



**DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO DISTRITO  
FEDERAL – DER/DF**

**SUPERINTENDÊNCIA TÉCNICA – SUTEC**

**DIRETORIA DE ESTUDOS TECNOLÓGICOS – DITEC**

**GERÊNCIA DE ESTUDOS TECNOLÓGICOS – GETEC**

**Revisão e Atualização do Projeto de  
Pavimentação da Rodovia Distrital DF-  
205, trecho compreendido entre a  
Estaca 481 até à Estaca 556.**

**Brasília-DF**

**Abril de 2024**

# Sumário

<b>1.0 Introdução.....</b>	<b>9</b>
<b>2.0 Número N.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Número N (USACE) e (AASHTO).....</b>	<b>9</b>
2.1.1 Cálculo do Fator de Veículos (Fv).....	12
2.1.2 Fator de Veículos – USACE.....	13
<b>2.2 Número N (AASHTO).....</b>	<b>16</b>
2.2.1 Fator de Veículos – AASHTO.....	16
<b>3.0 Determinação do Índice de Suporte Califórnia do Subleito.....</b>	<b>19</b>
<b>4.0 Dimensionamento do Pavimento pelo Método Eng. Murillo Lopes de Souza – DNER (1981).....</b>	<b>19</b>
<b>4.1 Coeficiente Estrutural e Espessuras das Camadas.....</b>	<b>19</b>
<b>4.2 Determinação das Espessuras das Camadas.....</b>	<b>22</b>
<b>4.3 Definição das Espessuras do Pavimento.....</b>	<b>25</b>
<b>4.3.1 Espessuras das Camadas que Compõem o Pavimento Utilizando o Sistema de Inequações.....</b>	<b>25</b>
<b>5.0 Parâmetros Mecânicos para o Pavimento da Rodovia DF-205.....</b>	<b>26</b>
<b>5.1 Parâmetros de Resistência dos Materiais.....</b>	<b>32</b>
<b>5.2 Determinação dos Módulos de Resiliência.....</b>	<b>34</b>
5.2.1 Cálculo do Módulo de Resiliência do Subleito.....	34
5.2.2 Módulo de Resiliência da Sub-base.....	35
5.2.3 Módulo de Resiliência da Base.....	35
5.2.4 Módulo de Resiliência do Revestimento Asfáltico.....	36
<b>6.0 Verificação Mecânica das Soluções de Dimensionamento.....</b>	<b>37</b>
<b>6.1 Solução com Camada de Base composta por misturas de: 70,0% de Brita Nº 1 + 30,0% de Material Terroso + 3,0% de Cimento Portland CP II Z 32 F e Revestimento Asfáltico em Pré-misturado a Frio com Emulsão Catiônica Convencional e Concreto Asfáltico</b>	

<b>Convencional.....</b>	<b>37</b>
<b>6.1.1 Deflexões Recuperáveis para a Obra – Base: Brita Nº 01 +           Material Terroso Fino + 3,0% de Cimento Portland CP II F 32.....</b>	<b>39</b>
<b>6.2 Solução com Camada de Base composta por Brita Graduada Simples       (BGS) e Revestimento Asfáltico em Pré-misturado a Frio com Emulsão       Catiônica Convencional e Concreto Asfáltico Convencional.....</b>	<b>43</b>
<b>6.2.1 Deflexões Recuperáveis para a Obra – Base: Brita Graduada           Simples (BGS).....</b>	<b>45</b>
<b>6.3 Solução com Camada de Base composta por Brita Graduada Tratada       com Cimento (BGTC) e Revestimento Asfáltico em Pré-misturado a       Frio com Emulsão Catiônica Convencional e Concreto       Asfáltico Convencional.....</b>	<b>50</b>
<b>6.3.1 Deflexões Recuperáveis para a Obra – Base: Brita Graduada           Tratada com Cimento (BGTC).....</b>	<b>52</b>
<b>7.0 Resumo das Soluções de Pavimento – DF-205, trecho: Est. 481/Est. 556....</b>	<b>57</b>
<b>7.1 Base composta por misturas de: 70,0% de Brita Nº 1 +           30,0% de Material Terroso + 3,0% de Cimento Portland           CP II Z 32 F e Revestimento Asfáltico em Pré-misturado a Frio com           Emulsão Catiônica Convencional e Concreto Asfáltico           Convencional.....</b>	<b>57</b>
<b>7.2 Base em Brita Graduada Simples (BGS) e Revestimento Asfáltico           em Pré-misturado a Frio com Emulsão Catiônica Convencional           e Concreto Asfáltico Convencional.....</b>	<b>60</b>
<b>7.3 Base em Brita Graduada Tratada com Cimento e Revestimento           Asfáltico em Pré-misturado a Frio com Emulsão Catiônica           Convencional e Concreto Asfáltico Convencional.....</b>	<b>63</b>
<b>8.0 Camada Anti-Reflexão de Trincas (CART) em Pré-misturado a Frio com       Emulsão Catiônica Convencional.....</b>	<b>65</b>

**ANEXOS:**

***A – Relatório de Projeto de Pavimentação da Empresa Strata Engenharia***

***B – Estudo de Tráfego da Empresa Strata Engenharia***

***C – Estabilização Granulométrica da Camada de Base***

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1 – Tipos de Veículos Comerciais, Quantidades de Eixos e Contagem de Veículos.....</b>	<b>10</b>
<b>Tabela 2 – Fatores de Equivalência de Carga: AASHTO e USACE.....</b>	<b>11</b>
<b>Tabela 3 – Fator de Veículos USACE – 70,0% com Carregamento Máximo Legal.....</b>	<b>13</b>
<b>Tabela 4 – Fator de Veículos – USACE – 10,0% Vazios (sem carga).....</b>	<b>13</b>
<b>Tabela 5 – Fator de Veículos – USACE – 20,0% Carregado com excesso de peso (tolerância de 12,5%).....</b>	<b>14</b>
<b>Tabela 6 – Número N – USACE.....</b>	<b>15</b>
<b>Tabela 7 – Fator de Veículos AASHTO – 70,0% com Carregamento Máximo Legal.....</b>	<b>16</b>
<b>Tabela 8 – Fator de Veículos – AASHTO – 10,0% Vazios (sem carga).....</b>	<b>17</b>
<b>Tabela 9 – Fator de Veículos – AASHTO – 20,0% Carregado com excesso de peso (tolerância de 12,5%).....</b>	<b>17</b>
<b>Tabela 10 – Número N – AASHTO.....</b>	<b>18</b>
<b>Tabela 11 – Coeficiente de Equivalência Estrutural.....</b>	<b>20</b>
<b>Tabela 12 – Alguns Valores de Coeficientes de Equivalência Estrutural para Sub-base Granular e Reforço do Subleito.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabela 13 – Espessuras do Revestimento Asfáltico.....</b>	<b>22</b>
<b>Tabela 14 – Pontos Analisados/Defeitos.....</b>	<b>29</b>
<b>Tabela 15 – Valores Usuais de Coeficiente de Poisson.....</b>	<b>32</b>
<b>Tabela 16 – Valores Típicos de Módulos de Resiliência.....</b>	<b>33</b>
<b>Tabela 17 – Estimativas dos Módulos de Resiliência.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 18 – Resumo dos Módulos de Resiliência e Coeficiente de Poisson</b>	

Utilizados Para Esta Análise.....	37
<b>Tabela 19 – Verificação Mecânica – DF-205 – Eng. Murillo Lopes de Souza – Base em Brita Nº 01 + Material Terroso Fino Melhorado com Cimento Portland, Revestimento em PMF e CAUQ Convencional.....</b>	<b>38</b>
<b>Tabela 20 – Verificação Mecânica – DF-205 – Base em Brita Nº 01 + Material Terroso Fino Melhorado com Cimento Portland, Revestimento em PMF e CAUQ Convencional – Aprovada.....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 21 – Deflexões para a Obra – Base: Brita Nº 01 + Solo + Cimento Portland.....</b>	<b>43</b>
<b>Tabela 22 - Verificação Mecânica – DF-205 – Base em BGS, Revestimento em PMF e CAUQ Convencional.....</b>	<b>44</b>
<b>Tabela 23 - Verificação Mecânica – DF-205 – Base em BGS, Revestimento em PMF e CAUQ Convencional - Aprovada.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabela 24 – Deflexões para a Obra – Base: Brita Graduada Simples (BGS).....</b>	<b>50</b>
<b>Tabela 25 - Verificação Mecânica – DF-205 – Base em BGTC, Revestimento em PMF e CAUQ Convencional.....</b>	<b>51</b>
<b>Tabela 26 - Verificação Mecânica – DF-205 – Base em BGTC, Revestimento em PMF e CAUQ Convencional - Aprovada.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabela 27 – Deflexões para a Obra – Base: Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC).....</b>	<b>56</b>
<b>Tabela 28 – Intervenções Necessárias – DF-205 – Base em Brita Nº 01 + Solo + 3,0 de Cimento Portland, Revestimento em PMF e CAUQ Convencional.....</b>	<b>57</b>
<b>Tabela 29 – Intervenções Necessárias – DF-205 – Base em BGS, Revestimento em PMF e CAUQ Convencional.....</b>	<b>60</b>

**Tabela 30 – Intervenções Necessárias – DF-205 – Base em BGTC,**

**Revestimento em PMF e CAUQ Convencional..... 63**

## Lista de Figuras

<b>Figura 1 – Ábaco para Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis -</b>	
<b>DNER (1981).....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 2 – Estrutura do Pavimento.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 4 – Estrutura do Pavimento calculado pelo Método DNER/1981 -</b>	
<b>Eng. Murillo Lopes de Souza.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 4 – Tipo de Carregamento – Eixo Padrão.....</b>	<b>28</b>

## 1.0 Introdução

A presente Readequação e Atualização do Projeto de Pavimentação da rodovia DF-205, trecho iniciando na Estaca 481 indo até à Estaca 556, totalizando 1.500 m de extensão. O dimensionamento da estrutura do pavimento da referida rodovia será baseado nos dados auferidos do Relatório do Projeto de Pavimentação da DF-205, de autoria da Empresa Contratada Strata Engenharia Ltda, rodovia que faz parte do Anel Viário do DF. A realização deste redimensionamento da estrutura do pavimento foi motivada através da solicitação contida no Despacho DER-DF/PRESI/SUTEC/DITEC documento SEI (133013611), anexado ao Processo SEI Nº 00113-00018395/2023-3.

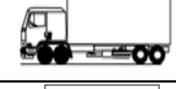
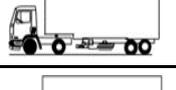
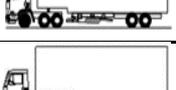
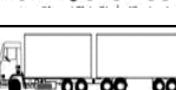
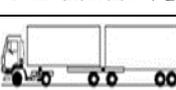
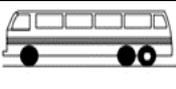
## 2.0 Número N

O Número N, tanto USACE quanto AASHTO serão calculados a partir das informações obtidas através da Contagem de Tráfego do Posto P-24 – Segmento 21C, em observação feita a partir do Relatório de Projeto de Pavimentação da Empresa Projetista Strata Engenharia, para o desenvolvimento dos cálculos necessários a este redimensionamento será considerado o ano de 2025, para a abertura da rodovia ao tráfego e o ano de 2034 como horizonte de projeto. Sendo considerado a taxa de crescimento geométrico anual auferida através do Estudo de Tráfego do Projeto da Empresa Contratada Strata Engenharia com valor igual a 3,0%.

### 2.1 Número N (USACE)

De acordo com o Relatório de Projeto de Pavimentação de autoria da Empresa Projetista Strata Engenharia (**Anexo A**), será executado a projeção de tráfego a partir do ano de 2009, da Contagem de Tráfego. O ano de abertura será 2025, tendo como horizonte de projeto o ano de 2034, tanto para o Número N (USACE) quanto para o Número N (AASHTO), consta o Estudo de Tráfego da Empresa Projetista Strata Engenharia.

**Tabela 1 – Tipos de Veículos Comerciais, Quantidade de Eixos e Contagem de Veículos**

Detalhamento dos Eixos									
Veículos			Quantidade de Eixos					Quantidade de Veículos	
			ESRS	CED	ESRD	TD	TT		TD(6p)
Médios		2C	1		1				26
		3C	1			1			11
Pesados		4CD		1		1			0
		2S2	1		1	1			2
Semi-reboques		2S3	1		1		1		0
		3S2	1			2			0
		3S3	1			1	1		5
		2C3	1		2	1			0
Reboques		3C3	1		1	2			2
		3D4	1			3			0
		2J4	1		3	1			0
		2CB	1		1				58
Ônibus		3CB	1					1	14

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 2 – Fatores de Equivalência de Carga: AASHTO e USACE**

**AASHTO**

Tipos de eixo	Equações (P em tf)
Simple de rodagem simple	$FC = (P / 7,77)^{4,32}$
Simple 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 simple e traseiro simple	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

### **2.1.1 – Cálculo do Fator de Veículos (Fv)**



Fonte do Autor

**Tabela 4 – Fator de Veículos – USACE – 10% Vazios (sem carga)**

<b>Cálculo do FV - USACE (Veículos Vazios) - DF-205, trecho: Est. 481/Est. 556</b>									
Veículos		Quantidade de Eixo por Veículo					FV	% de Veículos	FV*%/100
		ESRS	CED	ESRD	TD	TT			
Médios	2C	0,0172		0,0431			0,0603	21,92	0,0132
Pesados	3C	0,0172			0,0801		0,0973	9,59	0,0093
	4CD	0,0343			0,0801		0,1144	0,00	0,0000
Semi-reboques	2S2	0,0172		0,0431	0,0801		0,1404	1,37	0,0019
	2S3	0,0172		0,0431		0,1278	0,1880	0,00	0,0000
	3S2	0,0172			0,1602		0,1774	0,00	0,0000
	3S3	0,0172			0,0801	0,1278	0,2250	4,11	0,0092
Reboques	2C3	0,0172		0,0862	0,0801		0,1835	0,00	0,0000
	3C3	0,0172		0,0431	0,1602		0,2205	1,37	0,0030
	3D4	0,0172			0,2403		0,2575	0,00	0,0000
	2J4	0,0172		0,1293	0,0801		0,2266	0,00	0,0000
Ônibus	2CB	0,0172		0,0431			0,0603	49,32	0,0297
	3CB	0,0172				0,0425	0,0597	12,33	0,0074
<b>TOTAL</b>							<b>1,9504</b>	<b>100,00</b>	<b>0,0738</b>
<b>10% do Total</b>									<b>0,0074</b>

Fonte do Autor

**Tabela 5 – Fator de Veículos - USACE – 20% Carregado com excesso de peso (tolerância de 12,5%)**

<b>Cálculo do FV - USACE (Veículos Carregados - Lei 14.229 de 2021) - DF-205, trecho: Est. 481/Est. 556</b>									
Veículos		Quantidade de Eixo por Veículo					FV	% de Veículos	FV*%/100
		ESRS	CED	ESRD	TD	TT			
Médios	2C	0,4595		7,8839			8,3434	21,92	1,8287
Pesados	3C	0,4595			16,4262		16,8857	9,59	1,6192

Fonte do Autor

**FV = FV (70% Carregado) + FV (10% Vazios) + FV (20% Carregado com Tolerância de 12,5%, de acordo com a Lei N<sup>a</sup> 14.229 de 2021) = FV = 5,5521**

Como o volume obtido através da Contagem de Tráfego presente no Relatório de Projeto da Empresa Projetista Strata Engenharia, aplicando-se a taxa de crescimento geométrico anual de 3,00%, foi considerado que o ano de 2025 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 2034 será o final do horizonte de projeto.

Seguiu-se, então, com a determinação dos valores do número “N”, para a DF-285, trecho compreendido entre a VC-461 até a Divisa MG, tendo em vista a metodologia preconizada pela USACE, calculado pela seguinte expressão:

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

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 6 – Número N – USACE**

Projeção de Tráfego e Cálculo do Número N - USACE - DF-205, trecho: Est. 481/Est. 556																						
Ano	Volume Diário Médio (VDM)													VDM Comercial	FV	FR	N	N Acumulado				
	Médios			Pesados				Semirreboques				Reboques							Ônibus			
	2C	3C	4CD	2S2	2S3	3S2	3S3	2C3	3C3	3D4	2J4	2CB	3CB									
2009	16	7	0	1	0	0	3	0	1	0	0	36	9	73	5,5521	1,0	1,48E+05	1,48E+05				
2010	16,48	7,21	0,00	1,03	0,00	0,00	3,09	0,00	1,03	0,00	0,00	37,08	9,27	75	5,5521	1,0	1,52E+05	3,00E+05				
2011	16,97	7,43	0,00	1,06	0,00	0,00	3,18	0,00	1,06	0,00	0,00	38,19	9,55	77	5,5521	1,0	1,57E+05	4,57E+05				
2012	17,48	7,65	0,00	1,09	0,00	0,00	3,28	0,00	1,09	0,00	0,00	39,34	9,83	80	5,5521	1,0	1,62E+05	6,19E+05				
2013	18,01	7,88	0,00	1,13	0,00	0,00	3,38	0,00	1,13	0,00	0,00	40,52	10,13	82	5,5521	1,0	1,67E+05	7,85E+05				
2014	18,55	8,11	0,00	1,16	0,00	0,00	3,48	0,00	1,16	0,00	0,00	41,73	10,43	85	5,5521	1,0	1,71E+05	9,57E+05				
2015	19,10	8,36	0,00	1,19	0,00	0,00	3,58	0,00	1,19	0,00	0,00	42,99	10,75	87	5,5521	1,0	1,77E+05	1,13E+06				
2016	19,68	8,61	0,00	1,23	0,00	0,00	3,69	0,00	1,23	0,00	0,00	44,28	11,07	90	5,5521	1,0	1,82E+05	1,32E+06				
2017	20,27	8,87	0,00	1,27	0,00	0,00	3,80	0,00	1,27	0,00	0,00	45,60	11,40	92	5,5521	1,0	1,87E+05	1,50E+06				
2018	20,88	9,13	0,00	1,30	0,00	0,00	3,91	0,00	1,30	0,00	0,00	46,97	11,74	95	5,5521	1,0	1,93E+05	1,70E+06				
2019	21,50	9,41	0,00	1,34	0,00	0,00	4,03	0,00	1,34	0,00	0,00	48,38	12,10	98	5,5521	1,0	1,99E+05	1,89E+06				
2020	22,15	9,69	0,00	1,38	0,00	0,00	4,15	0,00	1,38	0,00	0,00	49,83	12,46	101	5,5521	1,0	2,05E+05	2,10E+06				
2021	22,81	9,98	0,00	1,43	0,00	0,00	4,28	0,00	1,43	0,00	0,00	51,33	12,83	104	5,5521	1,0	2,11E+05	2,31E+06				
2022	23,50	10,28	0,00	1,47	0,00	0,00	4,41	0,00	1,47	0,00	0,00	52,87	13,22	107	5,5521	1,0	2,17E+05	2,53E+06				
2023	24,20	10,59	0,00	1,51	0,00	0,00	4,54	0,00	1,51	0,00	0,00	54,45	13,61	110	5,5521	1,0	2,24E+05	2,75E+06				
2024	24,93	10,91	0,00	1,56	0,00	0,00	4,67	0,00	1,56	0,00	0,00	56,09	14,02	114	5,5521	1,0	2,30E+05	2,98E+06				
2025	25,68	11,23	0,00	1,60	0,00	0,00	4,81	0,00	1,60	0,00	0,00	57,77	14,44	117	5,5521	1,0	2,37E+05	3,22E+06				
2026	26,45	11,57	0,00	1,65	0,00	0,00	4,96	0,00	1,65	0,00	0,00	59,50	14,88	121	5,5521	1,0	2,45E+05	3,46E+06				
2027	27,24	11,92	0,00	1,70	0,00	0,00	5,11	0,00	1,70	0,00	0,00	61,29	15,32	124	5,5521	1,0	2,52E+05	3,72E+06				
2028	28,06	12,27	0,00	1,75	0,00	0,00	5,26	0,00	1,75	0,00	0,00	63,13	15,78	128	5,5521	1,0	2,59E+05	3,98E+06				
2029	28,90	12,64	0,00	1,81	0,00	0,00	5,42	0,00	1,81	0,00	0,00	65,02	16,26	132	5,5521	1,0	2,67E+05	4,24E+06				
2030	29,76	13,02	0,00	1,86	0,00	0,00	5,58	0,00	1,86	0,00	0,00	66,97	16,74	136	5,5521	1,0	2,75E+05	4,52E+06				
2031	30,66	13,41	0,00	1,92	0,00	0,00	5,75	0,00	1,92	0,00	0,00	68,98	17,24	140	5,5521	1,0	2,83E+05	4,80E+06				
2032	31,58	13,82	0,00	1,97	0,00	0,00	5,92	0,00	1,97	0,00	0,00	71,05	17,76	144	5,5521	1,0	2,92E+05	5,09E+06				
2033	32,52	14,23	0,00	2,03	0,00	0,00	6,10	0,00	2,03	0,00	0,00	73,18	18,30	148	5,5521	1,0	3,01E+05	5,39E+06				
2034	33,50	14,66	0,00	2,09	0,00	0,00	6,28	0,00	2,09	0,00	0,00	75,38	18,84	153	5,5521	1,0	3,10E+05	5,70E+06				

Fonte do Autor

Para o ano de 2025 – Ano de Abertura:

**NUSACE = 3,22x10<sup>6</sup>**

Para o ano de 2034 – Horizonte de Projeto:

$$\underline{NUSACE = 5,70 \times 10^6}$$

## 2.2 Número N (AASHTO)

Serão utilizados os mesmos parâmetros de Contagem de Tráfego e Crescimento Geométrico Anual para a obtenção do Número  $N_{AASHTO}$ .

### 2.2.1 Fator de Veículos – AASHTO

Tabela 7 – Fator de Veículos – AASHTO – 70% com Carregamento Máximo Legal

Cálculo do FV - AASHTO (Veículos Carregados) - DF-205, trecho: Est. 481/Est. 556										
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	21,92	0,5965	
Pesados	3C	0,3273			1,6424		1,9697	9,59	0,1889	
	4CD	0,6547			1,6424		2,2971	0,00	0,0000	
Semi-reboques	2S2	0,3273		2,3944	1,6424		4,3642	1,37	0,0598	
	2S3	0,3273		2,3944		1,5599	4,2817	0,00	0,0000	
	3S2	0,3273			3,2848		3,6121	0,00	0,0000	
	3S3	0,3273			1,6424	1,5599	3,5296	4,11	0,1451	
Reboques	2C3	0,3273		4,7888	1,6424		6,7586	0,00	0,0000	
	3C3	0,3273		2,3944	3,2848		6,0065	1,37	0,0823	
	3D4	0,3273			4,9272		5,2545	0,00	0,0000	
	2J4	0,3273		7,1833	1,6424		9,1530	0,00	0,0000	
Ônibus	2CB	0,3273		2,3944			2,7218	49,32	1,3422	
	3CB	0,3273				0,6324	0,9597	12,33	0,1183	
<b>TOTAL</b>							<b>50,9085</b>	<b>100,0</b>	<b>2,5331</b>	
<b>70% do Total</b>									<b>1,7732</b>	

Fonte do Autor

Tabela 8 – Fator de Veículos - AASHTO – 10% Vazios (sem carga)

Cálculo do FV - AASHTO (Veículos Vazios) - DF-205, trecho: Est. 481/Est. 556										
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	21,92	0,0299	
Pesados	3C	0,0164			0,0220		0,0384	9,59	0,0037	
	4CD	0,0328			0,0220		0,0548	0,00	0,0000	
	2S2	0,0164		0,1199	0,0220		0,1583	1,37	0,0022	
	3S3	0,0164		0,1199		0,0100	0,1555	0,00	0,0000	

Fonte do Autor

**Tabela 9 – Fator de Veículos – AASHTO – 20% Carregado com excesso de peso  
(tolerância de 12,5%)**

Cálculo do FV - AASHTO (Veículos Carregados - Lei 14.229 de 2021) - DF-205, trecho: Est. 481/Est. 556										
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	21,92	1,0831
Pesados	3C	0,5621			2,6890			3,2511	9,59	0,3118
	4CD	1,1242			2,6890			3,8133	0,00	0,0000
Semi-reboques	2S2	0,5621		4,3794	2,6890			7,6306	1,37	0,1045
	2S3	0,5621		4,3794		2,5690		7,5105	0,00	0,0000
	3S2	0,5621			5,3781			5,9402	0,00	0,0000
	3S3	0,5621			2,6890	2,5690		5,8201	4,11	0,2392
Reboques	2C3	0,5621		8,7588	2,6890			12,0100	0,00	0,0000
	3C3	0,5621		4,3794	5,3781			10,3196	1,37	0,1414
	3D4	0,5621			8,0671			8,6292	0,00	0,0000
	2J4	0,5621		13,1382	2,6890			16,3894	0,00	0,0000
Ônibus	2CB	0,5621		4,3794				4,9415	49,32	2,4369
	3CB	0,5621					1,0334	1,5955	12,33	0,1967
<b>TOTAL</b>	<b>TOTAL</b>							<b>87,8509</b>	<b>100,00</b>	<b>4,5135</b>
<b>20% do Total</b>										<b>0,9027</b>

Fonte do Autor

**FV = FV (70% Carregado) + FV (10% Vazios) + FV (20% Carregado com Tolerância de 12,5%, de acordo com a Lei Nª 14.229 de 2021) = FV = 2,6870.**

**Tabela 10 – Número N – AASHTO**

Projeção de Tráfego e Cálculo do Número N - AASHTO - DF-205, trecho: Est. 481/Est. 556																			
Ano	Volume Diário Médio (VDM)													VDM Comercial	FV	FR	N	N Acumulado	
	Médios	Pesados			Semi Reboques				Reboques				Ônibus						
	2C	3C	4CD	2S2	2S3	3S2	3S3	2C3	3C3	3D4	2J4	2CB	3CB						
2009	16	7	0	1	0	0	3	0	1	0	0	36	9	73	2,6870	1,0	7,16E+04	7,16E+04	
2010	16,56	7,25	0,00	1,04	0,00	0,00	3,11	0,00	1,04	0,00	0,00	37,26	9,32	76	2,6870	1,0	7,41E+04	1,46E+05	
2011	17,14	7,50	0,00	1,07	0,00	0,00	3,21	0,00	1,07	0,00	0,00	38,56	9,64	78	2,6870	1,0	7,67E+04	2,22E+05	
2012	17,74	7,76	0,00	1,11	0,00	0,00	3,33	0,00	1,11	0,00	0,00	39,91	9,98	81	2,6870	1,0	7,94E+04	3,02E+05	
2013	18,36	8,03	0,00	1,15	0,00	0,00	3,44	0,00	1,15	0,00	0,00	41,31	10,33	84	2,6870	1,0	8,22E+04	3,84E+05	
2014	19,00	8,31	0,00	1,19	0,00	0,00	3,56	0,00	1,19	0,00	0,00	42,76	10,69	87	2,6870	1,0	8,50E+04	4,69E+05	
2015	19,67	8,60	0,00	1,23	0,00	0,00	3,69	0,00	1,23	0,00	0,00	44,25	11,06	90	2,6870	1,0	8,80E+04	5,57E+05	
2016	20,36	8,91	0,00	1,27	0,00	0,00	3,82	0,00	1,27	0,00	0,00	45,80	11,45	93	2,6870	1,0	9,11E+04	6,48E+05	
2017	21,07	9,22	0,00	1,32	0,00	0,00	3,95	0,00	1,32	0,00	0,00	47,41	11,85	96	2,6870	1,0	9,43E+04	7,42E+05	
2018	21,81	9,54	0,00	1,36	0,00	0,00	4,09	0,00	1,36	0,00	0,00	49,06	12,27	99	2,6870	1,0	9,76E+04	8,40E+05	
2019	22,57	9,87	0,00	1,41	0,00	0,00	4,23	0,00	1,41	0,00	0,00	50,78	12,70	103	2,6870	1,0	1,01E+05	9,41E+05	
2020	23,36	10,22	0,00	1,46	0,00	0,00	4,38	0,00	1,46	0,00	0,00	52,56	13,14	107	2,6870	1,0	1,05E+05	1,05E+06	
2021	24,18	10,58	0,00	1,51	0,00	0,00	4,53	0,00	1,51	0,00	0,00	54,40	13,60	110	2,6870	1,0	1,08E+05	1,15E+06	
2022	25,02	10,95	0,00	1,56	0,00	0,00	4,69	0,00	1,56	0,00	0,00	56,30	14,08	114	2,6870	1,0	1,12E+05	1,27E+06	
2023	25,90	11,33	0,00	1,62	0,00	0,00	4,86	0,00	1,62	0,00	0,00	58,27	14,57	118	2,6870	1,0	1,16E+05	1,38E+06	
2024	26,81	11,73	0,00	1,68	0,00	0,00	5,03	0,00	1,68	0,00	0,00	60,31	15,08	122	2,6870	1,0	1,20E+05	1,50E+06	
2025	27,74	12,14	0,00	1,73	0,00	0,00	5,20	0,00	1,73	0,00	0,00	62,42	15,61	127	2,6870	1,0	1,24E+05	1,63E+06	
2026	28,71	12,56	0,00	1,79	0,00	0,00	5,38	0,00	1,79	0,00	0,00	64,61	16,15	131	2,6870	1,0	1,28E+05	1,75E+06	
2027	29,72	13,00	0,00	1,86	0,00	0,00	5,57	0,00	1,86	0,00	0,00	66,87	16,72	136	2,6870	1,0	1,33E+05	1,89E+06	
2028	30,76	13,46	0,00	1,92	0,00	0,00	5,77	0,00	1,92	0,00	0,00	69,21	17,30	140	2,6870	1,0	1,38E+05	2,02E+06	
2029	31,84	13,93	0,00	1,99	0,00	0,00	5,97	0,00	1,99	0,00	0,00	71,63	17,91	145	2,6870	1,0	1,42E+05	2,17E+06	
2030	32,95	14,42	0,00	2,06	0,00	0,00	6,18	0,00	2,06	0,00	0,00	74,14	18,53	150	2,6870	1,0	1,47E+05	2,31E+06	
2031	34,10	14,92	0,00	2,13	0,00	0,00	6,39	0,00	2,13	0,00	0,00	76,73	19,18	156	2,6870	1,0	1,53E+05	2,47E+06	
2032	35,30	15,44	0,00	2,21	0,00	0,00	6,62	0,00	2,21	0,00	0,00	79,42	19,86	161	2,6870	1,0	1,58E+05	2,63E+06	
2033	36,53	15,98	0,00	2,28	0,00	0,00	6,85	0,00	2,28	0,00	0,00	82,20	20,55	167	2,6870	1,0	1,63E+05	2,79E+06	
2034	37,81	16,54	0,00	2,36	0,00	0,00	7,09	0,00	2,36	0,00	0,00	85,08	21,27	173	2,6870	1,0	1,69E+05	2,96E+06	

Para o ano de 2025 – Ano de Abertura:

$$\underline{N_{AASHTO} = 1,63 \times 10^6}$$

Para o ano de 2034 – Horizonte de Projeto:

$$\underline{N_{AASHTO} = 2,96 \times 10^6}$$

Para trabalhar a favor da segurança no dimensionamento da estrutura do pavimento da DF-205, trecho compreendido entre a Est. 481 e a Est. 556 será adotado o valor do número de repetições  $N_{USACE} = 5,70 \times 10^6$ .

### **3.0 Determinação do Índice de Suporte Califórnia do Subleito**

Conforme dado obtido através do Relatório de Pavimentação da Empresa Projetista foi adotado como valor de Índice de Suporte Califórnia da camada de subleito o valor igual a 9,0%.

$$\underline{ISC_{SUBLEITO} = 9,0\%}$$

### **4.0 Dimensionamento do Pavimento pelo Método Eng. 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 Souza.

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

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

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

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

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

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

**Tabela 11 – Coeficiente de Equivalência Estrutural**

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

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 descritas abaixo. 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 12 – 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 5, visam, especialmente, as bases de comportamento puramente granular e são ditadas pelos estudos e experiências já realizados sobre o assunto.

**Tabela 13 – Espessuras do Revestimento Asfáltico**

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

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

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

#### 4.2 Determinação das Espessuras das Camadas

O ábaco na Figura 1 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 1 – Ábaco para Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis – DNER (1981).



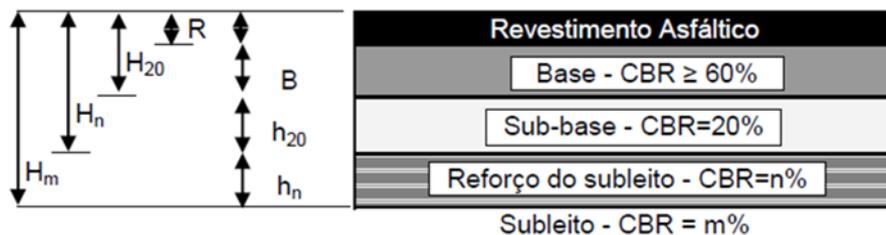
Fonte: Manual de Pavimentação IPR/DNIT – 719/2006

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

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

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 2, tem-se a simbologia utilizada no dimensionamento do pavimento.

**Figura 2 – Estrutura do Pavimento.**



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

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

- $H_m$  = espessura total do pavimento necessária para proteger um material com CBR = m%. Observa-se que a espessura  $H_m$  é função do CBR do subleito (m%);

- $H_n$  = espessura necessária acima do reforço, ou seja, a espessura da sub-base + base + revestimento, para materiais com coeficiente estrutural ( $K$ ) = 1,00.

Os símbolos  $B$  e  $R$  são respectivamente as espessuras da base e do revestimento. Mesmo que o  $CBR$  da sub-base seja superior a 20%, a espessura de pavimento necessária para protegê-la é determinada como se este valor fosse 20% e, por essa razão, usa-se, sempre, os símbolos  $H_{20}$  e  $h_{20}$  (Figura 2) para designar as espessuras de pavimento sobre a sub-base e da sub-base, respectivamente. Assim, para se determinar a espessura  $H_{20}$  utiliza-se o  $CBR$  (sub-base) = 20%, prevalecendo sempre esta condição.

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

- $R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20}$  (1)

- $R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S \geq H_n$  (2)

- $R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_{SB} + h_n \times K_{Ref} \geq H_m$  (3)

### **Importante:**

a) Quando o  $CBR$  da sub-base for maior ou igual a 40% e para  $N \leq 10^6$ , admite-se substituir na inequação (1),  $H_{20}$ , por  $0,8 \times H_{20}$ ;

b) Para  $N > 10^7$ , recomenda-se substituir, na inequação (1),  $H_{20}$  por  $1,2 \times H_{20}$ ;

c) Nem toda estrutura de pavimento necessitará de material para reforço de subleito;

d) Quando não forem fornecidas as características dos materiais da base, sub-base e reforço, deve-se utilizar o coeficiente estrutural  $K = 1,0$ . Caso contrário, determiná-lo com a partir da Tabela 2.

## **4.3 Definição das Espessuras do Pavimento**

Conforme subitem 2.1, o Número “N” de projeto adotado é o  $N_{USACE} = 5,70 \times 10^6$ .

Dispondo dos Índices de Suporte do subleito, do reforço do subleito e da sub-base, obtém-se, no ábaco da Figura 1, 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 3 – Estrutura do Pavimento calculado pelo Método DNER/1981 – Eng. Murillo Lopes de Souza

Resolução do Sistema de Equações	Espessuras Mínima	Espessuras Adotada
$RK_R+BK_B \geq H_{20}$	$B_{\text{mín}} = 12,4$ cm	$B = 15,0$ cm
$RK_R+BK_B+h_{20} K_s \geq H_n$	$h_{20 \text{ mín}} = 15,67$ cm	$h_{20} = 16,0$ cm
$RK_R+BK_B+h_{20} K_s +h_n K_{\text{Ref}} \geq H_m$	$h_n \text{ mín} = -0,3$ 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
	16,0 cm	$h_{20}$	$K_S$ SUB-BASE
	0,0 cm	$h_n$	$K_{\text{Ref}}$ REFORÇO DO SUBLEITO

Fonte do Autor

Portanto, a estrutura de pavimento calculada para a DF-205, trecho compreendido entre a Estaca 481 até à Estaca 556, de acordo com o Método DNER (Eng. Murillo Lopes de Souza), deve ser:

- Camada de Rolamento em CAUQ Faixa B - CAP 30/45 – e = 3,5 cm;
- Camada de Ligação em PMF – Semi-denso – Faixa V – e = 4,0 cm;
- Camada de Base em Brita Nº 01 + Solo + 3,0% de Cimento Portland – e = 15,0 cm;
- Camada de Sub-Base em Solo com adição de 3,0% de Cal Hidratada CH-I – e = 16,0 cm;
- Subleito: ISC = 9,0%

#### 5.0 Parâmetros Mecânicos para o Pavimento da Rodovia DF-205

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-205, trecho compreendido entre a Estaca 481 até à Estaca 556.

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-205.

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 AEMC – Módulo de Cálculo de Tensões e Deformações – v. 2.4.6 (Abril/2023), 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/cm<sup>2</sup>).

**Figura 4: Tipo de Carregamento – Eixo Padrão**



**Eixo padrão rodoviário**

**Eixo simples**

**Dois eixos simples (direcional)**

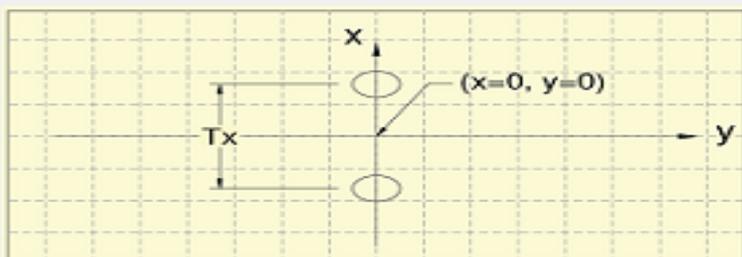
**Eixo duplo**

**Dois eixos duplos**

**Dois eixos duplos em tandem**

**EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO**

Análise	Semi-eixo
Número de rodas:	2
Carga do semi-eixo (ton):	4,10
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 (cm²):	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 14 é apresentada a relação entre o ponto analisado e o tipo de defeito que se deseja avaliar na estrutura do pavimento.

**Tabela 14 – Pontos Analisados/Defeitos**

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

$\epsilon_t$ : deformação específica horizontal na tração;

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

– **FHWA (1976):**

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

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,  $\epsilon_t$ , ou tensões horizontais de tração,  $\sigma_t$ , na fibra inferior da camada de BGTC, causadas pelos carregamentos na superfície dos pavimentos, podem causar sua ruptura por fadiga se forem excessivas. Para a análise mecanística 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:  $SR = \frac{\sigma_t}{f_{ctk}}$   $\therefore f_{ctk} = 10$  kgf/cm<sup>2</sup>.

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:

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

– *Dormon & Metcalf* (1965):

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

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*;

$\varepsilon_v$  = 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 de Coeficientes de Poisson e de Módulos de Resiliência ou Elasticidade para os materiais das camadas de pavimentos, conforme Tabelas 15 e 16.

**Tabela 15 – Valores Usuais de Coeficiente de Poisson**

<b>Material</b>	<b>Intervalo de Valores de Coeficiente de Poisson</b>	<b>Valor Recomendado de Coeficiente de Poisson</b>
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 16 – Valores Típicos de Módulos de Resiliência**

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

**Fonte:** Instrução de Projeto 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 17.

**Tabela 17 – Estimativas dos Módulos de Resiliência**

<b>CAMADAS</b>	<b>TIPOS</b>	<b>ESTIMATIVAS EM MPa</b>
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

## 5.2 Determinação dos Módulos de Resiliência

### 5.2.1 Cálculo do Módulo de Resiliência do Subleito

Para os solos do Subleito a Instrução de Projeto do DER-SP IP-DE-P00/001 de Jan 2006, recomenda as seguintes correlações entre Módulo de Resiliência e Capacidade de Suporte ISC:

$$MR_{\text{Subleito}} = 22 \times 9,0^{0,8} \approx \mathbf{127,59 \text{ MPa.}}$$

Levando em consideração as estimativas para valores de Módulos de Resiliência presentes nas Tabelas 8 e 9, contidas na Instrução de Projeto de Pavimentação – IP-DE-P00/001 - DER/SP – Jan/2006 e também na Instrução de Projeto de Pavimentação da Prefeitura Municipal de São Paulo IP 08/2004 e trabalhando a favor da segurança o Módulo de Resiliência do Subleito adotado será igual a 120 Mpa.

#### **Módulo Adotado para o Subleito:**

$MR_{\text{Subleito}} = 120 \text{ MPa}$ .

Massa Específica Média Aparente Seca igual a 1,57 g/cm<sup>3</sup>.

Coeficiente de Poisson adotado igual a 0,40.

#### **5.2.2 Módulo de Resiliência da Sub-base**

Para os solos que compõem a camada de Sub-base, composta por Material Terroso Fino com adição de 3,0% de Cal Hidratada CH-I Calcítica, a Instrução de Projeto de Pavimentação – IP-DE-P00/001 - DER/SP – Jan/2006 – Análise Mecanicista à Fadiga de Estruturas de Pavimento recomenda as seguintes correlações entre módulo de resiliência:

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

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

Massa Específica Média Aparente Seca igual a 1,780 g/cm<sup>3</sup>.

Coeficiente de Poisson adotado igual a 0,37.

#### **5.2.3 Módulo de Resiliência da Base**

Para a composição granulométrica composta por 70,0 % de Brita Nº 01 + 30,0% de Material Terroso Fino e adição de 3,0% de Cimento Portland CP II Z – 32, a Instrução de Projeto de Pavimentação – IP-DE-P00/001 - DER/SP – Jan/2006 – Análise Mecanicista à Fadiga de Estruturas de Pavimento recomenda as seguintes correlações entre módulo de resiliência:

## **100 MPa ≤ MR ≤ 500 MPa**

**MR<sub>sub-base</sub> = 350 MPa.**

Massa Específica Média Aparente Seca igual a 1,950 g/cm<sup>3</sup>.

Coeficiente de Poisson adotado igual a 0,35.

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 **210 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/cm<sup>3</sup> 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/cm<sup>3</sup> e Coeficiente de Poisson igual a 0,25. O teor de Cimento Portland CP II Z – 32, deve ser igual a 6,0% em massa.

### **5.2.4 Módulo de Resiliência do Revestimento Asfáltico**

Para a camada de ligação composta por Pré-misturado a frio com emulsão catiônica convencional (PMF) – Faixa “B” adotou-se o Módulo de Resiliência igual a **1200 MPa**, valor compreendido entre os limites informados pela Instrução de Projeto de Pavimentos do DER-SP (1000 a 1400 MPa). Será adotada a Densidade igual a 2,1 g/cm<sup>3</sup> e Coeficiente de Poisson igual a 0,35. E para a Camada de Rolamento em Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ) – Faixa “C”, adotou-se o Módulo de Resiliência igual a **3500 MPa**, valor compreendido entre os limites informados pela Instrução de Projeto de Pavimentos do DER-SP (2500 a 4500 MPa – CAP 30/45). Será adotada a Densidade igual a 2,4 g/cm<sup>3</sup> e Coeficiente de Poisson igual a 0,30.

**Tabela 18 – Resumo dos Módulos de Resiliência e Coeficiente de Poisson Utilizados Para Esta Análise – DF-205.**

<b>Camada</b>	<b>Material</b>	<b>Módulo de Resiliência (MPa)</b>	<b>Coeficiente de Poisson</b>
<b>Revestimento (Camada de Rolamento)</b>	CAUQ Faixa C - 30/45	3500	0,30
<b>Camada de Ligação</b>	PMF Faixa V - Semi-denso	1200	0,35
<b>Base</b>	70,0% de BGS + 30,0% de Material Terroso Fino + 3,0% de Cimento Portland CP II Z - 32	350	0,35
<b>Base</b>	Brita Graduada Simples (BGS)	210	0,35
<b>Base</b>	Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC)	7500	0,25
<b>Sub-base</b>	Material Terroso + 3,0% de Cal Hidratada - CH-I Calcítica	200	0,37
<b>Subleito</b>	Material Terroso Fino	120	0,40

Fonte do Autor

## **6.0 Verificação Mecânica das Soluções de Dimensionamento.**

**6.1 – Solução com Camada de Base composta por mistura de: 70,0% Brita Nº 01 + 30,0% Material Terroso + 3,0% de Cimento Portland CP II Z 32 e Revestimento Asfáltico em Pré-misturado a Frio com Emulsão Catiônica Convencional 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 (30/45), Faixa C – com e = 3,5 cm;
- Camada de Ligação em PMF, Faixa V – com e = 4,0 cm;
- Base em 70,0% Brita Nº 01 + 30,0% Material Terroso Fino + 3,0% de Cimento Portland CP II Z 32, com e = 15,0 cm;
- Sub-base em Material Terroso + 3,0% Cal Hidratada – CH-I, com e = 16,0 cm;
- Subleito – ISC = 9,0%.

**Tabela 19 – Verificação Mecânica – DF-205 – Eng. Murillo Lopes de Souza – Base em Brita Nº 01 + Material Terroso Fino Melhorado com Cimento Portland, Revestimento em PMF e CAUQ Convencional**

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA							
N USACE	5,70E+06						
N AASHTO	2,96E+06						
ESTRUTURA ANALISADA-1 - DF-205, trecho: Est. 481/Est. 556- Eng. Murillo Lopes de Souza							
<b>CAMADA</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>ESP. (cm)</b>	<b>MR (MPa)</b>	<b>Poisson</b>			
Camada de Rolamento	CBUQ (FAIXA C)	3,50	3500	0,30			
Camada de Ligação	PMF	4,00	1200	0,35			
Base	Brita Nº 01 + Solo + Cimento	15,00	350	0,35			
Sub-base	Solo + Cal Hidratada CH-I	16,00	200	0,37			
Subleito	Material Terroso Fino	Infinita	120	0,40			
<b>1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO</b>							
Autor	Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Et	Verificação
FHWA (1976)	1976	1,092E-06	3,512	2,96E+06	<b>2,88E-04</b>	<b>2,92E-04</b>	<b>Reprovado</b>
<b>2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO</b>							
Autor	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Ev	Verificação
Dormon & Metcalf	1965	6,069E-10	4,762	5,70E+06	<b>4,42E-04</b>	<b>4,43E-04</b>	<b>Reprovado</b>
<b>3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO</b>							
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	5,70E+06	<b>66,22</b>	<b>39,53</b>	<b>Aprovado</b>

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, aos critérios de: deformação específica de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico e deformação específica de compressão no topo da camada de subleito.

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

- Camada de Rolamento em CAUQ (30/45), Faixa C – com e = 4,0 cm;
- Camada de Ligação em PMF, Faixa V – com e = 4,0 cm;
- Base em 70,0% BGS + 30,0% Material Terroso Fino + 3,0% de Cimento Portland CP – 32 F, com e = 15,0 cm;
- Sub-base em Material Terroso + 3,0% Cal Hidratada – CH-I, com e = 16,0 cm;
- Subleito – ISC = 9,0%.

**Tabela 20 – Verificação Mecânica – DF-205 – Base em Brita Nº 01 + Material Terroso Fino Melhorado com Cimento Portland, Revestimento em PMF e CAUQ Convencional – Aprovada.**

VERIFICAÇÃO MECÂNICA							
N USACE	5,70E+06						
N AASHTO	2,96E+06						
ESTRUTURA ANALISADA-2 - DF-205, trecho: Est. 481/Est. 556							
<b>CAMADA</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>ESP. (cm)</b>	<b>MR (MPa)</b>	<b>Poisson</b>			
Camada de Rolamento	CBUQ (FAIXA C)	4,00	3500	0,30			
Camada de Ligação	PMF	4,00	1200	0,35			
Base	Brita Nº 01 + Solo + Cimento	15,00	350	0,35			
Sub-base	Solo + Cal Hidratada CH-I	16,00	200	0,37			
Subleito	Material Terroso Fino	Infinita	120	0,40			
<b>1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO</b>							
Autor	Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Et	Verificação
FHWA (1976)	1976	1,092E-06	3,512	2,96E+06	<b>2,88E-04</b>	<b>2,87E-04</b>	<b>Aprovado</b>
<b>2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO</b>							
Autor	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Ev	Verificação
Dormon & Metcalf	1965	6,069E-10	4,762	5,70E+06	<b>4,42E-04</b>	<b>4,29E-04</b>	<b>Aprovado</b>
<b>3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO</b>							
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	5,70E+06	<b>66,22</b>	<b>38,68</b>	<b>Aprovado</b>

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.

### **6.1.1 Deflexões Recuperáveis para a Obra – Base: Brita Nº 01 + Material Terroso Fino + 3,0% de Cimento Portland CP II F 32.**

Com base nas soluções de dimensionamento propostas e por meio da utilização do programa Análise Elástica de Múltiplas Camadas – AEMC Medina, foram calculadas as deflexões admissíveis para a solução de pavimento adotadas. Desta forma, também seria possível a realização do controle da construção por meio da análise de leituras obtidas nos ensaios de viga Benkelman. A Tabela 21, apresenta um resumo das deflexões obtidas para cada camada. Podemos observar nas imagens a seguir os procedimentos adotados para obtenção dos resultados.

### a) Deflexão Recuperável para o Subleito

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm³)	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	0,1	1,78	LINEAR	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,37	1
2	0,0	1,57	LINEAR	120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

Tipo de carregamento:



EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO	
Análise	Semi-eixo
Número de rodas:	2
Carga do semi-eixo (ton)	4,10
Carga de roda (ton):	2,05

Pontos de análise e resultados

		Pontos de análise e resultados				
		Calcular Ferramentas >>				
Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
1	0	0	0,11	0,00000	0,00000	600,70747
2	17	0	0,11	-27,88720	0,00000	981,96161

Com a utilização do Software AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas foi possível realizar o cálculo da deflexão recuperável máxima para a Camada de Subleito a ser obtida quando da realização da obra com o valor igual a  $98,19 \times 10^{-2}$  mm, diante deste resultado para o Projeto em questão será adotada a deflexão recuperável para o subleito igual a **100 x 10<sup>-2</sup> mm**.

### b) Deflexão Recuperável para a Sub-base

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm³)	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	16	1,78	LINEAR	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,37	1
2	0,0	1,57	LINEAR	120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

Tipo de carregamento:



EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO	
Análise	Semi-eixo
Número de rodas:	2
Carga do semi-eixo (ton)	4,10
Carga de roda (ton):	2,05

Pontos de análise e resultados

		Pontos de análise e resultados				
		Calcular Ferramentas >>				
Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
1	0	0	0,01	0,00000	0,00000	573,16544
2	17	0	0,01	-36,37194	0,00000	798,87393

Com a utilização do Software AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas foi possível realizar o cálculo da deflexão recuperável máxima para a Camada de Sub-base a ser obtida quando da realização da obra com o valor igual a  $79,88 \times 10^{-2}$  mm, diante deste resultado para o Projeto em questão será adotada a deflexão recuperável para o subleito igual a  **$85 \times 10^{-2}$  mm**.

### c) Deflexão Recuperável para a Base

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm <sup>3</sup> )	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	15	1,95	LINEAR	350	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	1
2	16	1,78	LINEAR	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,37	1
3	0,0	1,57	LINEAR	120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

Tipo de carregamento:

**EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO**

Análise: Semi-eixo

Número de rodas: 2

Carga do semi-eixo (ton): 4,10

Carga de roda (ton): 2,05

Pontos de análise e resultados

Calcular
Ferramentas >>

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
1	0	0	0,01	0,00000	0,00000	476,79111
2	17	0	0,01	-32,32516	0,00000	<b>600,65935</b>

Com a utilização do Software AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas foi possível realizar o cálculo da deflexão recuperável máxima para a Camada de Base a ser obtida quando da realização da obra com o valor igual a  $60,06 \times 10^{-2}$  mm, diante deste resultado para o Projeto em questão será adotada a deflexão recuperável para o subleito igual a  **$60 \times 10^{-2}$  mm**.

#### d) Deflexão Recuperável para o Camada de Ligação em PMF

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm <sup>3</sup> )	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	4	2,1	LINEAR	1200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	1
2	15	1,95	LINEAR	350	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	1
3	16	1,78	LINEAR	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,37	1
4	0,0	1,57	LINEAR	120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

Tipo de carregamento: **EIXO PADRÃO RODoviÁRIO**

Pontos de análise e resultados

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
1	0	0	0,01	0,00000	0,00000	422,15270
2	17	0	0,01	-13,01519	0,00000	479,64100

Com a utilização do Software AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas foi possível realizar o cálculo da deflexão recuperável máxima para a Camada de Ligação em Pré-misturado a Frio (PMF) a ser obtida quando da realização da obra com o valor igual a  $47,96 \times 10^{-2}$  mm, diante deste resultado para o Projeto em questão será adotada a deflexão recuperável para o subleito igual a  $50 \times 10^{-2}$  mm.

#### e) Deflexão Recuperável para o Camada de Rolamento em CAUQ

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm <sup>3</sup> )	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	4	2,4	LINEAR	3500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	1
2	4	2,1	LINEAR	1200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	1
3	15	1,95	LINEAR	350	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	1
4	16	1,78	LINEAR	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,37	1
5	0,0	1,57	LINEAR	120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

Tipo de carregamento: **EIXO PADRÃO RODoviÁRIO**

Pontos de análise e resultados

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
1	0	0	0,01	0,00000	0,00000	373,45703
2	17	0	0,01	-8,64802	0,00000	386,76967

Com a utilização do Software AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas foi possível realizar o cálculo da deflexão recuperável máxima para a Camada de Rolamento em Concreto Asfáltico a ser obtida quando da realização da obra com o valor igual a  $38,67 \times 10^{-2}$  mm, diante deste resultado para o Projeto em questão será adotada a deflexão recuperável para o subleito igual a  $40 \times 10^{-2}$  mm.

**Tabela 21 – Deflexões para a Obra – Base: Brita Nº 01 + Solo + Cimento Portland**

<b>DF-205, trecho: Est. 481 até Est. 556 – Solução de Pavimento com Base: Brita Nº 01 + Solo + 3,0% Cimento Portland CP II F 32.</b>	
<b>Camada</b>	<b>Deflexões Recuperáveis (<math>\times 10^{-2}</math> mm)</b>
<b>Camada de Rolamento em CAUQ = 4,0 cm</b>	<b>40</b>
<b>Camada de Ligação em PMF = 4,0 cm</b>	<b>50</b>
<b>Base = 15,0 cm</b>	<b>60</b>
<b>Sub-base = 16,0 cm</b>	<b>85</b>
<b>Subleito – ISC = 9,0%</b>	<b>100</b>

Fonte: Autor

## **6.2 Solução com Camada de Base composta por Brita Graduada Simples (BGS) e Revestimento Asfáltico em Pré-misturado a Frio com Emulsão Catiônica Convencional 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 3,0% de Cal Hidratada tipo CH-I – Calcítica, em massa. A estrutura de pavimento a ser avaliada:

- **Camada de Rolamento em CAUQ (30/45), Faixa C – e = 7,5 cm;**
- **Camada de Ligação em PMF, Faixa V – e = 4,0 cm;**
- **Base em Brita Graduada Simples (BGS) – e = 15,0 cm;**
- **Sub-base em Material Terroso + 3,0% Cal Hidratada – CH-I – e = 16,00 cm;**
- **Subleito – ISC = 9,0%.**

**Tabela 22 – Verificação Mecânica – DF-205 – Base em BGS, Revestimento em PMF e CAUQ Convencional**

VERIFICAÇÃO MECÂNICA							
N USACE	5,70E+06						
N AASHTO	2,96E+06						
ESTRUTURA ANALISADA-11 - DF-205, trecho: Est. 481/Est. 556 - Base: BGS							
<b>CAMADA</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>ESP. (cm)</b>	<b>MR (MPa)</b>	<b>Poisson</b>			
Camada de Rolamento	CBUQ (FAIXA C)	7,50	3500	0,30			
Camada de Ligação	PMF	4,00	1200	0,35			
Base	Brita Graduada Simples -	15,00	210	0,35			
Sub-base	Solo + Cal Hidratada CH-I	16,00	200	0,37			
Subleito	Material Terroso Fino	Infinita	120	0,40			
<b>1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO</b>							
Autor	Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Et	Verificação
FHWA (1976)	1976	1,092E-06	3,512	2,96E+06	2,88E-04	2,97E-04	Reprovado
<b>2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO</b>							
Autor	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Ev	Verificação
Dormon & Metcalf	1965	6,069E-10	4,762	5,70E+06	4,42E-04	3,76E-04	Aprovado
<b>3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO</b>							
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	5,70E+06	66,22	39,17	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 mecânica da estrutura de pavimento a seguir:

- Camada de Rolamento em CAUQ (30/45), Faixa C – e = 8,0 cm;
- Camada de Ligação em PMF, Faixa V – e = 4,0 cm;
- Base em Brita Graduada Simples (BGS) – e = 15,0 cm;
- Sub-base em Material Terroso + 3,0% Cal Hidratada – CH-I – e = 16,00 cm;
- Subleito – ISC = 9,0%.

**Tabela 23 – Verificação Mecânica – DF-205 – Base em BGS, Revestimento em PMF e CAUQ Convencional - Aprovada**

VERIFICAÇÃO MECÂNICA							
N USACE	5,70E+06						
N AASHTO	2,96E+06						
ESTRUTURA ANALISADA-9 - DF-205, trecho: Est. 481/Est. 556 - Base: BGS							
<b>CAMADA</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>ESP. (cm)</b>	<b>MR (MPa)</b>	<b>Poisson</b>			
Camada de Rolamento	CBUQ (FAIXA C)	8,00	3500	0,30			
Camada de Ligação	PMF	4,00	1200	0,35			
Base	Brita Graduada Simples -	15,00	210	0,35			
Sub-base	Solo + Cal Hidratada CH-I	16,00	200	0,37			
Subleito	Material Terroso Fino	Infinita	120	0,40			
<b>1 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE TRAÇÃO (ET) DA FIBRA INFERIOR DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO</b>							
Autor	Ano	K	n	N-AASHTO	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Et	Verificação
FHWA (1976)	1976	1,092E-06	3,512	2,96E+06	2,88E-04	2,84E-04	Aprovado
<b>2 - DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA DE COMPRESSÃO (EV) DO TOPO DA CAMADA DE SUBLEITO</b>							
Autor	Ano	K	n	N-USACE	Admissível Modelo Et	Solicitante AEMC Ev	Verificação
Dormon & Metcalf	1965	6,069E-10	4,762	5,70E+06	4,42E-04	3,64E-04	Aprovado
<b>3 - DEFLEXÃO NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO</b>							
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	5,70E+06	66,22	38,28	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.

### 6.2.1 Deflexões Recuperáveis para a Obra – Base: Brita Graduada Simples (BGS).

Com base nas soluções de dimensionamento propostas e por meio da utilização do programa Análise Elástica de Múltiplas Camadas – AEMC Medina, foram calculadas as deflexões admissíveis para a solução de pavimento adotadas. Desta forma, também seria possível a realização do controle da construção por meio da análise de leituras obtidas nos ensaios de viga Benkelman. A Tabela 24, apresenta um resumo das deflexões obtidas para cada camada. Podemos observar nas imagens a seguir os procedimentos adotados para obtenção dos resultados.

### a) Deflexão Recuperável para o Subleito

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm³)	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	0,1	1,78	LINEAR	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,37	1
2	0,0	1,57	LINEAR	120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

Tipo de carregamento:



EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO	
Análise	Semi-eixo
Número de rodas:	2
Carga do semi-eixo (ton)	4,10
Carga de roda (ton):	2,05

Pontos de análise e resultados

		Pontos de análise e resultados				
		Calcular Ferramentas >>				
Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
1	0	0	0,11	0,00000	0,00000	600,70747
2	17	0	0,11	-27,88720	0,00000	981,96161

Com a utilização do Software AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas foi possível realizar o cálculo da deflexão recuperável máxima para a Camada de Subleito a ser obtida quando da realização da obra com o valor igual a  $98,19 \times 10^{-2}$  mm, diante deste resultado para o Projeto em questão será adotada a deflexão recuperável para o subleito igual a **100 x 10<sup>-2</sup> mm**.

### b) Deflexão Recuperável para a Sub-base

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm³)	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	16	1,78	LINEAR	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,37	1
2	0,0	1,57	LINEAR	120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

Tipo de carregamento:



EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO	
Análise	Semi-eixo
Número de rodas:	2
Carga do semi-eixo (ton)	4,10
Carga de roda (ton):	2,05

Pontos de análise e resultados

		Pontos de análise e resultados				
		Calcular Ferramentas >>				
Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
1	0	0	0,01	0,00000	0,00000	573,16544
2	17	0	0,01	-36,37194	0,00000	798,87393

Com a utilização do Software AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas foi possível realizar o cálculo da deflexão recuperável máxima para a Camada de Sub-base a ser obtida quando da realização da obra com o valor igual a  $79,88 \times 10^{-2}$  mm, diante deste resultado para o Projeto em questão será adotada a deflexão recuperável para o subleito igual a  **$85 \times 10^{-2}$  mm**.

### c) Deflexão Recuperável para a Base

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm <sup>3</sup> )	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	15	2,2	LINEAR	210	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	1
2	16	1,78	LINEAR	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,37	1
3	0,0	1,57	LINEAR	120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

Tipo de carregamento: **EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO**

Pontos de análise e resultados

Calcular Ferramentas >>

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
1	0	0	0,01	0,00000	0,00000	505,56956
2	17	0	0,01	-34,68944	0,00000	<b>726,97362</b>

Com a utilização do Software AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas foi possível realizar o cálculo da deflexão recuperável máxima para a Camada de Base a ser obtida quando da realização da obra com o valor igual a  $72,69 \times 10^{-2}$  mm, diante deste resultado para o Projeto em questão será adotada a deflexão recuperável para o subleito igual a  **$70 \times 10^{-2}$  mm**.

#### d) Deflexão Recuperável para o Camada de Ligação em PMF

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm <sup>3</sup> )	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	4	2,1	LINEAR	1200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	1
2	15	2,2	LINEAR	210	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	1
3	16	1,78	LINEAR	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,37	1
4	0,0	1,57	LINEAR	120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

Tipo de carregamento:

**EIXO PADRÃO RODoviÁRIO**

Análise	Semi-eixo
Número de rodas:	2
Carga do semi-eixo (ton)	4,10
Carga de roda (ton):	2,05
Pressão de pneus (MPa):	0,56

Pontos de análise e resultados

Calcular Ferramentas >>

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
1	0	0	0,01	0,00000	0,00000	471,77586
2	17	0	0,01	-11,10258	0,00000	558,66968

Com a utilização do Software AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas foi possível realizar o cálculo da deflexão recuperável máxima para a Camada de Ligação em Pré-misturado a Frio (PMF) a ser obtida quando da realização da obra com o valor igual a  $55,86 \times 10^{-2}$  mm, diante deste resultado para o Projeto em questão será adotada a deflexão recuperável para o subleito igual a  **$55 \times 10^{-2}$  mm**.

#### e) Deflexão Recuperável para a 1ª Camada em CAUQ

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm <sup>3</sup> )	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	3	2,4	LINEAR	3500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	1
2	4	2,1	LINEAR	1200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	1
3	15	2,2	LINEAR	210	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	1
4	16	1,78	LINEAR	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,37	1
5	0,0	1,57	LINEAR	120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

Tipo de carregamento:

**EIXO PADRÃO RODoviÁRIO**

Análise	Semi-eixo
Número de rodas:	2
Carga do semi-eixo (ton)	4,10
Carga de roda (ton):	2,05
Pressão de pneus (MPa):	0,56

Pontos de análise e resultados

Calcular Ferramentas >>

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
1	0	0	0,01	0,00000	0,00000	435,04757
2	17	0	0,01	-8,11974	0,00000	456,61473

Com a utilização do Software AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas foi possível realizar o cálculo da deflexão recuperável máxima para a 1ª Camada em Concreto Asfáltico a ser obtida quando da realização da obra com o valor igual a  $45,66 \times 10^{-2}$  mm, diante deste resultado para o Projeto em questão será adotada a deflexão recuperável para o subleito igual a  **$45 \times 10^{-2}$  mm**.

#### e) Deflexão Recuperável para a 2ª Camada em CAUQ

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm³)	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	5	2,4	LINEAR	3500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	1
2	3	2,4	LINEAR	3500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	1
3	4	2,1	LINEAR	1200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	1
4	15	2,2	LINEAR	210	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	1
5	16	1,78	LINEAR	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,37	1
6	0,0	1,57	LINEAR	120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

Tipo de carregamento: **EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO**

Número de rodas: 2  
 Carga do semi-eixo (ton): 4,10  
 Carga de roda (ton): 2,05

Pontos de análise e resultados

Calcular Ferramentas >>

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
1	0	0	0,01	0,00000	0,00000	364,35266
2	17	0	0,01	-10,48629	0,00000	361,36286

Com a utilização do Software AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas foi possível realizar o cálculo da deflexão recuperável máxima para a Camada de Rolamento em Concreto Asfáltico a ser obtida quando da realização da obra com o valor igual a  $36,13 \times 10^{-2}$  mm, diante deste resultado para o Projeto em questão será adotada a deflexão recuperável para o subleito igual a  **$40 \times 10^{-2}$  mm**.

**Tabela 24 – Deflexões para a Obra – Base: Brita Graduada Simples (BGS)**

<b>DF-205, trecho: Est. 481 até Est. 556 – Solução de Pavimento com Base: Brita Graduada Simples (BGS).</b>	
<b>Camada</b>	<b>Deflexões Recuperáveis (<math>\times 10^{-2}</math> mm)</b>
<b>Camada de Rolamento em CAUQ = 5,0 cm</b>	<b>40</b>
<b>Camada de Rolamento em CAUQ = 3,0 cm</b>	<b>45</b>
<b>Camada de Ligação em PMF = 4,0 cm</b>	<b>55</b>
<b>Base = 15,0 cm</b>	<b>70</b>
<b>Sub-base = 16,0 cm</b>	<b>85</b>
<b>Subleito – ISC = 9,0%</b>	<b>100</b>

Fonte: Autor

### **6.3 Solução com Camada de Base composta por Brita Graduada Tratada com Cimentos (BGTC) e Revestimento Asfáltico em Pré-misturado a Frio com Emulsão Catiônica Convencional 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 por Material Terroso com adição de 3,0% de Cal Hidratada tipo CH-I Calcítica, em massa. A estrutura de pavimento a ser avaliada:

- **Camada de Rolamento em CAUQ (30/45), Faixa C – e = 3,0 cm;**
- **Camada de Ligação em PMF, Faixa V – e = 4,0 cm;**
- **Base em Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC) – e = 18,0 cm;**
- **Sub-base em Material Terroso + 3,0% Cal Hidratada – CH-I – e = 12,00 cm;**
- **Subleito – ISC = 9,0%.**

**Tabela 25 – Verificação Mecânica – DF-205 – Base em BGTC, Revestimento em PMF e CAUQ Convencional**

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA							
N USACE	5,70E+06						
N AASHTO	2,96E+06						
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA 14 - DF-205, trecho: Est. 481 a Est. 556 Base: BGTC							
<b>CAMADA</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>ESP. (cm)</b>	<b>MR (MPa)</b>	<b>Poisson</b>			
Camada de Rolamento	CAUQ FAIXA C	3,00	3500	0,30			
Camada de Ligação	PMF	4,00	1200	0,35			
Base	BGTC	18,00	7500	0,25			
Sub-base	Solo + Cal Hidratada CH-I	12,00	200	0,37			
Subleito	Material Terroso Fino	Infinita	120	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	2,96E+06	2,88E-04	4,27E-05	Aprovado
2 - TENSÃO DE TRAÇÃO NA FIBRA INFERIOR DA CAMADA CIMENTADA (BGTC)							
Autor	Ano	N Projeto (USACE)	σt Tensão na Flexão de Ruptura (kgf/cm²)	Et Deform Admissível (kgf/cm²)	Et Deform Atuante/AEMC (kgf/cm²)	Verificação	
Balbo	1993	5,70E+06	10	7,06E-05	7,09E-05	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	5,70E+06	4,42E-04	1,86E-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	5,70E+06	66,22	22,12	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.

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

- Camada de Rolamento em CAUQ (30/45), Faixa C – e = 3,0 cm;
- Camada de Ligação em PMF, Faixa V – e = 4,5 cm;
- Base em Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC) – e = 18,0 cm;
- Sub-base em Material Terroso + 3,0% Cal Hidratada – CH-I – e = 12,00 cm;
- Subleito – ISC = 9,0%.

**Tabela 26 – Verificação Mecânica – DF-205 – Base em BGTC, Revestimento em PMF e CAUQ Convencional - Aprovada**

VERIFICAÇÃO MECANÍSTICA							
N USACE	5,70E+06						
N AASHTO	2,96E+06						
DADOS DA ESTRUTURA ANALISADA 15 - DF-205, trecho: Est. 481 a Est. 556 Base: BGTC							
<b>CAMADA</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>ESP. (cm)</b>	<b>MR (MPa)</b>	<b>Poisson</b>			
Camada de Rolamento	CAUQ FAIXA C	3,00	3500	0,30			
Camada de Ligação	PMF	4,50	1200	0,35			
Base	BGTC	18,00	7500	0,25			
Sub-base	Solo + Cal Hidratada CH-I	12,00	200	0,37			
Subleito	Material Terroso Fino	Infinita	120	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	2,96E+06	2,88E-04	4,06E-05	Aprovado
2 - TENSÃO DE TRAÇÃO NA FIBRA INFERIOR DA CAMADA CIMENTADA (BGTC)							
Autor	Ano	N Projeto (USACE)	$\sigma$ Tensão na Flexão de Ruptura (kgf/cm <sup>2</sup> )	Et Deform Admissível (kgf/cm <sup>2</sup> )	Et Deform Atuante/AEMC (kgf/cm <sup>2</sup> )	Verificação	
Balbo	1993	5,70E+06	10	7,06E-05	6,97E-05	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	5,70E+06	4,42E-04	1,82E-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	5,70E+06	66,22	22,05	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.

### 6.3.1 Deflexões Recuperáveis para a Obra – Base: Brita Graduada Simples (BGTC).

Com base nas soluções de dimensionamento propostas e por meio da utilização do programa Análise Elástica de Múltiplas Camadas – AEMC Medina, foram calculadas as deflexões admissíveis para a solução de pavimento adotadas. Desta forma, também seria possível a realização do controle da construção por meio da análise de leituras obtidas nos ensaios de viga Benkelman. A Tabela 27, apresenta um resumo das deflexões obtidas para cada camada. Podemos observar nas imagens a seguir os procedimentos adotados para obtenção dos resultados.

### a) Deflexão Recuperável para o Subleito

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm³)	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	0,1	1,78	LINEAR	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,37	1
2	0,0	1,57	LINEAR	120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

Tipo de carregamento: **EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO**

Parâmetros de carregamento:  
 Número de rodas: 2  
 Carga do semi-eixo (ton): 4,10  
 Carga de roda (ton): 2,05

Pontos de análise e resultados

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
1	0	0	0,11	0,00000	0,00000	600,70747
2	17	0	0,11	-27,88720	0,00000	981,96161

Com a utilização do Software AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas foi possível realizar o cálculo da deflexão recuperável máxima para a Camada de Subleito a ser obtida quando da realização da obra com o valor igual a  $98,19 \times 10^{-2}$  mm, diante deste resultado para o Projeto em questão será adotada a deflexão recuperável para o subleito igual a **100 x 10<sup>-2</sup> mm**.

### b) Deflexão Recuperável para a Sub-base

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm³)	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	12	1,780	LINEAR	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,37	1
2	0,0	1,57	LINEAR	120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

Tipo de carregamento: **EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO**

Parâmetros de carregamento:  
 Número de rodas: 2  
 Carga do semi-eixo (ton): 4,10  
 Carga de roda (ton): 2,05

Pontos de análise e resultados

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
1	0	0	0,01	0,00000	0,00000	597,11126
2	17	0	0,01	-35,50905	0,00000	832,70512

Com a utilização do Software AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas foi possível realizar o cálculo da deflexão recuperável máxima para a Camada de Sub-base a ser obtida quando da realização da obra com o valor igual a  $83,27 \times 10^{-2}$  mm, diante deste resultado para o Projeto em questão será adotada a deflexão recuperável para o subleito igual a  **$85 \times 10^{-2}$  mm**.

### c) Deflexão Recuperável para a Base

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm <sup>3</sup> )	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	18	2,2	LINEAR	7500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,25	1
2	12	1,78	LINEAR	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,37	1
3	0,0	1,57	LINEAR	120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

Tipo de carregamento:

**EIXO PADRÃO RODoviÁRIO**

Análise	Semi-eixo
Número de rodas:	2
Carga do semi-eixo (ton)	4,10
Carga de roda (ton):	2,05
Pressão de contato (MPa):	0,65

Pontos de análise e resultados

Calcular
Ferramentas >>

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
1	0	0	0,01	0,00000	0,00000	251,77014
2	17	0	0,01	-9,76835	0,00000	249,58599

Com a utilização do Software AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas foi possível realizar o cálculo da deflexão recuperável máxima para a Camada de Base a ser obtida quando da realização da obra com o valor igual a  $24,95 \times 10^{-2}$  mm, diante deste resultado para o Projeto em questão será adotada a deflexão recuperável para o subleito igual a  **$25 \times 10^{-2}$  mm**.

#### d) Deflexão Recuperável para o Camada de Ligação em PMF

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm <sup>3</sup> )	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	4,5	2,1	LINEAR	1200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	1
2	18	2,2	LINEAR	7500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,25	1
3	12	1,78	LINEAR	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,37	1
4	0,0	1,57	LINEAR	120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

Tipo de carregamento:



EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO	
Análise	Semi-eixo
Número de rodas:	2
Carga do semi-eixo (ton)	4,10
Carga de roda (ton):	2,05

Pontos de análise e resultados

		Calculador					Ferramentas >>
Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)	
1	0	0	0,01	0,00000	0,00000	230,33944	
2	17	0	0,01	-9,00141	0,00000	242,91779	

Com a utilização do Software AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas foi possível realizar o cálculo da deflexão recuperável máxima para a Camada de Ligação em Pré-misturado a Frio (PMF) a ser obtida quando da realização da obra com o valor igual a  $24,29 \times 10^{-2}$  mm, diante deste resultado para o Projeto em questão será adotada a deflexão recuperável para o subleito igual a  **$24 \times 10^{-2}$  mm**.

#### e) Deflexão Recuperável para o Camada de Rolamento em CAUQ

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm <sup>3</sup> )	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	3	2,4	LINEAR	3500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	1
2	4,5	2,1	LINEAR	1200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	1
3	18	2,2	LINEAR	7500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,25	1
4	12	1,78	LINEAR	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,37	1
5	0,0	1,57	LINEAR	120	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

Tipo de carregamento:



EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO	
Análise	Semi-eixo
Número de rodas:	2
Carga do semi-eixo (ton)	4,10
Carga de roda (ton):	2,05

Pontos de análise e resultados

		Calculador					Ferramentas >>
Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)	
1	0	0	0,01	0,00000	0,00000	208,54637	
2	17	0	0,01	-7,36829	0,00000	220,48191	

Com a utilização do Software AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas foi possível realizar o cálculo da deflexão recuperável máxima para a Camada de Rolamento em Concreto Asfáltico a ser obtida quando da realização da obra com o valor igual a  $22,04 \times 10^{-2}$  mm, diante deste resultado para o Projeto em questão será adotada a deflexão recuperável para o subleito igual a  **$22 \times 10^{-2}$  mm**.

**Tabela 27 – Deflexões para a Obra – Base: Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC)**

<b>DF-205, trecho: Est. 481 até Est. 556 – Solução de Pavimento com Base: Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC).</b>	
<b>Camada</b>	<b>Deflexões Recuperáveis (<math>\times 10^{-2}</math> mm)</b>
<b>Camada de Rolamento em CAUQ = 3,0 cm</b>	<b>22</b>
<b>Camada de Ligação em PMF = 4,5 cm</b>	<b>24</b>
<b>Base = 18,0 cm</b>	<b>25</b>
<b>Sub-base = 12,0 cm</b>	<b>85</b>
<b>Subleito – ISC = 9,0%</b>	<b>100</b>

Fonte: Autor

## 7.0 Resumo das Soluções de Pavimento – DF-205, trecho: Est. 481/Est. 556.

7.1 Base composta por misturas de: 70,0% de Brita Nº 01 + 30,0% Material Terroso + 3,0% de Cimento Portland CP II F 32 e Revestimento em Pré-misturado a Frio com Emulsão Convencional e Concreto Asfáltico Convencional.

Tabela 28 – Intervenções Necessárias – DF-205 – Base em Brita Nº 01 + Solo + 3,0% de Cimento Portland, Revestimento em PMF e CAUQ Convencional

DF-205 – Trecho: Est. 481/Est. 556
Número N (USACE) = 5,70x10 <sup>6</sup>
Número N (AASHTO) = 2,96x10 <sup>6</sup>
<b><u>Estrutura do Pavimento</u></b>
- Camada de Rolamento CAUQ Faixa C (30/45) – e = 4,0 cm
- Camada de Ligação em PMF Faixa V – Semi-denso – e = 4,0 cm
- Base composta por mistura de: 70,0% de Brita Nº 01 + 30,0% de Solo + 3,0% de Cimento Portland CP II F 32 – e = 15,0 cm;
- Sub-base (Material Terroso + 3,0% Cal Hidratada – CH-I), com e = 16,0 cm;
- Subleito em Argila – ISC = 9,0%.
<b><u>Intervenções Necessárias</u></b>
- 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 ≥ 100,0%, com ISC ≥ 9,0%, conforme a Especificação DNIT 108/2009-ES;
- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de <b>100 centésimos de milímetros</b> ;
- Executar camada de sub-base com 16,0 cm de espessura, em Material Terroso Fino, podendo ser utilizadas as Caixas de Empréstimo das áreas lindeiras (Faixa de domínio) + 3,0% de Cal Hidratada Tipo CH-I – Calcítica, compactada na Energia Intermediária com GC ≥ 100,0%, ISC ≥ 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 Calcítica, 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  $1,600 \text{ g/cm}^3$ . Sugerimos que a distribuição da Cal Hidratada CH-I Calcítica, seja realizada por meio de caminhão distribuidor;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de **85 centésimos de milímetros**;

- Executar camada de base com 15,0 cm de espessura, estabilizada granulometricamente e quimicamente, composta por 70,0% de Brita Nº 01 + 30,0% Material Terroso Fino proveniente das Caixas de Empréstimo + 3,0% de Cimento Portland CP II F – 32, em massa. Sendo 2,2 kg de Brita Nº 01 para cada 1,0 kg de Material Terroso Fino (Solo). A camada de base, deverá ser compactada na Energia Modificada com  $GC \geq 100,0\%$ ,  $ISC \geq 80,0\%$ . Deverá ser utilizada a Especificação Técnica do DNIT 141/2022 – ES. Para o cálculo da massa de Cimento Portland a ser adicionada a mistura, para fins de Orçamento, considerar para a mistura (Brita Nº 01 + Solo) a Massa Específica Aparente Seca igual a  $1,95 \text{ g/cm}^3$ . Sugerimos que a distribuição da Brita Nº 01 e do Cimento Portland sejam realizadas por meio de caminhão distribuidor;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de **60 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 espessura igual a 4,0 cm em Pré-misturado a Frio com Emulsão Asfáltica Catiônica Convencional – Semi-denso –

Faixa V, em toda a plataforma, conforme Especificação do DER-SP ET-DE-P00/025 - Rev. A Jan/2006. Para a execução da referida camada deverá ser utilizada Emulsão Asfáltica Convencional Catiônica de Ruptura Média – RM-1C e para fins de Orçamento considerar o teor de Emulsão igual a 6,5%;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de **50 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/m<sup>2</sup> e taxa residual entre 0,4 e 0,5 l/m<sup>2</sup>, conforme Especificação DNIT 145/2014 – ES;

- Executar Camada Asfáltica com espessura igual a 4,0 cm de CAUQ Faixa C – CAP 30/45, nas faixas de rolamento, conforme Especificações: DNIT 031/2006 – ES e ET-DE P00/027 – Jul/2005 – Rev. A - DER-SP. Para fins de Orçamento, considerar teor de CAP igual a 5,5%.

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de **40 centésimos de milímetros.**

Fonte: do Autor

## 7.2 Base em Brita Graduada Simples (BGS) e Revestimento em Pré-misturado a Frio com Emulsão Convencional e Concreto Asfáltico Convencional.

Tabela 29 – Intervenções Necessárias – DF-205 – Base em BGS, Revestimento em PMF e CAUQ Convencional

DF-205 – Trecho: Est. 481/Est. 556
Número N (USACE) = 5,70x10 <sup>6</sup>
Número N (AASHTO) = 2,96x10 <sup>6</sup>
<b><u>Estrutura do Pavimento</u></b>
- Camada de Rolamento CAUQ Faixa C (30/45) – e = 5,0 cm
- Camada de Ligação CAUQ Faixa C (30/45) – e = 3,0 cm
- Camada de Ligação em PMF Faixa V – Semi-denso – e = 4,0 cm
- Base composta por Brita Graduada Simples (BGS) – e = 15,0 cm;
- Sub-base (Material Terroso + 3,0% Cal Hidratada – CH-I), com e = 16,0 cm;
- Subleito em Argila – ISC = 9,0%.
<b><u>Intervenções Necessárias</u></b>
- 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 ≥ 100,0%, com ISC ≥ 9,0%, conforme a Especificação DNIT 108/2009-ES;
- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de <b>100 centésimos de milímetros;</b>
- Executar camada de sub-base com 16,0 cm de espessura, em Material Terroso Fino, podendo ser utilizadas as Caixas de Empréstimo das áreas lindeiras (Faixa de domínio) + 3,0% de Cal Hidratada Tipo CH-I – Calcítica, compactada na Energia Intermediária com GC ≥ 100,0%, ISC ≥ 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 Calcítica, 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 1,600 g/cm<sup>3</sup>. Sugerimos que a distribuição da Cal Hidratada CH-I Calcítica, seja realizada por meio de caminhão distribuidor;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de **85 centésimos de milímetros**;

- Executar camada de base com 15,0 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 **70 centésimos de milímetros**;

- Execução de Imprimação com Emulsão Asfáltica Imprimante (EAI), taxa de aplicação de 0,9 a 1,3 l/m<sup>2</sup>, conforme Especificação DNIT 144/2014 – ES;

- Executar Pintura de Ligação, com emulsão asfáltica diluída com água com proporção de 1:1, tipo RR-1C, taxa de aplicação de 0,8 a 1,0 l/m<sup>2</sup> e taxa residual entre 0,4 e 0,5 l/m<sup>2</sup>, conforme Especificação DNIT 145/2014 – ES;

- Executar Camada Asfáltica de Ligação com espessura igual a 4,0 cm em Pré-misturado a Frio com Emulsão Asfáltica Catiônica Convencional – Semi-denso – Faixa V, em toda a plataforma, conforme Especificação do DER-SP ET-DE-P00/025 - Rev. A Jan/2006. Para a execução da referida camada deverá ser utilizada Emulsão Asfáltica Convencional Catiônica de Ruptura Média – RM-1C e para fins de Orçamento considerar o teor de Emulsão igual a 6,5%;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de **55 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/m<sup>2</sup> e taxa residual entre 0,4 e 0,5 l/m<sup>2</sup>, conforme Especificação DNIT 145/2012 – ES;

- Executar Camada Asfáltica de Ligação com espessura igual a 3,0 cm de CAUQ Faixa C – CAP 30/45, em toda a plataforma, conforme Especificações: DNIT 031/2006 – ES e ET-DE P00/027 – Jul/2005 – Rev. A - DER-SP. Para fins de Orçamento, considerar teor de CAP igual a 5,5%;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de **45 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/m<sup>2</sup> e taxa residual entre 0,4 e 0,5 l/m<sup>2</sup>, conforme Especificação DNIT 145/2012 – ES;

- Executar Camada Asfáltica com espessura igual a 5,0 cm de CAUQ Faixa C – CAP 30/45, nas faixas de rolamento, conforme Especificações: DNIT 031/2006 – ES e ET-DE P00/027 – Jul/2005 – Rev. A - DER-SP. Para fins de Orçamento, considerar teor de CAP igual a 5,5%;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de **40 centésimos de milímetros.**

Fonte do Autor

### 7.3 Base em Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC) e Revestimento em Pré-misturado a Frio com Emulsão Convencional e Concreto Asfáltico Convencional.

Tabela 30 – Intervenções Necessárias – DF-205 – Base em BGTC, Revestimento em PMF e CAUQ Convencional

DF-205 – Trecho: Est. 481/Est. 556
Número N (USACE) = 5,70x10 <sup>6</sup>
Número N (AASHTO) = 2,96x10 <sup>6</sup>
<b><u>Estrutura do Pavimento</u></b>
- Camada de Rolamento CAUQ Faixa C (30/45) – e = 3,0 cm
- Camada de Ligação em PMF Faixa V – Semi-denso – e = 4,5 cm
- Base composta por Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC) – e = 18,0 cm;
- Sub-base (Material Terroso + 3,0% Cal Hidratada – CH-I), com e = 12,0 cm;
<b><u>Intervenções Necessárias</u></b>
- 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 ≥ 100,0%, com ISC ≥ 9,0%, conforme a Especificação DNIT 108/2009-ES;
- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de <b>100 centésimos de milímetros;</b>
- Executar camada de sub-base com 12,0 cm de espessura, em Material Terroso Fino, podendo ser utilizadas as Caixas de Empréstimo das áreas lindeiras (Faixa de domínio) + 3,0% de Cal Hidratada Tipo CH-I – Calcítica, compactada na Energia Intermediária com GC ≥ 100,0%, ISC ≥ 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 Calcítica, 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 1,600 g/cm<sup>3</sup>. Sugerimos que a distribuição da Cal Hidratada CH-I Calcítica, seja realizada por meio de caminhão distribuidor;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de **85 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 igual a 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/m<sup>3</sup>;

- A cura deverá ser realizada com banho de emulsão asfáltica tipo RR-1C, taxa de aplicação de 0,6 a 0,8 l/m<sup>2</sup>, com taxa residual  $\geq 0,3$  l/m<sup>2</sup>, conforme Especificação DNIT 145/2014 – ES;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de **25 centésimos de milímetros**;

- Executar Camada Asfáltica de Ligação e Anti-Reflexão de Trincas com espessura igual a 4,5 cm em Pré-misturado a Frio com Emulsão Asfáltica Catiônica Convencional – Semi-denso – Faixa V, em toda a plataforma, conforme Especificação do DER-SP ET-DE-P00/025 - Rev. A Jan/2006. Para a execução da referida camada deverá ser utilizada Emulsão Asfáltica Convencional Catiônica de Ruptura Média – RM-1C e para fins de Orçamento considerar o teor de Emulsão igual a 6,5%;

- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de **24 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/m<sup>2</sup> e taxa residual entre 0,4 e 0,5 l/m<sup>2</sup>, conforme Especificação DNIT 145/2012 – ES;
- Executar Camada Asfáltica com espessura igual a 3,0 cm de CAUQ Faixa C – CAP 30/45, nas faixas de rolamento, conforme Especificações: DNIT 031/2006 – ES e ET-DE P00/027 – Jul/2005 – Rev. A - DER-SP. Para fins de Orçamento, considerar teor de CAP igual a 5,5%;
- A deflexão recuperável a ser obtida sobre a superfície acabada deverá ser de **22 centésimos de milímetros**.

Fonte: do Autor

### **8.0 Camada Anti-Reflexão de Trincas (CART) em Pré-Misturado a Frio com Emulsão Catiônica Convencional.**

As camadas de Revestimento Asfáltico compostas por Pré-Misturado a Frio com Emulsão Catiônica Convencional servirão tanto como Camada de Ligação quanto como Camada Anti-Reflexão de Trincas tem a função de conter e postergar as trincas advindas da camada cimentada composta por Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC) subjacente.

Brasília-DF, 02 de abril de 2024.

# Anexo: C



RODOVIA: DF-205

TRTECHO: DF 205

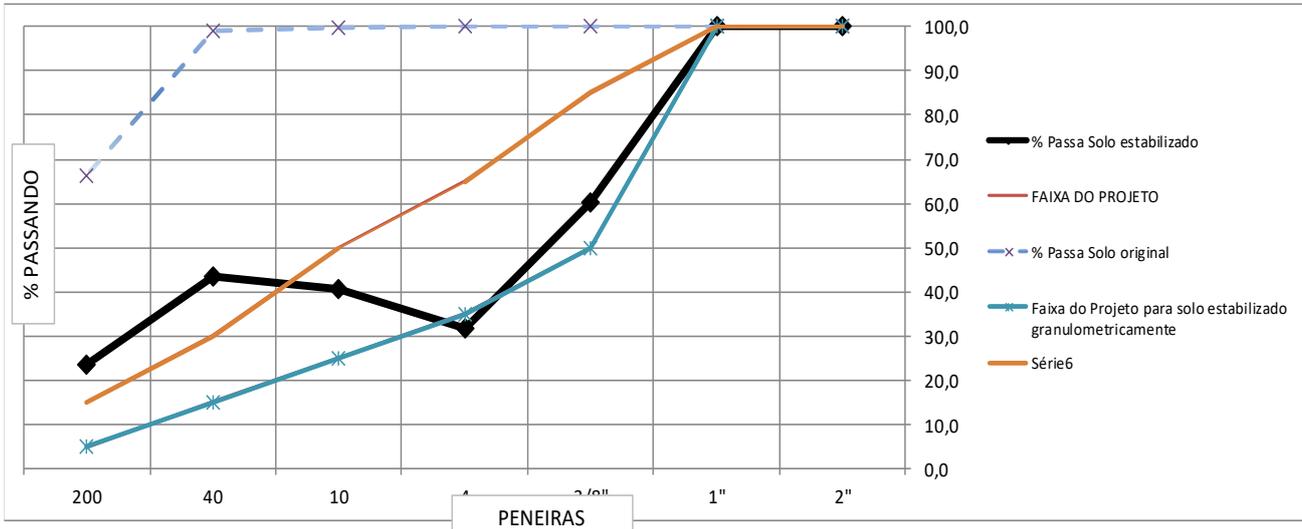
Registro r 032/2024

LOCAL DE COLETA: CX 01 FURO 02

COLETA DATA: 15/02/2024

ENSAIO DATA: 02/03/2023

	GRANULOMETRIA DO SOLO - FAIXA					C	N>5X10E6			Tolerância
	Peneira	% Passa Solo original	% Passa Solo estabilizado	Faixa do Projeto para solo melhorado com cimento		Desvio da Faixa	Faixa do Projeto para solo estabilizado granulometricamente		Desvio da Faixa	
50 mm	2"	100	100,0	100	100	-	100	100	-	± 7
25 mm	1"	100	100,0	100	100	-	100	100	-	± 7
9,5 mm	3/8"	100	60,2	50	85	-	50	85	-	± 7
4,75 mm	4	100	31,8	35	65	-3,2	35	65	-3,2	± 5
2 mm	10	99,9	40,5	25	50	-	25	50	-	± 5
0,42 mm	40	99,1	43,5	15	30	13,5	15	30	13,5	± 2
0,075 mm	200	66,4	23,6	5	15	8,6	5	15	8,6	± 2



Agregado	
BGS	0
Areia Média	0
Areia Comercial	0
Brita 0	0
Brita 1	2,2
Brita 2	0
Pó de Brita	0

Kg/Kg de Solo

% de solo	31,42%	Em peso
% de Agregado	68,58%	