



# **DIMENSIONAMENTO DAS CAMADAS DO PAVIMENTO**

**Nova Prata do Iguaçu-PR, 27 de julho de 2025**

## Sumário

|  |    |
|--|----|
| INTRODUÇÃO .....   | 3  |
| METODOLOGIA.....   | 3  |
| DETERMINAÇÃO DO NÚMERO “N” .....                         | 4  |
| DETERMINAÇÃO DAS ESPESSURAS DAS CAMADAS.....             | 7  |
| DIMENSIONAMENTO .....                                    | 11 |
| DETERMINAÇÃO DO NÚMERO “N” .....                         | 11 |
| DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DAS CAMADAS DO PAVIMENTO ..... | 12 |
| RESULTADOS.....  | 12 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                         | 14 |

## INTRODUÇÃO

Este documento tem por finalidade demonstrar o dimensionamento de pavimento flexível utilizando o método DNER, conforme manual de pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). As ruas dimensionadas estão localizadas no município paranaense de **Nova Prata do Iguaçu** e possuem hoje pavimentação em CBUQ em todo o trecho. Para que seja possível o dimensionamento, foram realizados ensaios de índice de suporte Califórnia (CBR ou ISC) conforme laudo em anexo, além da determinação do número de passagens de um eixo padrão ou número “N”, presente neste memorial.

Os resultados obtidos serão utilizados no projeto de pavimentação das ruas e tem por objetivo a determinação das espessuras das camadas que irão compor o pavimento, tais como revestimento, base e sub-base, possibilitando assim que as camadas juntas, sejam capazes de resistir aos esforços resultantes do tráfego sem que ocorra rupturas ou deformações excessivas.

## METODOLOGIA

O Manual de Pavimentação do DNIT apresenta 2 métodos de dimensionamento para pavimentos flexíveis, neste memorial será abordado o método do DNER, o qual tem 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.

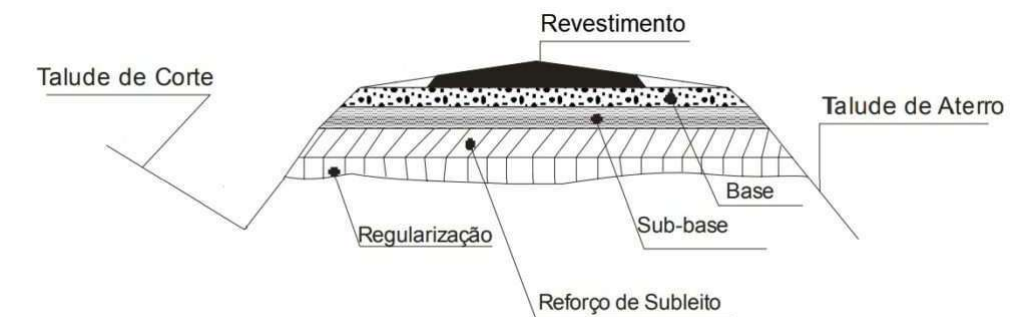
Tal capacidade de suporte do subleito e dos materiais é definida pelo ensaio de CBR, o qual é preconizado pelo DNER e normatizado pelo Método de Ensaio ME 172/2016, onde corpos-de-prova são moldados em laboratório para as condições de massa específica aparente e umidade especificada para o serviço.

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.

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.

**Figura 01** – Composição de um pavimento flexível



Fonte: DNIT (2006)

## DETERMINAÇÃO DO NÚMERO “N”

A capacidade destrutiva do tráfego é mensurada por meio de um número equivalente de operações de um eixo de 8,2 toneladas considerado como padrão. Esse número equivalente é conhecido como número “N”.

O número “N” é calculado em função do volume de tráfego total calculado, considerando uma taxa de crescimento anual, partindo de uma quantidade atual e considerando todo o período de projeto.

**Figura 02** – Cálculo do volume total do tráfego

$$V_t = \frac{365 V_1 [(1 + t/100)^p - 1]}{t/100}$$

**V<sub>t</sub>** - Volume Total de Tráfego  
**V<sub>1</sub>** - Volume Inicial de Tráfego  
**t** - Taxa de Crescimento Anual  
**P** - Período de Crescimento

Fonte: DNIT (2006)

O parâmetro  $V_t$  representa o volume total de tráfego em um sentido no ano de projeto enquanto o  $V_1$  representa o volume médio diário de tráfego em um sentido no ano de abertura.


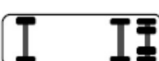
Para determinação do número “N”, além da contagem volumétrica (quantidade de veículos), é necessário realizar também uma contagem classificatória que defina os tipos de veículos que demandam ou que demandarão o futuro pavimento.

É importante salientar que para o cálculo do número “N”, apenas os veículos comerciais são considerados.

A classificação dos veículos vai indicar o quão destrutivas as cargas aplicadas pelos mesmos serão para o pavimento. Essa resposta é indicada pelo parâmetro conhecido como Fator de Veículo.


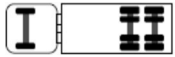

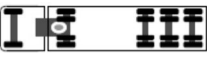



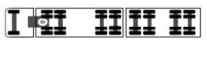

O Fator de Veículo vai indicar o quanto cada tipo de veículo representa em relação a um eixo padrão de 8,2 toneladas. Dessa forma é necessário que haja uma transformação para cada um desses tipos, levando em consideração sua frequência na contagem volumétrica, quantidade de eixos e a carga aplicada em cada um desses eixos, conforme tabela abaixo.

**Tabela 01 – Fator de Veículo para ônibus**

| Fatores de Veículo (FC - USACE) |       |   |      |            |     |             |     |           |     |     |
|---------------------------------|-------|---|------|------------|-----|-------------|-----|-----------|-----|-----|
| Veículo                         |       |   | EIXO | Composição |     |             |     |           |     | FV  |
|                                 |       |   |      | 20%        |     | 40%         |     | 20%       |     |     |
|                                 |       |   |      | -15%       |     | Carga legal |     | 10%       |     |     |
|                                 |       |   |      | Carga (t)  | FC  | Carga (t)   | FC  | Carga (t) | FC  |     |
| Ônibus                          | III-2 |  | ESRS | 5,1        | 0,1 | 6,0         | 0,3 | 6,6       | 0,4 | 4,2 |
|                                 |       |   | ESRD | 8,5        | 1,2 | 10,0        | 3,3 | 11,0      | 6,0 |     |
|                                 |       |   | Soma | 13,6       | 1,3 | 16,0        | 3,6 | 17,6      | 6,4 |     |
|                                 | III-4 |  | ESRS | 5,1        | 0,1 | 6,0         | 0,3 | 6,6       | 0,4 | 3,1 |
|                                 |       |   | ETD  | 11,5       | 1,0 | 13,5        | 2,4 | 14,9      | 4,1 |     |
|                                 |       |   | Soma | 16,6       | 1,1 | 19,5        | 2,7 | 21,5      | 4,5 |     |

*Fonte: Adaptado do DNIT (2006)*

**Tabela 02 – Fator de Veículo para caminhão**

|          |       |   |             |             |             |             |             |             |             |      |
|----------|-------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| Caminhão | I-2   |    | ESRS        | 5,1         | 0,1         | 6,0         | 0,3         | 6,6         | 0,4         | 4,2  |
|          |       |   | ESRD        | 8,5         | 1,2         | 10,0        | 3,3         | 11,0        | 6,0         |      |
|          |       |   | <b>Soma</b> | <b>13,6</b> | <b>1,3</b>  | <b>16,0</b> | <b>3,6</b>  | <b>17,6</b> | <b>6,4</b>  |      |
|          | I-3   |    | ESRS        | 5,1         | 0,1         | 6,0         | 0,3         | 6,6         | 0,4         | 10,2 |
|          |       |   | ETD         | 14,5        | 3,5         | 17,0        | 8,5         | 18,7        | 14,4        |      |
|          |       |   | <b>Soma</b> | <b>19,6</b> | <b>3,7</b>  | <b>23,0</b> | <b>8,8</b>  | <b>25,3</b> | <b>14,8</b> |      |
|          | I-6   |    | ESRS        | 5,1         | 0,1         | 6,0         | 0,3         | 6,6         | 0,4         | 10,5 |
|          |       |   | ESRS        | 5,1         | 0,1         | 6,0         | 0,3         | 6,6         | 0,4         |      |
|          |       |   | ETD         | 14,5        | 3,5         | 17,0        | 8,5         | 18,7        | 14,4        |      |
|          |       |   | <b>Soma</b> | <b>24,7</b> | <b>3,8</b>  | <b>29,0</b> | <b>9,1</b>  | <b>31,9</b> | <b>15,2</b> |      |
|          | I-12  |    | ESRS        | 5,1         | 0,1         | 6,0         | 0,3         | 6,6         | 0,4         | 15,0 |
|          |       |   | ESRD        | 8,5         | 1,2         | 10,0        | 3,3         | 11,0        | 6,0         |      |
|          |       |   | ETT         | 21,7        | 3,8         | 25,5        | 9,3         | 28,1        | 15,8        |      |
|          |       |   | <b>Soma</b> | <b>35,3</b> | <b>5,1</b>  | <b>41,5</b> | <b>12,9</b> | <b>45,7</b> | <b>22,2</b> |      |
|          | I-18  |    | ESRS        | 5,1         | 0,1         | 6,0         | 0,3         | 6,6         | 0,4         | 21,0 |
|          |       |   | ETD         | 14,5        | 3,5         | 17,0        | 8,5         | 18,7        | 14,4        |      |
|          |       |   | ETT         | 21,7        | 3,8         | 25,5        | 9,3         | 28,1        | 15,8        |      |
|          |       |   | <b>Soma</b> | <b>41,2</b> | <b>7,4</b>  | <b>48,5</b> | <b>18,1</b> | <b>53,4</b> | <b>30,7</b> |      |
|          | I-22  |    | ESRS        | 5,1         | 0,1         | 6,0         | 0,3         | 6,6         | 0,4         | 22,0 |
|          |       |   | ETD         | 14,5        | 3,5         | 17,0        | 8,5         | 18,7        | 14,4        |      |
|          |       |   | ESRD        | 8,5         | 1,2         | 10,0        | 3,3         | 11,0        | 6,0         |      |
|          |       |   | ESRD        | 8,5         | 1,2         | 10,0        | 3,3         | 11,0        | 6,0         |      |
|          |       |   | ESRD        | 8,5         | 1,2         | 10,0        | 3,3         | 11,0        | 6,0         |      |
|          |       |   | <b>Soma</b> | <b>45,1</b> | <b>7,2</b>  | <b>53,0</b> | <b>18,7</b> | <b>58,3</b> | <b>32,7</b> |      |
|          | I-64  |  | ESRS        | 5,1         | 0,1         | 6,0         | 0,3         | 6,6         | 0,4         | 30,0 |
|          |       |   | ETD         | 14,5        | 3,5         | 17,0        | 8,5         | 18,7        | 14,4        |      |
|          |       |   | ETD         | 14,5        | 3,5         | 17,0        | 8,5         | 18,7        | 14,4        |      |
|          |       |   | ETD         | 14,5        | 3,5         | 17,0        | 8,5         | 18,7        | 14,4        |      |
|          |       |   | <b>Soma</b> | <b>48,5</b> | <b>10,7</b> | <b>57,0</b> | <b>25,9</b> | <b>62,7</b> | <b>43,7</b> |      |
|          | II-6  |  | ESRS        | 5,1         | 0,1         | 6,0         | 0,3         | 6,6         | 0,4         | 39,9 |
|          |       |   | ETD         | 14,5        | 3,5         | 17,0        | 8,5         | 18,7        | 14,4        |      |
|          |       |   | ETD         | 14,5        | 3,5         | 17,0        | 8,5         | 18,7        | 14,4        |      |
|          |       |   | ETD         | 14,5        | 3,5         | 17,0        | 8,5         | 18,7        | 14,4        |      |
|          |       |   | ETD         | 14,5        | 3,5         | 17,0        | 8,5         | 18,7        | 14,4        |      |
|          |       |   | <b>Soma</b> | <b>62,9</b> | <b>14,2</b> | <b>74,0</b> | <b>34,5</b> | <b>81,4</b> | <b>58,1</b> |      |
|          | II-19 |  | ESRS        | 5,1         | 0,1         | 6,0         | 0,3         | 6,6         | 0,4         | 31,8 |
|          |       |   | ETD         | 14,5        | 3,5         | 17,0        | 8,5         | 18,7        | 14,4        |      |
|          |       |   | ETT         | 21,7        | 3,8         | 25,5        | 9,3         | 28,1        | 15,8        |      |
|          |       |   | ETT         | 21,7        | 3,8         | 25,5        | 9,3         | 28,1        | 15,8        |      |
|          |       |   | <b>Soma</b> | <b>62,9</b> | <b>11,2</b> | <b>74,0</b> | <b>27,4</b> | <b>81,4</b> | <b>46,5</b> |      |

*Fonte: Adaptado do DNIT (2006)*

Por meio do tipo de veículo, calcula-se um fator de equivalência de carga para cada eixo, cujos valores somados representa o fator total do veículo. Cada fator calculado deve ser multiplicado pela frequência do respectivo tipo de veículo e o somatório dos resultados representará o Fator de Veículo (FV).

**Figura 03** – Cálculo do fator de veículo

$$\text{Fator de Veículo} = \sum (P * Fv)$$

*Fonte: DNIT (2006)*

Onde P representa o percentual por tipo de veículo e Fv representa o fator de equivalência de carga dele.

Após a determinação do valor do Volume de Tráfego Total e do Fator de Veículo, o número “N” será o resultado do produto desses 2 parâmetros.

**Figura 04** – Cálculo do número “N”

$$N = Vt \times (F.V)$$

*Fonte: DNIT (2006)*

## **DETERMINAÇÃO DAS ESPESSURAS DAS CAMADAS**

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, conforme figura.

**Figura 05** – Coeficiente de equivalência estrutural

| <b>Componentes do pavimento</b>  | <b>Coeficiente K</b> |
|--|----------------------|
| 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                 |
| <b>Camadas granulares</b>  | <b>1,00</b>          |
| Solo cimento com resistência à compressão<br>a 7 dias, superior a 45 kg/cm | 1,70                 |
| Idem, com resistência à compressão a 7<br>dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm  | 1,40                 |
| Idem, com resistência à compressão a 7<br>dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm  | 1,20                 |

*Fonte: DNIT (2006)*

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

**Figura 06** – Definição do revestimento

| <b>N</b>                      | <b>Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso</b> |
|-------------------------------|--|
| $N \leq 10^6$                 | 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       |

O próximo passo para dimensionamento do pavimento é definir as espessuras das camadas utilizando inequações pré-definidas no método e pelas curvas 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.

**Figura 07** – Determinação das espessuras das camadas

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

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

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

*Fonte: DNIT (2006)*

Onde:

R = Espessura do revestimento;

B = Espessura da camada de base;

H20 = Espessura sobre a camada de sub base;

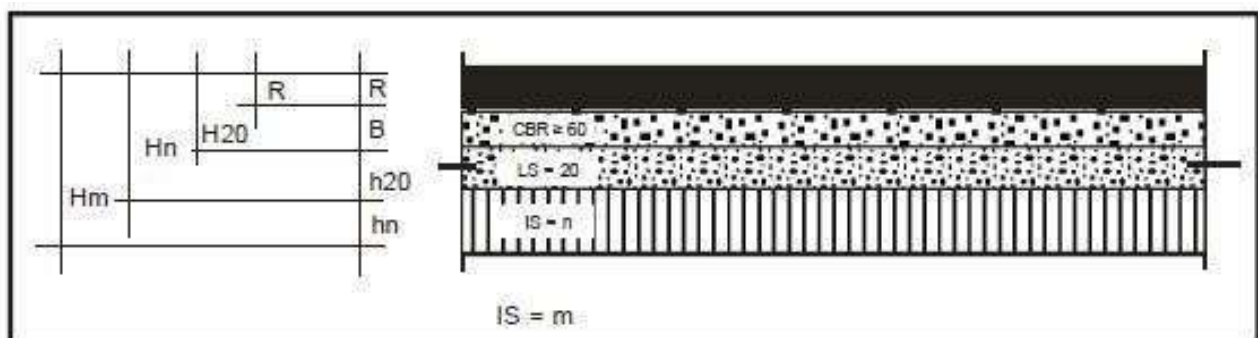
h20 = Espessura da camada de sub base;

Hn = Espessura sobre a camada de reforço do subleito;

Hn = Espessura da camada de reforço do subleito;

HM = Espessura sobre a camada de subleito;

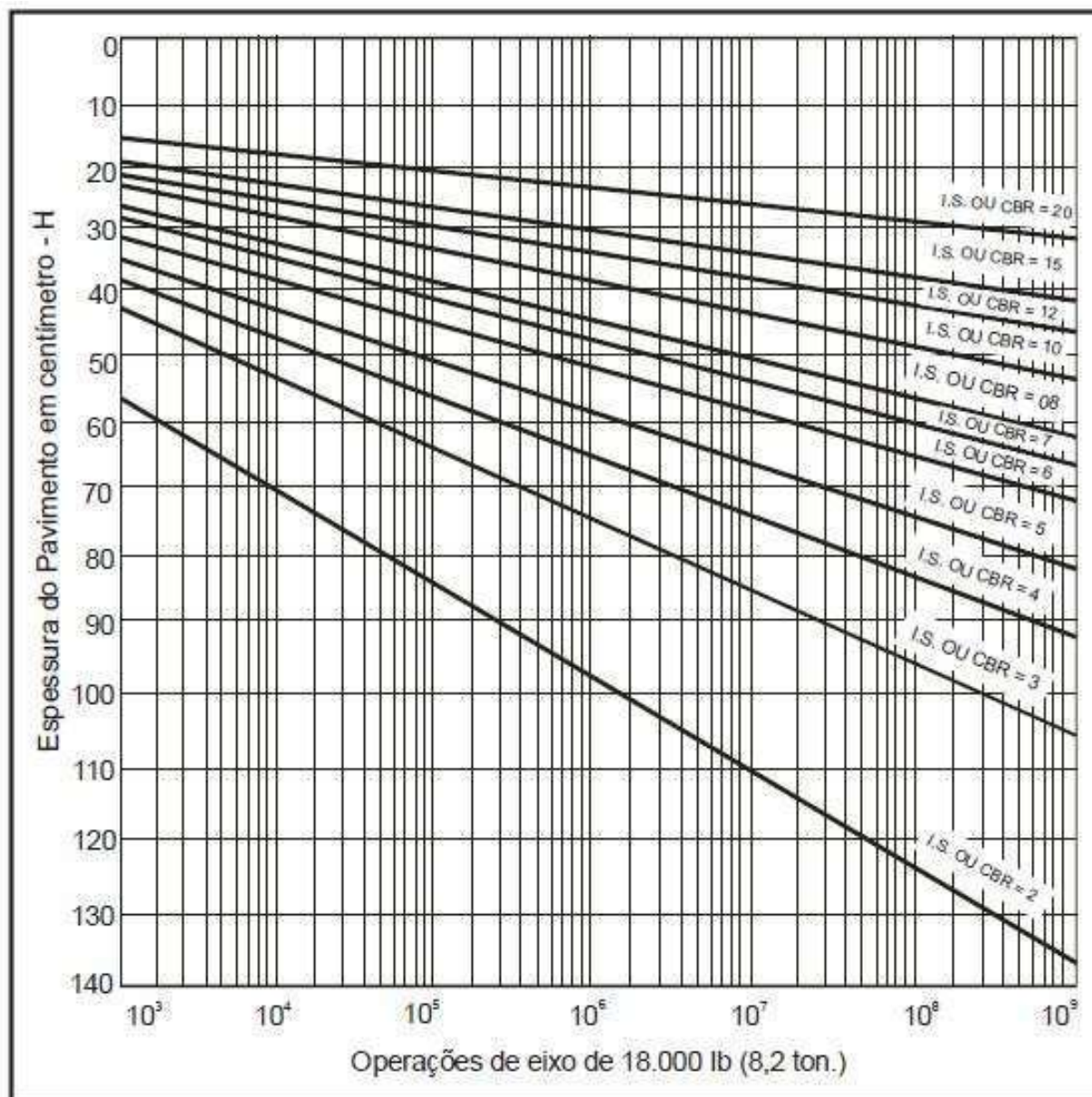
**Figura 08** – Definição das espessuras das camadas



*Fonte: DNIT (2006)*

O ábaco da figura abaixo nos fornece a espessura total (Hx) do pavimento, em função de N e de IS ou CBR da camada a ser protegida por ele.

**Figura 09** – Determinação de espessuras das camadas



*Fonte: DNIT (2006)*

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.

Uma observação importante é que, mesmo que o CBR da camada de sub-base seja superior a 20%, a espessura do pavimento para 10 protegê-la é determinada como se o valor fosse 20 e, por esta razão, sempre são usados os símbolos H20 e h20.

# DIMENSIONAMENTO

## DETERMINAÇÃO DO NÚMERO “N”

Contagem média diária de veículos na rua conforme tabela a seguir.

| VEÍCULO          | ÔNIBUS |       | CAMINHÕES |      |      |      |      |      |      |      |       |
|------------------|--------|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|                  | III-2  | III-4 | I-2       | I-3  | I-6  | I-12 | I-18 | I-22 | I-64 | II-6 | II-19 |
| VMD              | 8      | 10    | 8         | 8    | 6    |      |      |      |      |      |       |
| FV               | 4,2    | 3,1   | 4,2       | 10,2 | 10,5 | 15,0 | 21,0 | 22,0 | 30,0 | 39,9 | 31,8  |
| FV médio         | 3,6    |       | 8,1       |      |      |      |      |      |      |      |       |
| Taxa crescimento | 5%     |       | 5,0%      |      |      |      |      |      |      |      |       |

Com isso foi elaborado a projeção de crescimento do número “N”, considerado uma taxa de crescimento de 5% ao ano, e uma vida útil de dez anos a contar a partir da obra concluída. O Fator climático regional utilizado foi de um, seguindo a recomendação do manual de pavimentação do DNIT, e se tornando assim desprezível no cálculo.

| NÚMERO N |           |           |        |        |         |         |
|----------|-----------|-----------|--------|--------|---------|---------|
| Ano      | Fase      | Vida Útil | VMD    |        | N       |         |
|          |           |           | Ônibus | Camin. | N ano   | N acum. |
| 2025     | Projeto   |           | 18     | 22     | 8,9E+04 |         |
| 2025     | Lic./obra |           | 18     | 22     | 8,9E+04 |         |
| 2026     | Vida útil | 1         | 19     | 23     | 9,3E+04 | 9,3E+04 |
| 2027     | Vida útil | 2         | 20     | 24     | 9,8E+04 | 1,9E+05 |
| 2028     | Vida útil | 3         | 21     | 25     | 1,0E+05 | 2,9E+05 |
| 2029     | Vida útil | 4         | 22     | 27     | 1,1E+05 | 4,0E+05 |
| 2030     | Vida útil | 5         | 23     | 28     | 1,1E+05 | 5,2E+05 |
| 2031     | Vida útil | 6         | 24     | 29     | 1,2E+05 | 6,3E+05 |
| 2032     | Vida útil | 7         | 25     | 31     | 1,2E+05 | 7,6E+05 |
| 2033     | Vida útil | 8         | 27     | 33     | 1,3E+05 | 8,9E+05 |
| 2034     | Vida útil | 9         | 28     | 34     | 1,4E+05 | 1,0E+06 |
| 2035     | Vida útil | 10        | 29     | 36     | 1,4E+05 | 1,2E+06 |

NU' MERO “N” CALCULADO: 1,2x 10<sup>6</sup>

## DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DAS CAMADAS DO PAVIMENTO

### VALORES OBTIDOS NOS ENSAIOS DE CBR

| NU' MERO DA AMOSTRA | RESULTADO OBTIDO |
|---------------------|------------------|
| CBR136              | 9,94             |
| CBR137              | 11,30            |
| CBR138              | 10,80            |
| CBR139              | 10,34            |
| CBR140              | 9,90             |
| CBR141              | 9,64             |
| CBR142              | 8,89             |
| CBR143              | 8,89             |
| CBR144              | 9,26             |
| CBR145              | 10,17            |
| CBR146              | 9,51             |

MENOR CBR DO SUB-LEITO OBTIDO DE **8,89%**

\*Utilizado o menor valor encontrado nos ensaios realizados no trecho.

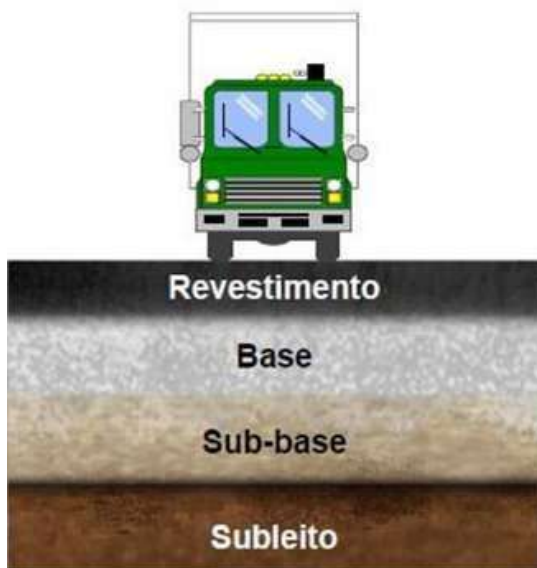
Revestimento betuminoso adotado de 5cm. => **R= 5cm**

A sub-base é existente em pavimentação poliédrica, possuindo uma espessura de 17cm => **h<sub>20</sub>= 17cm**

Conforme ábaco, espessura total adotada deve ser de no mínimo 42cm, assim:

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S \geq 42 \Rightarrow 5 \times 2 + B \times 1 + 17 \times 1 \geq 42 \Rightarrow B = 15\text{cm} \Rightarrow \mathbf{h_{20} = 15\text{cm}}$$

## RESULTADOS



RESULTADO DA ESPESSURA DAS CAMADAS E SEUS RESPECTIVOS MATERIAIS ADOTADOS.

REVESTIMENTO BETUMINOSO  
5 cm

BRITA GRADUADA SIMPLES  
15 cm

PAVIMENTAÇÃO POLIÉDRICA EXISTENTE  
17 cm

---

CLEUZA CASTRO DE JESUS  
ENGENHEIRA CIVIL E AGRIMENSORA  
CREA SC - 45442 /D

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.

**MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO.** 3ed. Rio de Janeiro, 2006.