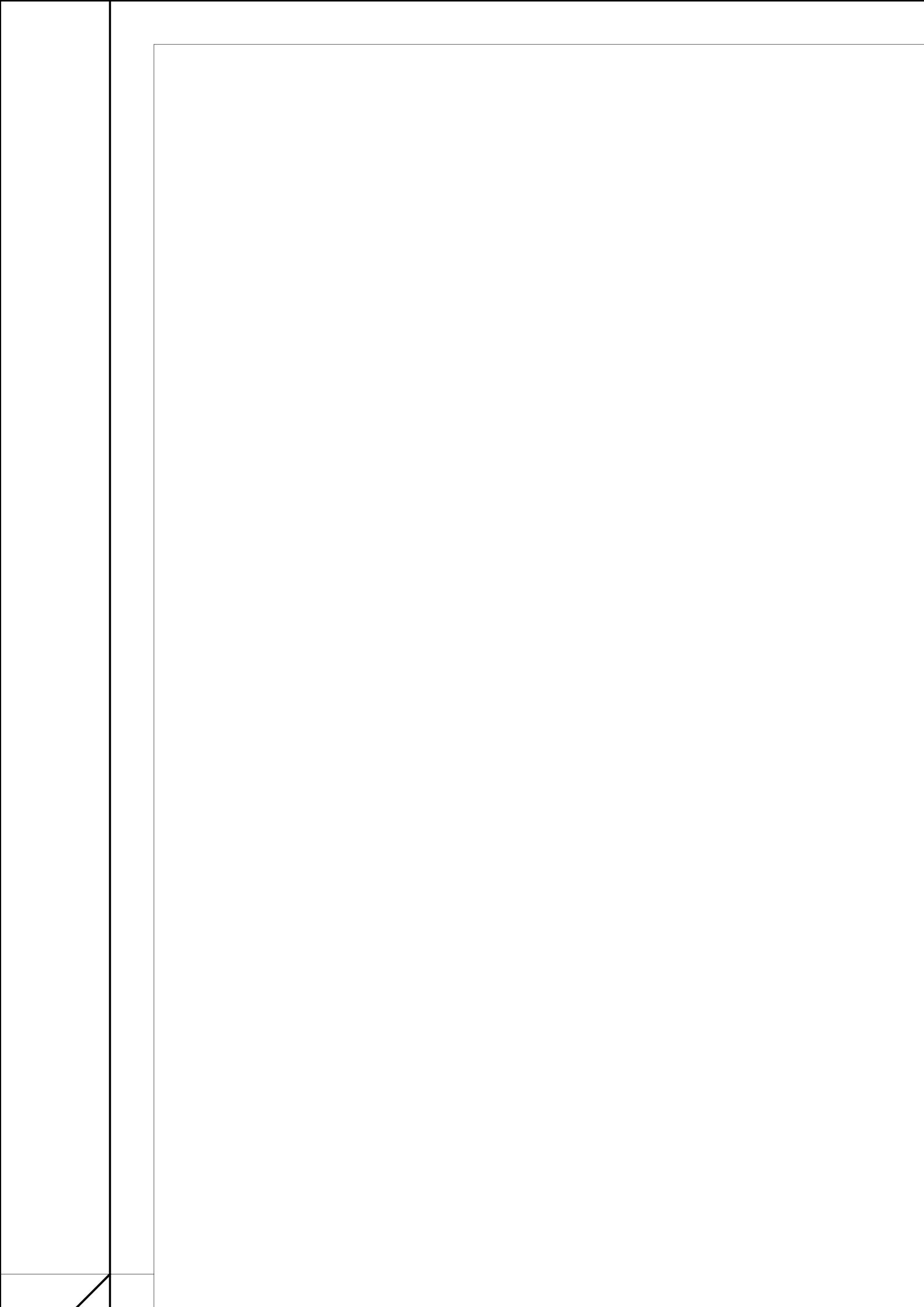
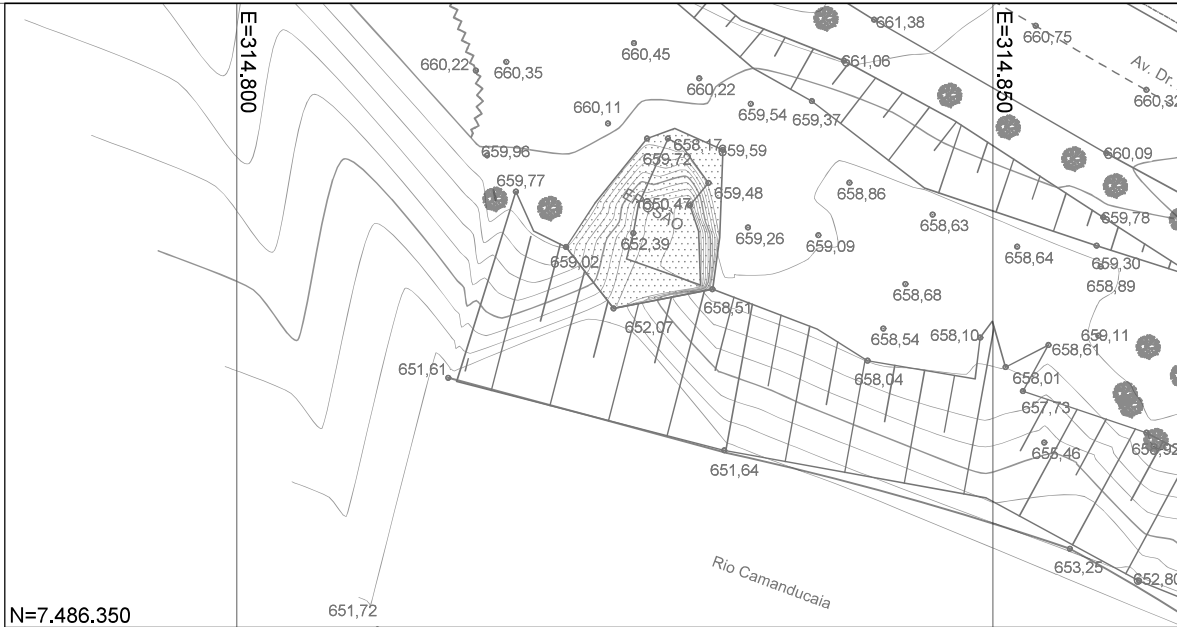
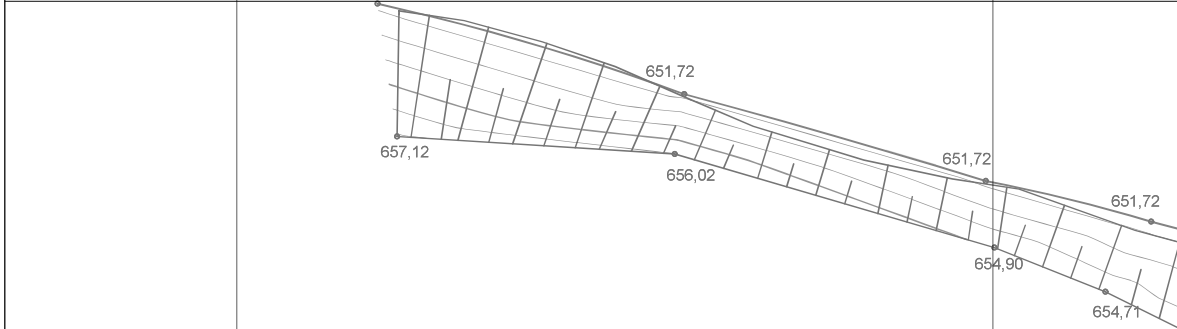






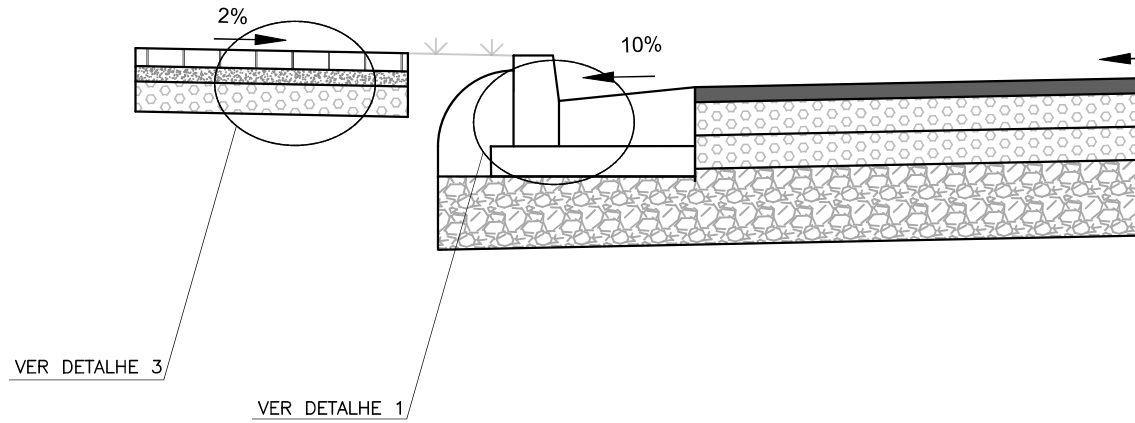
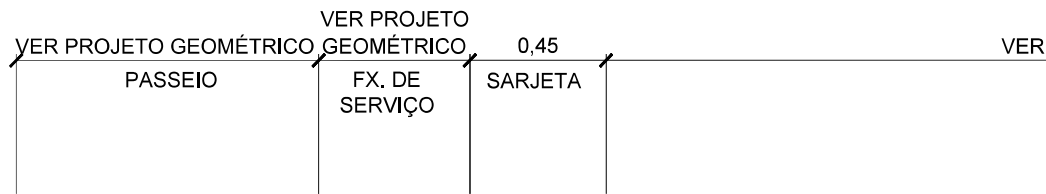
N=7.486.350



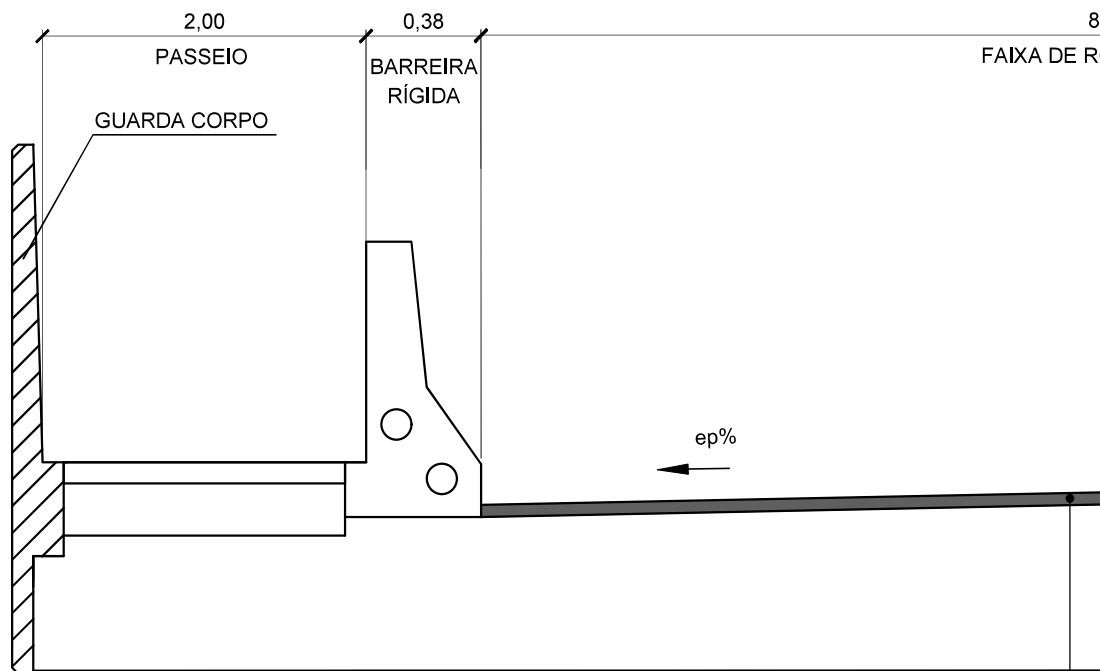
N=7.486.300

N=7.486.250

CORTE A-A
PAVIMENTO TIPO I - FLEXÍVEL



CORTE B-B
PONTE PROJETADA - PAVIMENTO TIPO II





CÓDIGO	
MC-SPA0460095-AMP-SVT-001-P05-001_A1	
EMIÇÃO	FOLHA
01/2026	1 de 15
EMITENTE	
-	

EMITENTE

PREFEITURA MUNICIPAL DE AMPARO - SP

EMPREENHIMENTO

PONTE SOBRE RIO CAMANDUCAIA – SP-95 KM 45+500 / SILVESTRE 1 –
AMPARO - SP

CONTRATO

-

TÍTULO

MEMORIA DE CÁLCULO DE DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS NOVOS

ELABORAÇÃO	RESP. TÉCNICO	VERIFICAÇÃO	LIBERAÇÃO DA SPA	APROVAÇÃO SPA
Henrique César	-	-		

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

DOCUMENTOS RESULTANTES

OBSERVAÇÕES

REVISÃO	DATA	RESP. TÉCNICO	VERIFICAÇÃO	LIBERAÇÃO	APROVAÇÃO
					FABIO GIANNINI-093146398 00

ÍNDICE

1.	APRESENTAÇÃO	3
2.	PARÂMETROS DE PROJETO	4
2.1	TRÁFEGO	4
2.2	CARACTERÍSTICAS DO SUBLEITO	5
3.	DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO	8
3.1	MÉTODO CBR DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS - DER/SP	8
3.2	MEMÓRIA DE CÁLCULO DO DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO.	10
3.3	VERIFICAÇÃO DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO POR MEIO DA TEORIA DA ELASTICIDADE	11
3.4	VERIFICAÇÃO DA FADIGA NO CONCRETO ASFÁLTICO	12
3.5	VERIFICAÇÃO DA DEFORMAÇÃO DO SUBLEITO	13
3.6	RESULTADOS DAS VERIFICAÇÕES	13
4.	ESTRUTURA FINAL DE PROJETO	14
5.	ANEXOS	15
	ANEXO I - SAÍDAS DO PROGRAMA AEMC	15

1. APRESENTAÇÃO

O presente documento tem por objetivo apresentar a memória de cálculo de dimensionamento dos pavimentos novos, para a elaboração de projeto básico das obras da Ponte Sobre o Rio Camanducaia – SP-95 KM 45+500 / Sivestre 1 – Amparo/SP

A Figura 1 a seguir, ilustra a localização da obra, objeto dos estudos e projetos.



Figura 1 – Mapa de Situação

2. PARÂMETROS DE PROJETO

Cada estrutura do pavimento deve ser dimensionada tendo em vista os materiais disponíveis, o tráfego previsto para o período de projeto e as características geotécnicas do local de tal forma que se proteja o subleito contra a geração de deformações plásticas excessivas, bem como proteger as camadas asfálticas do processo de fadiga decorrente do carregamento cíclico do tráfego previsto.

A seguir serão apresentados os parâmetros adotados no dimensionamento

2.1 TRÁFEGO

As características do tráfego que solicitará o pavimento são de fundamental importância para o correto dimensionamento da estrutura de pavimento, uma vez que se relacionam intimamente com os esforços internos solicitantes na estrutura do pavimento, quando submetida ao carregamento pela passagem de veículos comerciais devido suas cargas aplicadas ao pavimento.

O tráfego, tipos de eixo e cargas de veículos comerciais integrantes da frota solicitante prevista devem ser convertidos e transformados no Número “N” de solicitações equivalentes de um eixo simples de rodas duplas com carregamento de 8,2 tf, denominado eixo padrão.

O Número Equivalente “N”, necessário ao dimensionamento do pavimento, é definido como sendo o número de repetições equivalentes de um eixo-padrão rodoviário com 8,2t (18.000lb ou 80kN), durante o período de análise do projeto.

Para este projeto será considerado que a estrutura de pavimento flexível terá um período de projeto de 10 anos.

Para o cálculo do número de aplicações do eixo padrão de 8,2 tf – N foram consideradas as contagens apresentadas no documento RT-SP0000095-045.046-000-J04/001.

Dessa maneira, para o dimensionamento da estrutura do pavimento da pista de rolamento tem-se os seguintes números “N”:

Método	Número “N”
USACE	1,95 x 10 ⁶
AASHTO	1,11 x 10 ⁶

2.2 CARACTERÍSTICAS DO SUBLEITO

Para a verificação e análise das propriedades geotécnicas e comportamentos dos solos do subleito da região foram executadas 4 amostras com coleta de amostras para realização de ensaios em todas as amostras.

Não foi verificada a presença de água em nenhum dos furos das sondagens a trado realizadas.

O resumo dos resultados dos ensaios de compactação (CBR e expansão) e o quadro resumo dos ensaios de caracterização do subleito estão apresentados a seguir.

FURO	NA	Material	Compactação (En. Normal)		CBR		Granulometria								Limites Consistência			Índice de Grupo (IG)	Classificação HRB	Classificação S.U.C.S
			γs máximo (g/cm³)	Umidade ótima (% em massa)	CBR (%)	Expansão (%)	% Passante								LL (%)	LP (%)	IP (%)			
							2" 50,80 mm	1" 25,40 mm	3/8" 9,50 mm	Nº 4 4,80 mm	Nº 10 2,00 mm	Nº 40 0,42 mm	Nº 200 0,075 mm							
PONTO A	SECO	Silte Argiloso	1,751	13,8	6,20	0,80	100,0	100,0	99,8	99,5	98,2	79,0	25,4	40,3	25,7	14,6	6	A-4	ML	
PONTO C	SECO	Areia Siltosa	1,646	12,1	7,20	0,97	100,0	100,0	100,0	99,3	95,6	55,9	17,9	30,2	NP	NP	6	A-4	ML	
PONTO E	SECO	Areia Siltosa	1,684	15,4	5,50	0,40	100,0	100,0	99,7	99,0	95,2	62,2	15,9	30,2	NP	NP	6	A-2	ML	
PONTO D	SECO	Areia Siltosa	1,778	12,3	7,60	0,66	100,0	100,0	99,7	99,0	95,2	62,2	15,5	30,2	NP	NP	6	A-2	SM	

Com base nos resultados apresentados, procedeu-se ao cálculo do CBR de projeto (estatístico) segundo o método de dimensionamento do DER/SP para o segmento analisado. A metodologia de cálculo do CBRp é demonstrada a seguir:

$$CBR_p = CBR_M - \frac{S \times t_{0,90}}{\sqrt{n} - 1}$$

Onde:

CBRM = média aritmética dos CBR das "n" amostras ensaiadas;

t_{0,90} = coeficiente de Student relativo ao intervalo de confiança de 90%,

S = desvio padrão da população dos valores de CBR das "n" amostras ensaiadas.

$$CBR_M = \sum \frac{CBR_i}{n} \quad S = \sqrt{\frac{\sum (CBR_i - CBR_M)^2}{n}}$$

Os resultados dos cálculos estão apresentados na tabela a seguir.

CAPACIDADE DE SUPORTE - CBR DE PROJETO - DER-SP				
Nº de amostras (n) Validas	CBR Médio (%)	Desvio-Padrão (%)	Constante de Student	CBRp (%)
4	6,63	0,83	1,64	5,8

Calculou-se CBR de projeto igual a 5,8%. Para fins de racionalidade construtiva e padronização executiva, foi adotado CBR de projeto de 5,5% sendo o menor valor encontrado nas amostras evitando assim descontinuidades construtivas, reduzindo a necessidade de troca de solos e reforços, e ainda confere margem de segurança frente à variabilidade geotécnica, sem comprometer o desempenho estrutural verificado nas análises de projeto.

Os gráficos apresentados a seguir mostram a expansão e o CBR obtidos nos ensaios.

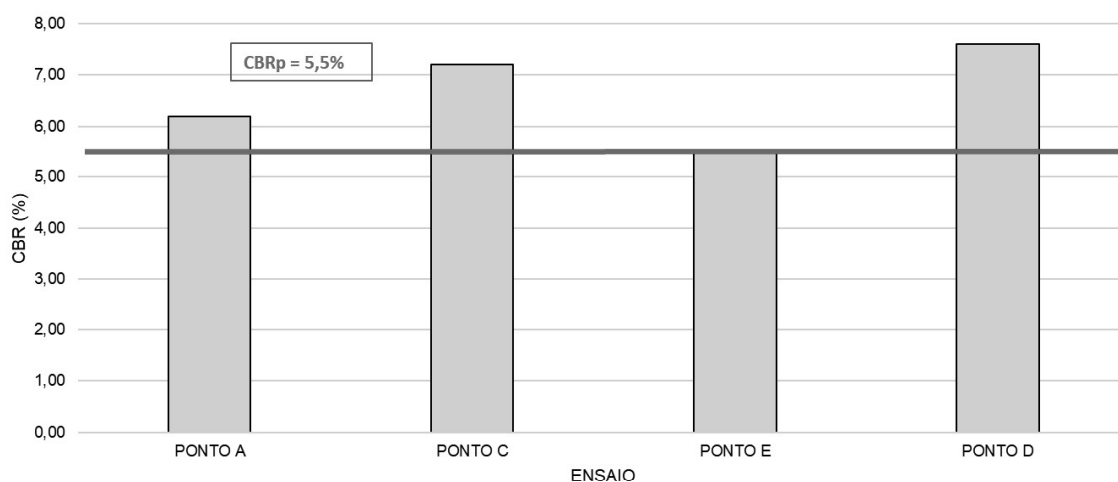


Gráfico CBR

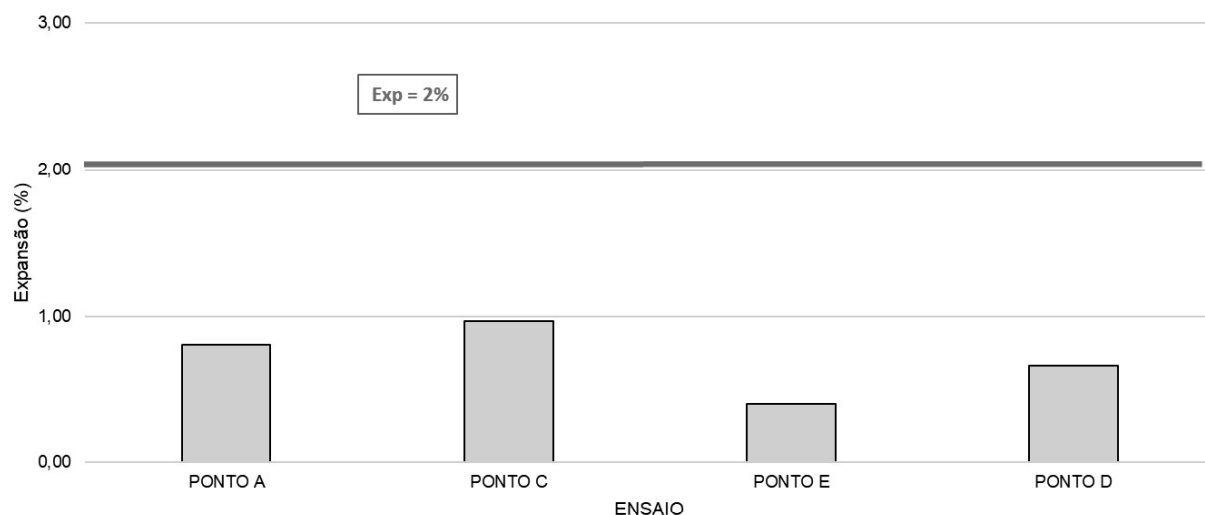


Gráfico Expansão

Para estimativa do módulo de resiliência do subleito foi considerada a equação apresentada a seguir.

$$MR(MPa) = 10 \times CBR$$

Considerando-se o CBR de projeto de 5,5%, o módulo de resiliência calculado pela equação foi de 55 Mpa.

3. DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO

3.1 MÉTODO CBR DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS - DER/SP

A estrutura do pavimento foi dimensionada com base no método clássico de dimensionamento e das instruções contidos na Instrução de Projeto IP-DE-P00/001 do DER/SP de 2024. O método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DER/SP tem como base o método de dimensionamento do DNER de 1966, com algumas reformulações.

Este método empírico fornece a estrutura de pavimento necessária para suportar o tráfego previsto durante o período de projeto adotado e para as condições geotécnicas dos solos do subleito vigentes na obra rodoviária, de modo a transmitir ao subleito tensões compatíveis com sua capacidade de suporte e permitir o tráfego de veículos.

A seguir as inequações que serão utilizadas no desenvolvimento do dimensionamento da estrutura de pavimentação.

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20}$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S \geq H_n$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S + h_n \times K_{ref} \geq H_m$$

Onde:

R = espessura do revestimento;

B = espessura da base;

H_{20} = espessura sobre a sub-base;

h_{20} = espessura da sub-base;

H_n = espessura sobre o reforço do subleito (quando necessário);

h_n = espessura do reforço do subleito (quando necessário);

H_m = espessura sobre o subleito;

$K_R; K_B; K_S; K_{ref}$ = coeficientes de equivalências estruturais do revestimento, da base, da sub-base e do reforço do subleito (quando necessário), respectivamente.

As espessuras mínimas de revestimento asfáltico são obtidas em função do Número “N”, conforme mostrado na tabela a seguir:

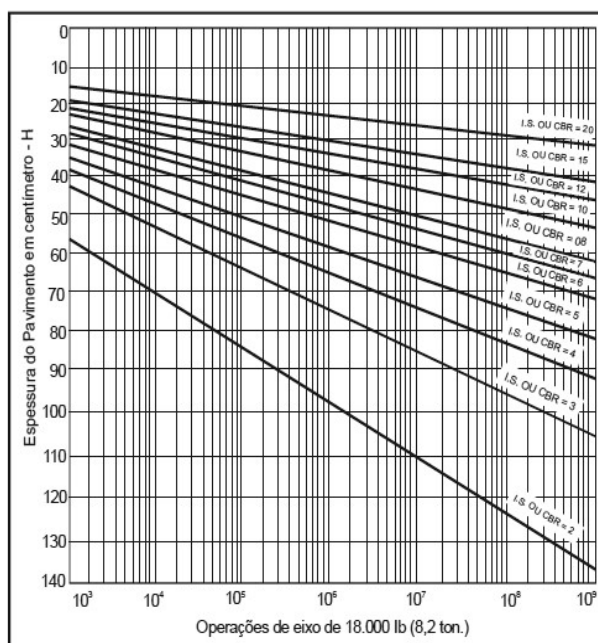
Tipos e Espessuras Mínimas de Revestimento.

Tipo e Espessura do Revestimento Asfáltico	Número “N”
Tratamentos superficiais asfálticos duplos e triplos	$N \leq 1 \times 10^6$
Revestimento asfáltico com 5,0 cm de espessura	$1 \times 10^6 < N \leq 5 \times 10^6$
Revestimento asfáltico com 7,5 cm de espessura	$5 \times 10^6 < N \leq 1 \times 10^7$
Revestimento asfáltico com 10,0 cm de espessura	$1 \times 10^7 < N \leq 2,5 \times 10^7$
Revestimento asfáltico com 12,5 cm de espessura	$2,5 \times 10^7 < N \leq 5 \times 10^7$
Revestimento asfáltico com 15,0 cm de espessura	$N > 5 \times 10^7$

Fonte: DER/SP (2024).

As espessuras equivalentes H_m , H_n e H_{20} são obtidas através das inequações apresentadas ou do ábaco de dimensionamento apresentado na figura a seguir, onde a espessura em termos de material granular é dada em função do Número “N” e do valor de CBR do subleito, do reforço do subleito ou da sub-base.

Determinação de Espessuras do Pavimento.



$$H_t = 77,67 \cdot N^{0,04602} \cdot CBR^{-0,2990}$$

Fonte: DNIT (2006).

Na tabela a seguir estão apresentados os coeficientes estruturais das camadas consideradas para este projeto.

Coeficientes Estruturais para os Materiais.

Camada	Material	Coeficiente Estrutural	CBR
Revestimento	Camada de Rolamento e Ligação – CAUQ – Faixa “DER 12,5”	2,0	-
Base	Brita Graduada Simples (Faixa B)	1,0	≥ 80%
Sub-base	Macadame Seco (Faixa I)	1,0	≥ 30%
Subleito	Solo Local – 100 % Próctor Normal	-	≥ 6,5%

Fonte: AUTOR (2025).

3.2 MEMÓRIA DE CÁLCULO DO DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO.

Os resultados do dimensionamento desta estrutura para o período de projeto considerado, assim como os dados necessários para a sua realização, são apresentados na sequência.

- Período de Projeto = 10 anos;
- Material da Base: Brita Graduada Simples – Faixa B (CBR ≥ 80%);
- Material da Sub-base: Macadame Seco (CBR ≥ 30%);
- CBR do subleito ≥ 5,5 %;
- NUSACE Pista = $1,95 \times 10^6$ solicitações equivalentes do eixo-padrão;
- NAASHTO Pista = $1,11 \times 10^6$ solicitações equivalentes do eixo-padrão;
- Rmínimo Pista: 5,0 cm (Camada de Rolamento) – CBUQ - Faixa “DER 12,5”.

Na tabela abaixo estão apresentadas a espessuras total (Ht) e sobre a sub-base (Hsb) em termos de material granular necessárias para atender cada número N de projeto, bem como os valores de CBR do subleito de 5,5% e da sub-base de 20% (limitação para dimensionamento).

Espessuras em Termos de Material Granular – Pavimento Tipo I

Espessuras	N = $1,95 \times 10^6$	
	Calculado	Adotado
Htotal	56,32	57
Hsb	26,03	32

A seguir estão apresentados os resultados das espessuras das camadas dimensionadas pela metodologia do DER/SP, considerando as espessuras mínimas aplicadas para cada material.

Pavimento Novo Tipo I – Pista Principal

Estrutura Calculada Metodo DER-SP			
Camada	Coefficiente Estrutural (k)	Espessura Física (cm)	Espessura Equivalente (cm)
Revestimento - Concreto Asfáltico Usinado a Quente - DER 12,5	2,00	5,0	10,0
Brita Graduada Simples - Faixa B (CBR $\geq$ 80%) <i>Execução em 2 camadas de 11 cm</i>	1,00	22,0	22,0
Espessura Acima da Sub-base ($\geq$ H₂₀)			32,0
Sub-base - Macadame Seco (CBR $\geq$ 30%)	1,00	25,0	25,0
Melhoria do Subleito (CBR $\geq$ 5,5%)	1,00		0,0
Espessura Total do Pavimento ($\geq$ H₁₀)			57,0

3.3 VERIFICAÇÃO DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO POR MEIO DA TEORIA DA ELASTICIDADE

As cargas dos veículos geram tensões e deformações no interior da estrutura do pavimento. Essas tensões e deformações são função da magnitude do carregamento, dos módulos resilientes e espessuras das camadas constituintes do pavimento e da capacidade de suporte do subleito.

Assim sendo, determinaram-se os deslocamentos e deformações atuantes que se originam no interior do pavimento carregado, para posterior comparação com os valores de deslocamentos e deformações admissíveis que são função do tipo de material empregado na estrutura do pavimento.

Para a determinação dos esforços internos solicitantes, deformações e deslocamentos da estrutura do pavimento flexível, empregou-se o programa computacional (AEMC), que considera características elásticas constantes para cada camada da estrutura do pavimento.

Os parâmetros utilizados para realização das simulações e verificações foram as seguintes:

- Carga do eixo simples padrão de 8,2 tf, representada por 4 x 2,05 tf;
- Pressão de contato pneu/pavimento = 5,6 kgf/cm²;
- Módulo de resiliência do revestimento asfáltico (CBUQ) = 35.000 kgf/cm²;

- Módulo de resiliência da base de brita graduada simples ($\text{CBR} \geq 80\%$) = 3.000 kgf/cm²;
- Módulo de resiliência da camada de sub-base em Macadame Seco = 2.000 kgf/cm²;
- Módulo de resiliência do subleito = 550 kgf/cm².

Foram determinados os deslocamentos e deformações internas da estrutura em seus locais críticos, ou seja: no topo da camada de concreto asfáltico (deslocamento vertical), na fibra inferior da camada de concreto asfáltico (deformação horizontal de tração), na fibra inferior da camada cimentada (tensão de tração) e no topo do subleito (deformação vertical de compressão). No ANEXO I, são apresentados os arquivos de saída do processamento do programa AEMC.

Para determinação dos esforços admissíveis, foram empregados os modelos preconizados pela Instrução de Projeto de Pavimentação do DER/SP, conforme segue:

3.4 VERIFICAÇÃO DA FADIGA NO CONCRETO ASFÁLTICO

A camada de rolamento de um pavimento é a camada mais solicitada, uma vez que está em contato direto com as rodas dos veículos, deste modo, torna-se imprescindível a verificação da fadiga no concreto asfáltico.

Para a previsão do trincamento por fadiga na camada de concreto asfáltico são recomendados dois tipos de modelos de fadiga. O primeiro é baseado no deslocamento da superfície e o segundo na deformação de tração na base do revestimento.

Os deslocamentos verticais recuperáveis, ou deflexões, de um pavimento representam a resposta das camadas estruturais e do subleito à aplicação do carregamento. Quando uma carga é aplicada em um ponto da superfície do pavimento, todas as camadas fletam devido às tensões e às deformações geradas pelo carregamento, sendo que o valor do deslocamento diminui com a profundidade e com o distanciamento do ponto de aplicação da carga.

Dessa forma, é necessário verificar o valor da deflexão da superfície do pavimento carregado, comparando-o com o valor máximo admissível obtido por modelos matemáticos que fornecem as deflexões máximas admissíveis em função do número “N” de repetições do eixo padrão.

Para determinação dos esforços admissíveis, utilizaram-se os modelos de fadiga indicados a seguir.

- Deslocamento vertical na superfície do pavimento - deflexão - D_0 ($\times 10^{-2}$ mm).

➤ DNER (PRO11/79)

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \times \log N_{USACE}$$

- Deformação específica normal horizontal de tração na fibra inferior da camada de revestimento - ϵ_t ($\times 10^{-4}$ cm/cm).

➤ *FHWA (Federal Highway Administration)*

$$N_{AASHTO} = 1,09 \times 10^{-6} \times \left(\frac{1}{\epsilon_{tadm}} \right)^{3,512}$$

3.5 VERIFICAÇÃO DA DEFORMAÇÃO DO SUBLEITO

Além dos deslocamentos, tensões e deformações citadas deve ser verificada a deformação vertical no topo do subleito, uma vez que este parâmetro está relacionado com a deformação plástica sofrida pela estrutura após um determinado número de solicitações da carga.

A verificação desta deformação vertical no topo do subleito foi realizada de acordo com o modelo de Dormon & Metcalf apresentados a seguir.

- Deformação específica normal vertical de compressão no topo do subleito - ϵ_v ($\times 10^{-4}$ cm/cm)

➤ *Shell ksla (Dormon & Metcalf)*

$$N_{USACE} = 6,069 \times 10^{-10} \times \left(\frac{1}{\epsilon_{vadm}} \right)^{4,762}$$

3.6 RESULTADOS DAS VERIFICAÇÕES

Na tabela a seguir estão apresentadas as características elásticas das camadas referente à estrutura do Pavimento Novo Tipo I dimensionada pelo método do DER/SP.

Característica das Camadas e Materiais da Estrutura do Pavimento Novo Tipo I

Camada	Materiais	Espessura (cm)	E (kgf/cm ²)	Coefficiente de Poisson
Camada de Rolamento	CBUQ – Faixa “DER 12,5”	5,0	35.000	0,30
Base	Brita Graduada Simples (CBR ≥ 80%)	22,0	3.000	0,35
Sub-base	Macadame Seco (CBR ≥ 30%)	25,0	2.000	0,35
Subleito	CBR ≥ 5,5%	-	550	0,40

abaixo estão apresentadas as respostas calculadas bem como os valores máximos admissíveis considerando o número N de projeto.

Deslocamentos e Deformações	Admissível	Solicitante	Modelos de Fadiga
Deslocamento vertical no topo do revestimento (10-2 mm) - (DNER - PRO 011/79)	80	74	DNER - PRO 011/79
Deformação de tração na fibra inferior da camada de revestimento (10-4 cm/cm) - (FHWA) (Federal Highway Administration)	3,81	2,44	FHWA (Federal Highway Administration)
Deformação de compressão no topo do subleito (10-4 cm/cm) - Shell ksla (Dormon & Metcalf)	5,54	4,82	Shell ksla (Dormon & Metcalf)

4. ESTRUTURA FINAL DE PROJETO

A seguir está apresentada a estrutura final de projeto.

Pavimento Novo Tipo I

Camada	Espessura (cm)
Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CBUQ) – Faixa “DER 12,5”	5,0
Pintura de Ligação	-
Imprimação Impermeabilizante	-
Brita Graduada Simples – Faixa B (CBR $\geq$ 80%)	11,0
Brita Graduada Simples – Faixa B (CBR $\geq$ 80%)	11,0
Macadame Seco – (CBR $\geq$ 30%)	25,0
Subleito (CBR $\geq$ 5,5%)	-

5. ANEXOS

ANEXO I - SAÍDAS DO PROGRAMA AEMC

DADOS DA ESTRUTURA				
CAMADA	ESPESSURA (cm)	MÓDULO MPa	Coef Poisson	ADERÊNCIA
1	5	3500	0,3	1
2	22	300	0,35	1
3	25	200	0,35	1
4	0	55	0,4	1

DADOS DO CARREGAMENTO	
Tipo:	Eixo Padrão Rodoviário
Tipo de análise:	Eixo Completo
Número de rodas:	4
Carga de roda:	2,05
Pressão de Pneus (MPa):	0,56
Raio do Carregamento (m):	10,79
Distância entre rodas - Tx (m):	32,4
Distância entre eixos - Ty (m):	0
Bitola - Lx (m):	181

RESULTADOS								
Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Uy (µm)	Uz (µm)	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)
1	0	0	0	0	686,811	-1,48E-04	2,96E-04	-6,30E-05
2	2,03	0	0	0	690,288	-1,28E-04	2,99E-04	-7,30E-05
3	4,05	0	0	0	698,125	-4,40E-05	3,08E-04	-1,13E-04
4	7,09	0	0	0	717,484	4,00E-05	3,45E-04	-4,60E-05
5	10,13	0	0	0	731,433	1,82E-04	3,59E-04	-1,13E-04
6	13,16	0	0	0	738,228	2,46E-04	3,64E-04	-1,43E-04
7	16,2	0	0	0	736,146	2,73E-04	3,61E-04	-1,53E-04
8	0	0	4,999	0	688,473	2,33E-04	-1,75E-04	6,00E-06
9	2,03	0	4,999	0	691,964	2,16E-04	-1,81E-04	1,80E-05
10	4,05	0	4,999	0	699,31	1,56E-04	-1,96E-04	5,70E-05
11	7,09	0	4,999	0	714,65	0,00E+00	-2,23E-04	1,52E-04
12	10,13	0	4,999	0	728,298	-1,19E-04	-2,38E-04	2,22E-04
13	13,16	0	4,999	0	735,126	-1,79E-04	-2,44E-04	2,58E-04
14	16,2	0	4,999	0	733,013	-2,05E-04	-2,43E-04	2,71E-04
15	0	0	52,001	0	521,999	-1,58E-04	-2,29E-04	4,82E-04
16	2,03	0	52,001	0	523,209	-1,58E-04	-2,30E-04	4,82E-04
17	4,05	0	52,001	0	524,087	-1,57E-04	-2,29E-04	4,81E-04
18	7,09	0	52,001	0	524,668	-1,53E-04	-2,28E-04	4,76E-04
19	10,13	0	52,001	0	524,439	-1,48E-04	-2,27E-04	4,69E-04
20	13,16	0	52,001	0	523,322	-1,40E-04	-2,24E-04	4,58E-04
21	16,2	0	52,001	0	521,467	-1,31E-04	-2,21E-04	4,44E-04