



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

Dimensionamento de Pavimento Flexível – Método do DNER

ESTRADA RURAL LINHA BONITA RUA CARIRIS ENTRE AS RUAS SANTA CATARINA E OTÁVIO KISCHNER

FUNDAMENTAÇÃO TÉCNICA:

O presente dimensionamento segue as orientações do Manual de Pavimentação do DNIT, respaldada a resolução contida na Portaria nº 166 – DG/DNIT, de 03/02/2002 que impõe a adoção do chamado Padrão DNIT, configurado pelas normas DNIT 001/001/2002 – PRO e 002/2002-PRO.

Neste dimensionamento será abordado, como base o trabalho “*Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume*”, da autoria do USACE (*United States of America Corps of Engineers*) – Corpo de Engenheiros do Exército Americano e conclusões obtidas na pista experimental da AASHTO.

Este método adota coeficientes de equivalência estrutural, os quais também foram obtidos na pista experimental da AASHTO com algumas modificações que foram consideradas oportunas.

As camadas do pavimento flexível são dimensionadas em função do tipo de material constituinte e da sua respectiva capacidade de suporte e principalmente do subleito.



Tal capacidade de suporte do subleito e dos materiais é definida pelo ensaio de CBR, o qual é preconizado pelo DNER e normatizado pelo Método de Ensaio ME 172/2016, onde corpos-de-prova são moldados em laboratório para as condições de massa específica aparente e umidade especificada para o serviço.

Os materiais devem ser compactados de acordo com os valores fixados nas “Especificações Gerais”, sendo recomendado que em nenhum caso, o grau de compactação deve ser inferior a 100% do que for especificado.

O método também recomenda que solos granulares com granulação grossa, deve ser aplicada uma energia de compressão correspondente ao Proctor Modificado.

CARACTERIZAÇÃO MÍNIMA DOS MATERIAIS

As características mínimas dos materiais por camadas devem ser as seguintes:

Subleito:

$\text{CBR} \geq 2\%$; e $\text{Expansão} \leq 2,00\%$

Foi feito o ensaio do CBR contendo 09 amostras e com o seguinte resultado abaixo.



Município de Capanema – PR

Departamento de Engenharia

RESUMO DOS DADOS DAS AMOSTRAS		
Amostra	CBR %	Expansão em dias %
1	8,50	0,07
2	12,40	0,37
3	14,10	0,20
4	13,10	0,09
5	13,40	0,20
6	10,50	0,20
7	12,20	0,10
8	11,90	0,09
9	12,20	0,10
Valor Final	12,03	0,16

Conforme é explicitado a expansão é menor que 2,00%, o CBR adotaremos a favor da segurança de **12,00%**

Sub base:

CBR \geq 20%; e

Expansão \leq 1%.

Base:

CBR \geq 80%;

Expansão \leq 0,5%;

METODOLOGIA

Além dos materiais, o dimensionamento do pavimento também leva em consideração o efeito destrutivo do tráfego que é representado pelo número equivalente de operações de um eixo tomado como padrão, durante o período de projeto escolhido



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

De posse das informações das camadas constituintes e do número “N”, o próximo passo é determinar os coeficientes de equivalência estrutural para as diferentes camadas que irão constituir o futuro pavimento.

De acordo com o tipo de material é possível determinar o coeficiente através da tabela da Figura 1, tal coeficiente varia de 2 para bases ou revestimento com material betuminoso até 1 para as camadas granulares.

Componentes do pavimento	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 betuminoso por penetração	1,20
Camadas granulares	1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,20

Figura 1 –Coeficientes de Equivalência Estrutural



Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT, os coeficientes estruturais são designados por:

- 1 -Revestimento: KR;
- 2 -Base: KB;
- 3 -Sub base: KS;
- 4 -Reforço: KRef.

O primeiro passo para definição das camadas é escolher o tipo de revestimento, o qual está diretamente relacionado com o esforço do tráfego indicado pelo número “N”.

CÁLCULO DO N

Para estabelecimento do parâmetro “N” (número de operações do eixo padrão de 80 KN), representativo das características de tráfego, são estudados os seguintes tópicos:

▷ Estimativa das percentagens mais prováveis de cada tipo de veículo de carga na composição da frota. Isso é efetuado levando-se em conta a função preponderante de cada classe de via.

▷ Carregamento provável de acordo com cada classe de via. Constata-se que, em viagens curtas e principalmente nas zonas urbanas, a percentagem de veículos circulando com carga abaixo do limite e mesmo “vazios” é elevada

Para o cálculo do fator de equivalência de cada tipo de veículo, necessário à determinação do número “N” (considerando seus carregamentos),



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

são utilizados os estudos realizados para a determinação dos fatores de equivalência, e que constam de:

▷ Estabelecimentos de modelos matemáticos, relacionado a carga útil às cargas resultantes nos eixos dos veículos. Foram obtidos a partir dos dados básicos de cada tipo de veículo (tara, número de eixo, limites máximos de carga por eixo, etc.) e confrontados com modelos obtidos por regressão linear de alguns levantamentos estatísticos. A utilização desses modelos conduz à determinação dos fatores de equivalência correspondentes a:

105% da carga útil máxima

100% da carga útil máxima

75% da carga útil máxima

▷ Estabelecimento de percentuais dos carregamentos para os tipos de veículos comerciais componentes da frota, de acordo com as características de cada classe de via, sendo calculados os fatores de equivalência final e determinado o número “N” na Tabela 1, que segue abaixo.

A reavaliação dos trabalhos deverá ser feita a cada 5 anos, isto é, reavaliação dos percentuais dos carregamentos para os tipos de componentes da frota.

A classificação do tipo de tráfego da via deverá preceder dos métodos de dimensionamentos adotados pela Prefeitura Municipal de Capanema. Essa classificação permite a adequada utilização desses métodos e estimativa de solicitações de veículos a que a via estará submetida em seu período de vida útil.



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

Na presente classificação foi considerada a carga máxima legal no Brasil, que é de 10 toneladas por eixo simples de rodagem dupla (100 KN/ESRD).

O tráfego e as cargas solicitantes na via a ser pavimentada deverão ser caracterizadas de forma a instruir a aplicação dos métodos adotados. O parâmetro “N” constitui o valor final representativo dos esforços transmitidos à estrutura, na interface pneu/pavimento, por um eixo traseiro simples, de rodagem dupla, com 80 KN, conforme o método para dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER.

A previsão do valor final de “N” deve tomar como base contagens classificatórias, para utilização dos tipos de tráfego abaixo relacionados. Quando houver disponibilidade de dados de pesagens de eixos, com a respectiva caracterização por tipos, o cálculo do valor final de “N” deverá seguir integralmente as recomendações e instruções do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNIT – 1996.

As vias urbanas a serem pavimentadas serão classificadas, para fins de dimensionamento de pavimentos, de acordo com o tráfego previsto para as mesmas, nos seguintes tipos:

TRÁFEGO LEVE - Ruas de características essencialmente residências, para as quais não é previsto o tráfego de ônibus, podendo existir ocasionalmente passagens de caminhões e ônibus em número não superior a 20 por dia, por faixa de tráfego, caracterizando por um número “N” **típico de 10^5** solicitações do eixo simples padrão (80 KN) para o período de projeto de 10 anos.

TRÁFEGO MÉDIO – Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 21 a 100 por dia, por faixa de tráfego,



caracterizado por número “N “típico de 5×10^5 solicitações do eixo simples padrão (80 KM) para o período de 10 anos.

TRÁFEGO MEIO PESADO – Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 101 a 300 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número “N “típico de 2×10^6 solicitações do eixo simples padrão (80 KM) para o período de 10 anos.

TRÁFEGO PESADO – Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 301 a 1.000 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número “N “típico de 2×10^7 solicitações do eixo simples padrão (80 KM) para o período de 10 anos a 12 anos.

TRÁFEGO MUITO PESADO – Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 1.001 a 2.000 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número “N “típico de 5×10^7 solicitações do eixo simples padrão (80 KM) para o período de 12 anos.

FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS – Vias para as quais é prevista, quase que exclusivamente, a passagem de ônibus e veículos comerciais (em número reduzido, caracterizando por número “N “de 5×10^7 solicitações do eixo simples padrão (80 KM) para o período de 12 anos.

Segue abaixo a tabela 01, resumo com os principais parâmetros adotados para a classificação das vias da Prefeitura de Capanema.



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

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	$2,70 \times 10^4$ a $1,40 \times 10^5$	10^5
Via Local e Coletora	MÉDIO	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	$1,40 \times 10^5$ a $6,80 \times 10^5$	5×10^5
Vias Coletoras e Estruturais	MEIO PESADO	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	$1,4 \times 10^6$ a $3,1 \times 10^6$	2×10^6
	PESADO	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,90	$1,0 \times 10^7$ a $3,3 \times 10^7$	2×10^7
	MUITO PESADO	12	> 10000	1001 a 2000	5,90	$3,3 \times 10^7$ a $6,7 \times 10^7$	5×10^7
Faixa Exclusiva de Ônibus	VOLUME MÉDIO	12		< 500		3×10^6 (1)	10^7
	VOLUME PESADO	12		> 500		5×10^7	5×10^7

Tabela 01

N = valor obtido com uma taxa de crescimento de 5% ao ano, durante o período de projeto.

Notas:

(1) Majorado em função do tráfego (excesso de frenagem e partidas)

(2) Números de solicitações adotadas:

$$N = 365 \times 10 \times V_o \times 1,25 \times e = 4560 \cdot V_o \cdot e$$

$$N = 365 \times 12 \times V_o \times 1,30 \times e = 5690 \cdot V_o \cdot e$$

Considerando somente o volume de caminhões e ônibus e taxa de crescimento de 5% a.a.

(3) Equivalente expresso em n^o de solicitações do eixo padrão de 82 kN (equivalência do DNIT).

(4) O período de projeto adotado é de 10 anos, em função da duração máxima da camada asfáltica de revestimento (oxidação de ligante), sendo o período recomendado pelo método de dimensionamento do DER/SP (667122), DNIT, e embasado no método da AASHTO.

(5) Para o tráfego muito pesado e corredores de ônibus adotou-se o período de 12 anos, em função de apresentar estruturas robustas e criteriosamente dimensionadas, levando-se em conta estudos mecanicistas das camadas do pavimento, bem como em alguns casos a adoção de estruturas cimentadas.



Para a determinação do valor de “N”, utilizando a tabela 01 observamos que a Estrada Rural Linha Bonita (objeto do dimensionamento) é uma via coletora com trânsito meio pesado, portanto seu valor é de **$N = 2 \times 10^6$** .

”. A Figura 2 apresenta a tabela na qual o tipo e a espessura mínima do revestimento são definidos.

N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Figura 2 – Definição do Tipo e Espessura do Revestimento

O revestimento será, portanto, tipo Concreto Betuminoso Usinado a Quente com espessura de 5,00 cm.

Utilizando a tabela mostrada na Figura 2(espessura mínima de Revestimentos Betuminosos) em seguida determinar o coeficiente



estrutural do mesmo utilizando a Figura 1(Coeficiente K para componentes do pavimento e camadas granulares).

Como o número "N" é superior a 10^6 e inferior ou igual a 5×10^6 , então o tipo de revestimento a ser utilizado deve ser **Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) com 5cm de espessura**. Sendo assim $KR = 2$.

Para a sequência nos cálculos seguem as seguintes informações:

- ▷ Subleito existente: CBR=8% (tirado do ensaio de CBR);
- ▷ Material com CBR mínimo para a sub-base: CBR=20%;
- ▷ Material com CBR mínimo para a base: CBR=80%.

O próximo passo para dimensionamento do pavimento é definir as espessuras das camadas utilizando o cruzamento das informações das inequações da figura 03 e o gráfico das Curvas para determinação das espessuras indicadas na Figura 5, as quais determinam a espessura de material que deve estar sobre uma camada considerando parâmetros de tráfego e de suporte dos materiais constituintes.



$$RK_R + BK_B \geq H_{20}$$

$$RK_R + BK_B + h_{20} K_s \geq H_n$$

$$RK_R + BK_B + h_{20} K_s + h_n K_{Ref} \geq H_m$$

Figura 3 – Inequações para determinação das Espessuras das Camadas

Onde,

R= Espessura do revestimento;

B= Espessura da camada de base;

H20= Espessura sobre a camada de sub base;

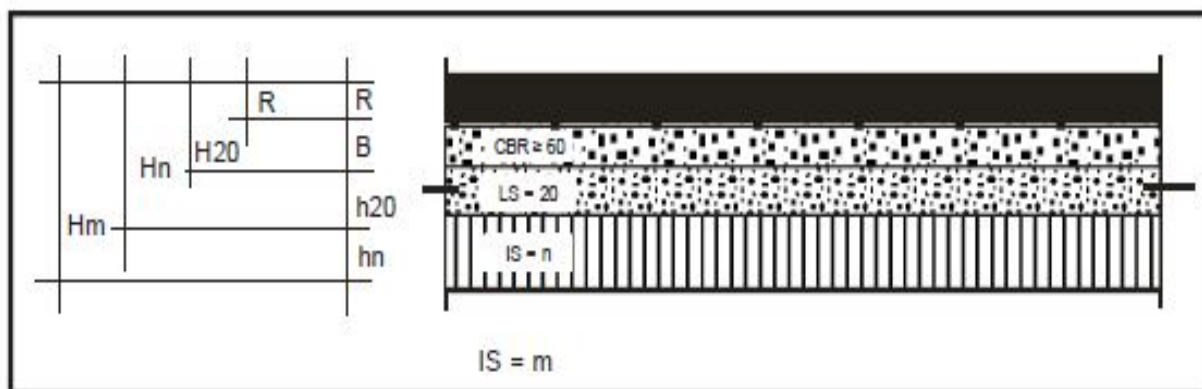
h20= Espessura da camada de sub base;

Hn= Espessura sobre a camada de reforço do subleito;

hN= Espessura da camada de reforço do subleito;

HM= Espessura sobre a camada de subleito;

A figura 4 ajuda no melhor entendimento dos índices apresentados.





Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

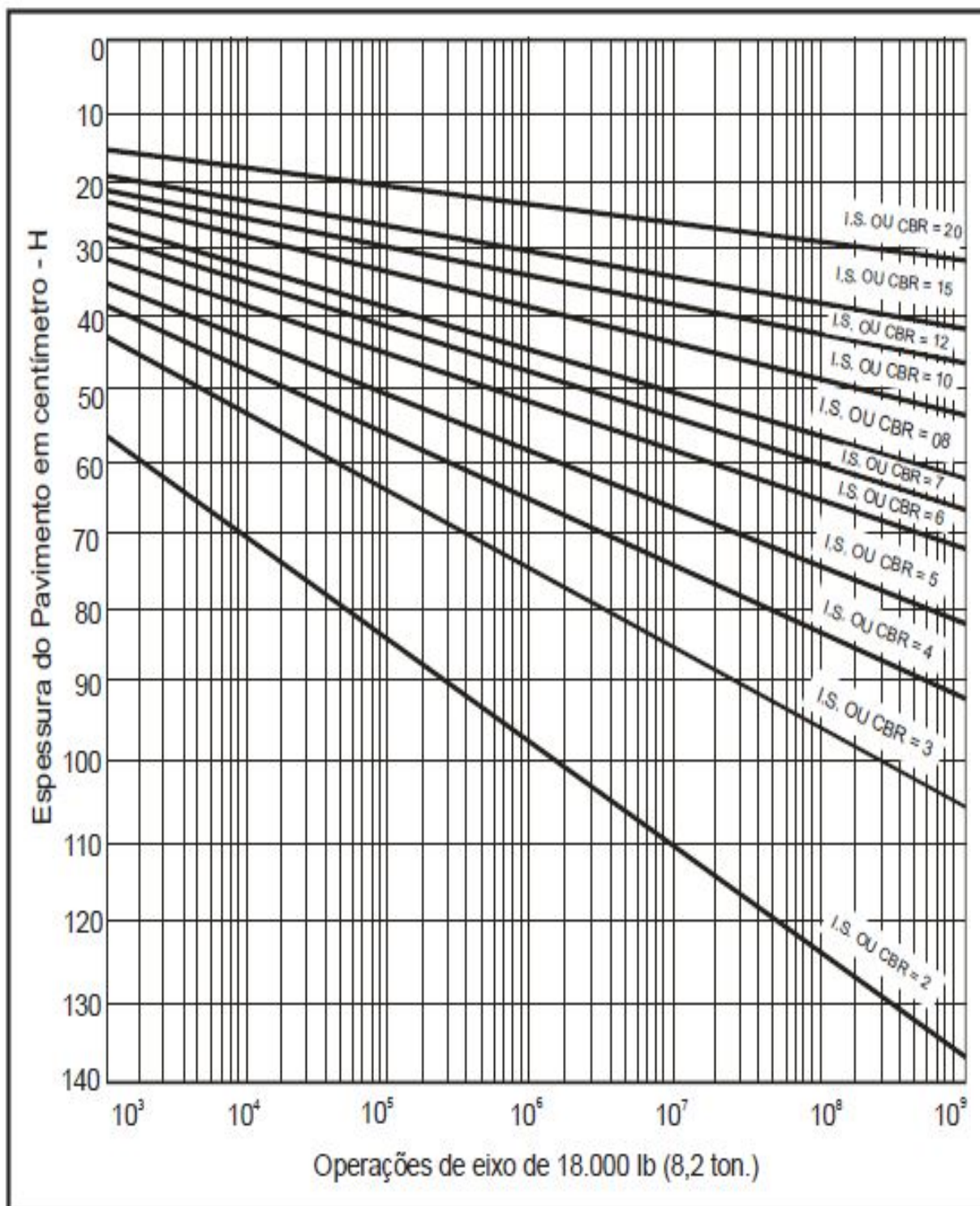


Figura5 –Curvas para determinação das espessuras das camadas



Na figura 5 o eixo das abscissas apresenta a potência de 10 do número “N” e o eixo das ordenadas apresenta a espessura máxima que deve existir sobre a camada estudada em cm.

É importante ressaltar que as normas apresentam que as espessuras máximas e mínimas que devem ser adotadas para cada camada são respectivamente 20cm e 10cm.

As normas ressaltam também que a espessura mínima para facilitar a construção a ser adotada para as camadas deve ser de 15cm.

Dessa forma, utilizando-se as inequações da Figura 3 e as curvas da Figura 5 é possível determinar as espessuras das camadas do pavimento.

DETERMINAÇÃO DAS CAMADAS DE SUB BASE E BASE

Para determinar a espessura da camada sobre a sub base, usando as curvas da figura 5, utilizando o CBR de 20% com o valor de $N = 2 \times 10^6$ obtém se pelo gráfico o valor de $H_{20} = 24,00$ cm.

Para determinar a espessura da camada sobre o sub leito, usando as curvas da figura 5, utilizando o CBR de 12% com o valor de $N = 2 \times 10^6$ obtém se pelo gráfico o valor de $H_n = 37,00$ cm.



Município de Capanema – PR

Departamento de Engenharia

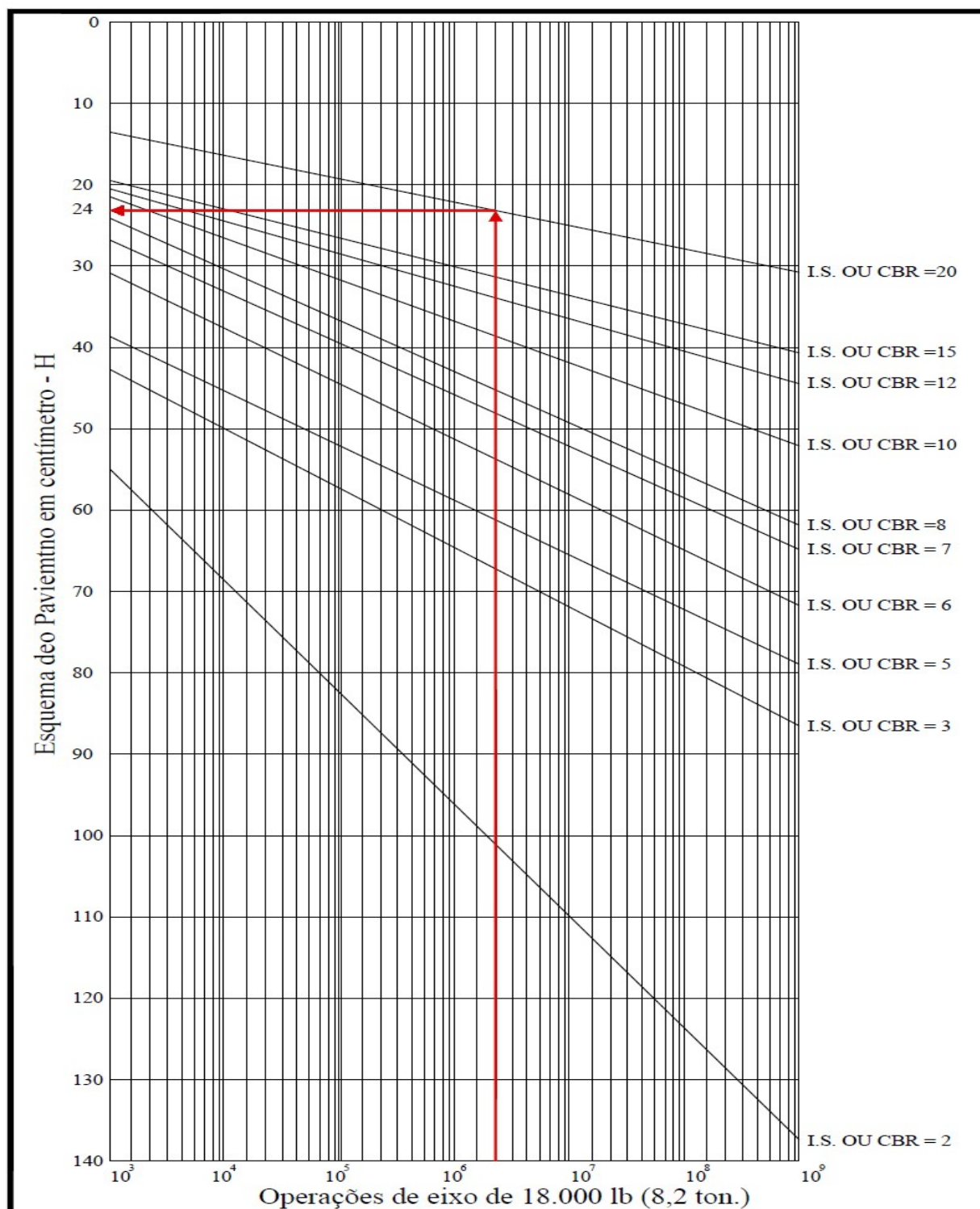


Figura 6 –Determinação do H20 = 24 cm



Município de Capanema – PR

Departamento de Engenharia

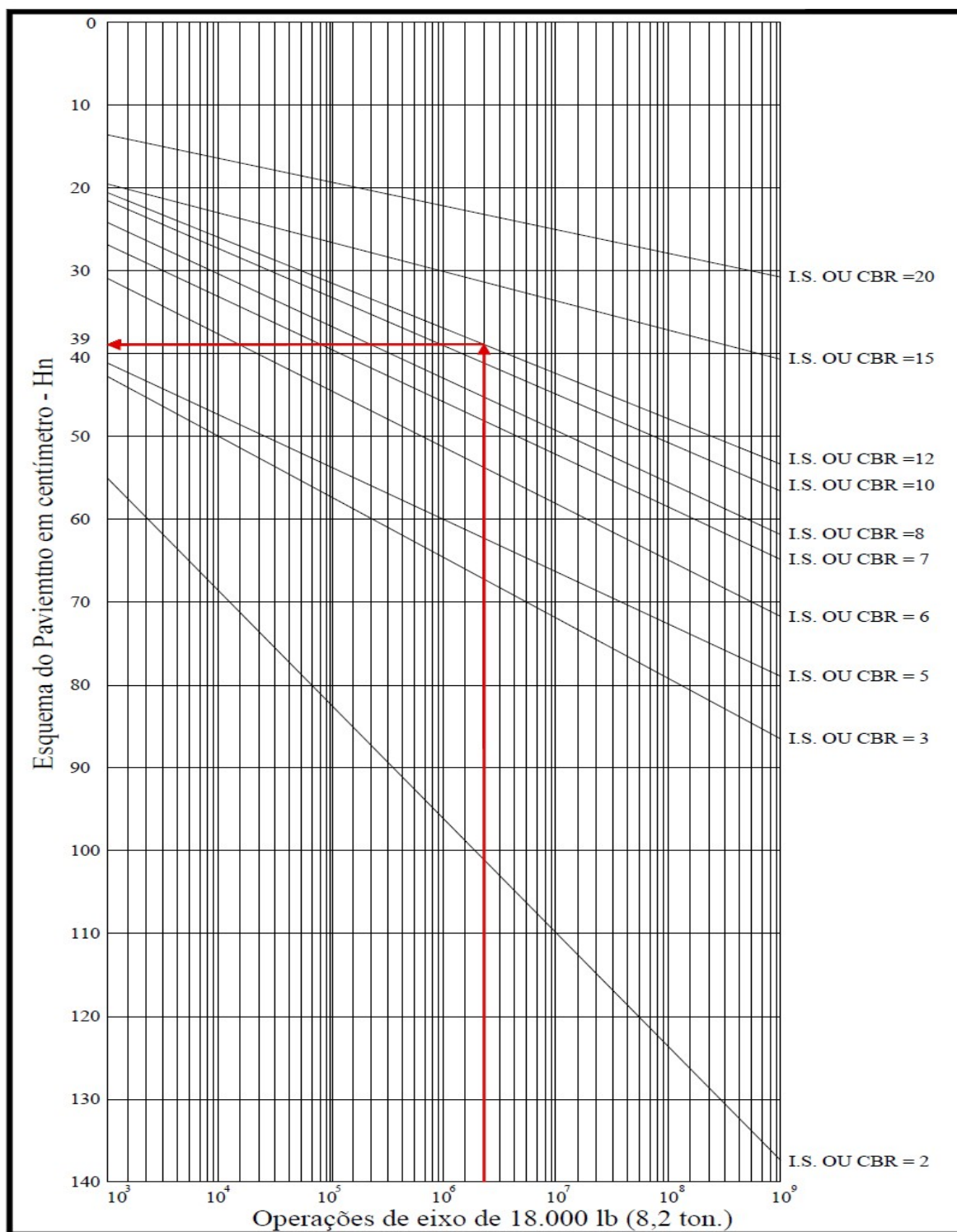


Figura 7 –Determinação do Hn = 39 cm



Município de Capanema – PR
Departamento de Engenharia

Utilizando a Inequação 01:

$$RKR + BkB \geq H20$$

$$5 \times 2 + 1 \times B \geq 24$$

$$10 + B \geq 24$$

$$B \geq 14 \text{ (arredondando)}$$

$$\underline{\underline{B \geq 15 \text{ cm}}}$$

Utilizando a Inequação 02:

$$RKR + BkB + h20KS \geq Hn$$

$$5 \times 2 + 14 + \text{Sub Base} \geq 39$$

$$\text{Sub Base} \geq 39 - 14 - 10$$

$$\text{Sub Base} \geq 14 \text{ (arredondando)}$$

$$\underline{\underline{\text{Sub Base} \geq 15 \text{ cm}}}$$

QUADRO RESUMO DAS ESPESSURAS DO PAVIMENTO	
Estrutura do Pavimento	Espessura (cm)
Revestimento em CBUQ	5,00
Base de Brita Graduada	15,00
Sub Base de Rachão	15,00
Total de Seção Transversal do Pavimento	35,00

Capanema, 28 de maio de 2025

Rubens Luis Rolando Souza
Engenheiro Civil
CREA RS 88.296/D