
DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO – MÉTODO DNER

Trata-se do método de dimensionamento proposto pelo Eng. Murilo Lopes de Souza, e de Steele no que se refere ao tráfego, no trabalho “*Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume*”, da autoria de W. J. Turnbull, C. R. Foster e R. G. Alvinn, do Corpo de Engenheiros do Exército dos E.E.U.U., e em conclusões obtidas na Pista Experimental da AASHTO. Os dados correspondentes aos coeficientes de equivalência estrutural são baseados nos resultados do The AASTHO Road Test, levado a cabo nas proximidades de Ottawa, Estado de Illinois, no período de 1958 a 1960.

A capacidade de Suporte do Subleito e dos materiais constituintes dos pavimentos é feita pelo C.B.R., adotando-se o método de ensaio preconizado pelo DNER/DNIT, em corpos-de-prova indeformados ou moldados em laboratório para as condições de massa específica aparente e umidade para o serviço.

O método pode assim ser apresentado:

1. SUBLEITO:

A ideia básica é adotar um Índice Suporte - IS, calculado com média aritmética de dois outros índices derivados, respectivamente, de C.B.R. e do Índice de Grupo – IG, à semelhança do proposto pelo Eng. William Haynes Mills, quando praticamente combinou os métodos de dimensionamento do índice de Grupo e do C.B.R. em trabalhos de pavimentação realizados no Estado do Espírito Santo, no início dos anos 50.

O Índice de Suporte IS é dado por:

$$I_s = \frac{(I_{s_{CBR}} + I_{s_{IG}})}{2}$$

Onde:

IS_{CBR} : índice suporte derivado do CBR (numericamente é o próprio CBR),

IS_{IG} : índice suporte derivado do índice de grupo, correspondendo praticamente a uma inversão de escala, fazendo com que solos de boa qualidade tenham os maiores valores de IS_{IG} (tabela abaixo).

Índice de Suporte	
Índice de grupo IG	Índice de Suporte IS_{IG}
0	20
1	18
2	15
3	13
4	12
5	10
6	9
7	8
8	7
9 a 10	6
11 a 12	5
13 a 14	4
15 a 17	3
18 a 20	2

O C.B.R., que é dado em porcentagem, é transformado em um índice, com o mesmo valor numérico.

Impõe-se a condição de que o Índice Suporte seja, no máximo, igual ao C.B.R., ou seja, quando o cálculo do IS resultar num índice maior que o C.B.R. (ou IS_{CBR}), adota-se o valor do C.B.R. como Índice Suporte.

REGRA:

Se: $IS \leq CBR \rightarrow$ usa-se o IS_{CBR}

Se: $IS > CBR \rightarrow$ usa-se o CBR

Através das sondagens realizadas no dia 15/07/2017, foram coletadas amostras do solo local a uma profundidade aproximada de 60cm, nos quilômetros 0+500, 1+500, 2+500, 3+500 e 4+500. Todas as sondagens foram realizadas no lado direito da estrada, pois no lado esquerdo passa o cano d'água que abastece as comunidades do entorno.

As amostras foram levadas ao laboratório de solos e pavimentos e foram ensaiadas, de modo a obter o I.S.C. (Índice de Suporte Califórnia), também conhecido como C.B.R., ensaio de compactação Proctor na energia intermediária. Da mesma forma, foram obtidos os Limites de Atterberg para a amostra do KM 4+500, quer sejam: Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP). As demais amostras não obtivemos esses Limites pois tratam-se de material mais granular, oriundo da decomposição de basaltos.

Como resultados dos ensaios obteve-se:

Resumo dos Ensaios de Laboratório		
KM	D _{máx} (g/cm ³)	Umidade Ótima (%)
0+500	1,507	26,7
0+1500	1,418	24,6
0+2500	1,373	24,9
0+3500	1,326	26,7
0+4500	1,427	25,4

Resumo dos Ensaios de Laboratório							
KM	CBR (%)	CBR ADOTADO (%)	EXPANSÃO (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	ÍNDICE DE GRUPO
0+500	11,6	11,0	0,21	A.N.E	A.N.E	A.N.E	A.N.E
0+1500	12,3		0,43	A.N.E	A.N.E	A.N.E	A.N.E
0+2500	12,3		0,48	A.N.E	A.N.E	A.N.E	A.N.E
0+3500	11,0		0,49	A.N.E	A.N.E	A.N.E	A.N.E
0+4500	13,7		0,26	60,7	43,2	17,5	11

A.N.E = Amostra Não Ensaída

Assim, tomando como resultado o CBR=11% e o Índice de Grupo = 11, e utilizando a fórmula e a tabela anterior, obteve-se um $I_s = 8,3\%$. Como $I_s < \text{CBR}$, adotaremos o I_s para o dimensionamento das camadas do pavimento. Logo, o **I_s ADOTADO = 8,3%**.

2. TRÁFEGO:

Quanto ao tráfego previsto, o pavimento é dimensionado em função do número equivalente de operações de um eixo tomado como padrão N, durante o período de projeto escolhido.

O número N representa um número de passadas do eixo padrão na rodovia para um período estimado de anos de utilização desta rodovia (P), sendo que são considerados fatores climáticos de chuvas (FR), volume médio diário de tráfego (Vm) e fator de veículo (FV).

$$N = 365 * V_m * P * FV * FR$$

Onde:

N: número equivalente de operações de eixo padrão durante o período de projeto escolhido.

Vm: volume médio diário de tráfego no sentido mais solicitado, no ano médio do período de projeto.

P: período de projeto ou vida útil em anos (usual de 10 a 20 anos)

FV: fator de veículo

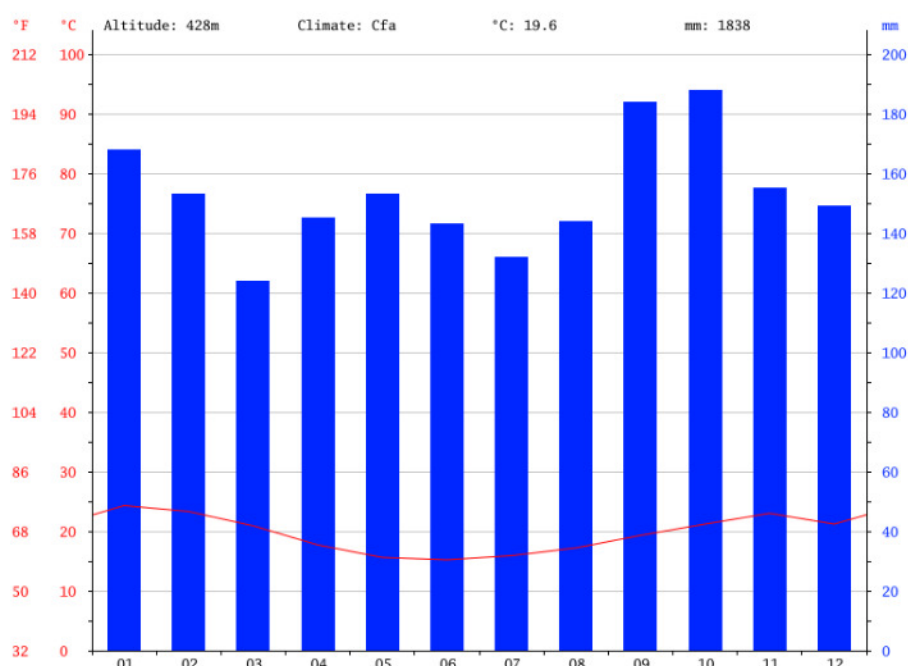
FR: fator climático regional (fator de chuva)

Para este dimensionamento, adotamos um período de projeto de 10 anos. A contagem de tráfego para a obtenção do Vm foi realizada em um único posto, por um período ininterrupto de 24 horas, entre os dias 12 e 14 de julho de 2017 (vide resultados a seguir). Os fatores de veículos adotados obedeceram as normas do DAER/RS. E, o fator climático adotado foi 1,8 tendo em vista que a altura média anual de chuva na região é de 1.872 mm (dados obtidos no site Climatempo) – vide abaixo.

Altura média anual de chuva (mm)	Fator climático Regional (FR)
Até 800	0,7
De 800 a 1.500	1,4
Mais 1.500	1,8

O clima é quente e temperado em Barra do Rio Azul. Existe uma pluviosidade significativa ao longo do ano em Barra do Rio Azul. Mesmo o mês mais seco ainda assim tem muita pluviosidade. Segundo a Köppen e Geiger o clima é classificado como Cfa. 19.6 °C é a temperatura média. Pluviosidade média anual de 1838 mm.

GRÁFICO CLIMÁTICO BARRA DO RIO AZUL



Março é o mês mais seco com 124 mm. Com uma média de 188 mm o mês de Outubro é o mês de maior precipitação.

ESTUDO DE TRÁFEGO – 1 POSTO – 3 DIAS ÚTEIS CONSECUTIVOS – 24 HS

	DIA 12/07/2017	DIA 13/07/2017	DIA 14/07/2017	MÉDIA
VEÍC. PASSEIO	962	1006	996	988
COLETIVO	18	16	20	18
CARGA LEVE	122	104	92	106
CARGA MEDIA	130	121	105	119
CARGA PESADA	12	14	10	12
CARGA ULTRA	9	9	6	8

CÁLCULO DO FATOR DE VEÍCULO	Coletivo	Veículos de Carga			
		leve	media	pesada	ultra pes
	18	106	118	12	8
Ano	0,345	0,063	1,371	4,986	11,205
2017	6	7	162	60	90
2018	7	7	171	63	95
2019	7	8	182	67	101
2020	7	8	193	71	107
2021	8	8	204	76	113
2022	8	9	216	80	120
2023	9	9	229	85	127
2024	9	10	243	90	135
2025	10	11	258	95	143
2026	10	11	273	101	151
2027	11	12	290	107	161
2028	12	13	307	114	170



Evolução do Tráfego e Número "N" – Km 0+255 ao Km 5+255									
Dados Pesquisados									
Ano	Taxas de Crescimento			Período Projeto		Fator Veículo (FV)		Fator Climático	Fator de Pista
	Passeio	Coletivo	Carga			USACE	AASHTO		
2017	6,00%	6,00%	6,00%	10				1,8	0,500
ACESSO BARRA DO RIO AZUL	Composição da Frota								
	79,04%	1,44%	19,52%						
Projeções após início da vida útil									
Ano	Passeio	Coletivo	Carga	Total	Total Pond.	USACE	AASHTO	USACE Acum.	AASHTO Acum.
2017	988	18	244	1.250	324				
2018	1.047	19	259	1.325	344				
2019	1.110	20	274	1.405	364				
2020	1.177	21	291	1.489	386				
2021	1.247	23	308	1.578	409				
2022	1.322	24	327	1.673	434			2,85E+05	
2023	1.401	26	346	1.773	460			3,02E+05	
2024	1.486	27	367	1.880	487			3,20E+05	
2025	1.575	29	389	1.992	517			3,39E+05	
2026	1.669	30	412	2.112	548			3,60E+05	
2027	1.769	32	437	2.239	580			3,81E+05	
2028	1.876	34	463	2.373	615			4,04E+05	

Como resultado final do Número N obteve-se $4,04 \times 10^5$ repetições do eixo padrão de 8,2ton.

3. DIMENSIONAMENTO:

O método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER é um método empírico derivado do método CBR. Entende-se como “dimensionamento” o ato de compatibilizar as cargas oriundas do tráfego de veículos com o suporte de carregamento do subleito.

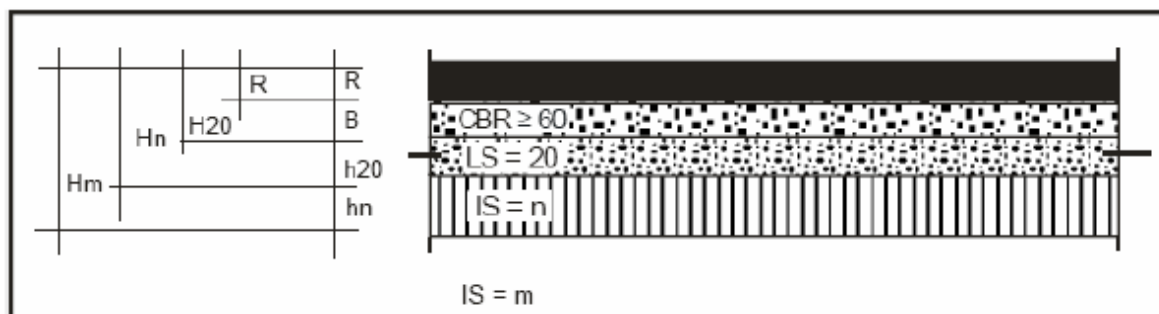
Dispondo dos Índices de Suporte, do subleito, do reforço do subleito e da sub-base, pode-se obter, através do ábaco de dimensionamento, em primeira aproximação, as espessuras necessárias, respectivamente, acima dessas camadas.

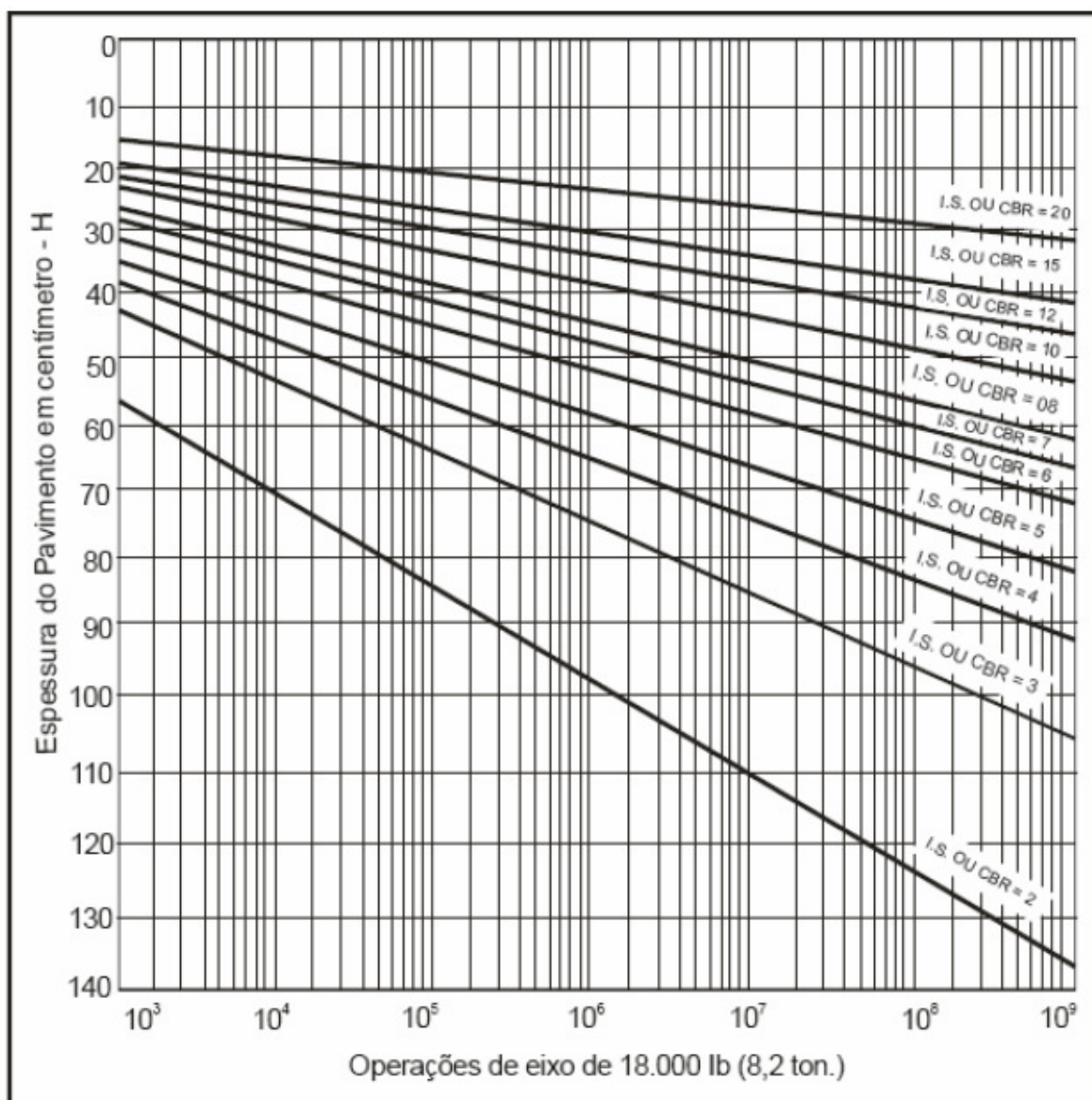
A simbologia a ser adotada é:

Subleito: $IS = m$; Reforço do subleito: $IS = n$; e Sub-base: $IS = 20$.

O ábaco dará as espessuras necessárias cima dessas camadas, sem levar em conta a qualidade dos materiais que irá compor o pavimento. Admite-se que todos os materiais das camadas são iguais quanto ao comportamento estrutural, correspondente a um coeficiente de equivalência $K = 1$, a ser definido a seguir:

Então se tem:





➤ Subleito: $IS = m \text{ Tráfego: } N - \text{ábaco} - H_m$

H_m é a espessura total do pavimento para materiais de $k = 1$.

➤ Reforço do Subleito: $IS = n \text{ Tráfego: } N - \text{ábaco} - H_n$

H_n é a espessura necessária de pavimento acima do reforço, ou seja, sub-base + base + revestimento, para materiais de $k = 1$.

➤ Sub-base: IS = 20 Tráfego: N – ábaco – H20

H20 é a espessura necessária de pavimento acima da sub-base, ou seja, base + revestimento, para materiais de $k = 1$. O material de sub-base deve ter um índice Suporte ou CBR mínimo de 20.

Para utilizar o Ábaco de Dimensionamento, traça-se a vertical pelo valor encontrado de N (equivalência de operações). No cruzamento com os segmentos inclinados correspondentes aos valores de IS ou CBR, determina-se:

- No cruzamento com IS = m – Hm
- No cruzamento com IS = n – Hn
- No cruzamento com IS = 20 – H20

Neste método de dimensionamento de pavimentos, a hierarquia dos materiais que vão compor as camadas é determinada adotando-se um MATERIAL PADRÃO, a base granular, e comparando-se os outros materiais com esse padrão em termos de comportamento estrutural.

Assim, chama-se Coeficiente de Equivalência Estrutural um número que relaciona a espessura necessária da camada, constituída de material padrão, com a espessura equivalente do material que realmente vai compor essa camada.

$$h_p = k_i * h_i$$

Sendo:

h_p : espessura equivalente a h_i , de material padrão;

h_i = espessura do material que vai compor a camada; e

k_i = coeficiente de equivalência do material i .

A Tabela a seguir mostra os valores do coeficiente de equivalência estrutural para alguns materiais de revestimento, base, sub-base e reforço do subleito.

Componentes dos pavimentos	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento por penetração	1,20
Base granular	1,00
Sub-base granular	0,77 (1,00)
Reforço do subleito	0,71 (1,00)
Solo-cimento (resistência à compressão em 7 dias > 45kgf/cm ²)	1,70
Idem (resistência à compressão em 7 dias entre 45kgf/cm ² e 35kgf/cm ²)	1,40
Idem (resistência à compressão a 7 dias inferior 35kgf/cm ²)	1,00

O coeficiente de equivalência estrutural do reforço do subleito ou da sub-base granular deverá ser 1,0 toda vez que o CBR do material de um ou outro for igual ou superior a três vezes o do subleito.

Para o cálculo das espessuras das camadas, são adotados os símbolos mostrados na Tabela a seguir.

Camada	Espessura (cm)	Coeficiente de equivalência estrutural (K)
Revestimento	R	K _R
Base	B	K _B
Sub-base	h ₂₀	K _S
Reforço do subleito	h _n	K _{Ref} ou K _n

Em relação ao material padrão, de $k = 1$, as equivalências das camadas são:

$R \times K_R$ = espessura equivalente do revestimento;

$B \times K_B$ = espessura equivalente da base;

$h_{20} \times K_S$ = espessura equivalente da sub-base e

$h_n \times K_{ref}$ ou $h_n \times K_n$ = espessura equivalente do reforço do subleito.

Monta-se então o sistema de inequações:

$$R \cdot k_R + B \cdot K_B \geq H_{20}$$

$$R \cdot k_R + B \cdot K_B + h_{20} \cdot K_S \geq H_n$$

$$R \cdot k_R + B \cdot K_B + h_{20} \cdot K_S + h_n \cdot K_{ref} \geq H_m$$

Verifica-se a existência de quatro incógnitas: R , B , h_{20} e h_n , e apenas três equações. A indefinição é contornada dotando-se a espessura do revestimento em função da equivalência de operações N .

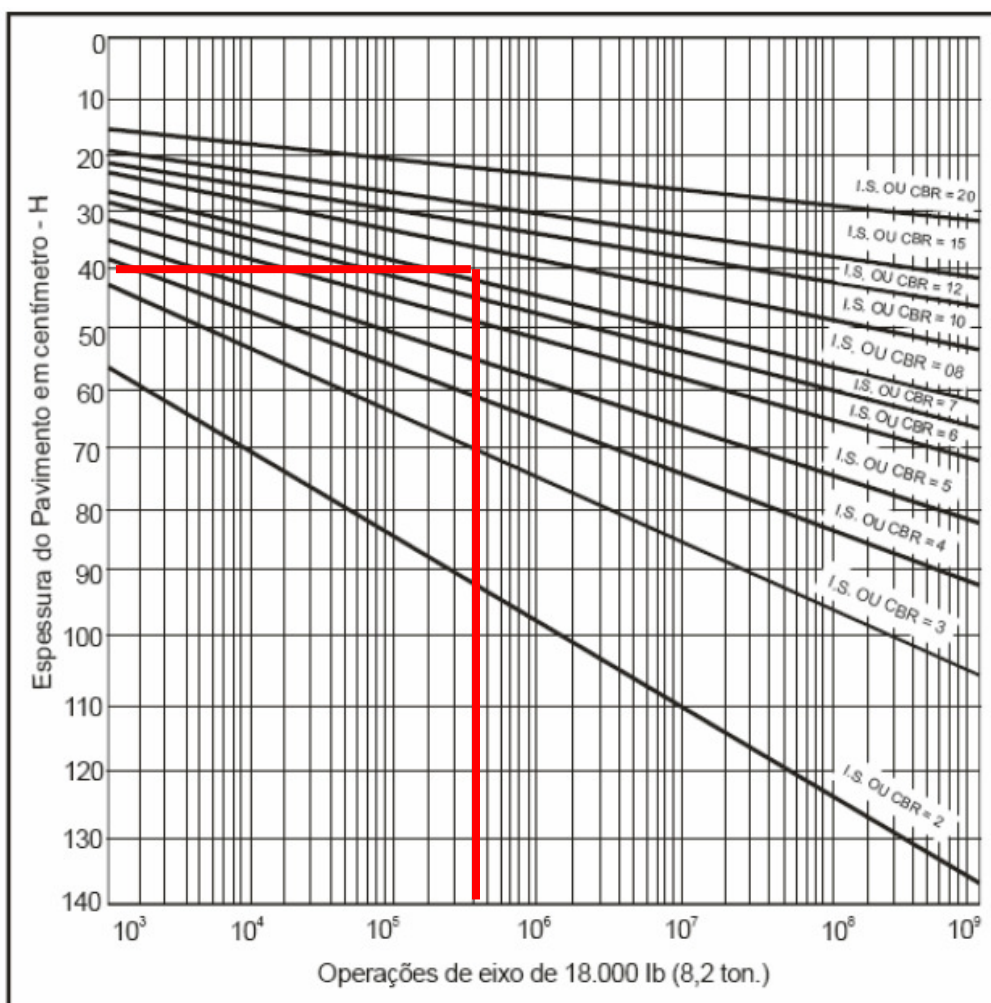
Em função do número equivalente “ N ” de operações do eixo padrão, o tipo e espessura são dados conforme a tabela a seguir:

N	R_{min} (cm)	Tipo de revestimento
Até 10^6	2,5 - 3,0	Tratamento Superficial
10^6 a 5×10^6	5	Revestimento Betuminoso
5×10^6 a 10^7	5	Concreto betuminoso
10^7 a 5×10^7	7,5	Concreto betuminoso
Mais de 5×10^7	10	Concreto betuminoso

DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

A pedido da Administração Municipal o dimensionamento do pavimento contemplará 03 soluções distintas de revestimento: Tratamento Superficial (TS), Pré-Misturado a Frio (PMF) e Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ).

Primeiramente, definiremos a espessura estrutural do pavimento que independe da composição das camadas, ou dos tipos de materiais utilizados nas camadas do pavimento. Assim, utilizando o Ábaco de Dimensionamento, a partir dos resultados de $I_s=8,3\%$ e do $N=4,04 \times 10^5$, obtivemos Hm=40cm, que é a espessura total do pavimento para materiais de $k = 1$, vide a seguir.



OPÇÃO 01:

Assim, para dimensionar o pavimento da estrada para a qual se prevê $N=4,04 \times 10^5$ – já levado em conta FR - sabendo-se que o subleito apresenta um $IS=8,3\%$, e que se dispõe de material para base (brita graduada simples), e adotando Tratamento Superficial como revestimento.

Do ábaco de dimensionamento, tira-se:

Subleito: $I_s = 8,3\% = m$ $H_m = 40\text{cm}$ (sub-base + base + revestimento)

Base: $K_B=1,00$

Revestimento (TS): $R = 2,5\text{cm}$ $K_R=1,20$

• A espessura da base (brita graduada simples):

$$R \times K_R + B \times K_B = H_m$$

$$2,5 \times 1,20 + B \times 1,00 = 40$$

$$3 + B = 40$$

$B = 37 \text{ cm}$ (brita graduada simples), em duas camadas de 18,5cm cada.

• Espessura final:

$$H = R + B + h_{20}$$

$$H = 2,5 + 37$$

$$H = 39,5 \text{ cm}$$

OPÇÃO 02:

Já, para dimensionar o pavimento da estrada para a qual se prevê $N=4,04 \times 10^5$ – já levado em conta FR - sabendo-se que o subleito apresenta um $IS=8,3\%$, e que se dispõe de material para base (brita graduada simples), e adotando Pré-Misturado a Frio (PMF) como revestimento.

Do ábaco de dimensionamento, tira-se:

Subleito: $I_s = 8,3\% = m$ $H_m = 40\text{cm}$ (sub-base + base + revestimento)

Base: $K_B=1,00$

Revestimento (PMF): $R = 5\text{cm}$ $K_R=1,40$

- A espessura da base (brita graduada simples):

$$R \times K_R + B \times K_B = H_m$$

$$5 \times 1,40 + B \times 1,00 = 40$$

$$7 + B = 40$$

$B = 33 \text{ cm}$ (brita graduada simples), em duas camadas de 16,5cm cada.

- Espessura final:

$$H = R + B + h_{20}$$

$$H = 5 + 33$$

$$H = 38 \text{ cm}$$

OPÇÃO 03:

E, para dimensionar o pavimento da estrada para a qual se prevê $N=4,04 \times 10^5$ – já levado em conta FR - sabendo-se que o subleito apresenta um $IS=8,3\%$, e que se dispõe de material para base (brita graduada simples), e adotando Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) como revestimento.

Do ábaco de dimensionamento, tira-se:

Subleito: $I_s = 8,3\% = m$ $H_m = 40\text{cm}$ (sub-base + base + revestimento)

Base: $K_B=1,00$

Revestimento (CBUQ): $R = 5\text{cm}$ $K_R=2,00$

- A espessura da base (brita graduada simples):

$$R \times K_R + B \times K_B = H_m$$

$$5 \times 2,00 + B \times 1,00 = 40$$

$$10 + B = 40$$

$B = 30 \text{ cm}$ (brita graduada simples), em duas camadas de 15cm cada.

- Espessura final:

$$H = R + B + h_{20}$$

$$H = 5 + 30$$

$$H = 35 \text{ cm}$$

CONCLUSÃO DO DIMENSIONAMENTO:

Baseado nos dimensionamentos acima, constata-se que todas as soluções de revestimento atendem a necessidade de tráfego com o subleito existente. Tal afirmação pode ser visualizada na tabela a seguir:

CAMADAS	OPÇÃO 01 - TS			OPÇÃO 02 - PMF			OPÇÃO 03 - CBUQ		
	Esp. (cm)	K	Esp. Estrutural (cm)	Esp. (cm)	K	Esp. Estrutural (cm)	Esp. (cm)	K	Esp. Estrutural (cm)
REVESTIMENTO	2,5	1,20	3,0	5,0	1,40	7,0	5,0	2,00	10,0
BASE	37,0	1,00	37,0	33,0	1,00	33,0	30,0	1,00	30,0
TOTAIS	39,5		40,0	38,0		40,0	35,0		40,0
Hm = 43cm	OK!			OK!			OK!		

Todavia, é inegável que o Concreto Betuminoso Usinado a Quente é o melhor revestimento, aquele que conferirá o melhor desempenho em relação as cargas do tráfego. Assim, optou-se pela utilização deste revestimento no projeto elaborado.

.....
LAUSON SERAFINI
CREA/RS 123.168-D

.....
MUNICÍPIO DE BARRA DO RIO AZUL
CNPJ: 93.539.153/0001-92