



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

1. OBJETIVO

O objetivo deste documento é apresentar as diretrizes para o dimensionamento de pavimentos flexíveis de vias urbanas submetidas a tráfego leve e médio no Município de São Paulo.

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 4.1 resume os principais parâmetros da classificação das vias obtidas da referida instrução.

Quadro 4.1

Classificação das Vias - Tráfego Leve e Médio

FUNÇÃO PREDOMINANTE	TRÁFEGO PREVISTO	VIDA DE PROJETO (ANOS)	VOLUME INICIAL DA FAIXA MAIS CARREGADA		N	N Característico
			VEICULO LEVE	CAMINHÕES E ÔNIBUS		
Via Local Residencial C/ Passagem	Leve	10	100 a 400	4 a 20	2,7 x 10 ⁴ a 1,4 x 10 ⁵	10 ⁵
Via Coletora Secundária	Médio	10	401 a 1500	21 a 100	1,4 x 10 ⁵ a 6,8 x 10 ⁵	5 x 10 ⁵



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

3.2 CARGA LEGAL

No presente método de dimensionamento, foi considerado que a carga máxima legal para o eixo simples de rodas duplas no Brasil 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, 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 método ME-47 e ME-56, e pela determinação expedita do *mini-CBR* por penetração dinâmica (ME-55 da SIURB/PMSP).
- No caso de ocorrência de subleito com suporte $< 2\%$ deverá ser feita sua substituição por solo com suporte $\geq 5\%$ e expansão $< 2\%$, na espessura indicada no projeto.
- Para subleitos com solos que apresentam expansão $\geq 2\%$ e suporte $CBR < 2\%$, deverá ser acrescida em projeto uma camada de reforço com no mínimo 40 cm de espessura sobre a camada final de terraplenagem, executada com solo selecionado com $CBR \geq 5\%$ e expansão $< 2\%$ (valores estatísticos).



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

- 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 peso superior ao peso determinado no ensaio.
- O projetista poderá utilizar outros critérios e soluções, desde que devidamente justificados e aceitos pela SIURB/PMSP.

5. DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO

5.1 DIMENSIONAMENTO PARA TRÁFEGO LEVE

5.1.1 Tráfego

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

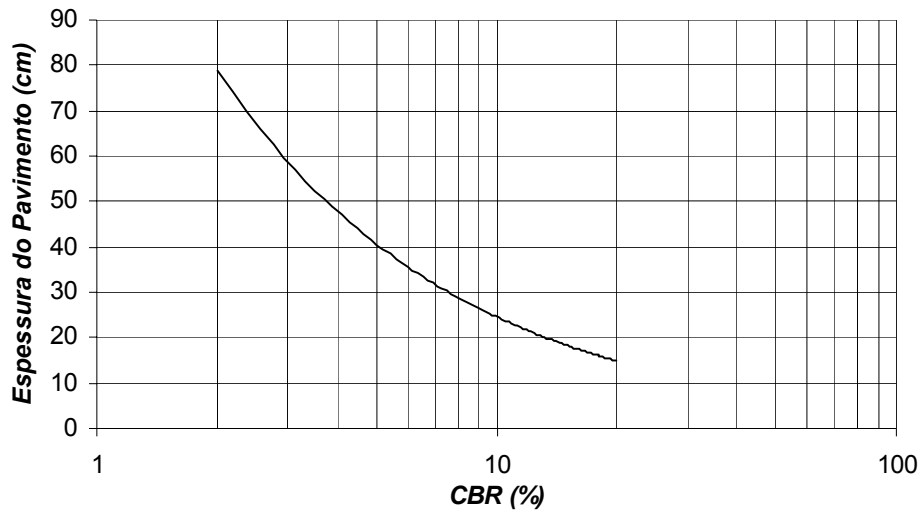
- Tráfego Leve: "N" característico = 10^5 solicitações

5.1.2 Espessura Total do Pavimento

Definido o tipo de tráfego do 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 o ábaco da Figura 4.1, apresentado a seguir.



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO



VALORES TABELADOS

CBR	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20
Heq	75	56	48	42	37	33	30	27	25	23	21	18	14

Figura 4.1

Ábaco de Dimensionamento (fonte: US Army Corps of Engineers)

5.1.3 Tipo e Espessura da Camada de Rolamento

O revestimento asfáltico será constituído de uma camada de Pré-Misturado a Quente (PMQ) ou Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ) com a espessura mínima (R) apresentada no Quadro 4.2.

Quadro 4.2

Espessuras mínimas de revestimento

TRÁFEGO	TIPO DE REVESTIMENTO	ESPESSURA (R) em cm
LEVE	PMQ	4.0
	CAUQ	3.5



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

Poderão ser aceitos revestimentos de macadame betuminoso com capa selante ou tratamento superficial triplo desde que as condições topográficas assim o permitam (rampas $\leq 6\%$). Esta restrição impõe-se, especialmente, em função de dificuldades executivas com rampas superiores a 6%.

5.1.4 Espessuras das demais camadas

Uma vez determinada a espessura total do pavimento (H_{SL}), em termos de material granular, e fixada a espessura 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:

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

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

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

onde:

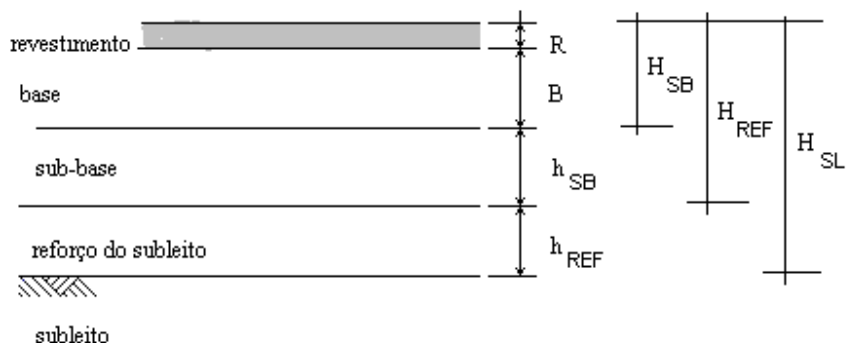
K_R , K_B , K_{SB} , K_{REF} representam os coeficientes estruturais do revestimento, da base, da sub-base e do reforço do subleito, respectivamente; H_{SB} , H_{REF} e H_{SL} são as espessuras em termos de material granular, fornecidas pela Figura 4.1 para materiais com CBR_{SB} , CBR_{REF} e CBR_{SL} ou Mini- CBR_{SB} , Mini- CBR_{REF} e Mini- CBR_{SL} , respectivamente (ver esquema elucidativo para cálculo de espessuras abaixo).

A estrutura do pavimento deverá conter ou não a sub-base, a critério do projetista.



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

Esquema Elucidativo



5.1.5 Materiais e espessuras mínimas recomendadas

a) Espessuras mínimas

A espessura mínima a adotar para uma camada estabilizada granulometricamente ou para qualquer camada do pavimento executada com solo ou mistura de solo agregado, deverá atender a especificação de serviço correspondente.

A base poderá ser do tipo mista convencional, constituída por macadame betuminoso e de macadame hidráulico, obedecendo as espessuras mínimas para cada tipo de tráfego (quadro 4.3). Podem-se usar outros tipos de bases, desde que aprovadas pelo corpo técnico da Prefeitura.

Quadro 4.3

Espessuras mínimas para tipos distintos de base

TIPO DE TRAFEGO	ESPESSURAS MÍNIMAS PARA BASES MISTAS	FAIXA GRANULOMETRICA
Leve	Macadame Betuminoso 5 cm	II
	Macadame Hidráulico/BGS 10 cm	II e III



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

b) Materiais recomendados para as diversas camadas do pavimento

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

No caso de sub-bases e 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 8 0%
	Expansão \leq 0,5%
Sub-bases:	CBR \geq 30 %
	Expansão \leq 1,0 %

No caso em que o projetista preconize o uso de bases estabilizadas de macadame hidráulico, deverá ser executado sobre a imprimação impermeabilizante da base de macadame hidráulico 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.

Materiais próprios para reforço do subleito são os de *CBR* superior ao apresentado pelo subleito e com expansão inferior a 2%, medida com sobrecarga de 4,5 Kg. No caso de adoção da seção tipo, exemplificada na Figura 4.2, o valor de suporte *CBR* deverá ser superior a 11% e expansão inferior a 2%.

5.1.6 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.



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

Para as camadas de pavimento executadas de acordo com as Instruções de Execução da Prefeitura do Município de São Paulo, são adotados os coeficientes de equivalência estrutural apresentados no Quadro 4.4.

Quadro 4.4

Coeficientes de equivalência estrutural

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

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 suportes da sub-base, reforço e subleito.

Destas expressões, resultam os coeficientes estruturais apresentados no Quadro 4.5, em função das relações CBR_{SB}/CBR_{SL} e CBR_{REF}/CBR_{SL} :



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

Quadro 4.5

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

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



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

5.1.7 Superestruturas Típicas Recomendadas para Revestimento e Base

A Figura 4.2 apresenta as superestruturas típicas recomendadas para revestimento e base, para subleito com $CBR \geq 11\%$ e para os pertencentes ao universo U1 e U2.

Caso o projetista adote as superestruturas indicadas na Figura 4.4, o dimensionamento da estrutura do pavimento ficará praticamente restrito à determinação das características e espessuras das camadas de reforço do subleito ou da sub-base.

PMQ	4,0 cm
IMP LIGANTE	
MB	5,0 cm
IMP IMPERM	
MH	10,0 cm
subleito compactado a 100% da energia normal $CBR \geq 11\%$	15,0 cm

CAUQ	3,5 cm
IMP LIGANTE	
MB	5,0 cm
IMP IMPERM	
MH	10,0 cm
subleito compactado a 100% da energia normal $CBR \geq 11\%$	15,0 cm

PMQ	4,0 cm
IMP LIGANTE	
MB	5,0 cm
IMP IMPERM	
MH	10,0 cm
REFORÇO SUBLEITO $CBR \geq 11\%$	H ref
subleito compactado a 100% da energia normal CBR variável	15,0 cm

CAUQ	3,5 cm
IMP LIGANTE	
MB	5,0 cm
IMP IMPERM	
MH	10,0 cm
REFORÇO SUBLEITO $CBR \geq 11\%$	H ref
subleito compactado a 100% da energia normal CBR variável	15,0 cm

Nota:

Outras estruturas podem ser usadas desde que atendam o método em questão.

Figura 4.2

Superestruturas para Tráfego Leve (valor Típico para $N = 10^5$ solicitações)



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

5.2 DIMENSIONAMENTO PARA TRÁFEGO MÉDIO

5.2.1 Tráfego

Para efeito de dimensionamento da estrutura do pavimento, os tráfegos serão caracterizados conforme a Instruções de Projeto IP – 02 – Classificação das Vias da SIURB/PMSP, onde:

- Tráfego Médio: "N" característico = 5×10^5 solicitações

5.2.2 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 o ábaco da Figura 4.3.

5.2.3 Tipo e Espessura da Camada de Rolamento

A espessura da camada de rolamento deverá ter no mínimo 5,0 cm de Concreto Asfáltico Usinado a Quente.

5.2.4 Espessura 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:

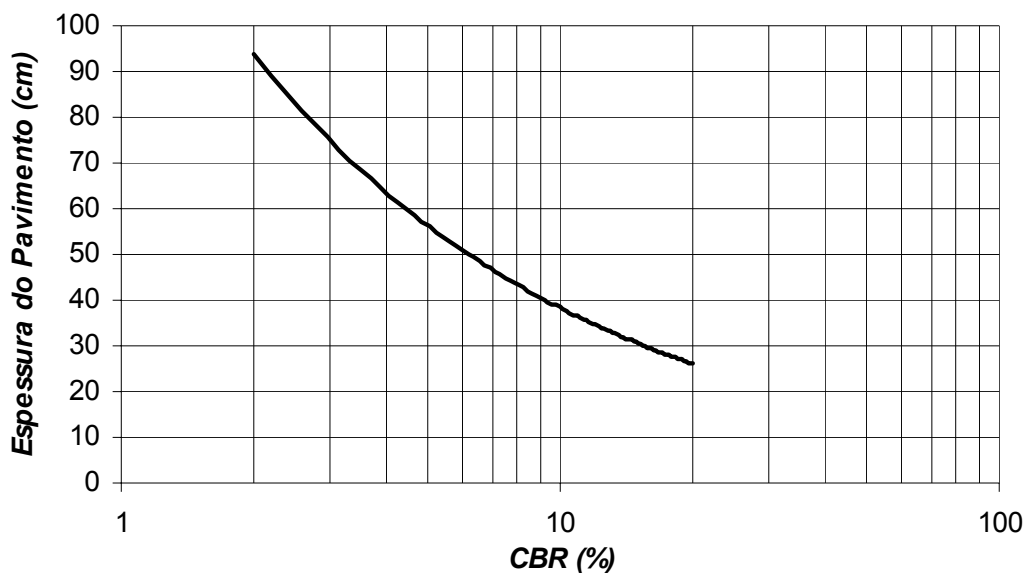
$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{SB} \quad (1)$$

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

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



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO



VALORES TABELADOS

CBR	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20
Heq	95	75	64	57	51	48	44	40	39	34	30	26

Figura 4.3

Ábaco de Dimensionamento (fonte: DNIT)

5.2.5 Coeficientes de Equivalência Estrutural

O coeficiente de equivalência estrutural de um material é definido como a relação entre as espessuras de uma base granular e de uma camada de material considerado que apresente o mesmo comportamento, 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 Instruções de Execução da Prefeitura do Município de São Paulo, serão adotados os coeficientes de equivalência estrutural conforme apresentado no item 5.1.6.



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

5.2.6 *Materiais das Diversas Camadas do Pavimento*

Os materiais próprios para as camadas de revestimento, base e reforço do subleito deverão obedecer as Instruções de Execução em vigor na Prefeitura do Município de São Paulo.

A espessura mínima da base, em termos de equivalente granular deverá ser de 15 cm. 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%

No caso em que o projetista preconize o uso de bases estabilizadas 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.

A base poderá ser do tipo mista convencional, constituída de macadame betuminoso e de macadame hidráulico, obedecendo as espessuras mínimas para o tipo de tráfego em questão, conforme apresentado no Quadro 4.6. Podem-se usar outros tipos de bases, desde que aprovadas pelo corpo técnico da PMSP.

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. No caso da adoção da seção tipo exemplificada na Figura 4.4, o material do subleito deverá apresentar CBR \geq 19%. Caso o CBR do subleito não atinja 19%, deverá ser realizado estudo de dosagem para estabilização granulométrica, neste caso, dispensando a



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

execução de uma camada de sub-base com $CBR \geq 30\%$. Mesmo que o CBR do reforço do subleito seja superior a 20% deverá ser considerado como se fosse igual a 20% para efeito de cálculo.

Quadro 4.6

Espessuras mínimas para base mista

TIPO DE TRÁFEGO	ESPESSURAS MÍNIMAS
Médio	Binder = 4,0 cm Macadame Betuminoso = 5,0 cm Macadame Hidráulico/ BGS = 10,0 cm

5.2.7 Superestruturas Típicas Recomendadas para Revestimento, Base e Reforço do Subleito / Sub-base

Caso o projetista adote as superestruturas indicadas na Figura 4.4, o dimensionamento da estrutura do pavimento ficará praticamente restrito à determinação das características e espessuras das camadas de reforço do subleito e/ou Sub-base.

CAUQ	5,0 cm
IMP LIGANTE	
MB	5,0 cm
IMP IMPERM	
MH/BGS	10,0 cm
subleito compactado a 100% da energia normal $CBR \geq 19\%$	15,0 cm

CAUQ	5,0 cm
IMP LIGANTE	
PMQ/BINDER	4,0 cm
IMP IMPERM	
MH/BGS	10,0 cm
subleito compactado a 100% da energia normal $CBR \geq 19\%$	15,0 cm



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

CAUQ	5,0 cm
IMP LIGANTE	
MB	5,0 cm
IMP IMPERM	
MH/BGS	10,0 cm
REFORÇO SUBLEITO CBR $\geq 19\%$	H ref
subleito compactado a 100% da energia normal CBR variável	15,0 cm

CAUQ	5,0 cm
IMP LIGANTE	
PMQ	4,0 cm
IMP IMPERM	
MH/BGS	10,0 cm
REFORÇO SUBLEITO CBR $\geq 19\%$	H ref
subleito compactado a 100% da energia normal CBR variável	15,0 cm

Nota:

Outras estruturas podem ser usadas desde que atendam o método em questão.

Figura 4.4

Superestrutura para tráfego médio (valor Típico para $N = 5 \times 10^5$ solicitações)

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 1,50 m 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.



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

6.3 INFRA-ESTRUTURA DAS VIAS

Pressupõe-se que as vias a serem pavimentadas sejam dotadas de toda a infraestrutura, redes de água e esgoto, e captação de água superficial, executada de acordo com as especificações de serviço dos órgãos competentes.

7. EXEMPLOS DE DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

7.1 TRÁFEGO LEVE

Dimensionar a estrutura de um pavimento de um sub-trecho viário para tráfego leve, segundo a caracterização de tráfego do item 3.1, sendo o solo do subleito caracterizado pelos valores indicados no Quadro 4.7.

Quadro 4.7

Valores de CBR do subleito

ESTACAS	CBR	ESTACAS	CBR
100	14	128	11
104	10	132	12
108	13	136	11
112	11	140	12
116	12	144	13
120	12	148	12
124	12	152	13

a) Cálculo do suporte CBR de subleito para projeto

- Cálculo CBR Médio (\overline{CBR})

$$\overline{CBR} = \frac{\sum CBR_i}{n} = 12\%$$

- Cálculo do Desvio Padrão (S)

$$s = \sqrt{\frac{\sum [CBR_i - \overline{CBR}]^2}{n - 1}} = 1,04\%$$



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

- Cálculo do CBR de projeto

$$CBR_p = \overline{CBR} - \frac{S \times t_{0,90}}{\sqrt{n}} \cong 11\%$$

b) Adoção de materiais na concepção do pavimento

Revestimento betuminoso - CAUQ

$R = 3,5 \text{ cm}$, $K_R = 2,0$

Base Mista constituída por:

- Macadame Betuminoso (MB) B_{MB} , $K_{MB} = 1,2$
- Macadame Hidráulico (MH) B_{MH} , $K_{MH} = 1,0$

c) Determinação das espessuras das camadas da estrutura do pavimento

O dimensionamento do pavimento será obtido através do ábaco de dimensionamento (Figura 4.1) e pela resolução das inequações do item 5.1.4:

- Cálculo da espessura da base

Adotando a espessura mínima recomendada para revestimento constituído por concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ), com espessura $R = 3,5 \text{ cm}$ e $K_R = 2,0$, base mista constituída por macadame betuminoso (B_{MB}) com coeficiente estrutural $K_{MB} = 1,2$ e macadame hidráulico (B_{MH}), com $K_{MH} = 1,0$ e valor de suporte $CBR_{SL} = 11\%$.

Com o valor $CBR = 11\%$ para o subleito, obtém-se, no ábaco de dimensionamento Figura 4.1, a espessura $H_{SL} = 23,0 \text{ cm}$, no caso, correspondendo à espessura total do pavimento em termos de material granular.

$$\begin{aligned} R \times K_R + B \times K_B &\geq H_{SL} (1) \\ 3,5 \times 2,0 + B \times 1,0 &\geq 23,0 \text{ cm} \\ B &\geq 16,0 \text{ cm} \end{aligned}$$

onde:

$$B = B_{MB} + B_{MH}$$

$$B_{MB} \times K_{MB} + B_{MH} \times K_{MH} \geq 16,0$$



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

Fixando a espessura mínima recomendada para a camada de macadame betuminoso $B_{MB} = 5,0$ cm, obtém-se:

$$5,0 \times 1,2 + B_{MH} \times 1,0 \geq 16,0$$

$$6,0 + B_{MH} \geq 16,0$$

$$B_{MH} \geq 10,0 \text{ cm}$$

Portanto, a somatória das espessuras das camadas de base mista ($B_{MB} = 5,0$ cm + $B_{MH} = 10,0$) e revestimento $R = 3,5$ cm, multiplicadas pelos respectivos coeficientes estruturais, atende à espessura total em termos granular $H_{SL} = 23,0$ cm, satisfazendo plenamente o método de dimensionamento para o exemplo em questão.

7.2 Exemplo 2

Considerando o valor estatístico de CBR_{SL} igual a 6% e tráfego leve, a solução do dimensionamento será a que segue:

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

Revestimento betuminoso (PMQ) $R = 4,0$ cm, $K_R = 1,8$

Base Mista constituída por:

- Macadame Betuminoso $B_{MB} = 5,0$ cm $K_{MB} = 1,2$
- Macadame Hidráulico (MH) B_{MH} , $K_{MH} = 1,0$

Reforço do subleito $CBR = 11$ %, $K_{REF} =$ obtido no Quadro 4.5.

b) Determinação das espessuras das camadas da estrutura do pavimento

O dimensionamento do pavimento será obtido com o auxílio do ábaco da Figura 4.1 e pela resolução das inequações do item 5.1.4.

- Cálculo da espessura da Base

Considerando o valor do suporte CBR do reforço do subleito = 11 % através do ábaco da Figura 4.1, obtém-se a espessura $H_{SB} = 23,0$ cm e, com a resolução da inequação (1), tem-se:



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

$$\begin{aligned}R \times K_R + B \times K_B &\geq H_{SB} \\4 \times 1,8 + B \times K_B &\geq 23,0\text{cm} \\7,2 + B \times 1,0 &\geq 23,0\text{cm} \\B &\geq 15,8\end{aligned}$$

onde:

$$B = B_{MB} + B_{MH}$$

$$B_{MB} \times K_{MB} + B_{MH} \times K_{MH} \geq 15,8\text{cm}$$

Fixando a espessura mínima recomendada para base de macadame betuminoso (B_{MB}) = 5,0, teremos:

$$\begin{aligned}5,0 \times 1,2 + B_{MH} \times 1,0 &\geq 15,8 \\6 + B_{MH} &\geq 15,8 \\B &\geq 9,8\text{cm} \\B_{MH} &= 10,0\text{cm}\end{aligned}$$

- Cálculo da espessura do reforço do subleito

Considerando o valor suporte $CBR_{SL} = 6\%$, obtém-se, através do ábaco da Figura 4.1, a espessura $H_{SL} = 37,0$ cm.

- Cálculo do coeficiente estrutural K_{ref}

$C B R_{REF} / C B R_{SL} = 11/6 = 1,8$: entrando com este valor no quadro 4.5, obtém-se $K_{ref} = 0.85$. Através da resolução da inequação 3, determina-se a espessura da camada de reforço:

$$\begin{aligned}R \times K_R + B \times K_B + H_{SB} \times h_{SB} + h_{ref} \times K_{ref} &\geq H_{SL} \\4 \times 1,8 + (5,0 \times 1,2 + 10 \times 1,0) + 0 \times K_{SB} + h_{ref} \times 0,85 &\geq 37,0\text{cm} \\7,2 + 6,0 + 10 + 0,85h_{REF} &\geq 37,0\text{cm} \\0,85h_{REF} &\geq 13,8\text{cm} \\h_{REF} &\geq \frac{13,8\text{cm}}{0,85} \\\therefore h_{REF} &\geq 16,23\text{cm}\end{aligned}$$

(Adotado 17,0 cm)



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

Portanto, a somatória das espessuras das camadas de base mista ($MB=5,0\text{ cm} + MH = 10,0\text{ cm}$), revestimento $R = 4,0\text{ cm}$ e reforço $H_{REF} = 17,0\text{ cm}$, multiplicadas pelos respectivos coeficientes estruturais, atende à espessura total em termos de material granular $H_{SL} = 37,0\text{ cm}$.

7.2 EXEMPLO 3 - TRÁFEGO MÉDIO

Dimensionar a estrutura de um pavimento de um sub-trecho viário para tráfego médio, segundo a caracterização de tráfego do item 5.2.1, sendo o solo do subleito caracterizado pelo suporte $CBR_{SL} = 10\%$ (valor estatístico):

a) Materiais e espessuras mínimas adotados:

Revestimento betuminoso CAUQ $R = 5,0\text{ cm}$, $K_R = 2,0$

Base Mista:

- Macadame Betuminoso $B_{MB} = (?)\text{ cm}$, $K_{MB} = 1,2$
- Macadame Hidráulico $B_{MH} = (?)\text{ cm}$, $K_{MH} = 1,0$

Reforço do subleito, constituído por uma mistura solo-brita com $CBR > 25\%$, K_{REF} obtido através do Quadro 4.5.

b) Cálculo das espessuras das camadas do pavimento

O dimensionamento do pavimento será obtido através do ábaco da Figura 4.3 e pela resolução das inequações do item 5.2.4.

- Cálculo da espessura da base

Adotando o valor do suporte $CBR_{REF} = 20\%$, através do ábaco de dimensionamento Figura 5.3, obtém-se a espessura $H_{SB} = 26,0\text{ cm}$. Com a resolução da inequação (1), determina-se a espessura B correspondente à camada de base:



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

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

$$5 \times 2,0 + B \times 1,0 \geq 26,0$$

$$10 + B \geq 26,0$$

$$B \geq 16,0 \text{ cm}$$

onde:

$$B = B_{MB} + B_{MH}$$

$$B_{MB} \times K_{MB} + B_{MH} \times K_{MH} \geq 16,0 \text{ cm}$$

Fixando a espessura mínima recomendada para base de macadame betuminoso (B_{MB}) = 5,0, teremos:

$$5,0 \times 1,2 + B_{MH} \times 1,0 \geq 16,0$$

$$6 + B_{MH} \geq 16,0$$

$$B \geq 10,0 \text{ cm}$$

$$B_{MH} = 10,0 \text{ cm}$$

- Cálculo da espessura do reforço

Utilizando na estrutura do pavimento a camada de reforço $CBR=25\%$ e $CBR_{SL} = 10\%$, determina-se o valor do coeficiente estrutural $K_{REF} = 0,95$. Através do ábaco da Figura 4.3, obtém-se o valor $H_{SL} = 39,0$ cm.

Resolvendo a inequação (3) temos:

$$R \times K_R + B \times K_B + H_{REF} \times K_{REF} \geq H_{SL}$$

$$2 \times 5 + (5 \times 1,2 + 10 \times 1,0) + H_{REF} \times 0,95 \geq 39,0 \text{ cm}$$

$$10 + 16 + 0,95 H_{REF} \geq 39$$

$$H_{REF} \geq \frac{13}{0,95}$$

$$H_{REF} \geq 13,68 \text{ cm}$$

(adotado 14,0 cm)



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

c) Verificação do dimensionamento

O Quadro 4.8 apresenta a síntese e verificação do dimensionamento.

Quadro 4.8

Verificação do dimensionamento

CAMADA	ESPESSURA (cm)	COEFICIENTE ESTRUTURAL (K)	ESPESSURA EQUIVALENTE (cm)
Revestimento (CAUQ)	5,0	2,0	10,0
Base mista			
M. Betuminoso	5,0	1,2	6,0
M.Hidráulico	10,0	1,0	10,0
Reforço subleito	14,0	0,95	13,3
Espessura total em termos de material granular			$\Sigma = 39,3cm$

Portanto, a somatória das espessuras das camadas, multiplicadas pelos respectivos coeficientes estruturais, atende à espessura total em termos de material granular $H_{SL} = 39,0$ 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

Para tráfego médio com estruturas diferentes da estrutura típica (item 5.2.7) será obrigatória a verificação das tensões e deformações na estrutura final projetada, por meio de métodos mecanicistas, conforme a Instrução de Projeto IP – 08 – Análise Mecanicista à Fadiga de Estruturas de Pavimento, da SIURB/PMSP.

Para tráfego leve, não é obrigatória a verificação das tensões e deformações através dos métodos mecanicistas, porém recomenda-se, quando necessário, o uso do procedimento para a escolha de alternativas diferentes de estrutura de pavimento.

Para cargas excepcionais que porventura tenham que trafegar em vias públicas da PMSP, deverá ser avaliado, por engenheiro especialista na área, o possível dano na estrutura do pavimento projetado segundo esse procedimento.



IP-04 INSTRUÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PARA TRÁFEGO LEVE E MÉDIO

Caso haja necessidade de passagem de cargas excepcionais, deverão ser tomadas providências legais junto ao DSV-CET, e os custos de reforço do pavimento e/ou reconstrução, se necessários, deverão ser discutidos entre os órgãos da PMSP e o responsável pela carga excepcional. Não se recomenda a passagem de cargas excepcionais em vias de características de tráfego leve e médio.