



IP- 05/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
TRÁFEGO MEIO PESADO, PESADO, MUITO PESADO
E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS

1. OBJETIVO

O objetivo deste documento é apresentar o procedimento para o dimensionamento de pavimentos flexíveis de vias urbanas do Município de São Paulo, submetidas a tráfego meio pesado, pesado, muito pesado e faixa exclusiva de ônibus.

2. ESTUDO GEOTÉCNICO DO SUBLEITO

Os serviços geológico-geotécnicos para caracterização do subleito deverão respeitar a Instrução de Projeto IP – 01- Instrução Geotécnica da SIURB/PMSP.

3. TRÁFEGO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO

As vias urbanas a serem pavimentadas serão classificadas de acordo com a Instrução de Projeto IP-02 Classificação das Vias da SIURB/PMSP.

O Quadro 5.1 resume os principais parâmetros da classificação das vias obtidas da referida instrução.

Quadro 5.1

Classificação das vias

FUNÇÃO PREDOMINANTE	TRÁFEGO PREVISTO	VIDA DE PROJETOS (ANOS)	VOLUME INICIAL DA FAIXA MAIS CARREGADO		EQUIVALENTE POR VEICULO COMERCIAL	N	N característico
			VEICULO LEVE	CAMINHÕES E ÔNIBUS			
Vias Coletoras e Estruturais	Meio Pesado	10	1.501 a 5.000	101 a 300	2.30	1,4 x 10 ⁶ a 3,1 x 10 ⁶	2 x 10 ⁶
	Pesado	12	5.001 a 10.000	301 a 1.000	5.90	1.0 x 10 ⁷ a 1,4 x 10 ⁶	2 x 10 ⁷
	Muito Pesado	12	> 10.000	1.001 a 2.000	5.90	3.3 x 10 ⁷ a 1,4 x 10 ⁶	5 x 10 ⁷
Faixa Exclusiva de Ônibus	Volume Médio	12	-	< 500	-	3 x 10 ⁶	10 ⁷
	Volume Elevado	12	-	> 500	-	5 x 10 ⁷	5 x 10 ⁷



IP- 05/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
TRÁFEGO MEIO PESADO, PESADO, MUITO PESADO
E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS

3.2 CARGA LEGAL

No presente método de dimensionamento foi considerada a carga máxima legal no Brasil que é de 10 toneladas por eixo simples de rodagem dupla (100 kN/ESRD).

4. CONSIDERAÇÕES SOBRE O SUBLEITO

A fim de orientar o projeto do pavimento, são apresentadas algumas considerações sobre o subleito:

- A espessura do pavimento a ser construído sobre o subleito será calculada de acordo com o presente procedimento, em função do suporte (*CBR* ou Mini-*CBR*) representativo de suas camadas, conforme demonstrado na Instrução de Projeto IP-01 – Instrução Geotécnica.
- Nos casos em que as sondagens indicarem a necessidade de substituição do subleito (solos moles, orgânicos ou turfosos), deverá ser considerado o valor do suporte do solo de empréstimo.
- Na determinação do suporte do subleito, deverá ser empregado o Ensaio Normal de Compactação de Solos (ME-7 da SIURB/PMSP) e a moldagem dos corpos de prova deverá ser feita com a energia de compactação correspondente.
- No caso de vias já dotadas de guias e sarjetas, reforços de pavimentos antigos ou de aproveitamento do leito existente, a determinação do índice de suporte do material (CBR_{subl} ou Mini- CBR_{subl}), poderá ser realizada “in situ”, conforme métodos ME-47 ou ME-56, ou ainda pela determinação expedita do mini-*CBR* por penetração dinâmica (ME-55 da SIURB/PMSP).
- No caso de suporte $CBR > 2\%$ e de expansão $\geq 2\%$, deverá ser determinada em laboratório a sobrecarga necessária para que o solo apresente expansão $< 2\%$. O peso próprio do pavimento projetado deverá transmitir para o subleito uma pressão igual ou maior à determinada pelo ensaio. Portanto, a espessura da estrutura do pavimento deve ser tal que leve o pavimento a apresentar o peso superior ao peso determinado no ensaio.
- O projetista poderá utilizar outros critérios e soluções, desde que devidamente justificados e aceitos pela SIURB/PMSP.



IP- 05/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
TRÁFEGO MEIO PESADO, PESADO, MUITO PESADO
E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS

5. DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO

5.1 TRÁFEGO

Para efeito de dimensionamento da estrutura do pavimento, os tráfegos serão caracterizados conforme indicado no item 3.1, ou seja:

- Tráfego meio pesado: “N” característico = 2×10^6 solicitações;
- Tráfego pesado: “N” característico = 2×10^7 solicitações;
- Tráfego muito pesado: “N” característico = 5×10^7 solicitações;
- Corredores de ônibus:
Volume médio : “N” característico = 10^7 solicitações;
Volume elevado: “N” característico = 5×10^7 solicitações.

5.2 ESPESSURA TOTAL DO PAVIMENTO

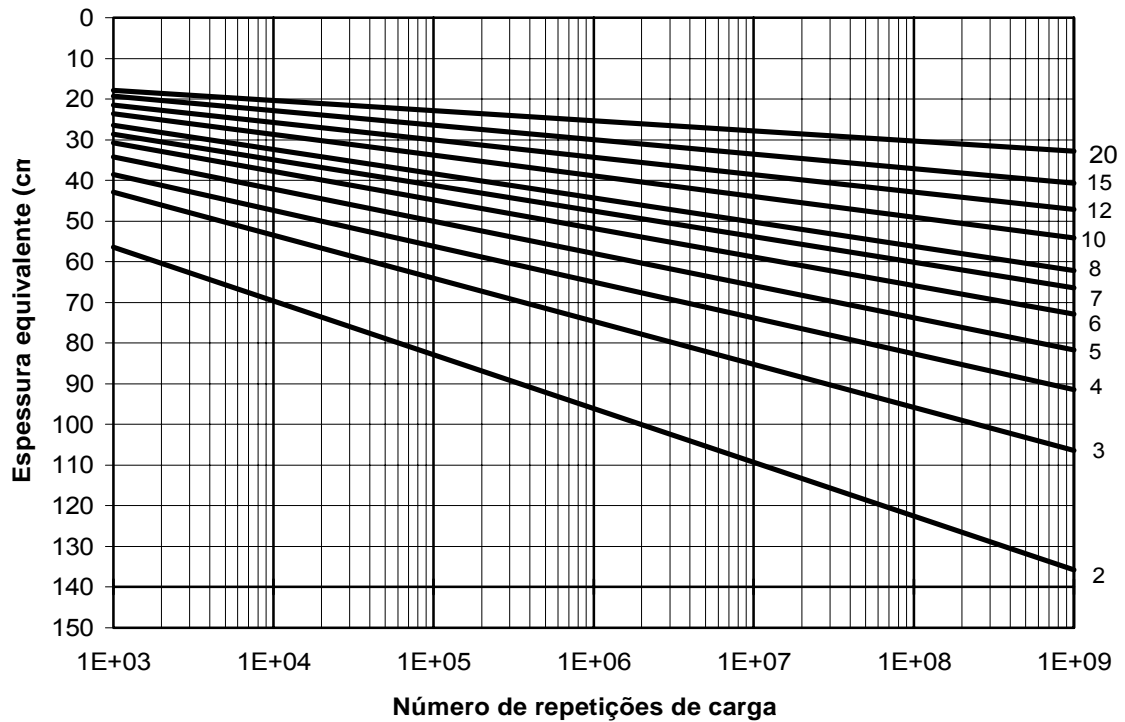
Definido o tipo de tráfego a que será submetido o pavimento e determinado o suporte representativo do subleito, a espessura total básica do pavimento (H_{SL}), em termos de material granular, será fixada de acordo com a tabela ou com o ábaco da Figura 5.1.



IP- 05/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
TRÁFEGO MEIO PESADO, PESADO, MUITO PESADO
E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS

Figura 5.1

Ábaco para determinação da espessura total básica do pavimento



VALORES TABELADOS

CBR	MEIO PESADO	PESADO	MUITO PESADO	CORREDOR MÉDIO	CORREDOR PESADO
2	100	113	119	110	119
3	78	88	92	85	92
4	67	76	80	73	80
5	60	68	71	65	71
6	53	60	63	58	63
7	49	55	61	53	59
8	45	51	55	50	55
9	43	48	51	47	51
10	40	45	46	43	46
12	35	39	40	38	40
15	30	34	35	33	35
20	25	28	30	27	30



IP- 05/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
TRÁFEGO MEIO PESADO, PESADO, MUITO PESADO
E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS

5.2.1 Tipo e Espessura da Camada de Rolamento

A fixação da espessura mínima a adotar para os revestimentos asfálticos é um dos pontos ainda em aberto na engenharia rodoviária, quer se trate de proteger a camada de base dos esforços impostos e do tráfego, quer se trate de evitar a ruptura por fadiga do próprio revestimento por esforços repetidos de tração na flexão. As espessuras recomendadas no Quadro 5.2 visam, especialmente, proteger as bases de comportamento puramente granular, com base em um período de projeto $P = 10$ anos (as vias com $P=12$ anos devem ter as espessuras mínimas adaptadas).

Quadro 5.2

Espessuras mínimas recomendadas

N	TRÁFEGO	ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO ASFÁLTICO
$2 \times 10^6 \leq N < 5 \times 10^6$	Meio pesado	Concreto asfáltico com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 \leq N < 10^7$	---	Concreto asfáltico com 7,5 cm de espessura
$10^7 \leq N < 5 \times 10^7$	Pesado	Concreto asfáltico com 10,0 cm de espessura
$N \geq 5 \times 10^7$	Muito pesado	Concreto asfáltico com 12,5 cm de espessura
(*)	Faixa Exclusiva de Ônibus	Adotar no mínimo 10,0 cm de concreto asfáltico

*O CAUQ modificado por polímero deverá ser cotejado pelo projetista como alternativa neste caso, mantendo-se os requisitos estabelecidos quanto à espessura mínima.

5.2.2 Espessuras das demais camadas

Uma vez determinada a espessura total do pavimento (H_{SL}), em termos de material granular, e fixada a do revestimento (R), procede-se ao dimensionamento das espessuras das demais camadas, ou seja, da base, sub-base e do reforço do subleito, levando em conta os materiais disponíveis para cada uma delas, seus coeficientes de equivalência estrutural e suas capacidades de suporte, traduzidas pelos respectivos *CBR* ou Mini-CBR.

As espessuras da base (B), sub-base (h_{SB}) e do reforço do subleito (h_{REF}) são obtidas pela resolução sucessiva das seguintes inequações:



IP- 05/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
TRÁFEGO MEIO PESADO, PESADO, MUITO PESADO
E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{SB} \quad (1)$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{SB} \times K_{SB} \geq H_{REF} \quad (2)$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{SB} \times K_{SB} + h_{REF} \times K_{REF} \geq H_{SL} \quad (3)$$

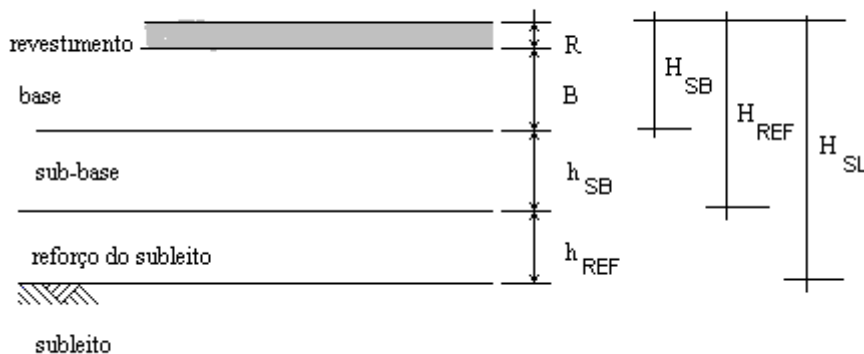
onde:

K_R , K_B , K_{SB} , K_{REF} representam os coeficientes estruturais do revestimento, da base, da sub-base e do reforço do subleito, respectivamente; H_{SB} , H_{REF} e H_{SL} representam as espessuras em termos de material granular fornecidas pela Figura 5.1 para materiais com CBR_{SB} , CBR_{REF} e CBR_{SL} ou $MiniCBR_{SB}$, $Mini-CBR_{REF}$ e $Mini-CBR_{SL}$, respectivamente. Para efeito de dimensionamento o valor CBR para Sub-base será limitado a 20%.

O DNIT, para as características atuais do tráfego brasileiro, recomenda, para $N \geq 10^7$ solicitações, que a inequação (1) seja majorada em 20% com o objetivo de reforçar a superestrutura.

$$R \times K_R + B \times K_B \geq 1,20 \times H_{SB} \quad (4)$$

Esquema Elucidativo





IP- 05/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
TRÁFEGO MEIO PESADO, PESADO, MUITO PESADO
E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS

5.3 MATERIAIS E ESPESSURAS MÍNIMAS RECOMENDADAS

a) Espessuras Mínimas

O Quadro 5.2 indica as espessuras mínimas e o tipo de material que deverão ser utilizados nas camadas de base e sub-base.

Quadro 5.3

Espessuras recomendadas e tipo de material

TRÁFEGO	N	BASE		SUB-BASE	
		MATERIAL	ESPESSURA MÍNIMA (cm)	MATERIAL	ESPESSURA MÍNIMA (cm)
Meio Pesado	2×10^6	Granular	15,0	Granular	10,0
		Granular Tratado com Cimento	15,0		
Pesado	2×10^7	Granular Tratado com Cimento	15,0	Granular	10,0
Muito Pesado	5×10^7	Granular Tratado com Cimento	20,0	Granular	10,0
Faixa Exclusiva De Ônibus Volume Médio	10^7	Granular	15,0	Granular	10,0
		Granular Tratado com Cimento	15,0		
Faixa Exclusiva de Ônibus Volume Pesado	5×10^7	Granular Tratado com Cimento	20,0	Granular	10,0

Notas:

- (1) Para " $N < 9 \times 10^6$ ", poderá ser usada base granular ou base tratada com cimento (BGTC). Para " $N \geq 10^7$ " utilizar somente base cimentada, com a finalidade de evitar a fadiga prematura nas camadas betuminosas.
- (2) A "base invertida" poderá ser adotada como solução de projeto.



IP- 05/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
TRÁFEGO MEIO PESADO, PESADO, MUITO PESADO
E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS

b) Materiais recomendados

Os materiais próprios para as camadas de revestimento, base, sub-base e reforço do subleito deverão obedecer às especificações vigentes na Prefeitura do Município de São Paulo.

No caso de bases estabilizadas granulometricamente, além da obediência às especificações contidas nas normas correspondentes, os materiais ou misturas de materiais deverão satisfazer às seguintes exigências de CBR mínimo e de expansão máxima medida com sobrecarga de 4,5 Kg:

Bases:	CBR \geq 80 %
	Expansão \leq 0,5 %
Sub-bases:	CBR \geq 30 %
	Expansão \leq 1,0 %

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 anteriormente descritas.

Bases cimentadas: deverá ser utilizada preferencialmente a brita graduada tratada com cimento (BGTC), com resistência à compressão simples, no mínimo de 8 MPa aos 28 dias; alternativamente, concreto do tipo CCR, com $f_{ct,f} \geq 1$ MPa aos 28 dias, poderá ser empregado.

No caso em que o projetista preconize o uso de bases estabilizadas ou de macadame hidráulico, recomenda-se a execução sobre a imprimação impermeabilizante da base de macadame hidráulico de um tratamento superficial simples, com o objetivo de melhorar a resistência da interface entre a camada de rolamento e a base, além de proporcionar uma impermeabilização da base, no caso de bases granulares.

Materiais próprios para reforço do subleito são os de CBR superior ao apresentado pelo subleito e com expansão máxima de 2%, medida com sobrecarga de 4,5 kg.



IP- 05/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
TRÁFEGO MEIO PESADO, PESADO, MUITO PESADO
E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS

5.4 COEFICIENTES DE EQUIVALÊNCIA ESTRUTURAL

O coeficiente de equivalência estrutural de um material é um valor empírico definido como a relação entre as espessuras de uma base granular e de uma camada de material considerado, que apresente desempenho semelhante, ou seja, considera-se que uma camada de 10 centímetros de um material com coeficiente de equivalência estrutural igual a 1,5 apresenta comportamento igual ao de uma camada de 15 cm de base granular.

Para as camadas de pavimento executadas de acordo com as Diretrizes Executivas de Serviços da Prefeitura do Município de São Paulo, são adotados os coeficientes de equivalência estrutural apresentados no Quadro 5.3.

Quadro 5.4

Coeficientes estruturais

CAMADA DO PAVIMENTO	COEFICIENTE ESTRUTURAL (K)
Base ou Revestimento de Concreto Asfáltico	2,00
Base ou Revestimento de Concreto Magro/Compactado com Rolo	2,00
Base ou Revestimento de Pré-Misturado a Quente, de Graduação Densa / BINDER	1,80
Base ou Revestimento de Pré-Misturado a Frio, de Graduação Densa	1,40
Base ou Revestimento Asfáltico por Penetração	1,20
Paralelepípedos	1,00
Base de Brita Graduada Simples, Macadame Hidráulico e Estabilizadas Granulometricamente	1,00
Sub-bases Granulares ou Estabilizadas com Aditivos	≤ 1,00
Reforço do Subleito	≤ 1,00
Base de Solo-Cimento ou BGTC, com resistência à compressão aos 7 dias, superior a 4,5 MPa	1,70
Base de BGTC, com resistência à compressão aos 7 dias, entre 2,8 e 4,5 MPa	1,40
Base de Solo-Cimento, com resistência à compressão aos 7 dias, menor que 2,8 e maior ou igual a 2,1 MPa	1,20
Base de Solo melhorado com Cimento, com resistência à compressão aos 7 dias, menor que 2,1 MPa	1,00



IP- 05/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
TRÁFEGO MEIO PESADO, PESADO, MUITO PESADO
E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS

Os coeficientes estruturais da Sub-base granular, do agregado reciclado e do reforço do subleito serão obtidos pelas expressões:

$$K_{SB} = \sqrt[3]{\frac{CBR_{SB}}{3CBR_{SL}}} \leq 1 \quad \text{e} \quad K_{REF} = \sqrt[3]{\frac{CBR_{REF}}{3CBR_{SL}}} \leq 1$$

onde:

CBR_{SB} , CBR_{REF} e CBR_{SL} são os índices de suporte da sub-base, reforço e subleito, respectivamente.

Destas expressões, resultam os coeficientes estruturais apresentados no Quadro 5.5 em função das relações CBR_{SB}/CBR_{SL} e CBR_{REF}/CBR_{SL} .

Mesmo que o CBR do reforço ou da sub-base seja superior a 30% deve ser considerado igual a 30% para efeito de cálculo das relações anteriormente descritas.

Quadro 5.5

Coefficientes estruturais em função das relações de CBR

RELAÇÃO DE CBR	K
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



IP- 05/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
TRÁFEGO MEIO PESADO, PESADO, MUITO PESADO
E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS

**5.5 SUPERESTRUTURAS TÍPICAS RECOMENDADAS PARA REVESTIMENTO,
BASE E SUB-BASE**

Caso o projetista adote as superestruturas indicadas nas Figuras 5.2, 5.3 e 5.4, o dimensionamento da estrutura do pavimento ficará praticamente restrito à determinação das características e espessuras das camadas de reforço do subleito.

Figura 5.2

Tráfego Meio Pesado

$N=2 \times 10^6$

CAUQ	5,0 CM
IMPR LIGANTE	
BINDER	7,0 CM
IMP IMPERM	
MB	7,5 CM
BGS/MH	15,0 CM
Subleito compactado a 100% PN CBR \geq 8%	15,0 CM

CAUQ	5,0 CM
IMPR LIGANTE	
BINDER	5,0 CM
IMP IMPERM	
BGTC	19,0 CM
BGS	10,0 CM
Subleito compactado a 100% PN CBR \geq 8%	15,0 CM



IP- 05/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
TRÁFEGO MEIO PESADO, PESADO, MUITO PESADO
E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS

Figura 5.3

Tráfego pesado

$N = 2 \times 10^7$

CAUQ	5,0 CM
IMPR LIGANTE	
BINDER	7,5 CM
IMPR IMPERM	
BGTC	19,0 CM
BGS/MH	10,0 CM
Subleito compactado a 100% PN CBR \geq 8%	15,0 CM

Figura 5.4

Tráfego Muito Pesado

$N = 5 \times 10^7$

CAUQ	5,0 CM
IMPR LIGANTE	
BINDER	7,5 CM
IMPR IMPERM	
BGTC	20,0 CM
BGS/MH	10,0 CM
Subleito compactado a 100% PN CBR \geq 8%	15,0 CM

Figura 5.5

Superestrutura Para Faixa Exclusiva De Ônibus

VOLUME MÉDIO

$N = 10^7$ solicitações

CAUQ	5,0 CM
IMPR LIGANTE	
BINDER	5,0 CM
IMPR IMPERM	
BGTC	21,0 CM
BGS	10,0 CM
Subleito compactado a 100% PN CBR \geq 8%	15,0 CM

VOLUME ELEVADO

$N = 5 \times 10^7$ solicitações

CAUQ	5,0 CM
IMPR LIGANTE	
BINDER	7,5 CM
IMPR IMPERM	
BGTC	20,0 CM
BGS	10,0 CM
Subleito compactado a 100% PN CBR \geq 8%	15,0 CM



IP- 05/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
TRÁFEGO MEIO PESADO, PESADO, MUITO PESADO
E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS

6. PRESSUPOSTOS DO DIMENSIONAMENTO

6.1 DRENAGEM

O dimensionamento parte do pressuposto que haverá sempre uma drenagem superficial adequada e que o lençol d'água subterrâneo deverá estar localizado a pelo menos 1,50m em relação ao greide de terraplenagem. Caso esta condição não seja atendida, o mesmo deverá ser rebaixado através de drenos ou a Projetista deverá apresentar solução alternativa e submetê-la à aprovação da SIURB/PMSP.

6.2 CONDIÇÕES DAS CAMADAS DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO

O dimensionamento pressupõe, também, que sejam inteiramente satisfeitos os requisitos de controle e recebimento, conforme as Instruções de Execução da SIURB/PMSP.

As bases estabilizadas granulometricamente deverão ser compactadas a, no mínimo, 100% do Proctor Intermediário, ressalvados os casos que venham a danificar as construções lindeiras, onde deverá ser utilizada base de macadame hidráulico.

6.3 INFRA-ESTRUTURA DAS VIAS

Pressupõe-se que as vias a serem pavimentadas sejam dotadas de toda a infra-estrutura, redes de águas, esgoto e sistema de captação de águas superficiais, executadas de acordo com as especificações de serviços dos órgãos envolvidos.

7. EXEMPLOS DE DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

7.1 Exemplo N^o 1

Dimensionar a estrutura de um pavimento de um sub-trecho viário para tráfego pesado, segundo a caracterização de tráfego do item 5.1, sendo o solo do subleito caracterizado pelos valores indicados no Quadro 5.5.



IP- 05/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
TRÁFEGO MEIO PESADO, PESADO, MUITO PESADO
E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS

Quadro 5.5

Características do subleito

ESTACAS	CBR _i (PN)	ESTACAS	CBR _i (PN)
100	11	128	9
104	9	132	12
108	11	136	11
112	10	140	12
116	10	144	10
120	11	148	9
124	12	152	7

a) Cálculo do CBR do subleito para projeto.

- Cálculo CBR Médio = \overline{CBR}

$$\therefore \overline{CBR} = \frac{\sum_{i=1}^n CBR_i}{n} = 10,28\%$$

- Cálculo do Desvio Padrão (S)

$$S = \sqrt{\frac{\sum [CBR_i - \overline{CBR}]^2}{n-1}} = 1,43\%$$

- Cálculo do CBR de projeto (CBR_p)

$$CBR_p = \overline{CBR} - \frac{S \times t_{0,90}}{\sqrt{n}} \cong 9\%$$



IP- 05/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
TRÁFEGO MEIO PESADO, PESADO, MUITO PESADO
E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS

b) Adoção de materiais e espessuras mínimas na concepção do pavimento

Através dos Quadros 5.2 e 5.3 obtém-se a espessura mínima recomendada de revestimento, base e sub-base para um "N" = 2×10^7 solicitações.

Revestimento asfáltico..... R = 10 cm, $K_R = 2,0$
Base Brita Graduada Tratada com Cimento B = 15 cm, $K_R = 1,4$
Sub-base de Brita Graduada Simples..... $H_{SB} = 10$ cm, $K_R = 1,0$
Reforço do subleito H_{REF} , $CBR > CBR_{SL}$, $K_{REF} =$ obtido no Quadro 5.4

c) Cálculo das espessuras das camadas do pavimento

O dimensionamento do pavimento será obtido com o auxílio do ábaco de dimensionamento da Figura 5.1 e pela resolução das inequações do item 5.2.2, a saber:

- Cálculo da espessura da base

Conforme preconiza o método de dimensionamento, a espessura H_{SB} será majorada em 20%, em função do tráfego ($N \geq 10^7$).

Para efeito de dimensionamento, o valor de CBR para as camadas de sub-base e reforço será limitado em 20% (valor máximo considerado no ábaco de dimensionamento).

Adotando o valor do suporte $CBR_{SB} = 20\%$, através do ábaco de dimensionamento apresentado na Figura 5.1, obtém-se a espessura $H_{SB} = 28$ cm, a qual deverá ser acrescida de 20%, portanto $H_{SB} = 33,6$ cm.

$$R \times K_R + B \times K_B \geq 1,20 \times H_{SB} \quad (4)$$

$$10 \times 2 + B \times 1,4 \geq 1,2 \times 28,0$$

$$20 + 1,4 B \geq 33,6$$

$$1,4 B \geq 13,6$$

$$B \geq 9,7 \text{ cm}$$



IP- 05/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
TRÁFEGO MEIO PESADO, PESADO, MUITO PESADO
E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS

Será adotada a espessura mínima de 15,0 cm para a camada de BGTC, de acordo com o recomendado no item 5.3, Quadro 5.3.

- Cálculo da espessura da sub-base

Com o valor de suporte $CBR_P = 9\%$ (determinado no item a), obtém-se, no ábaco de dimensionamento apresentado na Figura 5.1, a espessura $H_{REF} = 48,0$ cm, correspondendo, neste caso, à espessura total do pavimento em termos de material granular.

Através da resolução da inequação (2), determina-se a espessura da camada de sub-base (BGS).

$$\begin{aligned}R \times K_R + B \times K_B + h_{SB} \times K_{SB} &\geq H_{REF} \quad (2) \\10 \times 2,0 + 15 \times 1,4 + h_{SB} \times 1,0 &\geq 48,0 \text{ cm} \\41,0 + h_{SB} &\geq 48,0 \text{ cm} \\h_{SB} &\geq 7,0 \text{ cm}\end{aligned}$$

Será adotada a espessura mínima de 10 cm para a camada, por motivos construtivos e para atender à espessura mínima preconizada no método de dimensionamento.

Portanto, a somatória das espessuras das camadas de sub-base (BGS) ($SB = 10,0$), base de BGTC ($B = 15,0$) e revestimento ($R = 10,0$), multiplicado pelos respectivos coeficientes estruturais, atende, com segurança, à espessura total em termos de material granular $H_{SL} = 48,0$ cm.

7.2 Exemplo Nº 2

Dimensionar a estrutura de um pavimento para tráfego muito pesado, considerando os seguintes parâmetros definidos na concepção do projeto:

Suporte	$CBR_{SL} = 4\%$
Reforço do subleito	$CBR_{REF} = 7\%$
Sub-base (BGS), espessura	H_{SB} , coeficiente = $K_{SB} = 1,0$
Base de (BGTC), espessura mínima	(B) = 20,0 cm, $K_B = 1.4$
Revestimento asfáltico, espessura mínima	(R) = 12,5 cm, $K_R = 2,0$



IP- 05/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
TRÁFEGO MEIO PESADO, PESADO, MUITO PESADO
E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS

a) Determinação das espessuras das camadas da estrutura do pavimento

O dimensionamento do pavimento será obtido com o auxílio do ábaco da Figura 5.1 e pela resolução das inequações do item 5.2.2.

- Cálculo da espessura de base

Majorando a inequação (1) em 20%, conforme preconiza o método de dimensionamento ($N > 10^7$), e adotando-se uma camada de BGS como sub-base (limite para dimensionamento CBR = 20%). Através do ábaco da Figura 5.1, para $CBR_{SB} = 20\%$, obtém-se a espessura $H_{SB} = 30,0$ cm, e com a resolução da inequação (4) apresentada a seguir, tem-se:

$$\begin{aligned}R \times K_R + B \times K_B &\geq 1,20 H_{SB} \\12,5 \times 2,0 + B \times 1,4 &\geq 1,2 \times 30,0\text{cm} \\25 + B \times 1,4 &\geq 36,0 \text{ cm} \\B \times 1,4 &\geq 11,0 \text{ cm} \\B &\geq 7,8 \text{ cm}\end{aligned}$$

Será adotada para camada de BGTC a espessura mínima de 20,0 cm, de acordo com a espessura recomendada no item 5.3 – Quadro 5.3.

- Cálculo da espessura da sub-base

Adotando para a camada de reforço do subleito um material com CBR = 7% e para a camada de sub-base a utilização de Brita Graduada Simples (BGS) com coeficiente estrutural $K_{SB} = 1,0$, obtém-se no ábaco da Figura 5.1, para $CBR_{REF} = 7\%$, o valor = $H_{REF} 61,0$ cm. Através da resolução da inequação (2), tem-se:

$$\begin{aligned}R \times K_R + B \times K_B + h_{SB} \times K_{SB} &\geq H_{REF} \text{ (2)} \\12,5 \times 2,0 + 20 \times 1,4 + h_{SB} \times 1,0 &\geq 61,0 \text{ cm} \\53 + h_{SB} &\geq 61 \text{ cm} \\h_{SB} &\geq 8,0 \text{ cm}\end{aligned}$$

Será adotada a espessura de 10,0 cm, a qual atende à espessura mínima recomendada para execução de camada granular.



IP- 05/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
TRÁFEGO MEIO PESADO, PESADO, MUITO PESADO
E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS

- Cálculo da espessura do reforço do subleito

Considerando o valor de suporte subleito $CBR_P = 4\%$, obtém-se, através do ábaco de dimensionamento da Figura 1, a espessura correspondente ao material granular $H_{SL} = 80,0$ cm.

- Cálculo do coeficiente estrutural (K_{REF})

$CBR_{REF} / CBR_{SL} = 7/4 = 1,75$, entrando com este valor no Quadro 5.5, obtém-se $K_{REF} = 0,84$. Através da resolução da inequação (3), determina-se a espessura da camada de reforço:

$$\begin{aligned} R \times K_R + B \times K_B + h_{SB} \times K_{SB} + h_{REF} \times K_{REF} &\geq H_{SL} \\ 12,5 \times 2,0 + 20 \times 1,4 + 10 \times 1,0 + h_{REF} \times 0,84 &\geq 82,0 \text{ cm} \\ 63 + 0,84 h_{REF} &\geq 82,0 \text{ cm} \\ 0,84 h_{REF} &\geq 19,0 \text{ cm} \\ h_{REF} &\geq 20,23 \text{ cm} \end{aligned}$$

Será adotado $h_{REF} = 21,0$ cm

b) Verificação do dimensionamento

O Quadro 7.2 apresenta a síntese e verificação do dimensionamento.

Quadro 7.2

Verificação do dimensionamento

CAMADA	ESPESSURA (cm)	COEFICIENTE ESTRUTURAL - K	ESPESSURA (cm) EM TERMOS DE MATERIAL GRANULAR
Revestimento (CAUQ)	12,5	2,0	25,0
Base Cimentada (BGTC)	20,0	1,4	28,0
Sub-Base (BGS)	10,0	1,0	10,0
Reforço subleito	21,0	0,84	17,64
Espessura total em termos de material granular			$\Sigma = 80,64$ cm



IP- 05/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
TRÁFEGO MEIO PESADO, PESADO, MUITO PESADO
E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS

Portanto, a somatória das espessuras, multiplicada pelos respectivos coeficientes estruturais, atende à espessura total em termos de material granular $H_{SL} = 80,0$ cm, satisfazendo plenamente o preconizado no método de dimensionamento no que se refere às espessuras mínimas recomendadas para as diversas camadas do pavimento em questão.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É obrigatória a verificação das tensões e deformações das camadas na estrutura final projetada, através de métodos mecanicistas, conforme Instrução de Projeto - IP-08 – Análise Mecanicista à Fadiga de Estruturas de Pavimentos, da SIURB/PMSP.