

para o período de projeto, segundo a metodologia do USACE;

Dadm = deflexão admissível, em 0,01 mm;

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

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

Onde:

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

ϵ_t : deformação específica horizontal na tração;

K e n: coeficientes determinados por regressões lineares.

– FHWA (1976):

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

– Asphalt Institute (1976):

$$N = 2,961 \times 10^{-5} \times (1/\epsilon_t)^{3,291} \text{ (Equação 09)}$$

– Pinto e Preussler – CAP 50-70:

$$N = 2,85 \times 10^{-7} \times (1/\epsilon_t)^{3,69} \text{ (Equação 10)}$$

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

c) Para a base ou sub-base de solo-cimento as deformações horizontais de tração, ϵ_t , ou tensões horizontais de tração, σ_t , na fibra inferior da camada de solo-cimento, causadas pelos carregamentos na superfície dos pavimentos, podem causar sua ruptura por fadiga se forem excessivas. Para a análise mecanística recomenda-se utilização de equação de fadiga quanto à flexão de misturas de solo-cimento pesquisadas por Ceratti, apresentada a seguir:

$$N = 10^{(SR-A/B)} \text{ (Equação 11)}$$

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 (tensão atuante e tensão de ruptura);



A e B: coeficientes determinados por regressões lineares, particulares para cada tipo de mistura solo-cimento. Ver Tabela 05.

Tabela 05 – Classificação MCT

Equação	Tipo de solo Classificação MCT	A	B
1	Areias não lateríticas (NA)	125,63	-14,920
2	Areias lateríticas (LA)	64,01	-0,822
3	Solos arenosos lateríticos (LA')	94,76	-2,50
4	Solos argilosos lateríticos (LG')	67,59	-1,03

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

d) Deformação vertical no topo do subleito.

Para análise da deformação específica vertical de compressão atuante no topo do subleito foram consideradas as equações definidas por Dormon & Metcalf (1965) e Shell (1985), constante da Instrução de Pavimentação do DER-SP, expressos pelas seguintes equações:

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

– Dormon & Metcalf (1965):

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

– Shell (1985) – 50% de confiabilidade:

$$N = 6,15 \times 10^{-7} \times (1/\epsilon_v)^{4,0} \text{ (Equação 14)}$$

– Shell (1985) – 85% de confiabilidade:

$$N = 1,94 \times 10^{-7} \times (1/\epsilon_v)^{4,0} \text{ (Equação 15)}$$

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 do DER/SP apresenta alguns valores típicos de coeficientes de Poisson, conforme Tabela 06.

Tabela 06 – Valores usuais de coeficiente de Poisson

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

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

Tabela 07 – Valores usuais de módulo de resiliência ou elasticidade.

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 Estabilizados. 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

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

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

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

- Solos não lateríticos siltosos (NS') e não lateríticos argilosos (NG'):

$$MR = 18 \times ISC^{0,64} \text{ (MPa) (Equação 17)}$$

- Solos arenosos pouco ou não coesivos:

$$MR = 14 \times ISC^{0,70} \text{ (MPa) (Equação 18)}$$

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

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

$$ISC = 6\%$$

$$MR_{\text{subleito}} = 22 \times 6^{0,8} = 92 \text{ Mpa}$$

Para o material da camada de sub-base constituído por solo granular de comportamento laterítico e compactado na energia intermediária foi adotado 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).

$$MR \text{ (psi)} = 1500 \times CBR \text{ ou } MR \text{ (Mpa)} = 10,34 \times CBR \text{ (Equação 19)}$$

Chegando-se ao seguinte Módulo de Resiliência:

$$MR_{\text{sub-base}} = 10,34 \times 20 = 207 \text{ Mpa}$$

Para o material da camada de base, constituída por cascalho, compactada na energia modificada, foram utilizadas as correlações contidas no guia da AASHTO (1993) para dimensionamento de pavimentos (Equação 19) Chegando-se ao seguinte Módulo de Resiliência:

$$Mr_{\text{base}} = 10,34 \times 38,2 = 395 \text{ Mpa}$$

Obs.: Para uma maior segurança, utilizou-se a pior ocorrência da jazida em questão.

Na tabela abaixo encontram-se os valores dos parâmetros de módulos de resiliência e

coeficientes de Poisson considerados nas análises.

Tabela 08 – Módulos de Resiliência e Coeficientes de Poisson

Camada	Material	Módulo de Resiliência (Mpa)	Coeficiente de Poisson
Revestimento	CAUQ	3500	0,30
Base	Cascalho	395	0,36
Base	BGS	250	0,36
Sub-base	Cascalho	207	0,36
Subleito	Argila	92	0,40

A seguir são apresentados os resultados da análise mecânica para a estrutura de pavimento da Rua São Bartolomeu.

6.0 Resultados da Análise Mecânica

De posse dos critérios para uma análise mecânico empírico dos módulos obtidos através da Instrução de Projeto de Pavimentação – DER-SP e do guia da AASHTO (1993) para dimensionamento de pavimentos as soluções propostas pelo Método Murilo Lopes de Souza (DNER) foram retroanalisadas.

Planilha 02 – Estrutura 01 (Método DNER)

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA								
N USACE	4,61E+06							
N AASHTO	3,52E+06							
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA								
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson				
Revestimento	CBUQ	5,00	35000	0,30				
Base	Cascalho	17,00	3950	0,36				
Sub-base	Cascalho	30,00	2070	0,36				
Reforço	Cascalho	-	-	-				
Subleito	Argila	Infinita	920	0,40				
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO								
Autor		Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação
FHWA (1976)		1976	1,092E-06	3,512	3,52E+06	2,74E-04	2,03E-04	Aprovado
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO								
Autor		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação
Dormon & Metcalf		1965	6,069E-10	4,762	4,61E+06	4,63E-04	3,56E-04	Aprovado
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO								
Procedimento		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante Elsym Et	Verificação
DNER - PRO 11/79		1979	3,01	0,176	4,61E+06	68,74	57,1	Aprovado
					4 – PREVISÃO DE DESEMPENHO			
					1,33E+07	USACE		
					1,01E+07	AASHTO		1,33E+07 USACE
					1,60E+07	USACE		

Por meio das análises mecanicistas, verificou-se que a espessura de pavimento dada pelo método DNER atende bem aos critérios mecanísticos, considerando o tráfego de projeto.

A partir daí, por tentativas, foram simuladas outras soluções de dimensionamento, até encontrar uma que venha atender aos critérios mecanísticos selecionados, prezando pela boa técnica e economicidade. Segue abaixo as soluções com suas respectivas espessuras e previsão de desempenho.

6.1.0 Solução de Dimensionamento 01 – Base em BGS

Partindo das espessuras encontradas pelo Método Murilo Lopes de Souza (DNER), foram feitas análises mecanicistas usando Brita Graduada Simples na camada de base, compactada na energia do Proctor Modificado, adotando-se o módulo de resiliência igual a 250 Mpa, valor este compreendido entre os limites informados pela Instrução de Projeto de Pavimentação – IP-DEP00/001DER/SP (150 a 300 Mpa).

Planilha 03 – Estrutura 02 (Base BGS)

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA								
N USACE	4,61E+06							
N AASHTO	3,52E+06							
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA								
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson				
Revestimento	CBUQ	5,00	35000	0,30				
Base	Cascalho	17,00	2500	0,36				
Sub-base	Cascalho	30,00	2070	0,36				
Reforço	Cascalho	-	-	-				
Subleito	Argila	Infinita	920	0,40				
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO								
Autor	Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação	
FHWA (1976)	1976	1,092E-06	3,512	3,52E+06	2,74E-04	2,71E-04	Aprovado	
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO								
Autor	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação	
Dormon & Metcalf	1965	6,069E-10	4,762	4,61E+06	4,63E-04	3,90E-04	Aprovado	
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO								
Procedimento	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante Elsym Et	Verificação	
DNER - PRO 11/79	1979	3,01	0,176	4,61E+06	68,74	68,2	Aprovado	
					4 – PREVISÃO DE DESEMPENHO			
					4,82E+06	USACE		
					3,68E+06	AASHTO	4,82E+06	USACE
					1,04E+07	USACE		

Planilha 04 – Estrutura 03 (Base BGS)

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA										
N USACE	4,61E+06									
N AASHTO	3,52E+06									
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA										
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson						
Revestimento	CBUQ	5,00	35000	0,30						
Base	BGS	17,00	2500	0,36						
Sub-base	Cascalho	25,00	2070	0,36						
Reforço	Argila	-	-	-						
Subleito	Argila	Infinita	920	0,40						
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO										
Autor		Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação		
FHWA (1976)		1976	1,092E-06	3,512	3,52E+06	2,74E-04	2,72E-04	Aprovado		
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO										
Autor		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação		
Dormon & Metcalf		1965	6,069E-10	4,762	4,61E+06	4,63E-04	4,46E-04	Aprovado		
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO										
Procedimento		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante Elsym Et	Verificação		
DNER - PRO 11/79		1979	3,01	0,176	4,61E+06	68,74	68,4	Aprovado		
4 - PREVISÃO DE DESEMPENHO										
					4,76E+06		USACE			
					3,63E+06		AASHTO		4,76E+06	USACE
					5,48E+06		USACE			

Planilha 05 – Estrutura 04 (Base BGS)

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA									
N USACE	4,61E+06								
N AASHTO	3,52E+06								
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA									
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson					
Revestimento	CBUQ	5,00	35000	0,30					
Base	BGS	16,00	2500	0,36					
Sub-base	Cascalho	25,00	2070	0,36					
Reforço	-	-	-	-					
Subleito	Argila	Infinita	920	0,40					
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO									
Autor		Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação	
FHWA (1976)		1976	1,092E-06	3,512	3,52E+06	2,74E-04	2,20E-04	Aprovado	
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO									
Autor		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação	
Dormon & Metcalf		1965	6,069E-10	4,762	4,61E+06	4,63E-04	4,37E-04	Aprovado	
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO									
Procedimento		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante Elsym Et	Verificação	
DNER - PRO 11/79		1979	3,01	0,176	4,61E+06	68,74	60,0	Aprovado	
4 - PREVISÃO DE DESEMPENHO									
						1,00E+07	USACE		
						7,65E+06	AASHTO	1,00E+07	USACE
						6.04E+06	USACE		

Planilha 06 – Estrutura 05 (Base BGS)

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA									
N USACE	4,61E+06								
N AASHTO	3,52E+06								
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA									
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson					
Revestimento	CBUQ	5,00	35000	0,30					
Base	BGS	15,00	2500	0,36					
Sub-base	Cascalho	25,00	2070	0,36					
Reforço	-	-	-	-					
Subleito	Argila	Infinita	920	0,40					
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO									
Autor		Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação	
FHWA (1976)		1976	1,092E-06	3,512	3,52E+06	2,74E-04	2,73E-04	Aprovado	
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO									
Autor		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação	
Dornon & Metcalf		1965	6,069E-10	4,762	4,61E+06	4,63E-04	4,75E-04	Reprovado	
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO									
Procedimento		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante Elsym Et	Verificação	
DNER - PRO 11/79		1979	3,01	0,176	4,61E+06	68,74	68,5	Aprovado	
4 - PREVISÃO DE DESEMPENHO									
						4,69E+06	USACE		
						3,58E+06	AASHTO	4,69E+06	USACE
						4,06E+06	USACE		

Planilha 07 – Estrutura 06 (Base BGS)

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA										
N USACE	4,61E+06									
N AASHTO	3,52E+06									
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA										
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson						
Revestimento	CBUQ	5,00	35000	0,30						
Base	BGS	20,00	2500	0,36						
Sub-base	Cascalho	20,00	2070	0,36						
Reforço	-	-	-	-						
Subleito	Argila	Infinita	920	0,40						
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO										
Autor		Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação		
FHWA (1976)		1976	1,092E-06	3,512	3,52E+06	2,74E-04	2,70E-04	Aprovado		
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO										
Autor		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação		
Dornon & Metcalf		1965	6,069E-10	4,762	4,61E+06	4,63E-04	4,72E-04	Reprovado		
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO										
Procedimento		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante Elsym Et	Verificação		
DNER - PRO 11/79		1979	3,01	0,176	4,61E+06	68,74	68,1	Aprovado		
4 - PREVISÃO DE DESEMPENHO										
					4,88E+06		USACE			
					3,73E+06		AASHTO		4,88E+06 USACE	
					4,19E+06		USACE			

Planilha 08 – Estrutura 07 (Base BGS)

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA										
N USACE		4,61E+06								
N AASHTO		3,52E+06								
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA										
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson						
Revestimento	CBUQ	6,00	35000	0,30						
Base	BGS	20,00	2500	0,36						
Sub-base	Cascalho	20,00	2070	0,36						
Reforço	-	-	-	-						
Subleito	Argila	Infinita	920	0,40						
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO										
Autor		Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação		
FHWA (1976)		1976	1,092E-06	3,512	3,52E+06	2,74E-04	2,70E-04	Aprovado		
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO										
Autor		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação		
Dormon & Metcalf		1965	6,069E-10	4,762	4,61E+06	4,63E-04	4,47E-04	Aprovado		
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO										
Procedimento		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante Elsym Et	Verificação		
DNER - PRO 11/79		1979	3,01	0,176	4,61E+06	68,74	68,1	Aprovado		
					4 – PREVISÃO DE DESEMPENHO					
					4,88E+06		USACE			
					3,73E+06		AASHTO		4,88E+05	USACE
					5,42E+06		USACE			

Portanto, após as verificações mecânicas, concluiu-se que a planilha 05/Estrutura 04 atende aos critérios exigidos para um bom desempenho desta rodovia. Assim, obteve-se a seguinte estrutura de pavimento:

- **Revestimento:** Em Concreto Asfáltico Usinado a Quente com 5,0 cm de espessura;
- **Camada de Base:** Em Brita Graduada Simples com 16,0 cm de espessura;
- **Camada de Sub-base:** Em material granular (cascalho) com 25,0 cm de espessura.

6.1.1 Solução de Dimensionamento 02 – Base em Cascalho

Partindo das espessuras encontradas pelo Método Murilo Lopes de Souza (DNER), foram feitas análises mecanicistas usando material granular (Cascalho) na camada de base, compactada na energia do Proctor Modificado, adotando-se o módulo de resiliência igual a 395 Mpa.

Planilha 09 – Estrutura 08 (Base em Cascalho)

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA									
N USACE	4,61E+06								
N AASHTO	3,52E+06								
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA									
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson					
Revestimento	CBUQ	5,00	35000	0,30					
Base	Cascalho	17,00	3950	0,36					
Sub-base	Cascalho	25,00	2070	0,36					
Reforço	-		-	-					
Subleito	Argila	Infinita	920	0,40					
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO									
Autor		Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação	
FHWA (1976)		1976	1,092E-06	3,512	3,52E+06	2,74E-04	1,83E-04	Aprovado	
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO									
Autor		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação	
Dormon & Metcalf		1965	6,069E-10	4,762	4,61E+06	4,63E-04	4,06E-04	Aprovado	
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO									
Procedimento		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante Elsym Et	Verificação	
DNER - PRO 11/79		1979	3,01	0,176	4,61E+06	68,74	53,5	Aprovado	
4 - PREVISÃO DE DESEMPENHO									
					1,91E+07	USACE			
					1,46E+07	AASHTO		1,91E+07	USACE
					8.58E+06	USACE			

Planilha 10 – Estrutura 09 (Base em Cascalho)

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA								
N USACE	4,61E+06							
N AASHTO	3,52E+06							
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA								
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kg/cm²)	Poisson				
Revestimento	CBUQ	5,00	35000	0,30				
Base	Cascalho	17,00	3950	0,36				
Sub-base	Cascalho	20,00	2070	0,36				
Reforço	-	-	-	-				
Subleito	Argila	Infinita	920	0,40				
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO								
Autor	Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação	
FHWA (1976)	1976	1,092E-06	3,512	3,52E+06	2,74E-04	1,84E-04	Aprovado	
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO								
Autor	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação	
Dormon & Metcalf	1965	6,069E-10	4,762	4,61E+06	4,63E-04	4,71E-04	Reprovado	
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO								
Procedimento	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante Elsym Et	Verificação	
DNER - PRO 11/79	1979	3,01	0,176	4,61E+06	68,74	53,7	Aprovado	
4 – PREVISÃO DE DESEMPENHO								
				1,88E+07	USACE			
				1,43E+07	AASHTO	1,88E+07	USACE	
				4,23E+06	USACE			

Planilha 11 – Estrutura 10 (Base em Cascalho)

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA								
N USACE	4,61E+06							
N AASHTO	3,52E+06							
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA								
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson				
Revestimento	CBUQ	5,00	35000	0,30				
Base	Cascalho	18,00	3950	0,36				
Sub-base	Cascalho	20,00	2070	0,36				
Reforço	-	-	-	-				
Subleito	Argila	Infinita	920	0,40				
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO								
Autor	Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação	
FHWA (1976)	1976	1,092E-06	3,512	3,52E+06	2,74E-04	1,82E-04	Aprovado	
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO								
Autor	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação	
Dormon & Metcalf	1965	6,069E-10	4,762	4,61E+06	4,63E-04	4,54E-04	Aprovado	
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO								
Procedimento	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm Et	Solicitante Elsym Et	Verificação	
DNER - PRO 11/79	1979	3,01	0,176	4,61E+06	68,74	53,3	Aprovado	
					4 – PREVISÃO DE DESEMPENHO			
					1,95E+07	USACE		
					1,49E+07	AASHTO	1,95E+07	USACE
					5,04E+06	USACE		

Planilha 12 – Estrutura 11 (Base em Cascalho)

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA										
N USACE	4,61E+06									
N AASHTO	3,52E+06									
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA										
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson						
Revestimento	CBUQ	4,00	35000	0,30						
Base	Cascalho	20,00	3950	0,36						
Sub-base	Cascalho	20,00	2070	0,36						
Reforço	-	-	-	-						
Subleito	Argila	Infinita	920	0,40						
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO										
Autor		Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação		
FHWA (1976)		1976	1,092E-06	3,512	3,52E+06	2,74E-04	1,58E-04	Aprovado		
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO										
Autor		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação		
Dormon & Metcalf		1965	6,069E-10	4,762	4,61E+06	4,63E-04	4,45E-04	Aprovado		
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO										
Procedimento		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm Et	Solicitante Elsym Et	Verificação		
DNER - PRO 11/79		1979	3,01	0,176	4,61E+06	68,74	48,9	Aprovado		
4 – PREVISÃO DE DESEMPENHO										
					3,20E+07		USACE			
					2,45E+07		AASHTO		3,20E+07 USACE	
					5,54E+06		USACE			

Portanto, após as verificações mecânicas, concluiu-se que a planilha 12/Estrutura 11 atende aos critérios exigidos para um bom desempenho desta rodovia. Assim, obteve-se a seguinte estrutura de pavimento:

- **Revestimento:** Em Concreto Asfáltico Usinado a Quente com 4,0 cm de espessura;
- **Camada de Base:** Em material granular (cascalho) com 20,0 cm de espessura;
- **Camada de Sub-base:** Em material granular (cascalho) com 20,0 cm de espessura.

6.1.2 Solução de Dimensionamento 03 – Base em Cascalho com 2% de Cimento (Solo Cimento Com Baixo Teor de Cimento)

Partindo-se da estrutura encontrada pelo método DNER – Eng.: Murilo Lopes de Souza, fez-se uma nova análise mecânica utilizando solo com baixo teor de cimento.

Planilha 13 – Estrutura 12 (Base em Cascalho Com Baixo Teor de Cimento)

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA								
N USACE	4,61E+06							
N AASHTO	3,52E+06							
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA								
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson				
Revestimento	CBUQ	5,00	35000	0,30				
Base	Cascalho com 2% de Cimento	17,00	4850	0,36				
Sub-base	Cascalho	25,00	2070	0,36				
Reforço	-	-	-	-				
Subleito	Argila	Infinita	920	0,40				
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO								
Autor		Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação
FHWA (1976)		1976	1,092E-06	3,512	3,52E+06	2,74E-04	1,39E-04	Aprovado
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO								
Autor		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação
Dormon & Metcalf		1965	6,069E-10	4,762	4,61E+06	4,63E-04	3,78E-04	Aprovado
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO								
Procedimento		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante Elsym Et	Verificação
DNER - PRO 11/79		1979	3,01	0,176	4,61E+06	68,74	45,1	Aprovado
					4 – PREVISÃO DE DESEMPENHO			
					5,02E+07	USACE		
					3,84E+07	AASHTO		5,02E+07 USACE
					1,21E+07	USACE		

Planilha 14 – Estrutura 13 (Base em Cascalho Com Baixo Teor de Cimento)

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA								
N USACE	4,61E+06							
N AASHTO	3,52E+06							
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA								
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson				
Revestimento	CBUQ	5,00	35000	0,30				
Base	Cascalho com 2% de Cimento	15,00	4850	0,36				
Sub-base	Cascalho	25,00	2070	0,36				
Reforço	-	-	-	-				
Subleito	Argila	Infinita	920	0,40				
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO								
Autor	Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação	
FHWA (1976)	1976	1,092E-06	3,512	3,52E+06	2,74E-04	1,43E-04	Aprovado	
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO								
Autor	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação	
Dormon & Metcalf	1965	6,069E-10	4,762	4,61E+06	4,63E-04	4,08E-04	Aprovado	
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO								
Procedimento	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante Elsym Et	Verificação	
DNER - PRO 11/79	1979	3,01	0,176	4,61E+06	68,74	45,9	Aprovado	
					4 – PREVISÃO DE DESEMPENHO			
					4,55E+07	USACE		
					3,47E+07	AASHTO	4,55E+07	USACE
					8.38E+06	USACE		

Planilha 15 – Estrutura 14 (Base em Cascalho Com Baixo Teor de Cimento)

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA										
N USACE	4,61E+06									
N AASHTO	3,52E+06									
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA										
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson						
Revestimento	CBUQ	4,00	35000	0,30						
Base	Cascalho com 2% de Cimento	15,00	4850	0,36						
Sub-base	Cascalho	25,00	2070	0,36						
Reforço	-	-	-	-						
Subleito	Argila	Infinita	920	0,40						
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO										
Autor		Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação		
FHWA (1976)		1976	1,092E-06	3,512	3,52E+06	2,74E-04	1,11E-04	Aprovado		
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO										
Autor		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação		
Dormon & Metcalf		1965	6,069E-10	4,762	4,61E+06	4,63E-04	4,31E-04	Aprovado		
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO										
Procedimento		Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante Elsym Et	Verificação		
DNER - PRO 11/79		1979	3,01	0,176	4,61E+06	68,74	39,3	Aprovado		
					4 – PREVISÃO DE DESEMPENHO					
					1,11E+08		USACE			
					8,45E+07		AASHTO		1,11E+08	USACE
					6,45E+06		USACE			

Planilha 16 – Estrutura 15 (Base em Cascalho Com Baixo Teor de Cimento)

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA								
N USACE	4,61E+06							
N AASHTO	3,52E+06							
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA								
CAMADA	MATERIAL	ESP. (cm)	MR (Kgf/cm²)	Poisson				
Revestimento	CBUQ	3,00	35000	0,30				
Base	Cascalho com 2% de Cimento	15,00	4850	0,36				
Sub-base	Cascalho	25,00	2070	0,36				
Reforço	-	-	-	-				
Subleito	Argila	Infinita	920	0,40				
1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO								
Autor	Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação	
FHWA (1976)	1976	1,092E-06	3,512	3,52E+06	2,74E-04	8,18E-05	Aprovado	
2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO								
Autor	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante Elsym Et	Verificação	
Dormon & Metcalf	1965	6,069E-10	4,762	4,61E+06	4,63E-04	4,55E-04	Aprovado	
3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO								
Procedimento	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Dadm	Solicitante Elsym Et	Verificação	
DNER - PRO 11/79	1979	3,01	0,176	4,61E+06	68,74	32,5	Aprovado	
4 – PREVISÃO DE DESEMPENHO								
					3,23E+08	USACE		
					2,47E+08	AASHTO	3,23E+08	USACE
					4,99E+06	USACE		

Portanto, após as verificações mecânicas, concluiu-se que a planilha 16/Estrutura 15 atende aos critérios exigidos para um bom desempenho desta rodovia. Assim, obteve-se a seguinte estrutura de pavimento:

- **Revestimento:** Em Concreto Asfáltico Usinado a Quente com 3,0 cm de espessura;
- **Camada de Base:** Em material granular com 2,0% de cimento (cascalho) com 15,0 cm de espessura;
- **Camada de Sub-base:** Em material granular (cascalho) com 25,0 cm de espessura.

7.0 Serviços De Terraplenagem

7.1 Caixas de Empréstimo

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

7.2 Cortes

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

Nos cortes cujo material apresentar CBR menor que 6% (energia normal), serão executados serviços de escavação do subleito e posterior enchimento com material selecionado, de modo a se obter no mínimo duas camadas com espessuras de 20 cm cada e grau de compactação não inferior a 100% do método DNIT-ME 164/13 (energia intermediária).

7.3 Aterro

O aterro será construído de acordo com a especificação DNIT 108/2009-ES. O material será obtido de cortes e/ou de caixas de empréstimo/bota-espera, conforme indicado em projeto, e compactado com grau mínimo de 100% do método DNIT-ME 164/13 (energia intermediária), sendo em duas camadas, com espessura de 20 cm cada, sendo que a deflexão recuperável a ser obtida deverá apresentar um valor máximo de 90 centésimos de milímetros medida na segunda camada.

7.4 Sub-Base

A camada de sub-base será realizada por meio da utilização do material extraído de caixas de empréstimo e deverá ter espessura final de acordo com a solução de dimensionamento adotada (01, 02 ou 03) conforme constante no projeto de pavimentação, ISC maior que 20% e expansão $\leq 1,0\%$, por intermédio dos seguintes ensaios: Ensaio de Compactação – Norma DNIT-ME 164/13 Método B (energia intermediária) e Ensaio de Índice de Suporte Califórnia – ISC – NORMA DNIT 172/2016 – ME. Ainda, deverá apresentar grau de compactação igual ou superior a 100%, na energia de compactação intermediária.

A deflexão recuperável, a ser obtida sobre a superfície acabada da camada final de sub-base, deverá apresentar um valor máximo de 80 centésimos de milímetros.

7.5 Base em Material Granular (Cascalho/BGS)

Será constituída de material granular, com espessura final de acordo com a solução de dimensionamento adotada (01, 02 ou 03), conforme constante no projeto de pavimentação, com CBR mínimo $ISC \geq 60\%$, compactado com grau mínimo de 100% pelo método DNIT-ME 164/13 –

Método C (energia modificada). Ainda, deverá apresentar grau de compactação igual ou superior a 100%, na energia de compactação modificada. A deflexão recuperável, a ser obtida sobre a superfície acabada da base, deverá apresentar um valor máximo de 70 centésimos de milímetros.

7.6 Serviços De Pavimentação

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

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

7.7 Imprimação

Sobre a superfície de base acabada e devidamente liberada pelo DER/DF, será feita imprimação com emulsão asfáltica tipo EAI, em conformidade com a norma DNIT 165/2013-EM, bem como qualquer outro parâmetro descrito na Norma DNIT 144/2014-ES, a qual deverá ser seguida em sua totalidade, à taxa de aplicação de 0,9 a 1,3 l/m² (definida em ensaios In Situ).

7.8 Revestimento (CAUQ).

Pintura de ligação que deverá ser executada conforme especificação DNIT 145/2010-ES, com emulsão asfáltica RR-1C, diluída em água na proporção de 1:1, aplicando-se a mistura, numa taxa residual, no mínimo 0,40 l/m² (a taxa de aplicação de emulsão diluída é da ordem de 0,8 l/m² a 1,0 l/m²);

Aplicação de Cimento Asfáltico Usinado a Quente com ligante tipo CAP 50/70 em uma camada de acordo com a solução de dimensionamento adotada (01, 02 ou 03), conforme constante no projeto de pavimentação, em toda a sua extensão. A faixa a ser empregada, deverá ser a faixa “C”, de acordo com a Norma DNIT 031/2006 – ES; A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de:

- 60 centésimos de milímetros para solução 01;
- 49 centésimos de milímetros para solução 02;
- 33 centésimos de milímetros para solução 03;

8.0 Considerações Finais

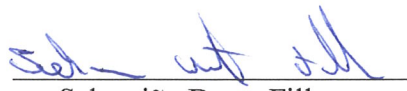
Após a realização das análises mecânicas para pavimentação Rua São Bartolomeu, no trecho compreendido entre a rua 22 e Escola Classe São Bartolomeu situada no Núcleo Rural Capão Comprido (São Sebastião – DF), considerando os cenários de materiais a serem utilizados, tem-se as seguintes estruturas que atendem aos critérios mecânicos.

Figura 05 – Soluções Apresentadas

Rua São Bartolomeu	
Número N (USACE) =	4,61E+06
Número N (AASHTO) =	3,52E+06
SOLUÇÃO DE PAVIMENTO INICIAL (MÉTODO DNER)	
CBUQ FAIXA C e = 5,0 cm	
BASE GRANULAR (Cascalho) e = 17,0 cm	
SUB-BASE GRANULAR (Cascalho) e = 30,0 cm	
SUBLEITO ISC projeto. = 6%	
ALTERNATIVAS DE SOLUÇÕES DE PAVIMENTO	
SOLUÇÃO 01	
CBUQ FAIXA C e = 5,0 cm	
BASE GRANULAR (BGS) e = 16,0 cm	
SUB-BASE GRANULAR (Cascalho) e = 25,0 cm	
SUBLEITO ISC projeto. = 6%	
SOLUÇÃO 02	
CBUQ FAIXA C e = 4,0 cm	
BASE GRANULAR (Cascalho) e = 20,0 cm	
SUB-BASE GRANULAR (Cascalho) e = 20,0 cm	
SUBLEITO ISC projeto. = 6%	
SOLUÇÃO 03	
CBUQ FAIXA C e = 3,0 cm	
BASE GRANULAR (Cascalho) C/2% CIMENTO e = 15,0 cm	
SUB-BASE GRANULAR (Cascalho) e = 25,0 cm	
SUBLEITO ISC projeto. = 6%	

Faz necessário, ainda, a elaboração de estudos de drenagem e sinalização (vertical e horizontal) não previstos neste projeto de implantação.

Brasília, 18 Outubro de 2019



Sebastião Dutra Filho
Gerente de Pavimento
DITEC/SUTEC/DER-DF