa C – CAP 50/70, camada de ligação em toda a plataforma;

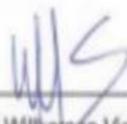
A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de 47 centésimos de milímetros

- 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.

- Executar 3,5 cm de CAUQ Faixa C - CAP 50/70, nas faixas de rolamento;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de 35 centésimos de milímetros

Brasília-DF, 10 de Fevereiro de 2021.



Eng. Civil Wilkerson Victor da Silva
Diretor de Tecnologia