

Relatório

ADEQUAÇÃO E CONCLUSÃO DE PROJETO BÁSICO E A ELABORAÇÃO DE PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA E EIA/RIMA – PBA’S, DESTINADO À IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTE COLETIVO DE PASSAGEIROS ENTRE AS CIDADES DE RECANTO DAS EMAS (I e II), RIACHO FUNDO I E II, SAMAMBAIA, TAGUATINGA, NÚCLEO BANDEIRANTE E O PLANO PILOTO, NAS RODOVIAS DISTRITAIS DF-001 (EPCT) E DF-075 (EPNB) – CORREDOR EIXO SUDOESTE.

Relatório do Projeto de Pavimentação (Novo – Flexível)

Fevereiro/2020

02	Revisão	02/2020			
01	Revisão	10/2019			
00	Emissão inicial	06/2019			
Nº	MODIFICAÇÃO	DATA	FEITO	VISTO	APROVO
REVISÕES					

 Empreendimentos Sustentáveis		PROJETO	
		Corredor Eixo Sudoeste	
VISTO		LOCALIZAÇÃO	
		Brasília - DF	
APROVO		ESPECIALIDADE/SUBESPECIALIDADE	
		Consolidação do Projeto Básico	
AUTOR DO DOCUMENTO / CREA			
ARLINDO VERZEGNASSI FILHO - 5060497290/D-SP 			
RESPONSÁVEL TÉCNICO / CREA			
ARLINDO VERZEGNASSI FILHO - 5060497290/D-SP			
ETAPA DE PROJETO	TIPO/ESPECIFICAÇÃO DO DOCUMENTO		DATA
Grupo - 3	Relatório do Projeto de Pavimentação (Novo – Flexível)		Fevereiro/2020
	CODIFICAÇÃO RT.04.999.V99.F01.R02		REVISÃO R02

SUMÁRIO

1	PAVIMENTAÇÃO FLEXÍVEL NOVA	4
1.1	Dimensionamentos de Pavimentos Novos	4
1.1.1	Estudos de Tráfego – DF 001 – Trecho: Entrº BR 060 (Samambaia) – Entrº DF 075 (Riacho Fundo 1)	5
1.1.2	Estudos de Tráfego – DF 075 – Trecho: Entrº DF 003 (Núcleo Bandeirante) – Entrº DF 001 (Riacho Fundo 1)	12
1.1.3	Subleito	18
1.1.4	Métodos de Dimensionamento	21
1.1.5	Alternativas Propostas de Pavimentação	32
1.2	Especificações	36
2	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	38



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Mapa de Situação – BRT Sudoeste.....	5
Figura 2 : Esquema de camadas.....	23
Figura 3 : Camadas pavimento flexível	29
Figura 4 : Camadas pavimento flexível	30



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 : Volume médio diário anual de tráfego	6
Tabela 2 : Volume diário médio	7
Tabela 3 : Fatores de veículo - USACE	9
Tabela 4 : Fatores de veículo - AASHTO	9
Tabela 5 : Projeção do VMD	11
Tabela 6 : Volume médio anual de tráfego atual da DF-075.....	13
Tabela 7 : Volume médio diário	14
Tabela 8 : Cálculo dos fatores de veículo	15
Tabela 9 : Cálculo dos fatores de veículo - AASHTO.....	16
Tabela 10 : Definição do número “N” DF- 075 (EPNB).....	17
Tabela 11 : Estudos Geotécnicos.....	19
Tabela 12 : Resumo dos Ensaios de Compactação e CBR	20
Tabela 13 : Análise estatística	21
Tabela 14 : Parâmetros de Tráfego	22
Tabela 15 : Método do DNIT – Pavimento Flexível	24
Tabela 16 : Método do DNIT – Pavimento Flexível	25
Tabela 17 : Método do DNIT – Pavimento Flexível	25
Tabela 18 : Método do DNIT – Pavimento Flexível	26
Tabela 19 : Análise Mecânica – Pavimento Flexível	30
Tabela 20 : Análise Mecânica – Semi-rígido em BGTC	31
Tabela 21 : Alternativa 1.....	33
Tabela 22 : Alternativa 2.....	34
Tabela 23 : Alternativa 1.....	34
Tabela 24 : Especificações de materiais	36



1 PAVIMENTAÇÃO FLEXÍVEL NOVA

1.1 Dimensionamentos de Pavimentos Novos

O pavimento rodoviário deve ser dimensionado tendo em vista os materiais disponíveis, o tráfego previsto para o período de projeto e as características locais, de forma a minimizar a tensão vertical que atinge o subleito e proteger as camadas asfálticas e cimentadas do processo de fadiga decorrente do carregamento cíclico do tráfego.

Para atender algumas alterações com relação às questões geométricas para a implantação do Corredor Sudoeste, serão necessários implantar em alguns locais pavimentos novos na modalidade flexível para o Trecho 01, dividindo em Subtrecho 100 (DF 075) e Subtrecho 200 (DF 001) e Trecho 02 (DF 001), dividido em Subtrechos (220, 230 e 240). Salientamos que para o Trecho 02, referente ao Subtrecho 240, está previsto apenas o estudo para a restauração de pavimento e será apresentado em Caderno específico, como se observa no Mapa de Situação apresentado abaixo:



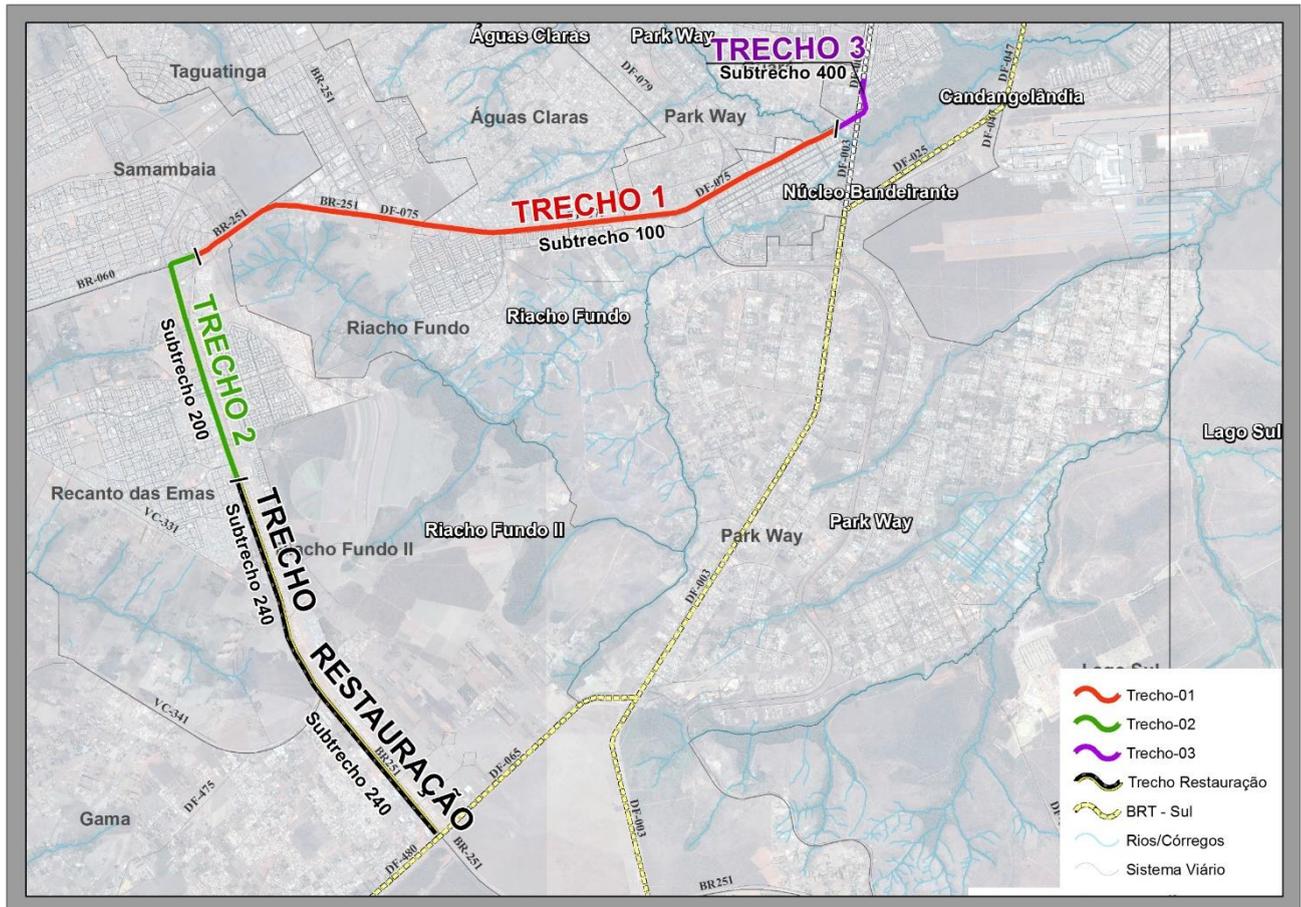


Figura 1 : Mapa de Situação – BRT Sudoeste

Para o dimensionamento das soluções técnicas propostas foram considerados os seguintes parâmetros e critérios:

1.1.1 Estudos de Tráfego – DF 001 – Trecho: Entr^o BR 060 (Samambaia) – Entr^o DF 075 (Riacho Fundo 1).

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 este estudo, utilizaram-se os dados de volumes de tráfego apresentados integralmente no Relatório de Projeto, item 3.1 – Estudos de tráfego, fornecido pela Itec Infra Tech Engenharia e Consultoria S/A, obtidos através de contagens volumétricas classificadas realizadas no local de implantação do BRT Sul, no ano de 2009, para o Rodovia DF 001, Trecho do



Volume 1.2- Relatório de Projeto
Volume 1.2.4 – Projetos de Pavimentação

Entrº BR 060 (Samambaia) – Entrº DF 075 (Riacho Fundo 1), conforme quadro a seguir:

Tabela 1 : Volume médio diário anual de tráfego

QUADRO Nº 16 - VOLUME MÉDIO DIÁRIO ANUAL DE TRÁFEGO ATUAL DA DF-001 (VMDAT - PISTA CENTRAL) - ANO DE 2009																														
RODOVIA: DF-001 (EPCT)														TRECHO: ENTRº BR-060 (SAMAMBAIA) - ENTRº DF-075 (RIACHO FUNDO "I")																
SEGMENTO: km 0,00 - km 3,80																														
SENTIDO:					GOIÂNIA										-	BRASÍLIA														
POSTO	SEÇÃO DE TRÁFEGO	MOV.	MOTO	PASS.	UTIL.	COLETIVOS				CONFIGURAÇÃO DE EIXOS DOS VEÍCULOS DE CARGA																TOTAL				
						URB.	INT.	TRIB.	4CB	2C	3C	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	Bit.	Rod.	Trt.	2I2		2I3	3I2	3I3	2J3
P-01	"1"	IDA	1.696	23.974	3.738	2.353	1	3		989	450	9	142	429	5	152	150	2	8	7	11	167								34.286
		VOLTA	1.283	18.324	2.824	1.402	8	22		774	835		61	204		13	162	1	3	1		116	2						1	26.036
		TOTAL	2.979	42.298	6.562	3.755	9	25		1.763	1.285	9	203	633	5	165	312	3	11	8	11	283	2							1
	"3"	IDA	1.735	25.018	3.795	2.186	1	3		990	442	9	142	429	5	152	150	2	8	7	11	167								35.252
		VOLTA	1.283	18.324	2.824	1.402	8	22		774	835		61	204		13	162	1	3	1		116	2					1	26.036	
		TOTAL	3.018	43.342	6.619	3.588	9	25		1.764	1.277	9	203	633	5	165	312	3	11	8	11	283	2						1	61.288
P-02	"1"	IDA	1.728	24.603	3.776	2.187	1	3		975	442	9	142	426	5	152	150	2	8	7	11	167								34.794
		VOLTA	1.313	18.482	2.864	1.419	8	20		782	847		61	215		13	186	1	3	1		131	2						1	26.349
		TOTAL	3.041	43.085	6.640	3.606	9	23		1.757	1.289	9	203	641	5	165	336	3	11	8	11	298	2						1	61.143
	"3"	IDA	1.728	24.603	3.776	2.187	1	3		975	442	9	142	426	5	152	150	2	8	7	11	167								34.794
		VOLTA	2.293	23.609	3.855	1.839	12	22		1.065	936		61	241		13	204	1	3	1		131	2						1	34.089
		TOTAL	4.021	48.212	7.431	4.026	13	25		2.040	1.378	9	203	667	5	165	354	3	11	8	11	298	2						1	68.883
P-03	ÚNICO	IDA	2.488	24.387	3.277	1.715	1			1.042	732		102	347	1	7	176					155	1					1	34.434	
		VOLTA	2.633	20.512	3.059	1.409	15	16	1	547	447	1	28	151	1	21	99	6	2			122	4							29.074
		TOTAL	5.121	44.899	6.336	3.124	16	16	1	1.589	1.179	1	130	498	2	28	275	6	2	1		277	5					1	63.508	
P-06	"1"	IDA	2.812	20.520	2.921	1.754		1		991	638		47	182		8	87					107							1	30.069
		VOLTA	3.551	14.628	2.450	1.328	13	13		1.059	744	1	55	235		6	183	5	1		1	112	4						1	24.390
		TOTAL	6.363	35.148	5.371	3.082	13	14		2.050	1.382	1	102	417		14	270	5	1		1	219	4					1	1	54.459
	"3"	IDA	3.801	25.734	3.798	1.345	6	5		956	576	2	31	149		10	83			2	1	113						2		36.615
		VOLTA	4.459	25.550	3.968	1.321	3	13		1.395	825	1	46	221		7	180	5	1		1	101	4						1	38.102
		TOTAL	8.260	51.284	7.766	2.666	9	18		2.351	1.401	3	77	370		17	263	5	3	1	1	214	4					2		1
VOLUMES MÉDIOS DIÁRIOS ANUAIS DE TRÁFEGO FINAIS (ANO DE 2009)																														
SENTIDO DE TRÁFEGO	MOTO	PASS.	UTIL.	COLETIVOS				CONFIGURAÇÃO DE EIXOS DOS VEÍCULOS DE CARGA																TOTAL						
				URB.	INT.	TRIB.	4CB	2C	3C	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	Bit.	Rod.	Trt.	2I2		2I3	3I2	3I3	2J3	3J3	4CD
IDA	2.284	24.120	3.883	1.961	2	3		988	532	8	107	341	3	90	135	1	5	4	6	149	1								1	34.323
VOLTA	2.402	19.918	3.092	1.446	10	18	1	914	781	1	53	210	1	12	168	3	2	1	1	118	3								1	29.157
VMDAT	4.686	44.038	6.875	3.407	12	21	1	1.902	1.313	6	160	551	4	102	303	4	7	5	7	267	4			1		2	1	1	63.480	

Adotou-se a hipótese de que no máximo 5% dos ônibus urbanos trafegariam fora da faixa exclusiva. O VMD foi calculado com base no tráfego de 5% do volume de ônibus urbanos, somado ao volume de ônibus interurbanos e ao volume de caminhões. Pelo processamento e análise dos dados, pode-se observar um VDM (Volume Diário Médio) de 4.853 veículos comerciais na Rodovia DF-001 (EPCT - Estrada Parque Contorno) no ano de 2009, Trecho do Entrº BR 060 (Samambaia) – Entrº DF 075 (Riacho Fundo 1), conforme quadro a seguir.



Tabela 2 : Volume diário médio

Categoria	Tipo	Nº de Eixos	Configuração de Eixos				Volume Médio Diário
			ESRS	ESRD	ETD	ETT	
Ônibus	2CB	2	1	1	0	0	182
	3CB	3	1	0	1	0	21
	4CB	4	1	0	0	1	1
Cam. Leves	2C	2	1	1	0	0	1902
Cam. Médios	3C	3	1	0	1	0	1313
Semi-Reboques	2S1	3	1	2	0	0	6
	2S2	4	1	1	1	0	160
	2S3	5	1	1	0	1	551
	3S1	4	1	0	2	1	4
	3S2	5	1	0	2	0	103
	3S3	6	1	0	1	1	303
	3S2S2	7	1	0	3	0	267
	3S2C4	9	1	0	4	0	3
	2I3	5	1	4	0	0	3
	3I3	6	1	3	1	0	3
	2J3	5	1	2	1	0	3
	3J3	6	1	1	2	0	3
Reboques	2C2	4	1	3	0	0	4
	2C3	5	1	2	1	0	7
	3C2	5	1	2	1	0	6
	3C3	6	1	1	2	0	8
						Total	4853

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 Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE) e pelo American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

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



seguinte expressão:

$$F_v = FE \times FC$$

Onde:

FE = fator de eixo;

FC = fator de equivalência de carga.

Como não se dispõe de dados atualizados que representem as cargas atuantes no referido trecho, a análise foi baseada na consideração de que a composição do fluxo de veículos comerciais na faixa de projeto é de 70% com carregamento máximo legal, de 20% sem carga (vazios) e de 10% com excesso de peso.

Ressalta-se que o carregamento máximo permitido pela Lei da Balança (Código de Trânsito Brasileiro - Lei nº 9.053. de 23.09.1997 – resolução no 12 de 06/02/1998) é de 6,0 tf no eixo simples dianteiro e de 10,0 tf, 17,0 tf e 25,5 tf para os eixos simples, tandem duplo e tandem triplo traseiros, respectivamente.

Pode-se então calcular o fator de veículo da amostra através do cálculo dos fatores individuais de veículo, ponderados em função da percentagem de cada um dos tipos de veículos.



Volume 1.2- Relatório de Projeto
Volume 1.2.4 – Projetos de Pavimentação

FV USACE

Tabela 3 : Fatores de veículo - USACE

CÁLCULO DOS FATORES DE VEÍCULO - USACE														
Rodovia:	DF 001 - EPCT													
Trecho:	ENTRº BR 060 (SAMAMBAIA) - ENTRº DF 075 (RIACHO FUNDO 1)													
Hipóteses:	1. % Veículos - Máx. Legal = 70%				2. % Veículos - Vazios = 20%				3. % Veículos - Máx. c/ Tol. = 10%					
Categoria	Tipo	Nº de Eixos	Configuração de Eixos				Volume Médio Diário	Distribuição (%)	Fator de Veículos - USACE					
			ESRS	ESRD	ETD	ETT			Individual			Total		
									Carregado	Vazio	Excesso	Carregado	Vazio	Excesso
Ônibus	2CB	2	1	1	0	0	182	3,75	3,57	0,15	5,54	0,13	0,01	0,21
	3CB	3	1	0	1	0	21	0,43	8,83	0,29	13,08	0,04	0,00	0,06
	4CB	4	1	0	0	1	1	0,02	9,58	0,43	14,29	0,00	0,00	0,00
Cam. Leves	2C	2	1	1	0	0	1902	39,19	3,57	0,15	5,54	1,40	0,06	2,17
Cam. Médios	3C	3	1	0	1	0	1313	27,06	8,83	0,29	13,08	2,39	0,08	3,54
Semi-Reboques	2S1	3	1	2	0	0	6	0,12	6,86	0,28	10,71	0,01	0,00	0,01
	2S2	4	1	1	1	0	160	3,30	12,12	0,42	18,25	0,40	0,01	0,60
	2S3	5	1	1	0	1	551	11,35	12,87	0,56	19,46	1,46	0,06	2,21
	3S1	4	1	0	2	1	4	0,08	26,68	0,97	39,71	0,02	0,00	0,03
	3S2	5	1	0	2	0	103	2,12	17,38	0,55	25,79	0,37	0,01	0,55
	3S3	6	1	0	1	1	303	6,24	18,13	0,70	27,00	1,13	0,04	1,69
	3S2S2	7	1	0	3	0	267	5,50	25,92	0,82	38,50	1,43	0,05	2,12
	3S2C4	9	1	0	4	0	3	0,06	34,47	1,09	51,21	0,02	0,00	0,03
	2I3	5	1	4	0	0	3	0,06	13,44	0,55	21,05	0,01	0,00	0,01
	3I3	6	1	3	1	0	3	0,06	18,70	0,69	28,59	0,01	0,00	0,02
	2I3	5	1	2	1	0	3	0,06	15,41	0,55	23,42	0,01	0,00	0,01
3I3	6	1	1	2	0	3	0,06	20,66	0,69	30,96	0,01	0,00	0,02	
Reboques	2C2	4	1	3	0	0	4	0,08	10,15	0,42	15,88	0,01	0,00	0,01
	2C3	5	1	2	1	0	7	0,14	15,41	0,55	23,42	0,02	0,00	0,03
	3C2	5	1	2	1	0	6	0,12	15,41	0,55	23,42	0,02	0,00	0,03
	3C3	6	1	1	2	0	8	0,16	20,66	0,69	30,96	0,03	0,00	0,05
						Total	4853	100,00				8,93	0,33	13,41
												FV - USACE	7,65	

FV AASHTO

Tabela 4 : Fatores de veículo - AASHTO



Volume 1.2- Relatório de Projeto
Volume 1.2.4 – Projetos de Pavimentação

CÁLCULO DOS FATORES DE VEÍCULO - AASHTO															
Rodovia:	DF 001 - EPCT														
Trecho:	ENTRº BR 060 (SAMAMBAIA) - ENTRº DF 075 (RIACHO FUNDO 1)														
Hipóteses:	1. % Veículos - Máx. Legal = 70%					2. % Veículos - Vazios = 20%					3. % Veículos - Máx. c/ Tol. = 10%				
Categoria	Tipo	Nº de Eixos	Configuração de Eixos				Volume Médio Diário	Distribuição (%)	Fator de Veículos - USACE						
			ESRS	ESRD	ETD	ETT			Individual			Total			
									Carregado	Vazio	Excesso	Carregado	Vazio	Excesso	
Ônibus	2CB	2	1	1	0	0	182	3,75	2,72	0,14	3,72	0,10	0,01	0,14	
	3CB	3	1	0	1	0	21	0,43	1,97	0,11	2,66	0,01	0,00	0,01	
	4CB	4	1	0	0	1	1	0,02	1,89	0,10	2,56	0,00	0,00	0,00	
Cam. Leves	2C	2	1	1	0	0	1902	39,19	2,72	0,14	3,72	1,07	0,05	1,46	
Cam. Médios	3C	3	1	0	1	0	1313	27,06	1,97	0,11	2,66	0,53	0,03	0,72	
Semi-Reboques	2S1	3	1	2	0	0	6	0,12	5,12	0,26	6,99	0,01	0,00	0,01	
	2S2	4	1	1	1	0	160	3,30	4,36	0,23	5,94	0,14	0,01	0,20	
	2S3	5	1	1	0	1	551	11,35	4,28	0,22	5,84	0,49	0,02	0,66	
	3S1	4	1	0	2	1	4	0,08	5,17	0,29	7,00	0,00	0,00	0,01	
	3S2	5	1	0	2	0	103	2,12	3,61	0,20	4,88	0,08	0,00	0,10	
	3S3	6	1	0	1	1	303	6,24	3,53	0,19	4,78	0,22	0,01	0,30	
	3S2S2	7	1	0	3	0	267	5,50	5,25	0,30	7,09	0,29	0,02	0,39	
	3S2C4	9	1	0	4	0	3	0,06	6,90	0,39	9,31	0,00	0,00	0,01	
	2I3	5	1	4	0	0	3	0,06	9,91	0,50	13,54	0,01	0,00	0,01	
	3I3	6	1	3	1	0	3	0,06	9,15	0,47	12,48	0,01	0,00	0,01	
	2I3	5	1	2	1	0	3	0,06	6,76	0,35	9,21	0,00	0,00	0,01	
Reboques	3J3	6	1	1	2	0	3	0,06	6,01	0,32	8,15	0,00	0,00	0,01	
	2C2	4	1	3	0	0	4	0,08	7,51	0,38	10,27	0,01	0,00	0,01	
	2C3	5	1	2	1	0	7	0,14	6,76	0,35	9,21	0,01	0,00	0,01	
	3C2	5	1	2	1	0	6	0,12	6,76	0,35	9,21	0,01	0,00	0,01	
	3C3	6	1	1	2	0	8	0,16	6,01	0,32	8,15	0,01	0,00	0,01	
Total							4853	100,00				3,00	0,16	4,07	
												FV - AASHTO		2,54	

Seguiu-se, então, com a determinação dos valores do número “N” tendo em vista a metodologia preconizada pela USACE e pela AASHTO, utilizando-se uma taxa de crescimento anual de 3% ao ano, para o período de projeto de 10 anos, calculado pela seguinte expressão:

$$N = 365 \times P \times VDM \times Fv \times Fr \times D \times d$$

Onde:

N = número equivalente de operações do eixo padrão;

P = período de projeto;

VDM = volume diário médio de tráfego;

Fv = fator de veículo;

Fr = fator climático regional;

D = porcentagem de veículos comerciais na faixa mais solicitada;

d = porcentagem de veículos por sentido.

De posse do valor médio diário veicular comercial (VDM) de 4.853, Fator de Veículo USACE



de 7,66, Fator de Veículo AASHTO de 2,54, fator direcional de 50%, fator climático igual a 1,0 e taxa de crescimento de 3,0% ao ano, determinaram-se os seguintes valores de número N para um período de projeto de 10 anos, com abertura ao tráfego no ano de 2029:

DEFINIÇÃO DO NÚMERO “N” – DF-001 (EPCT)

Tabela 5 : Projeção do VMD

Projeção do VMD e dos Valores de "N".							
Rodovia:	DF 001 (EPCT)						
Trecho:	ENTRº BR 060 (SAMAMBAIA) - ENTRº DF 075 (RIACHO FUNDO 1)						
Ano da Pesquisa	Taxa de Crescimento		Período de Análise	Fatores de Veículo-FV		Fator Climático Regional-FR	Fator de Pista-FP
	Passeio	Carga		Método USACE	Método AASHTO		
2009		3%	10	7,65	2,54	1	0,50
VMD	Composição da Frota		Ano de Abertura ao Tráfego				2020
	Passeio	Carga					
4853		100%					
Ano	Veículo - Tipo		VMD	N Anual USACE	N Anual AASHTO	N Acum. USACE	N Acum. AASHTO
	Passeio	Carga					
2009		4853	4853				
2010		4999	4999				
2011		5149	5149				
2012		5303	5303				
2013		5462	5462				
2014		5626	5626				
2015		5795	5795				
2016		5969	5969				
2017		6148	6148				
2018		6332	6332				
2019		6522	6522				
2020	1	6718	6718	9,38E+06	3,11E+06	9,38E+06	3,11E+06
2021	2	6919	6919	9,66E+06	3,21E+06	1,90E+07	6,32E+06
2022	3	7127	7127	9,95E+06	3,30E+06	2,90E+07	9,63E+06
2023	4	7341	7341	1,02E+07	3,40E+06	3,92E+07	1,30E+07
2024	5	7561	7561	1,06E+07	3,50E+06	4,98E+07	1,65E+07
2025	6	7788	7788	1,09E+07	3,61E+06	6,07E+07	2,01E+07
2026	7	8021	8021	1,12E+07	3,72E+06	7,19E+07	2,39E+07
2027	8	8262	8262	1,15E+07	3,83E+06	8,34E+07	2,77E+07
2028	9	8510	8510	1,19E+07	3,94E+06	9,53E+07	3,16E+07
2029	10	8765	8765	1,22E+07	4,06E+06	1,08E+08	3,57E+07

Assim, Para efeito de dimensionamento do pavimento a ser implantado no trecho serão utilizados os seguintes valores de número “N”:

N_{USACE} de $1,08 \times 10^8$ solicitações do eixo simples padrão de 8,2 t para o período de projeto de 10 anos.



N_{AASHTO} de $3,57 \times 10^7$ solicitações do eixo simples padrão de 8,2 t para o período de projeto de 10 anos.

1.1.2 Estudos de Tráfego – DF 075 – Trecho: Entrº DF 003 (Núcleo Bandeirante) – Entrº DF 001 (Riacho Fundo 1).

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 este estudo, utilizaram-se os dados de volumes de tráfego apresentados integralmente no Relatório de Projeto, item 3.1 – Estudos de tráfego, fornecido pela Itec Infra Tech Engenharia e Consultoria S/A, obtidos através de contagens volumétricas classificadas realizadas no local de implantação do BRT Sul, no ano de 2009, para o Rodovia DF 075, Trecho do Entrº DF 003 (Núcleo Bandeirante) – Entrº DF 001 (Riacho Fundo 1), conforme quadro a seguir:



Volume 1.2- Relatório de Projeto
Volume 1.2.4 – Projetos de Pavimentação

Tabela 6 : Volume médio anual de tráfego atual da DF-075

STRATA ENGENHARIA LTDA.																																					
QUADRO Nº 147 - VOLUME MÉDIO DIÁRIO ANUAL DE TRÁFEGO ATUAL DA DF-075 (VMDAT - PISTA CENTRAL) - ANO DE 2009																																					
RODOVIA: DF-075 TRECHO: ENTRº DF-003 (NÚCLEO BANDEIRANTES) - ENTRº DF-001 (RIACHO FUNDO "1")																																					
SEGMENTO: km 0,00 - km 8,10																																					
SENTIDO:												BRASÍLIA												GOIÂNIA													
POSTO	SEÇÃO DE TRÁFEGO	MOV.	MOTO	PASS.	UTIL.	COLETIVOS												CONFIGURAÇÃO DE EIXOS DOS VEÍCULOS DE CARGA												TOTAL							
						URB.	INT.	TRIB.	4CB	2C	3C	2B1	2B2	2B3	3B1	3B2	3B3	2C2	2C3	3C2	3C3	Bit.	Red.	Trf.	2I2	2I3	3I2	3I3	2J3		3J3	4CD					
P-07	"3"	IDA	4.937	36.403	8.106	2.614	70	22			1.750	1.068	1	37	262																				55.519		
		VOLTA	3.676	34.512	7.127	3.545	27	33			1.960	1.169	9	57	269																				6	52.682	
		TOTAL	8.612	70.914	15.233	6.159	97	55			3.710	2.267	10	95	471																					6	108.201
P-09	"1"	IDA	3.305	17.564	5.094	1.308	13	22			1.123	572			21	91																			29.258		
		VOLTA	3.525	33.151	8.885	1.572	2	34			1.010	664			6	29	80																			47.018	
		TOTAL	6.830	50.715	11.979	2.880	15	56			2.133	1.236			6	50	171																				76.276
P-09	"3"	IDA	3.303	17.480	5.066	1.313	13	22			1.264	584			21	91																			29.302		
		VOLTA	3.525	33.151	8.885	1.572	2	34			1.010	664			6	29	80																			47.018	
		TOTAL	6.828	50.631	11.951	2.885	15	56			2.274	1.248			6	50	171																				76.320
P-10	"1"	IDA	3.533	19.733	3.476	2.298	24	17			1.042	771			5	2	172																			31.049	
		VOLTA	4.242	39.586	7.894	1.698	2	39			1.141	730			5	32	94																			55.543	
		TOTAL	7.575	59.319	11.372	3.996	26	56			2.183	1.501			10	34	266																				86.592
P-10	"3"	IDA	3.017	19.424	3.470	2.163	23	17			1.027	698			5		134																			30.154	
		VOLTA	3.834	35.249	6.951	1.662	2	39			1.075	704			5	31	90																			49.721	
		TOTAL	6.851	54.673	10.421	3.825	25	56			2.102	1.402			10	31	224																				80.875
P-11	"1"	IDA	2.639	28.140	5.763	1.781	11	11			945	914			1	27	132																			40.528	
		VOLTA	2.606	39.408	7.881	1.885	13	18			1.001	877			1	28	148																				54.023
		TOTAL	5.245	67.548	13.644	3.666	24	29			1.946	1.791			2	55	280																				94.551
P-11	"3"	IDA	2.623	27.764	5.675	1.817	11	13			910	851			1	26	125																				39.579
		VOLTA	2.189	30.442	7.205	1.828	13	17			872	857			1	27	148																				48.758
		TOTAL	4.812	63.206	12.880	3.645	24	30			1.782	1.708			2	53	273																				88.337
P-13	"1"	IDA	4.094	16.239	7.004	1.541	26	24			1.250	680			2		154																			31.257	
		VOLTA	4.033	29.936	10.711	1.706	14	47			1.352	563			2	38	132																				48.682
		TOTAL	8.127	46.175	17.715	3.247	40	71			2.602	1.243			2	66	286																				80.939
P-13	"3"	IDA	3.750	16.130	6.712	1.519	26	24			1.257	608			2		141																				30.412
		VOLTA	4.033	29.936	10.711	1.706	14	47			1.352	563			2	38	132																				48.682
		TOTAL	7.783	46.066	17.423	3.225	40	71			2.609	1.171			2	66	273																				79.094
P-15	"1"	IDA	2.962	16.889	4.376	1.364	19	23			1.426	635			3		138																			27.825	
		VOLTA	5.499	30.633	9.949	2.028	46	51			1.408	592			2	143	160																				46.621
		TOTAL	8.461	47.522	10.324	3.392	65	73			2.834	1.226			2	178	298																				74.446
P-15	"3"	IDA	2.728	16.066	4.474	1.618	41	23			2.013	680			2		130																				27.966
		VOLTA	4.913	30.429	5.695	2.032	48	51			1.469	559			2	143	170																				45.622
		TOTAL	7.641	46.495	10.169	3.651	89	73			3.482	1.239			4	179	300																				73.588
P-16	"1"	IDA	1.883	10.772	3.724	1.924	35	18			875	631					116																			20.107	
		VOLTA	3.653	23.880	5.098	1.953	29	32			1.660	625			1	27	109																				37.128
		TOTAL	5.486	34.652	8.822	3.887	64	50			2.535	1.256			3	18	219																				57.235
P-16	"3"	IDA	2.054	12.659	3.927	1.817	36	18			926	661					113																				22.348
		VOLTA	3.603	23.880	5.098	1.953	29	32			1.660	625			3	18	109																				37.128
		TOTAL	5.657	36.539	9.025	3.780	65	50			2.586	1.286			3	18	222																				59.476
P-17	"1"	IDA	2.585	15.033	4.617	2.052	44	25			1.053	755					118																			26.417	
		VOLTA	4.373	28.079	6.056	2.341	46	37			1.950	749			2	28	153																			43.959	
		TOTAL	6.958	43.112	10.673	4.393	90	62			3.003	1.504			2	28	271																				70.376
P-17	"3"	IDA	2.585	15.033	4.617	2.052	44	25			1.053	755					118																				26.417
		VOLTA	4.210	28.439	6.224	2.349	22	37			1.856	578					152																				44.040
		TOTAL	6.795	43.472	11.841	4.401	66	62			2.909	1.333			2	25	270																				70.457

Adotou-se a hipótese de que no máximo 5% dos ônibus urbanos trafegariam fora da faixa exclusiva. O VMD foi calculado com base no tráfego de 5% do volume de ônibus urbanos, somado ao volume de ônibus interurbanos e ao volume de caminhões. Pelo processamento e análise dos dados, pode-se observar um VDM (Volume Diário Médio) de 4.928 veículos comerciais na Rodovia DF-075 no ano de 2009, Trecho do Entrº DF 003 (Núcleo Bandeirante) – Entrº DF 001 (Riacho Fundo 1), conforme quadro a seguir.

Tabela 7 : Volume médio diário

Categoria	Tipo	Nº de Eixos	Configuração de Eixos				Volume Médio Diário
			ESRS	ESRD	ETD	ETT	
Ônibus	2CB	2	1	1	0	0	240
	3CB	3	1	0	1	0	56
	4CB	4	1	0	0	1	1
Cam. Leves	2C	2	1	1	0	0	2566
Cam. Médios	3C	3	1	0	1	0	1427
Semi-Reboques	2S1	3	1	2	0	0	4
	2S2	4	1	1	1	0	63
	2S3	5	1	1	0	1	266
	3S2	5	1	0	2	0	5
	3S3	6	1	0	1	1	158
	3S2S2	7	1	0	3	0	116
	3S2C4	9	1	0	4	0	11
	3S2S2S2	9	1	0	4	0	2
	2I3	5	1	4	0	0	2
	3I2	5	1	2	1	0	1
	3I3	6	1	3	1	0	2
Reboques	2C2	4	1	3	0	0	2
	2C3	5	1	2	1	0	1
	3C2	5	1	2	1	0	2
	3C3	6	1	1	2	0	3
						Total	4928

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 Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE) e pelo American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

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

$$F_v = F_E \times F_C$$

Onde:

FE = fator de eixo;

FC = fator de equivalência de carga.



Como não se dispõe de dados atualizados que representem as cargas atuantes no referido trecho, a análise foi baseada na consideração de que a composição do fluxo de veículos comerciais na faixa de projeto é de 70% com carregamento máximo legal, de 20% sem carga (vazios) e de 10% com excesso de peso.

Ressalta-se que o carregamento máximo permitido pela Lei da Balança (Código de Trânsito Brasileiro - Lei nº 9.053. de 23.09.1997 – resolução nº 12 de 06/02/1998) é de 6,0 tf no eixo simples dianteiro e de 10,0 tf, 17,0 tf e 25,5 tf para os eixos simples, tandem duplo e tandem triplo traseiros, respectivamente.

Pode-se então calcular o fator de veículo da amostra através do cálculo dos fatores individuais de veículo, ponderados em função da percentagem de cada um dos tipos de veículos.

FV USACE

Tabela 8 : Cálculo dos fatores de veículo

CÁLCULO DOS FATORES DE VEÍCULO - USACE															
Rodovia:	DF 075 - EPNB														
Trecho:	ENTRº DF 003 (NÚCLEO BANDEIRANTE) - ENTRº DF 001 (RIACHO FUNDO 1)														
Hipóteses:	1. % Veículos - Máx. Legal = 70%				2. % Veículos - Vazios = 20%				3. % Veículos - Máx. c/ Tol. = 10%						
Categoria	Tipo	Nº de Eixos	Configuração de Eixos				Volume Médio Diário	Distribuição (%)	Fator de Veículos - USACE						
			ESRS	ESRD	ETD	ETT			Individual			Total			
									Carregado	Vazio	Excesso	Carregado	Vazio	Excesso	
Ônibus	2CB	2	1	1	0	0	240	4,87	3,57	0,15	5,54	0,17	0,01	0,27	
	3CB	3	1	0	1	0	56	1,14	8,83	0,29	13,08	0,10	0,00	0,15	
	4CB	4	1	0	0	1	1	0,02	9,58	0,43	14,29	0,00	0,00	0,00	
Cam. Leves	2C	2	1	1	0	0	2566	52,07	3,57	0,15	5,54	1,86	0,08	2,89	
Cam. Médios	3C	3	1	0	1	0	1427	28,96	8,83	0,29	13,08	2,56	0,08	3,79	
Semi-Reboques	2S1	3	1	2	0	0	4	0,08	6,86	0,28	10,71	0,01	0,00	0,01	
	2S2	4	1	1	1	0	63	1,28	12,12	0,42	18,25	0,15	0,01	0,23	
	2S3	5	1	1	0	1	266	5,40	12,87	0,56	19,46	0,69	0,03	1,05	
	3S2	5	1	0	2	0	5	0,10	17,38	0,55	25,79	0,02	0,00	0,03	
	3S3	6	1	0	1	1	158	3,21	18,13	0,70	27,00	0,58	0,02	0,87	
	3S2S2	7	1	0	3	0	116	2,35	25,92	0,82	38,50	0,61	0,02	0,91	
	3S2C4	9	1	0	4	0	11	0,22	34,47	1,09	51,21	0,08	0,00	0,11	
	3S2S2S2	9	1	0	4	0	2	0,04	34,47	1,09	51,21	0,01	0,00	0,02	
	2I3	5	1	4	0	0	2	0,04	13,44	0,19	21,05	0,01	0,00	0,01	
	3I2	5	1	2	1	0	1	0,02	15,41	0,55	23,42	0,00	0,00	0,00	
Reboques	3I3	6	1	3	1	0	2	0,04	18,70	0,69	28,59	0,01	0,00	0,01	
	2C2	4	1	3	0	0	2	0,04	10,15	0,42	15,88	0,00	0,00	0,01	
	2C3	5	1	2	1	0	1	0,02	15,41	0,55	23,42	0,00	0,00	0,00	
	3C2	5	1	2	1	0	2	0,04	15,41	0,55	23,42	0,01	0,00	0,01	
	3C3	6	1	1	2	0	3	0,06	20,66	0,69	30,96	0,01	0,00	0,02	
						Total	4928	100,00				6,89	0,25	10,39	
												FV - USACE		5,91	



FV AASHTO

Tabela 9 : Cálculo dos fatores de veículo - AASHTO

CÁLCULO DOS FATORES DE VEÍCULO - AASHTO															
Rodovia:	DF 075 - EPNB														
Trecho:	ENTRº DF 003 (NÚCLEO BANDEIRANTE) - ENTRº DF 001 (RIACHO FUNDO 1)														
Hipóteses:	1. % Veículos - Máx. Legal = 70%				2. % Veículos - Vazios = 20%				3. % Veículos - Máx. c/ Tol. = 10%						
Categoria	Tipo	Nº de Eixos	Configuração de Eixos				Volume Médio Diário	Distribuição (%)	Fator de Veículos - USACE						
			ESRS	ESRD	ETD	ETT			Individual			Total			
									Carregado	Vazio	Excesso	Carregado	Vazio	Excesso	
Ônibus	2CB	2	1	1	0	0	240	4,87	2,72	0,14	3,72	0,13	0,01	0,18	
	3CB	3	1	0	1	0	56	1,14	1,97	0,11	2,66	0,02	0,00	0,03	
	4CB	4	1	0	0	1	1	0,02	1,89	0,10	2,56	0,00	0,00	0,00	
Cam. Leves	2C	2	1	1	0	0	2566	52,07	2,72	0,14	3,72	1,42	0,07	1,94	
Cam. Médios	3C	3	1	0	1	0	1427	28,96	1,97	0,11	2,66	0,57	0,03	0,77	
Semi-Reboques	2S1	3	1	2	0	0	4	0,08	5,12	0,26	6,99	0,00	0,00	0,01	
	2S2	4	1	1	1	0	63	1,28	4,36	0,23	5,94	0,06	0,00	0,08	
	2S3	5	1	1	0	1	266	5,40	4,28	0,22	5,84	0,23	0,01	0,32	
	3S2	5	1	0	2	0	5	0,10	3,61	0,20	4,88	0,00	0,00	0,00	
	3S3	6	1	0	1	1	158	3,21	3,53	0,19	4,78	0,11	0,01	0,15	
	3S2S2	7	1	0	3	0	116	2,35	5,25	0,30	7,09	0,12	0,01	0,17	
	3S2C4	9	1	0	4	0	11	0,22	6,90	0,39	9,31	0,02	0,00	0,02	
	3S2S2S2	9	1	0	4	0	2	0,04	6,90	0,39	9,31	0,00	0,00	0,00	
	2I3	5	1	4	0	0	2	0,04	9,91	0,50	13,54	0,00	0,00	0,01	
	3I2	5	1	2	1	0	1	0,02	6,76	0,35	9,21	0,00	0,00	0,00	
3I3	6	1	3	1	0	2	0,04	9,15	0,47	12,48	0,00	0,00	0,01		
Reboques	2C2	4	1	3	0	0	2	0,04	7,51	0,38	10,27	0,00	0,00	0,00	
	2C3	5	1	2	1	0	1	0,02	6,76	0,35	9,21	0,00	0,00	0,00	
	3C2	5	1	2	1	0	2	0,04	6,76	0,35	9,21	0,00	0,00	0,00	
	3C3	6	1	1	2	0	3	0,06	6,01	0,32	8,15	0,00	0,00	0,00	
						Total	4928	100,00				2,71	0,14	3,69	
												FV - AASHTO	2,30		

Seguiu-se, então, com a determinação dos valores do número “N” tendo em vista a metodologia preconizada pela USACE e pela AASHTO, utilizando-se uma taxa de crescimento anual de 3% ao ano, para o período de projeto de 10 anos, calculado pela seguinte expressão:

$$N = 365 \times P \times VDM \times Fv \times Fr \times D \times d$$

Onde:

N = número equivalente de operações do eixo padrão;

P = período de projeto;

VDM = volume diário médio de tráfego;



Fv = fator de veículo;

Fr = fator climático regional;

D = porcentagem de veículos comerciais na faixa mais solicitada;

d = porcentagem de veículos por sentido.

De posse do valor médio diário veicular comercial (VDM) de 4.928, Fator de Veículo USACE de 5,91, Fator de Veículo AASHTO de 2,30, fator direcional de 50%, fator climático igual a 1,0 e taxa de crescimento de 3,0% ao ano, determinaram-se os seguintes valores de número N para um período de projeto de 10 anos, com abertura ao tráfego no ano de 2029:

DEFINIÇÃO DO NÚMERO “N” – DF-075 (EPNB).

Tabela 10 : Definição do número “N” DF- 075 (EPNB)

Projeção do VMD e dos Valores de "N".							
Rodovia:	DF 075 (EPNB)						
Trecho:	ENTRº DF 003 (NÚCLEO BANDEIRANTE) - ENTRº DF 001 (RIACHO FUNDO 1)						
Ano da Pesquisa	Taxa de Crescimento		Período de Análise	Fatores de Veículo-FV		Fator Climático Regional-FR	Fator de Pista-FP
	Passeio	Carga		Método USACE	Método AASHTO		
2009		3%	10	5,91	2,3	1	0,50
VMD	Composição da Frota		Ano de Abertura ao Tráfego				2020
	Passeio	Carga					
4928		100%					
Ano	Veículo - Tipo		VMD	N Anual USACE	N Anual AASHTO	N Acum. USACE	N Acum. AASHTO
	Passeio	Carga					
2009		4928	4928				
2010		5076	5076				
2011		5228	5228				
2012		5385	5385				
2013		5547	5547				
2014		5713	5713				
2015		5884	5884				
2016		6061	6061				
2017		6243	6243				
2018		6430	6430				
2019		6623	6623				
2020	1	6822	6822	7,36E+06	2,86E+06	7,36E+06	2,86E+06
2021	2	7026	7026	7,58E+06	2,95E+06	1,49E+07	5,81E+06
2022	3	7237	7237	7,81E+06	3,04E+06	2,27E+07	8,85E+06
2023	4	7454	7454	8,04E+06	3,13E+06	3,08E+07	1,20E+07
2024	5	7678	7678	8,28E+06	3,22E+06	3,91E+07	1,52E+07
2025	6	7908	7908	8,53E+06	3,32E+06	4,76E+07	1,85E+07
2026	7	8145	8145	8,79E+06	3,42E+06	5,64E+07	2,19E+07
2027	8	8390	8390	9,05E+06	3,52E+06	6,54E+07	2,55E+07
2028	9	8641	8641	9,32E+06	3,63E+06	7,47E+07	2,91E+07
2029	10	8901	8901	9,60E+06	3,74E+06	8,43E+07	3,28E+07



Assim, Para efeito de dimensionamento do pavimento a ser implantado no trecho serão utilizados os seguintes valores de número “N”:

N_{USACE} de $8,43 \times 10^7$ solicitações do eixo simples padrão de 8,2 t para o período de projeto de 10 anos.

N_{AASHTO} de $3,28 \times 10^7$ solicitações do eixo simples padrão de 8,2 t para o período de projeto de 10 anos.

Analisando os resultados de cálculo do número N para o Trecho 01 (DF 001) e para o Trecho 02 (DF 075) e também considerando que a coleta de dados é de 2009, será adotado para estes Trechos 01 e 02 do Corredor Sudoeste o número N igual a $1,08 \times 10^8$ para o cálculo do dimensionamento de novos pavimentos flexíveis.

1.1.3 Subleito

Para a definição das condições de suporte do subleito do pavimento, foram utilizados dados de investigações geotécnicas fornecidas pela Itec Infra Tech Engenharia e Consultoria S/A, executadas pela Soltec Engenharia Ltda., com a finalidade de coletar e ensaiar os solos ocorrentes na cota de implantação do subleito do pavimento permitindo estabelecer critérios de escolha de materiais para camadas de pavimento e estabelecer índices de capacidade de suporte dos materiais de fundação das estruturas a serem implantadas. Os dados fornecidos são apresentados no quadro seguinte:



Volume 1.2- Relatório de Projeto
Volume 1.2.4 – Projetos de Pavimentação

Tabela 11 : Estudos Geotécnicos

CLIENTE: SOLTEC 30 ANOS ENGENHARIA LTDA
 OBRAS: Itac Infra Tech Engenharia e Consultoria S/A.
 BRT - SUL - Estudos geotécnicos
 TRECHO: Samambaia - EPCT
 N° CONTRATO: 19/04/2014
 DATA: 19/04/2014
 JAZIDA: { JAZIDAS, ATERRO PRINCIPAL, SUB-LEITO, REFORÇO DO SUB LEITO, SUB-BASE E BASE }
 MATERIAL: Argilas vermelhas siltosas c/ Pedregulho vermelho e Argilas Vermelhas
 LABORATORISTA: Equipe

ENSAYO	ESTACA	PROFUND.	PROCTOR	CLASSIFICAÇÃO TÁTIL VISUAL	ÍNDICES FÍSICOS		GRANULOMETRIA										CLASSIFIC.	CLASSIFIC.	DENSIDADE MÁXIMA COMPACTADA	UMIDADE ÓTIMA	DENSIDADE REAL	UMIDADE TÍPICA	GRAU DE COMPACTAÇÃO	DESVIO DA UMIDADE ÓTIMA	ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA (CGR) E EXPANSÃO	
					LL	LP	1"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200	IG	HRB	g/cm³	%									g/cm³	%
01	ISC 01	2.00	Normal	Argila vermelha	46.5	15.4	100	100	100	100	100	100	96	89	11	A7-5	1.322	29.80	2.601					0.19	23.00	
02	ISC 02	2.00	Normal	Argila vermelha	44.4	13.9	100	100	100	100	100	99	98	94	10	A7-5	1.388	30.70	2.515					0.03	14.00	
03	ISC 03	2.00	Normal	Argila vermelha	46.0	16.4	100	100	100	100	100	100	98	94	12	A7-6	1.366	30.90	2.574					0.04	12.00	
04	ISC 04	2.00	Normal	Argila silto arenosa vermelha	44.7	14.8	100	100	100	100	100	96	89	83	11	A7-6	1.431	27.40	2.648					0.01	11.50	
05	ISC 05	2.00	Normal	Argila vermelha arenosa	44.2	14.3	100	100	100	100	100	98	87	67	9	A7-6	1.430	27.70	2.601					0.02	15.80	
06	ISC 06	2.00	Normal	Argila silto arenosa vermelha	46.2	12.9	100	100	100	100	100	96	91	86	10	A7-5	1.435	28.60	2.427					0.03	7.70	
07	ISC 07	2.00	Normal	Argila amarela siltosa	45.3	15.7	100	100	100	100	100	99	85	76	11	A7-6	1.458	25.20	2.545					0.04	15.70	
08	ISC 08	2.00	Normal	Argila vermelha siltosa	38.6	13.5	100	100	100	100	100	100	98	95	9	A6	1.395	30.50	2.660					0.05	14.10	
09	ISC 09	2.00	Normal	Argila vermelha	50.8	17.3	100	100	100	100	100	100	98	94	13	A7-5	1.390	29.10	2.567					0.03	13.50	
10	ISC 10	2.00	Normal	Argila vermelha siltosa	45.7	15.2	100	100	100	100	100	100	97	94	11	A7-5	1.398	31.70	2.620					0.19	23.00	
11	ISC 11	2.00	Normal	Argila vermelha siltosa	38.7	13.9	100	100	100	100	100	99	95	79	10	A6	1.523	24.80	2.544					0.09	7.80	
12	ISC 12	2.00	Normal	Silte roxo c/ pedregulho fino	NL	NP	100	100	100	99	97	95	93	43	2	A5	1.892	12.80	2.793					0.07	13.60	
13	ISC 13	2.00	Normal	Pedregulho arenoso vermelho	39.6	13.1	100	100	100	100	100	97	83	67	8	A6	1.716	18.20	2.649					0.03	18.50	
14	ISC 14	2.00	Normal	Argila vermelha	37.2	11.7	100	100	100	100	100	98	30	24	0	A2-6	1.823	18.40	2.830					0.01	24.00	
15	ISC 15	2.00	Normal	Pedregulho arenoso vermelho	35.0	12.6	100	100	100	90	88	53	26	15	0	A2-6	1.750	16.50	2.710					0.03	40.00	
16	ISC 16	2.00	Normal	Pedregulho vermelho	39.2	12.3	100	100	100	86	84	49	27	6	4	0	A2-6	1.812	18.50	2.611					0.02	18.00
17	ISC 17	2.00	Normal	Pedregulho vermelho	46.7	17.0	100	100	100	100	100	97	93	99	12	A7-6	1.503	26.80	2.527					0.02	7.50	
18	ISC 18	2.00	Normal	Argila vermelha siltosa	50.2	16.6	100	100	100	100	100	99	93	82	13	A7-5	1.429	25.00	2.441					0.02	17.00	
19	ISC 19	2.00	Normal	Argila amarela arenosa	32.9	10.1	100	100	100	97	96	76	57	45	35	24	A2-6	1.643	21.00	2.793					0.19	23.00
20	ISC 20	2.00	Normal	Pedregulho silteoso vermelho	44.0	15.7	100	100	100	100	100	99	95	78	11	A7-6	1.451	25.70	2.608					0.20	26.50	
21	ISC 21	2.00	Normal	Argila vermelha	37.3	13.3	100	100	100	100	100	100	99	94	80	9	A6	1.409	23.80	2.474					0.03	8.30
22	ISC 22	2.00	Normal	Argila vermelha	43.0	14.8	100	100	100	100	100	100	99	93	74	10	A7-6	1.515	24.30	2.474					0.03	29.50
23	ISC 23	2.00	Normal	Argila siltosa amarela	NL	NP	100	100	100	100	100	100	90	81	67	6	A4	1.696	18.70	2.654					0.05	5.40
24	ISC 24	2.00	Normal	Argila siltosa amarela	24	17.3	100	100	100	100	100	100	98	90	9	A6	1.892	31.7	2.830					0.20	40.00	
ANÁLISE ESTADÍSTICA					50.8	17.3	100	100	100	100	100	100	98	90	9	A6	1.892	31.7	2.830					0.01	5.40	
					32.9	10.1	100	100	100	100	100	98	90	9	A6	1.322	12.8	2.427					0.06	8.27		
					4.63	1.82	0.00	3.50	15.45	22.69	26.98	27.88	28.32			0.166	5.21	0.11					0.06	8.27		
					42.6	14.3	100	98.7	93.4	89.8	86.0	79.3	68.8			1.529	24.5	2.604					0.06	17.28		
																							<=2%	>= 10%		

SONDAGENS - FUNDAGÕES - CONTENÇÕES - REFORÇOS ESTRUTURAIS - INCORPORAÇÃO IMOBILIÁRIA

Alexandre M. Resque de Oliveira
Eng.º Civil CREA 14347D-PA

S/A Trecho 03 - Lotes 2005/2015 - CEP: 71.200-030 - Brasília/DF - Tels.: (61) 3234-2143 / 3234-0844 - Fax: (61) 3234-9734
e-mail: geotecnia@soltecengenharia.com.br - www.soltecengenharia.com.br - CNPJ: 00.628.564/0001-69 - CPDF: 07.327.997/001-96

Fiscal

A seguir, apresenta-se o quadro-resumo dos ensaios de compactação, de expansão e de ISC em cada furo de sondagem, elaborado a partir do quadro anterior.

Tabela 12 : Resumo dos Ensaio de Compactação e CBR

RESUMO DOS ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO E CBR				
Obra:	BRT Sudoeste			
Trechos:	01 (Subtrechos 100 e 200) e 02 (Subtrechos 220 e 230)			
Furo	γ_v (Kg/m ³)	w _{ot} (%)	ISC (%)	Exp. (%)
ISC 01	1,32	29,8	23,0	0,19
ISC 02	1,39	30,7	14,0	0,03
ISC 03	1,37	30,9	12,0	0,04
ISC 04	1,43	27,4	11,5	0,01
ISC 05	1,43	27,7	15,8	0,02
ISC 06	1,44	28,6	7,7	0,03
ISC 07	1,46	25,2	15,7	0,04
ISC 08	1,40	30,5	14,1	0,05
ISC 09	1,39	29,1	13,5	0,03
ISC 10	1,40	31,7	23,0	0,19
ISC 11	1,52	24,8	7,8	0,09
ISC 12	1,89	12,8	13,6	0,07
ISC 13	1,72	18,2	18,5	0,03
ISC 14	1,53	22,6	25,3	0,04
ISC 15	1,82	18,4	24,0	0,01
ISC 16	1,75	16,5	40,0	0,03
ISC 17	1,81	18,5	18,0	0,02
ISC 18	1,50	26,8	7,5	0,02
ISC 19	1,43	25,0	17,0	0,02
ISC 20	1,64	21,0	23,0	0,19
ISC 21	1,45	25,7	26,5	0,2
ISC 22	1,41	23,8	8,3	0,03
ISC 23	1,52	24,3	29,5	0,03
ISC 24	1,70	18,7	5,4	0,05
ISC 25	1,40	28,9	14,0	0,04
ISC 26	1,42	27,5	20,6	0,02
ISC 27	1,42	28,2	11,7	0,04
ISC 28	1,43	26,5	15,6	0,02
ISC 29	1,46	24,7	14,4	0,02
ISC 30	1,41	28,3	11,7	0,03
ISC 31	1,43	28,1	12,3	0,00

Dos valores obtidos, aplicando-se o plano de amostragem adotado pelo DNIT, segundo o manual IPR – 719 (2006), tem-se:

$$X_{\min} = \bar{X} - \frac{1,29\sigma}{\sqrt{N}} - 0,68\sigma$$



onde:

N = Número de amostras

X = valor individual

\bar{x} = média aritmética

σ = desvio padrão

X_{\min} = valor mínimo provável, estatisticamente

$X_{\max.}$ = valor máximo provável, estatisticamente

N >. 9 (número de determinações feitas)

O quadro a seguir, mostra os valores obtidos.

Tabela 13 : Análise estatística

Média	X	16,61
Desv. Pad.	σ	7,482
Nº Pontos	N	31
Xmin		9,89

$$ISC_{Proj} = 9$$

Para efeito de dimensionamento das estruturas de pavimentos a serem implantadas nos Trechos 01 e Trecho 02 (Subtrechos 220 e 230) das vias adjacentes ao Corredor Sudoeste, para adequar a geometria em função da implantação deste Corredor, será adotado como capacidade de suporte do subleito, o ISC de projeto de 9,0%. Tal fato também está a favor da segurança.

1.1.4 Métodos de Dimensionamento

Os itens a seguir resumem os métodos de dimensionamento utilizados para o presente estudo. Considerou-se a concepção de três alternativas de pavimento: um flexível e dois semi-rígidos. Inicialmente, foi determinada uma estrutura de pavimento a partir do método de dimensionamento do DNIT e seguindo-se a verificação desta estrutura pelos critérios mecanísticos.

1.1.4.1 Método do DNIT

O Método do DNIT tem sua metodologia bastante difundida e é de domínio geral,



tendo como premissa básica a proteção das camadas quanto à ruptura por cisalhamento. Nele, definem-se as espessuras equivalentes de pavimento necessárias para a proteção das camadas subjacentes em função do índice de Suporte Califórnia.

Já as espessuras de cada camada são dadas em função de seus coeficientes de equivalência estrutural.

No que diz respeito às camadas betuminosas, recomenda-se a adoção de uma espessura mínima no intuito de se proteger a camada de base dos esforços impostos pelo tráfego e evitar a ruptura do revestimento por esforços repetidos de tração na flexão. Os valores mínimos recomendados pelo DNIT são apresentados a seguir:

Dessa forma, o dimensionamento baseia-se nos seguintes parâmetros:

Tabela 14 : Parâmetros de Tráfego

Parâmetro de Tráfego	Tipo e Espessura
$N \leq 1 \times 10^6$	Tratamentos Superficiais Betuminosos duplos e triplos
$1 \times 10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Concreto Betuminoso (5,0 cm)
$5 \times 10^6 < N \leq 1 \times 10^7$	Concreto Betuminoso (7,5 cm)
$1 \times 10^7 < N \leq 5,0 \times 10^7$	Concreto Betuminoso (10 cm)
$N > 5 \times 10^7$	Concreto Betuminoso (12,5 cm)

- Índice de Suporte Califórnia do subleito (ISC);
- Número de operações do eixo padrão de 8,2 tf (N);
- Coeficientes de equivalência estrutural das camadas do pavimento (K).

A partir do número N e da capacidade de suporte da camada em análise é possível definir a espessura equivalente em material granular (H) necessária para a proteção da mesma, conforme equação abaixo:

$$H = 77,67 \cdot N^{0,0482} \cdot \text{CBR}^{-0,598}$$

A definição das espessuras equivalentes para a proteção de cada camada separadamente é realizada para o subleito (H_m), o reforço do subleito (H_n) e a sub-base (H_{20}), conforme a figura



apresentada na seqüência.

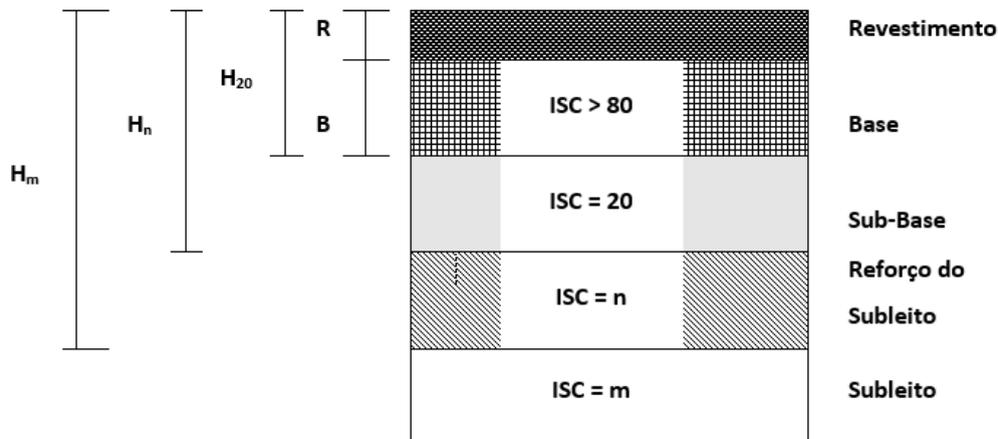


Figura 2 : Esquema de camadas

As espessuras individuais das camadas constituintes do pavimento são calculadas com base nos critérios a seguir:

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

$$R K_R + B K_B + S K_S \geq H_n$$

$$R K_R + B K_B + S K_S + \text{Ref} K_{\text{Ref}} \geq H_m$$

onde:

R, B, S e Ref: espessuras do revestimento, base, sub-base e reforço, respectivamente;

K: coeficientes estruturais:

Revestimento em CBUQ, coeficiente estrutural $K_R = 2,0$;

Base ou sub-base granular, coeficiente estrutural K_B ou $K_S = 1,0$.

Base cimentada em Solo-Cimento, coeficiente estrutural $K_B = 1,4$.

Base cimentada em Brita Graduada Tratada com Cimento, coeficiente estrutural $K_B = 1,7$.

Reforço, coeficiente estrutural $K_{\text{ref}} = 0,7$.

Para a verificação do pavimento pelo método do DNIT adotou-se CBR mínimo de 9,0% para o subleito. Os resultados são apresentados a seguir.

Para o referido Projeto Básico apresentaremos abaixo 02 (duas) alternativas de



dimensionamento de pavimento flexível novos e O2 (duas) em pavimento semi-rígido com base em BGTC para os locais das vias adjacentes ao Corredor Sudoeste, para atender às questões geométricas quando da implantação do referido Corredor. O dimensionamento do pavimento flexível destes locais é para o Trecho 01 e Trecho 02 (Subtrechos 220 e 230).

Alternativa 01 – Revestimento em CBUQ Convencional e base em BGS.

Tabela 15 : Método do DNIT – Pavimento Flexível

Método do DNIT - Pavimento Flexível							
Dados de Entrada			Parâmetros de Verificação				
CBR subleito (%)	9		Hm (cm)	50,9			
CBR reforço (%)	15		Hn (cm)	37,5			
CBRxsu-base (%)	20		H20 (cm)	31,6			
Número N usace	1,08E+08						
Camada	Material	K	Hproj (cm)	Hequiv (cm)	Hacum (cm)	Parâmetro	Aceito
Revestimento	CBUQ	2,0	12,5	25,0			
Base	BGS	1,0	15,0	15,0	40,0	›H20 (cm) = 31,6	SIM
Sub-base	SEG	1,0	15,0	15,0	55,0	›Hn (cm) = 37,5	SIM
Reforço	SEG	0,7	15,0	10,5	65,5	›Hm (cm) = 50,9	SIM
OBS:							
O Fator de Equivalência (K) de cada material é o proposto no Método do DNIT.							
A espessura mínima de revestimento é proposta no Método DNIT em função do Número N.							
O Hequiv indica a Espessura Equivalente da camada para a proteção da camada inferior.							
O Hacum indica a Espessura Equivalente Acumulada a ser comparada com os Parâmetros de Verificação.							



Alternativa 02 – Revestimento em CBUQ com Polímero e base em BGS.

Tabela 16 : Método do DNIT – Pavimento Flexível

Método do DNIT - Pavimento Flexível							
Dados de Entrada			Parâmetros de Verificação				
CBR subleito (%)	9		Hm (cm)		50,9		
CBR reforço (%)	15		Hn (cm)		37,5		
CBRxsu-base (%)	20		H20 (cm)		31,6		
Número N usace	1,08E+08						
Camada	Material	K	Hproj (cm)	Hequiv (cm)	Hacum (cm)	Parâmetro	Aceito
Revestimento	CBUQ c/ POLÍMERO	2,0	12,5	25,0			
Base	BGS	1,0	15,0	15,0	40,0	20 (cm) = 3	SIM
Sub-base	SEG	1,0	15,0	15,0	55,0	n (cm) = 37	SIM
Reforço	SEG	0,7	15,0	10,5	65,5	m (cm) = 5	SIM
OBS:							
O Fator de Equivalência (K) de cada material é o proposto no Método do DNIT.							
A espessura mínima de revestimento é proposta no Método DNIT em função do Número N.							
O Hequiv indica a Espessura Equivalente da camada para a proteção da camada inferior.							
O Hacum indica a Espessura Equivalente Acumulada a ser comparada com os Parâmetros de Verificação.							

Alternativa 03 – Revestimento em CBUQ Convencional e base em BGTC.

Tabela 17 : Método do DNIT – Pavimento Flexível

Método do DNIT - Pavimento Semi-Rígido em BGTC							
Dados de Entrada			Parâmetros de Verificação				
CBR subleito (%)	9		Hm (cm)		50,9		
CBRxsu-base (%)	20		H20 (cm)		31,6		
Número N usace	1,08E+08						
Camada	Material	K	Hproj (cm)	Hequiv (cm)	Hacum (cm)	Parâmetro	Aceito
Revestimento	CBUQ	2,0	12,5	25,0			
Base	BGTC	1,7	15,0	25,5	50,5	»H20 (cm) = 31,6	SIM
Sub-base	BGS	1,0	15,0	15,0	65,5	»Hm (cm) = 50,9	SIM
OBS:							
O Fator de Equivalência (K) de cada material é o proposto no Método do DNIT.							
A espessura mínima de revestimento é proposta no Método DNIT em função do Número N.							
O Hequiv indica a Espessura Equivalente da camada para a proteção da camada inferior.							
O Hacum indica a Espessura Equivalente Acumulada a ser comparada com os Parâmetros de Verificação.							



Alternativa 04 – Revestimento em CBUQ com Polímero e base em BGTC.

Tabela 18 : Método do DNIT – Pavimento Flexível

Método do DNIT - Pavimento Semi-Rígido em BGTC							
Dados de Entrada			Parâmetros de Verificação				
CBR subleito (%)	9		Hm (cm)	50,9			
CBRxsu-base (%)	20		H20 (cm)	31,6			
Número N usace	1,08E+08						
Camada	Material	K	Hproj (cm)	Hequiv (cm)	Hacum (cm)	Parâmetro	Aceito
Revestimento	CBUQ c/ POLÍMERO	2,0	12,5	25,0			
Base	BGTC	1,7	15,0	25,5	50,5	20 (cm) = 3	SIM
Sub-base	BGS	1,0	15,0	15,0	65,5	m (cm) = 5	SIM
OBS:							
O Fator de Equivalência (K) de cada material é o proposto no Método do DNIT.							
A espessura mínima de revestimento é proposta no Método DNIT em função do Número N.							
O Hequiv indica a Espessura Equivalente da camada para a proteção da camada inferior.							
O Hacum indica a Espessura Equivalente Acumulada a ser comparada com os Parâmetros de Verificação.							

1.1.4.2 Método Mecânico

Adicionalmente foram empregados modelos mecânicos para a análise de deformações e deslocamentos das camadas asfálticas; deformações no subleito e também as deformações ou tensões horizontais de tração na fibra inferior da camada cimentada.

A fadiga e a deformação são as condições fundamentais da avaliação estrutural de pavimentos. Assim, procurou-se determinar diversos indicadores estruturais representados pelas deformações verticais reversíveis (deflexões) na superfície (D), deformações horizontais de tração (ϵ_t) no revestimento, pela tensão de tração na camada cimentada (σ_t) e pela deformação vertical no topo do subleito (ϵ_v).

A análise de desempenho das estruturas é feita através da verificação da compatibilidade entre esforços solicitantes (devidos à aplicação de cargas de tráfego) e os esforços resistentes, intrínsecos de cada material, traduzidos pelas equações de fadiga apresentadas no item a seguir.

Quando as estruturas inicialmente testadas em simulações computacionais não atendem aos parâmetros admissíveis (ou desejados) de cada material devem ser realizadas adequações nas



espessuras das camadas de forma a se obter um pavimento equilibrado para atender o período de projeto desejado.

Os modelos ou critérios mecânicos empregados neste estudo são apresentados a seguir.

Os modelos ou critérios mecânicos empregados neste estudo são apresentados a seguir.

Deformação Vertical Máxima no Revestimento

Os deslocamentos verticais máximos no topo do revestimento ocorrem devido às tensões e deformações das camadas estruturais constituintes do pavimento e do subleito em resposta ao carregamento na superfície do pavimento. Portanto, é necessário verificar os valores de deslocamentos verticais recuperáveis máximos no topo do pavimento de modo a garantir deformações inferiores às deformações de projeto.

Como critério comparativo, utilizou-se, para este parâmetro, a equação tradicionalmente aceita e proposta por Preussler e Pinto no método TECNAPAV:

$$N_{\text{RUPTURA}} = 5,55 \times 10^{16} D_{\text{adm}}^{-5,32}$$

Onde:

N_{RUPTURA} = número de operações para a ruptura do pavimento (método USACE);

D_{adm} = deflexão admissível (deslocamento vertical máximo da superfície do pavimento).

Fadiga Quanto às Deformações das Misturas Betuminosas

As deformações horizontais de tração (ξ_t) nas faces inferiores das camadas betuminosas, causadas pelos carregamentos na superfície dos pavimentos, se forem excessivas, poderão causar ruptura por fadiga dessas camadas.

Desta forma, existe um número muito grande de procedimentos analíticos de projeto que consideram a deformação específica de tração na face inferior da camada betuminosa como o fator determinante da fadiga. No caso em estudo foi utilizada a equação definida por *Federal Highway Administration* (FHWA, 1976):

$$N_{\text{RUPTURA(AASHTO)}} = 1,09 \times 10^{-6} (1/\xi_t)^{3,512}$$



Onde:

N_{RUPTURA} = número de operações para a ruptura do pavimento por fadiga (método AASHTO);

ξ_t = deformação específica horizontal de tração.

Fadiga de Misturas Cimentadas

Em camadas cimentadas, seja ela composta de solo-cimento (SC) ou brita graduada tratada com cimento (BGTC), deformações ou tensões horizontais de tração na fibra inferior da camada cimentada, causadas pelo carregamento na superfície do pavimento, podem causar sua ruptura por fadiga.

BGTC

Para modelar o comportamento à fadiga da camada de brita graduada tratada com cimento (BGTC), utilizou-se o modelo desenvolvido por Balbo (1993) para

camadas deste tipo, a saber:

$$N_{\text{RUPTURA}} = 10^{(17,137 - 19,608 \times SR)} \quad e$$

$$SR = \sigma_a / \Delta\sigma$$

Onde:

N_{RUPTURA} = número de operações para a ruptura do pavimento por fadiga (Método USACE);

σ_a = tensão atuante admissível;

σ = tensão de tração na flexão de ruptura do material.

Para o estudo em questão, utilizou-se uma tensão de tração na flexão de 10 kgf/cm².

O solo de fundação é normalmente o material menos resistente da estrutura, portanto é por ele que se inicia a verificação estrutural. Entretanto, uma vez confirmado o seu desempenho, é importante efetuar-se também a análise global para assegurar eventuais problemas devido ao fenômeno da deformação permanente.



A análise é feita comparando-se a máxima deformação específica vertical de compressão (ξ_v) atuante no topo do subleito, considerando-se um sistema de camadas elásticas, comparando-as com os valores admissíveis correspondentes ao material utilizado.

Nos pavimentos rodoviários onde o tráfego é canalizado, a deformação permanente em geral se manifesta nas chamadas trilhas de roda. Essa deformação devida ao cisalhamento é um dos fatores que precisa ser levado em conta no projeto racional de pavimentos, objetivando-se minimizar as deformações totais dos mesmos.

O critério da fadiga para deformações verticais de compressão do subleito é idêntico aos modelos adotados para a fadiga de misturas betuminosas e expresso neste trabalho por uma equação da seguinte forma (Dormon & Metcalf, 1965):

$$N_{USACE} = 6,069 \times 10^{-10} (\xi_v)^{-4,762}$$

A seguir são apresentados os resultados das análises mecânicas para as alternativas de estruturas.

Pavimento Flexível		<i>E (Kgf/cm²)</i>	<i>Poisson</i>
Var.	CBUQ	40.000	0,30
Var.	BGS	3.000	0,35
Var.	SEG	2.000	0,40
Var.	SEG	2.000	0,40
	Subleito CBR > 9,0%	1.000	0,40

Figura 3 : Camadas pavimento flexível



Volume 1.2- Relatório de Projeto
Volume 1.2.4 – Projetos de Pavimentação

Tabela 19 : Análise Mecânica – Pavimento Flexível

Análise	Material	Espessura (cm)	Parâmetro	número N	Modelo	Valor admissível	Unidade	Valor Previsto	Aceito	
1	CBUQ	12,5	D	USACE	$8,73 \times 10^{-7}$	Preussler e Pinto	45,16	$x 10^2$ mm	39,06	SIM
			$\bar{\sigma}_t$	AASHTO	$2,89 \times 10^{-7}$	FHWA, 1976	1,51E-04	mm / mm	1,96E-04	NÃO
	BGS	15	-	-	-	-	-	-	-	
	SEG	15	-	-	-	-	-	-	-	
	SEG	15	-	-	-	-	-	-	-	
	Subleito	-	$\bar{\sigma}_v$	USACE	$8,73 \times 10^{-7}$	Dormon & Metcalf, 1965	2,49E-04	mm / mm	2,74E-04	NÃO
2	CBUQ	12,5	D	USACE	$8,73 \times 10^{-7}$	Preussler e Pinto	45,16	$x 10^2$ mm	37,66	SIM
			$\bar{\sigma}_t$	AASHTO	$2,89 \times 10^{-7}$	FHWA, 1976	1,51E-04	mm / mm	1,92E-04	NÃO
	BGS	18	-	-	-	-	-	-	-	
	SEG	18	-	-	-	-	-	-	-	
	SEG	18	-	-	-	-	-	-	-	
	Subleito	-	$\bar{\sigma}_v$	USACE	$8,73 \times 10^{-7}$	Dormon & Metcalf, 1965	2,49E-04	mm / mm	2,21E-04	SIM
3	CBUQ	17	D	USACE	$8,73 \times 10^{-7}$	Preussler e Pinto	45,16	$x 10^2$ mm	31,31	SIM
			$\bar{\sigma}_t$	AASHTO	$2,89 \times 10^{-7}$	FHWA, 1976	1,51E-04	mm / mm	1,45E-04	SIM
	BGS	18	-	-	-	-	-	-	-	
	SEG	18	-	-	-	-	-	-	-	
	SEG	18	-	-	-	-	-	-	-	
	Subleito	-	$\bar{\sigma}_v$	USACE	$8,73 \times 10^{-7}$	Dormon & Metcalf, 1965	2,49E-04	mm / mm	1,73E-04	SIM
4	CBUQ polímero	13	D	USACE	$8,73 \times 10^{-7}$	Preussler e Pinto	45,16	$x 10^2$ mm	31,31	SIM
			$\bar{\sigma}_t$	AASHTO	$2,89 \times 10^{-7}$	FHWA, 1976	1,51E-04	mm / mm	1,45E-04	SIM
	BGS	18	-	-	-	-	-	-	-	
	SEG	18	-	-	-	-	-	-	-	
	SEG	18	-	-	-	-	-	-	-	
	Subleito	-	$\bar{\sigma}_v$	USACE	$8,73 \times 10^{-7}$	Dormon & Metcalf, 1965	2,49E-04	mm / mm	2,15E-04	SIM

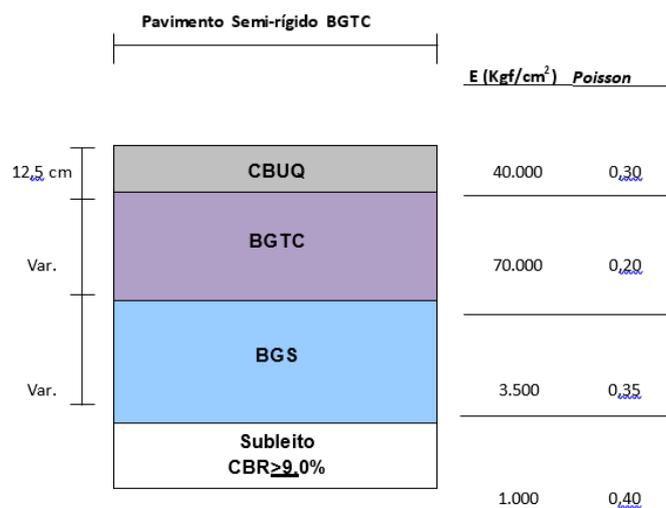


Figura 4 : Camadas pavimento flexível



Volume 1.2- Relatório de Projeto
Volume 1.2.4 – Projetos de Pavimentação

Tabela 20 : Análise Mecânica – Semi-rígido em BGTC

Análise	Material	Espessura (cm)	Parâmetro	número N		Modelo	Valor admissível	Unidade	Valor Previsto	Aceito
1	CBUQ	12,5	D	USACE	$8,73 \times 10^{-7}$	Preussler e Pinto	45,16	$\times 10^{-2}$ mm	23,07	SIM
			σ_t	AASHTO	$2,89 \times 10^{-7}$	FHWA, 1976	1,51E-04	mm / mm	compressão	SIM
	BGTC	15	σ_t	USACE	$8,73 \times 10^{-7}$	Balbo, 1993	4,690	kgf/cm2	5,560	NÃO
	BGS	15	-	-	-	-	-	-	-	-
	Subleito	-	σ_v	USACE	$8,73 \times 10^{-7}$	Dormon & Metcalf, 1965	2,49E-04	mm / mm	1,88E-04	SIM
2	CBUQ	12,5	D	USACE	$8,73 \times 10^{-7}$	Preussler e Pinto	45,16	$\times 10^{-2}$ mm	21,01	SIM
			σ_t	AASHTO	$2,89 \times 10^{-7}$	FHWA, 1976	1,51E-04	mm / mm	compressão	SIM
	BGTC	18	σ_t	USACE	$8,73 \times 10^{-7}$	Balbo, 1993	4,690	kgf/cm2	4,600	SIM
	BGS	18	-	-	-	-	-	-	-	-
	Subleito	-	σ_v	USACE	$8,73 \times 10^{-7}$	Dormon & Metcalf, 1965	2,49E-04	mm / mm	1,48E-04	SIM



1.1.5 Alternativas Propostas de Pavimentação

A partir dos dados do estudo de tráfego e das características do subleito local foram realizados dimensionamentos de três alternativas de estruturas de pavimento. Inicialmente, foi determinada uma estrutura de pavimento a partir do método de dimensionamento do DNIT para um período de análise de 10 anos, seguindo-se a adequação da mesma pelos critérios mecanísticos.

No desenvolvimento deste estudo, utilizou-se a teoria das camadas elásticas para o cálculo dos deslocamentos, das tensões e das deformações nas estruturas simuladas. Nesta tarefa, fez-se uso do programa do ELSYM5 – *Elastic Layered System*, que aplica o método das diferenças finitas no cálculo destes parâmetros, produzidos por um eixo de cargas, em qualquer ponto da estrutura do pavimento.

Desta análise, verificou-se que a estrutura em pavimento flexível que atende todos os critérios de fadiga tem 17 cm de CBUQ convencional. De forma a se reduzir essa espessura dimensionada, optou-se por uma camada de revestimento de 13 cm em CBUQ modificado por polímero, pois a utilização deste tipo de solução permite uma redução de 30% em relação ao reforço estrutural calculado em concreto asfáltico convencional, conforme Instrução de Serviço DG/DNER nº007 de 15 de Abril de 1998:

$$HR_{pol} = \frac{HR}{1,3}$$

Onde:

- **HR_{pol}**: espessura de CBUQ com ligante asfáltico modificado por polímero;
- **HR**: espessura de CBUQ empregando ligante asfáltico convencional.

Em contrapartida, tal redução de espessura da camada de revestimento exige nova verificação dos esforços do subleito, conforme demonstrado na análise mecanística.

Como resultado final, as alternativas obtidas para o dimensionamento dos pavimentos para o projeto básico são descritas a seguir. Portanto, diante das várias alternativas apresentadas abaixo, sugerimos estudo de viabilidade técnica-econômica para definição da alternativa final a ser adotada por parte do órgão rodoviário.



1ª ALTERNATIVA: PAVIMENTO SEMI RÍGIDO – CBUQ COM POLÍMERO E BASE EM BGTC.

Tabela 21 : Alternativa 1

Espessura (cm)	Camada
4,0	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85 Modificado por Polímero.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero - Taxa estimada de 0,6 l/m ² .
4,0	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85 Modificado por Polímero.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero - Taxa estimada de 0,6 l/m ² .
4,5	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85 Modificado por Polímero.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero - Taxa estimada de 0,6 l/m ² .
-	Camada Anti-Reflexão de Trincas em Tratamento Superficial Duplo - TSD
-	Imprimação – CM 30 - Taxa estimada de 1,2 l/m ² .
18,0	Base de Brita Graduada Tratamento com Cimento – BGTC. Solo Brita c/ CBR min = 80%, GC = 100% Proctor Modificado. Resistências $f_{ck} = 35 \text{ kgf/cm}^2$ aos 7 dias e $f_{ck} = 45 \text{ kgf/cm}^2$ aos 28 dias. Resistência $f_{ct,f} = 5,5 \text{ kgf/cm}^2$ aos 28 dias.
18,0	Sub-Base em Brita Graduada Simples – BGS, GC = 100%, Proctor Modificado.
20,0	Regularização e Compactação do Subleito, GC 100%, Proctor Intermediário.



2ª ALTERNATIVA: PAVIMENTO FLEXÍVEL – CBUQ COM POLÍMERO E BASE EM BGS.

Tabela 22 : Alternativa 2

Espessura (cm)	Camada
4,0	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85 Modificado por Polímero.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero - Taxa estimada de 0,6 l/m ² .
4,0	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85 Modificado por Polímero.
-	Pintura de Ligação Modificada por Polímero - Taxa estimada de 0,6 l/m ² .
5,0	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 60/85 Modificado por Polímero.
-	Imprimação – CM 30 - Taxa estimada de 1,2 l/m ² .
18,0	Base em Brita Graduada Simples – BGS, GC = 100%, Proctor Modificado..
18,0	Sub-Base em Cascalho. CBR ≥ 40%. GC = 100%, Proctor Intermediário.
18,0	Reforço com Incorporação de 3,0% Cimento em Massa. CBR ≥ 20%. GC = 100%, Proctor Intermediário.
20,0	Regularização e Compactação do Subleito, GC 100%, Proctor Intermediário.

3ª ALTERNATIVA: PAVIMENTO FLEXÍVEL – CBUQ SEM POLÍMERO E BASE EM BGS.

Tabela 23 : Alternativa 1

Espessura (cm)	Camada
5,5	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 30/45.
-	Pintura de Ligação – RR 2C – Taxa estimada de 0,6 l/m ² .
5,5	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA C – CAP 30/45.
-	Pintura de Ligação – RR 2C – Taxa estimada de 0,6 l/m ² .
6,0	Revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) FAIXA B – CAP 30/45.
-	Imprimação – CM 30 - Taxa estimada de 1,2 l/m ² .



18,0	Base em Brita Graduada Simples – BGS, GC = 100%, Proctor Modificado..
18,0	Sub-Base em Cascalho. CBR \geq 40%. GC = 100%, Proctor Intermediário.
18,0	Reforço com Incorporação de 3,0% Cimento em Massa. CBR \geq 20%. GC = 100%, Proctor Intermediário.
20,0	Regularização e Compactação do Subleito, GC 100%, Proctor Intermediário.

No desenvolvimento das alternativas do projeto de pavimentação foi observado junto ao DER-DF a necessidade de implantação de um pavimento que apresentasse, além dos critérios econômicos e técnicos, o que fosse possível sua implantação com materiais de construção fáceis de obter e que tivessem em quantidade suficiente para ser fornecido à obra. Diante da dificuldade de conseguir cascalheiras aprovadas junto aos órgãos ambientais e da possibilidade de se ter dificuldades na execução das obras em função deste fato, optou-se por uma base em Brita Graduada Tratada com Cimento-BGTC., por ser um material mais rígido e que apresenta menos vazios e que pode contribuir para minimizar o efeito do bombeamento de finos no futuro.

Além disso, o revestimento asfáltico é em Concreto Betuminoso Usinado à Quente-CBUQ. É sabido que este tipo de material tem comportamento visco-elástico, ou seja, apresenta deformabilidade crescente com o aumento da temperatura. Também, percebemos o aumento crescente da temperatura pela absorção da energia solar. Diante do exposto e levando em consideração que se trata de uma rodovia com grande aplicação de carga e de temperaturas elevadas (realce da componente viscosa de materiais visco-elásticos e termo-sensíveis), foi proposto para o revestimento o CBUQ com Polímero. Fato relevante, que o CBUQ com Polímero também permite a redução da espessura de revestimento em até 1/3 da espessura dimensionada para pavimento sem polímero, permitindo ainda melhor compatibilização altimétrica entre o revestimento da via e do acostamento. Além disso, asfaltos com polímero melhoram a capacidade de recuperação elástica do revestimento, proporcionando de modo geral maior tempo de vida útil.

Diante do exposto, foi considerada a 1ª Alternativa apresentada acima para o pavimento novo do Corredor Sudoeste, sendo em Pavimento Semi Rígido, com base em BGTC e com revestimento em CBUQ com polímero.

1.2 Especificações

São necessários cuidados e controle na execução da estrutura, especialmente no que se refere à umidade e à compactação das camadas granulares, à resistência e ao processo de cura da camada cimentada, e à compactação, à usinagem e a aplicação das camadas asfálticas.

As alternativas propostas devem atender as especificações de serviço do DNIT. O quadro a seguir ilustra as especificações de materiais a serem adotadas:

Tabela 24 : Especificações de materiais

Especificação	Material
DNIT 137/2010-ES	Regularização do subleito
DNIT 138/2010-ES	Reforço do subleito
DNIT 139/2010-ES	Sub-base estabilizada granulometricamente
DNIT 140/2010-ES	Sub-base de solo melhorado com cimento
DNIT 141/2010-ES	Base estabilizada granulometricamente
DNIT 143/2010-ES	Base de solo-cimento
DNIT 144/2012-ES	Imprimação com ligante asfáltico convencional
DNIT 145/2012-ES	Pintura de ligação com ligante asfáltico
DNER-ES 395/99	Pintura de ligação com asfalto polímero
DNIT 147/2012-ES	Tratamento Superficial Duplo com ligante asfáltico
DNIT 031/2006- ES	Concreto Asfáltico
DNER-ES 385/99	Concreto asfáltico com asfalto polímero

Ao mesmo tempo, devem ser atendidas as seguintes especificações particulares:

Camada final de terraplenagem com ISC (Índice Suporte Califórnia) mínimo de 9,0%. Nos locais onde o valor de expansão do solo for maior que 2%, deve-se obrigatoriamente substituir o mesmo por um solo argiloso com expansão menor que 2% e ISC igual ou

superior a 9,0%.

Camada de Solo Estabilizado Granulometricamente (SEG) tal que sejam atendidas as seguintes características:

- CBR mínimo de 40% para sub-base;
- O módulo de resiliência de 2.000 kgf/cm².

Camada de Solo Melhorado com Cimento (SMC) tal que sejam atendidas as seguintes características:

- Teor mínimo de cimento de 3% em peso;
- Módulo de resiliência de 2.000 kgf/cm²;
- CBR mínimo de 20%.

Camada de base de Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC) tal que apresente as seguintes características:

- Teor mínimo de cimento de 4% em peso;
- O módulo de resiliência de 70.000 kgf/cm²;
- Resistência por compressão simples aos 7 dias de, no mínimo, 35 kg/cm²;
- Resistência por compressão simples aos 28 dias de, no mínimo, 45 kg/cm²;
- Resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias de no mínimo 5,5 kgf/cm²;

O teor de cimento para as camadas de base cimentadas (BGTC) deve ser dosado pela resistência à tração por compressão diametral e/ou módulo de resiliência, pois as mesmas trabalham como um material semi-rígido.



2 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos solos e suas aplicações. 6. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1987-1988.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT-ES 313/97.

DNER-ES 385/99 - Pavimentação - concreto asfáltico com asfalto polímero.

DNIT – IPR 719 – Manual de Pavimentação, 2006.

Estudos do Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE) e do American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, EUA, 1993.

Lei da Balança (Código de Trânsito Brasileiro - Lei nº 9.053. de 23.09.1997 – resolução no 12 de 06/02/1998).

NORMA DNIT 031/2006 - ES DNIT Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço.

NORMA DNIT 137/2010- ES Pavimentação – Regularização do subleito - Especificação de serviço.

NORMA DNIT 138/2010 - ES Pavimentação – Reforço do subleito - Especificação de serviço.

NORMA DNIT 140/2010 - ES Pavimentação – Sub-base de solo melhorado com cimento – Especificação de serviço.

NORMA DNIT 141/2010 - ES Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço.

NORMA DNIT 142/2010 - ES Pavimentação – Base de solo melhorado com cimento - Especificação de serviço.

NORMA DNIT 144/2014-ES Pavimentação - Imprimação com ligante asfáltico Especificação de serviço.

NORMA DNIT 151/2010 - ES Pavimentação – Acostamentos – Especificação de serviço.

NORMA DNIT 154/2010 - ES Pavimentação asfáltica – Recuperação de defeitos em pavimentos asfálticos - Especificação de serviço.

Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço.

PINTO, S.; PREUSSLER, E.S. Pavimentação rodoviária: Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis. 2ª edição. Rio de Janeiro/RJ, 220p. 2010.

Relatório de Projeto, item 3.1 – Estudos de tráfego, empresa Itec Infra Tech Engenharia e Consultoria S/A.

Senço, W. d. (1997). *Manual de técnicas de pavimentação*. São Paulo: Pini.

