



IP-06/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM BLOCOS
INTERTRAVADOS DE CONCRETO

1. OBJETIVO

O objetivo deste documento é fornecer os subsídios de projeto para pavimentos com peças pré-moldadas de concreto no Município de São Paulo, orientando e padronizando os procedimentos de caráter técnico.

As várias etapas aqui descritas têm caráter de execução consecutiva, podendo, entretanto, ser concomitantes, dependendo das necessidades e prioridades envolvidas no empreendimento, o que será objeto de análise pelos órgãos da Prefeitura do Município de São Paulo e pelas empresas de projeto prestadoras de serviço.

2. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A pavimentação urbana com revestimento em blocos pré-moldados de concreto de cimento Portland constitui-se em alternativa estrutural de pavimento de modelo flexível, apresentando algumas vantagens em relação aos modelos com maior rigidez. O pavimento com blocos pré-moldados representa uma versão moderna e com grandes aperfeiçoamentos dos antigos calçamentos, efetuados com blocos de cantaria (paralelepípedos), notando-se evolução destacada na forma, em planta, dos blocos e no seu processo de fabricação.

Quanto às formas do bloco, são definidas de maneira a produzir boa transferência de carga entre o que estiver sendo carregado e os adjacentes, por meio do contato entre faces (intertravamento) sendo que a estrutura irá trabalhar de maneira satisfatória, onde se processa um alívio de tensões transmitidas ao subleito e às camadas do pavimento.

A adoção do revestimento com peças de concreto pré-moldadas poderá levar em conta, além do custo e do prazo para implantação, os seguintes aspectos:

- Quando forem relevantes no projeto, as propriedades características do concreto, como a resistência à compressão, abrasão e ação de agentes agressivos;



IP-06/2004 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO

- Quando for relevante no projeto, a utilização de mão-de-obra não especializada e de fácil obtenção no local, tendo em vista a relativa simplicidade do processo construtivo do revestimento;
- Quando for relevante no empreendimento, a imediata liberação ao tráfego após a conclusão dos serviços;
- Quando, na via urbana a ser pavimentada, estiver previstos melhoramentos futuros, como instalações de canalização subterrânea, pela facilidade de remoção dos blocos e seu posterior reaproveitamento;
- Quando o greide de fundação do pavimento estiver com o nível d'água próximo à superfície.

Na implantação do revestimento com blocos pré-moldados, além dos aspectos acima mencionados e dos abordados a seguir, deverão ser observados os detalhes técnicos, as especificações gerais e as instruções da Prefeitura do Município de São Paulo, no que se refere à implantação geométrica e drenagem de águas pluviais.

Este tipo de pavimentação deverá, preferencialmente, ser utilizado para vias de baixo volume de tráfego.

3. ESTUDO GEOTÉCNICO DO SUBLEITO

Os serviços Geológico-Geotécnicos para caracterização do subleito deverão respeitar a Instrução de Projeto IP-01 – Instrução Geotécnica.

4. TRÁFEGO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO

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

O Quadro 6.1 resume os principais parâmetros de classificação das vias obtidas da referida instrução.



IP-06/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM BLOCOS
INTERTRAVADOS DE CONCRETO

4.2 CARGA LEGAL

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

Quadro 6.1

Classificação das vias e parâmetros de tráfego

Função predominante	Tráfego previsto	Vida de projeto	Volume inicial faixa mais carregada		Equivalente / Veículo	N	N característico
			Veículo Leve	Caminhão/Ônibus			
Via local	LEVE	10	100 a 400	4 a 20	1,50	2,70 x 10 ⁴ a 1,40 x 10 ⁵	10 ⁵
Via Local e Coletora	MÉDIO	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	1,40x 10 ⁵ a 6,80x 10 ⁵	5 x 10 ⁵
Vias Coletoras e Estruturais	MEIO PESADO	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	1,4 x 10 ⁶ a 3,1 x 10 ⁶	2 x 10 ⁶
	PESADO	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,90	1,0 x 10 ⁷ a 3,3 x 10 ⁷	2 x 10 ⁷
	MUITO PESADO	12	> 10000	1001 a 2000	5,90	3,3 x 10 ⁷ a 6,7 x 10 ⁷	5 x 10 ⁷
Faixa Exclusiva de Ônibus	VOLUME MÉDIO	12		< 500		3 x 10 ⁶ (1)	10 ⁷
	VOLUME PESADO	12		> 500		5 x 10 ⁷	5 x 10 ⁷



IP-06/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM BLOCOS
INTERTRAVADOS DE CONCRETO

5. 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 índice de Suporte Califórnia (ME-9/92 ou ME-54/92, da SIURB/PMSP) 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 de material do subleito (solos moles, orgânicos ou turfosos), deverá ser considerado o valor do índice de suporte do solo de empréstimo.
- Na determinação do índice de suporte do subleito, empregar-se-á o Ensaio Normal de Compactação de Solos (ME-7/92 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-47/92 e ME-56/92 da SIURB/PMSP, ou pela determinação expedita do Mini-CBR por penetração dinâmica (ME-55/92 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 o mesmo apresente peso superior ao determinado no ensaio.
- O projetista poderá utilizar outros critérios e soluções, desde que devidamente justificados e aceitos pela SIURB/PMSP.



IP-06/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM BLOCOS
INTERTRAVADOS DE CONCRETO

6. ESTRUTURA DO PAVIMENTO

Os pavimentos de blocos pré-moldados de concreto para vias urbanas são, nesta Instrução de Projeto, dimensionados por dois métodos de cálculo preconizados pela ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland, aqui transcritos, sendo o seu entendimento e a sua aplicação ilustrados com exemplos práticos.

Os métodos utilizam-se, basicamente, de dois gráficos de leitura direta, fornecendo as espessuras necessárias das camadas constituintes do pavimento de blocos pré-moldados.

A escolha do método de dimensionamento do pavimento da via ficará entre as duas opções propostas a seguir, em função do número "N" de solicitações do eixo simples padrão.

Salientamos, entretanto, que a presente diretriz tem como objetivo principal a execução de pavimentos de vias submetidas até tráfego médio. O uso deste procedimento em vias de tráfego pesado deverá ser acompanhado de estudos mais detalhados, ficando a critério da projetista a definição da metodologia e do procedimento de dimensionamento a adotar, desde que aprovado pela SIURB/PMSP.

Os métodos citados devem ser utilizados respeitando as seguintes considerações:

a) Procedimento A (ABCP/ET-27)

Sua utilização é mais recomendada para vias com as seguintes características:

- Vias de tráfego leve com "N" típico até 10^5 solicitações do eixo simples padrão, por não necessitar de utilização da camada de base, gerando portanto estruturas esbeltas e economicamente mais viáveis em relação ao procedimento B.
- Vias de tráfego meio pesado a pesado com "N" típico superior a $1,5 \times 10^6$ em função do emprego de bases cimentadas, sendo tecnicamente mais adequado do que o procedimento B.



IP-06/2004 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO

b) Procedimento B (PCA - Portland Cement Association)

Sendo mais indicado para o dimensionamento de vias de tráfego médio a meio pesado com "N" típico entre 10^5 e $1,5 \times 10^6$ solicitações, em função da utilização de bases granulares que geram estruturas mais seguras, adotando o princípio de que as camadas do pavimento a partir do subleito sejam colocadas em ordem crescente de resistência, de modo que as deformações por cisalhamento e por consolidação dos materiais reduzam a um mínimo as deformações verticais permanentes.

O Quadro 6.2 ilustra a aplicação dos procedimentos descritos.

Quadro 6.2

Prioridade (p) de utilização dos procedimentos de dimensionamento

PROCEDIMENTO	TIPO DE TRÁFEGO			
	L	M	MP	P
A	1ª p	2ª p	1ª p	1ª p
B	2ª p	1ª p	1ª p	2ª p

7. DIMENSIONAMENTO

7.1 PROCEDIMENTO A

Este procedimento foi adaptado pela ABCP no Estudo Técnico nº 27 do trabalho original proposto pela BCA - "British Cement Association", com a utilização de bases cimentadas .

O método utiliza, para o dimensionamento da estrutura do pavimento, dois gráficos de leitura direta, fornecendo as espessuras necessárias das camadas constituintes do pavimento.

A Figura 6.1 fornece as espessuras necessárias de sub-base em função do valor de CBR do subleito e do número "N" de solicitações.



IP-06/2004 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO

A Figura 6.2, por sua vez, mostra a espessura da base cimentada em função do número “N”.

Para tráfego com $N < 1,5 \times 10^6$, a camada de base não é necessária.

Para tráfego com $1,5 \times 10^6 \leq N < 1,0 \times 10^7$, a espessura mínima da camada de base cimentada será de 10 cm.

Para tráfego $N \geq 10^7$, a espessura de base cimentada será determinada através da figura 6.2.

7.1.1 Observações Gerais

a) Camada de sub-base

Quando o $N < 5 \times 10^5$, o material de sub-base deve apresentar um valor de CBR $\geq 20\%$; se o subleito natural apresentar CBR $\geq 20\%$, fica dispensada a utilização da camada de sub-base.

Quando o $N \geq 5 \times 10^5$, o material da sub-base deve apresentar um valor de CBR $\geq 30\%$; se o subleito apresentar CBR $\geq 30\%$, fica dispensada a utilização de camada de sub-base.

b) Camada de revestimento

Os blocos de concreto pré-moldados devem atender às especificações de materiais contidas na EM-6, da SIURB/PMSP, e também seguir as orientações das normas brasileiras NBR 9780 e NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação, as quais fornecem informações precisas aos fabricantes, projetistas e usuários desse tipo de pavimento no que concerne a materiais utilizados, características geométricas das peças, métodos de ensaio, além de procedimentos de inspeção, aceitação e rejeição das peças.



IP-06/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM BLOCOS
INTERTRAVADOS DE CONCRETO

Dessas normas, cabe ressaltar alguns itens importantes, tais como:

- **Espessura e resistência dos blocos de revestimento**

A espessura dos blocos do revestimento será de 6 a 10 cm em função do tráfego solicitante, conforme Quadro 6.3.

Quadro 6.3

Espessura e resistência dos blocos de revestimento

TRÁFEGO	ESPESSURA REVESTIMENTO	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES
$N \leq 5 \times 10^5$	6,0 cm	35 MPa
$5 \times 10^5 < N < 10^7$	8,0 cm	35 a 50 MPa
$N \geq 10^7$	10,0 cm	50 MPa

- **Forma e dimensões**

As peças de concreto pré-moldadas mais utilizadas em pavimentação urbana são as definidas como sendo de formato geométrico regular, com comprimento máximo de 40 cm, largura mínima de 10 cm e altura mínima de 6 cm, devendo também ser estabelecida uma relação de forma entre as dimensões. As variações máximas permissíveis nas dimensões são de 3 mm no comprimento e largura e de 5 mm na altura das peças. Blocos com outras formas poderão ser contemplados, desde que atendam ao estabelecido nesta norma.

7.1.2 Exemplo de Aplicação - Procedimento A

- **Dados iniciais**

Via pública a ser pavimentada com blocos pré-moldados de concreto, classificada como via de Tráfego Leve ($N_{TÍPICO} = 10^5$) em relação à expectativa de solicitações do eixo padrão, para um período de 10 anos. Os estudos geotécnicos indicaram valor de $CBR_p = 5,0\%$. Portanto, haverá a necessidade de adoção de uma camada de sub-base com $CBR \geq 20\%$.

- Determinação da espessura da sub-base (e_{SB})

Da Figura 6.1, obtêm-se 18 cm com material de $CBR=20\%$;

- Determinação da camada da base



IP-06/2004 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO

Para o valor de $N_{TÍPICO} = 10^5$, portanto inferior a $1,5 \times 10^6$, não é necessária a camada de base.

- Camada de assentamento de areia compactada fica com 5 cm;
- Camada de rolamento com blocos pré-moldados definida em função de tráfego, conforme Quadro 6.3, em 6,0 cm.
- Seção Típica:

BLOCOS	6,0 CM
AREIA	5,0 CM
SUB-BASE CBR \geq 20%	18,0 CM
SUBLEITO CBR \geq 5%	15,0 CM

7.2 DIMENSIONAMENTO - PROCEDIMENTO B

O procedimento aqui descrito tem base em pesquisas desenvolvidas na Austrália, África do Sul, Grã-Bretanha e nos Estados Unidos, bem como em observações laboratoriais e de pistas experimentais, nas quais o desempenho de pavimentos em serviço foi acompanhado. Seu desenvolvimento foi efetuado pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE).

É uma evolução do método USACE, de pavimentos flexíveis, levando em conta o intertravamento dos blocos, pressupondo uma resistência crescente das camadas, a partir do subleito, de modo que as deformações por cisalhamento e por consolidação dos materiais sejam pequenas, a ponto de reduzir ao mínimo as deformações verticais permanentes (trilhas de roda). Admite-se a adoção de bases tratadas com cimento, com fator de equivalência estrutural igual a 1,65.

Em função da classificação da via em estudo e de seu respectivo número de solicitações do eixo simples padrão "N", bem como do valor do índice de Suporte Califórnia (CBR) do subleito, é determinada, através da Figura 6.3, a espessura de material puramente granular (H_{BG}) correspondente à camada de base assentada sobre o subleito.



IP-06/2004 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO

O valor de H_{BG} assim determinado pode ser subdividido em dois, adotando-se uma camada de sub-base puramente granular e uma camada de base cimentada, que terá uma espessura determinada em função do coeficiente de equivalência estrutural aqui adotado ($K_B = 1,65$). Recomenda-se que, para as vias de tráfego pesado, seja adotada a execução de bases com materiais mais nobres, que permitirá uma redução das espessuras finais do pavimento, o que será possível com a introdução de bases tratadas com cimento. Recomenda-se, também, que as espessuras mínimas para camadas de base sejam de:

- 15 cm para materiais puramente granulares;
- 10 cm para materiais tratados com cimento.

Os blocos pré-moldados do revestimento devem atender, neste método, a espessura mínima de 8 cm, chegando a 10 cm para as condições mais severas de carregamento, o que deve ser julgado pelo projetista em cada situação.

7.2.1 Exemplo de Aplicação - Procedimento B

O dimensionamento a seguir será proposto para uma via pública com as seguintes características:

- Via de tráfego meio pesado com $N_{TÍPICO} = 10^6$ solicitações
- Índice de Suporte Califórnia do subleito: $CBR_{SL} = 5,0\%$

São estudadas duas alternativas: a primeira adota base puramente granular e a segunda adota base cimentada e sub-base granular.

- Determinação da espessura de base puramente granular

Com os valores de $N_{TÍPICO} = 10^6$ e $CBR_{SL} = 5\%$, tem-se da Figura 6.3:

$$H_{BG} = 29 \text{ cm}$$

- 1ª alternativa: Base granular com 29 cm
- 2ª alternativa: Adotando 15 cm de sub-base granular (H_{SBG}) e base em concreto compactado com rolo (H_{CCR}) com $K_B = 1,65$.

$$H_{CCR} = \frac{H_{BG} - H_{SBG}}{K_{CCR}} = \frac{29 - 15}{1,65} = 8,48 \text{ cm}$$



IP-06/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM BLOCOS
INTERTRAVADOS DE CONCRETO

onde:

H_{BG} = espessura da base granular

H_{CCR} = espessura da base de concreto compactado com rolo

K_{CCR} = fator de equivalência estrutural da base cimentada

Adotado $H_{CCR} = 10$ cm

- Areia de assentamento com espessura compactada de 5 cm;
- Camada de rolamento com blocos pré-moldados de 8 cm;
- Seções Típicas

1ª alternativa

BLOCOS	8,0 CM
AREIA	5,0 CM
BASE GRANULAR	29,0 CM
SUBLEITO CBR = 5%	15,0 CM

2ª alternativa

BLOCOS	8,0 CM
AREIA	5,0 CM
BASE CCR	10,0 CM
SUB-BASE GRANULAR	15,0 CM
SUBLEITO CBR = 5%	15,0 CM

8. PRESSUPOSTOS DE DIMENSIONAMENTO

8.1 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.



IP-06/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM BLOCOS
INTERTRAVADOS DE CONCRETO

8.2 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 de todas as camadas executadas.

8.3 CAMADA DE ASSENTAMENTO

A camada de assentamento dos blocos pré-moldados será sempre composta por areia, eventualmente pó-de-pedra, contendo no máximo 5% de silte e argila (em massa) e, no máximo, 10% de material retido na peneira de 4,8 mm. Não serão admitidos torrões de argila, matéria orgânica ou outras substâncias nocivas.

8.4 BLOCOS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO

Os blocos pré-moldados de concreto que serão empregados na pavimentação de vias urbanas pela Prefeitura do Município de São Paulo deverão atender os requisitos e características tecnológicas mínimas descritas a seguir:

- os blocos deverão ser produzidos por processos que assegurem a obtenção de peças de concreto suficientemente homogêneas e compactas, de modo que atendam ao conjunto de exigências desta instrução especificamente no tocante às normas EM-06, NBR-9780 e NBR 9781;
- as peças não devem possuir trincas, fraturas ou outros defeitos que possam prejudicar o seu assentamento e sua resistência e devem ser manipuladas com as devidas precauções, para não terem suas qualidades prejudicadas.

O recebimento de cada lote a ser empregado na pavimentação, a critério da Fiscalização, deverá ser feito na fábrica ou no local da obra, onde serão verificadas as condições mínimas exigidas nas especificações de materiais dos blocos pré-moldados de concreto.



IP-06/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM BLOCOS
INTERTRAVADOS DE CONCRETO

8.5 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.

9. EXECUÇÃO

Todas as camadas integrantes da infra-estrutura do pavimento deverão ser executadas de acordo com as instruções de execução da SIURB/PMSP.

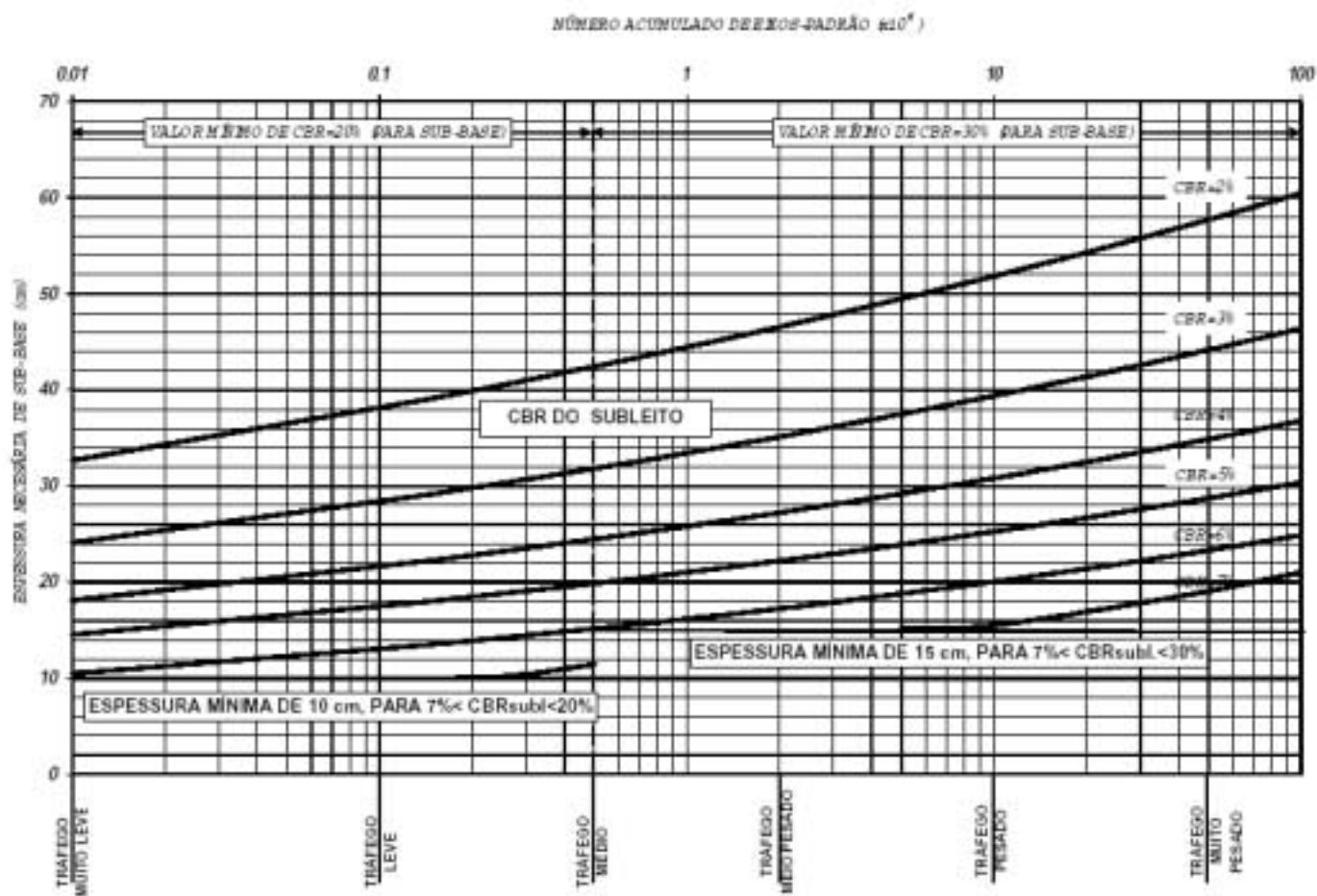
A camada de revestimento constituída por peças pré-moldadas de concreto deverá ser executada e recebida conforme as Instruções de Execução e Especificações de Material da SIURB/PMSP.



IP-06/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM BLOCOS
INTERTRAVADOS DE CONCRETO

Figura 6.1

Espessura necessária de sub-base (reproduzido do boletim técnico n°. 27 da ABCP)

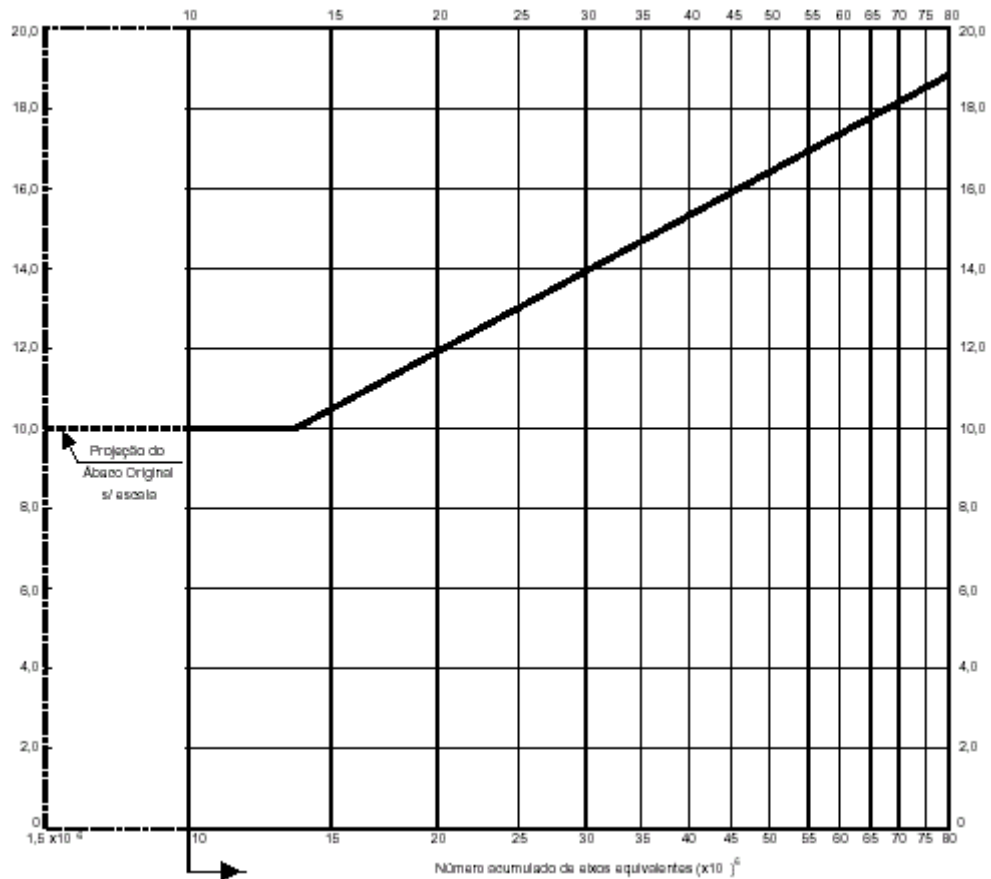




IP-06/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM BLOCOS
INTERTRAVADOS DE CONCRETO

Figura 6.2

Espessura da Base Cimentada em Função do Número “N”





IP-06/2004
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM BLOCOS
INTERTRAVADOS DE CONCRETO

Figura 6.3

Espessura necessária de base puramente granular (HBG) - Procedimento B

N.º de Solicitações equivalente do eixo padrão de 8,2 t (kN)	ESPESSURA DA BASE (H _{BG})											
	Valor do índice de Suporte Califórnia do Subleito											
	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8	10	15	20	
(10 ¹)	27	21	17									
2 x 10 ³	29	24	20	17								
4 x 10 ³	33	27	23	19	17							
8 x 10 ³	36	30	25	22	19							
(10 ⁴)	37	31	26	23	20							
2 x 10 ⁴	41	34	29	25	22	17						
4 x 10 ⁴	44	37	32	28	24	19						
8 x 10 ⁴	48	40	35	30	27	21	17					
(10 ⁵)	49	41	36	31	28	22	18					
2x10 ⁵	52	44	38	34	30	24	19					
4x10 ⁵	56	47	41	36	32	26	21					
8x10 ⁵	59	51	44	39	34	28	23					
(10 ⁶)	60	52	45	40	35	29	23	16				
2x10 ⁶	64	55	47	42	38	30	25	17				
4x10 ⁶	68	58	50	45	40	33	27	19				
8 x 10 ⁶	71	61	53	47	42	34	29	20				
(10 ⁷)	72	62	54	48	43	35	30	21				

Mín. 15