



Município de Capitão Leônidas Marques - PR

Governo Municipal

MEMORIAL DE CÁLCULO

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXIVEL
VIAS DO PROGRAMA ASFALTO NOVO VIDA NOVA

CAPITÃO LEÔNIDAS MARQUES

2025



Município de Capitão Leônidas Marques - PR

Governo Municipal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	3
2 METODOLOGIA	4
2.1 Determinação do número “N”	5
2.2 Determinação da espessura das camadas	8
3 DIMENSIONAMENTO	12
3.1 Resumo dos ensaios CBR	12
3.2 Cálculo do Número “N”	12
3.3 Determinação da espessura das camadas do pavimento	14
3.3.1 Revestimento	14
3.3.2 Base	14
3.3.3 Sub-Base	14
3.3.4 Dimensionamento Opcional	14
3.4 Resultados	16
3.4.1 Modelo 01	16
3.4.2 Modelo 02	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18



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).

A estrada dimensionada está localizada na zona urbana do município paranaense de Capitão Leônidas Marques e possui hoje pavimentação primária (leito natural). 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 asfáltica 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.



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”, de 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.

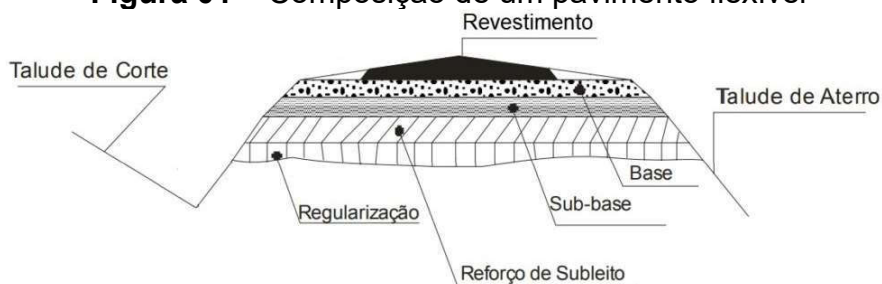
As camadas do pavimento flexível são dimensionadas em função do tipo de material constituinte e da sua respectiva capacidade de suporte.

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.

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)



1 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_t - Volume Total de Tráfego

V₁ - 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 V₁ 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



Município de Capitão Leônidas Marques - PR

Governo Municipal

a contagem volumétrica, quantidade de eixos e a carga aplicada em cada um desses eixos, conforme os Quadros 01 e 02, inseridos abaixo.

Quadro 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)

Quadro 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	
			Soma	13,6	1,3	16,0	3,6	17,6	6,4	
	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	
			Soma	19,6	3,7	23,0	8,8	25,3	14,8	
	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	
			Soma	24,7	3,8	29,0	9,1	31,9	15,2	
	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	
			Soma	35,3	5,1	41,5	12,9	45,7	22,2	
	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	
			Soma	41,2	7,4	48,5	18,1	53,4	30,7	
	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	
			Soma	45,1	7,2	53,0	18,7	58,3	32,7	



Município de Capitão Leônidas Marques - PR

Governo Municipal

	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	
			Soma	48,5	10,7	57,0	25,9	62,7	43,7	
	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	
			Soma	62,9	14,2	74,0	34,5	81,4	58,1	
	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	
			Soma	62,9	11,2	74,0	27,4	81,4	46,5	

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”

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

Fonte: DNIT (2006)

2.2 Determinação da espessura 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 05.

Figura 05 – Coeficiente de equivalência estrutural

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

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 06 apresenta a tabela na qual o tipo e a espessura mínima



o revestimento são definidos.

Figura 06 – Espessuras mínimas de revestimento betumino

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

Fonte: DNIT (2006)

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 9, 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;

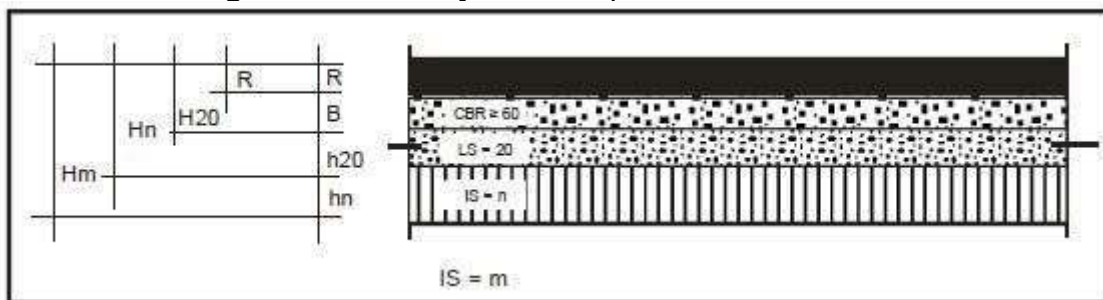
Hn = Espessura sobre a camada de reforço do subleito;

hn = Espessura da camada de reforço do subleito;

HM = Espessura sobre a camada de subleito;



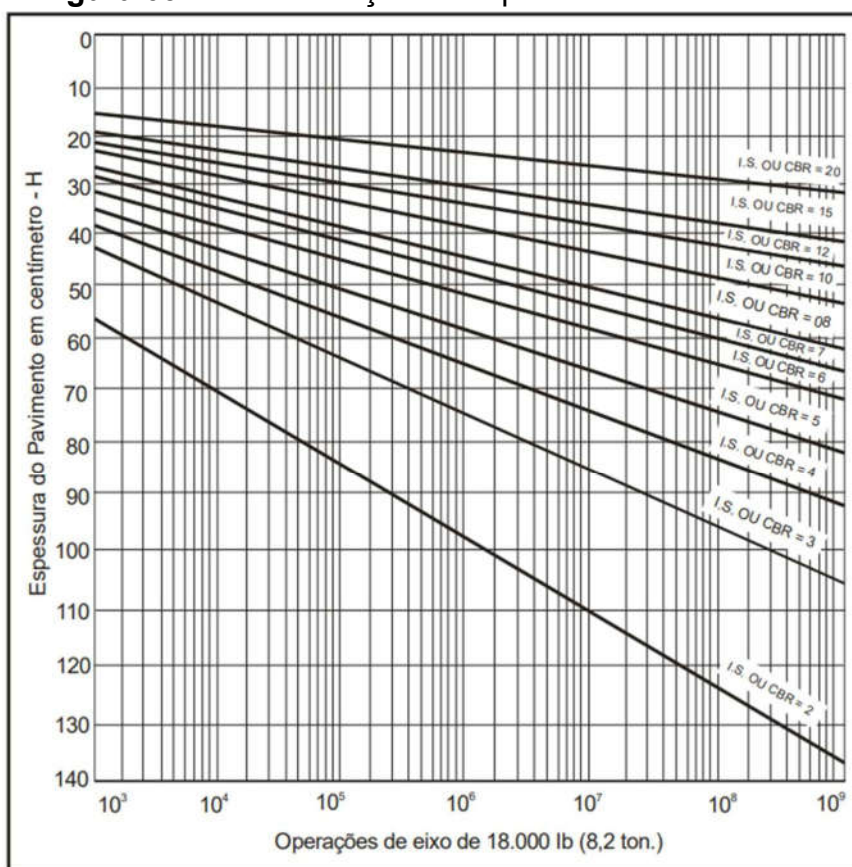
Figura 08 – Definição das espessuras das camadas



Fonte: DNIT (2006)

O ábaco da Figura 09, representado abaixo, nos fornece a espessura total (Hx) do pavimento, em função de N e de ISC ou CBR da camada a ser protegida por ele.

Figura 09 – Determinação de espessuras das camadas



$$H_t = 77,67 \cdot N^{0,0482} \cdot CBR^{-0,598}$$

Fonte: DNIT (2006)

É importante ressaltar que as normas apresentam que as espessuras máximas



mínimas que devem ser adotadas para cada camada são respectivamente 20cm e 10cm. Embora a norma permita a utilização de camada mínima de 10cm, a mesma recomenda adotar camadas com espessura mínima de 15cm, a fim de facilitar a execução.

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



3.1 Resumo dos ensaios CBR

Para este trecho de pavimentação, foram realizados **16 ensaios** de Índice de Suporte Califórnia – ISC, também conhecido como CBR, os resultados obtidos estão expressos da tabela abaixo.

Amostra	CBR (%)
01	8,82
02	8,39
03	8,54
04	8,60
05	8,97
06	9,06
07	9,15
08	9,22
09	9,26
10	9,24
11	9,69
12	9,55
13	9,25
14	9,10
15	9,42
16	9,44

Conforme regulamentado pelo DNIT (2006), deverá ser adotado o menor valor encontrado no trecho, nesse caso o CBR adotado para o subleito será de 8,39%.

3.2 Cálculo do Número “N”

Conforme explicado anteriormente, o número “N” é a contagem de repetições de passagem de um eixo de 8,2 toneladas, durante toda a vida útil do pavimento.

Observando a passagem de caminhões e ônibus no local, pode-se chegar a



Município de Capitão Leônidas Marques ¹³ PR

Governo Municipal

Esta razão. A contagem realizada está expressa na tabela abaixo.

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	6	4	14	6	3	1					
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	3,8		7,0								
Taxa crescimento	3%		5,0%								

Com esses dados, pôde-se elaborar a projeção de crescimento do número “N”, considerado uma taxa de crescimento de 3% ao ano para ônibus e 5% para caminhões, e uma vida útil de dez anos a contar a partir da obra concluída. O Fator climático regional utilizado foi de 01, 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.
2024	Projeto		10	24	7,5E+04	
2025	Lic./obra		10	25	7,8E+04	
2026	Vida útil		11	26	8,2E+04	8,2E+04
2027	Vida útil	1	11	28	8,6E+04	1,7E+05
2028	Vida útil	2	11	29	9,0E+04	2,6E+05
2029	Vida útil	3	12	31	9,4E+04	3,5E+05
2030	Vida útil	4	12	32	9,8E+04	4,5E+05
2031	Vida útil	5	12	34	1,0E+05	5,5E+05
2032	Vida útil	6	13	35	1,1E+05	6,6E+05
2033	Vida útil	7	13	37	1,1E+05	7,7E+05
2034	Vida útil	8	13	39	1,2E+05	8,9E+05
2035	Vida útil	9	14	41	1,2E+05	1,0E+06
2036	Vida útil	10	14	43	1,3E+05	1,1E+06

Deste modo, o número “N” calculado para este trecho é de $1,1 \times 10^6$.



3 Determinação da espessura das camadas do pavimento

3.3.1 Revestimento

Revestimento betuminoso adotado de 4cm. => **R= 4cm**

3.3.2 Base

Para a sub-base foi adotado CBR de 20%.

Aplicando o valor de CBR da sub-base, junto com do número “N”, na fórmula presente no ábaco, tem-se que a camada deve ter espessura total de 23 cm.

Logo, tem-se a seguinte fórmula:

$$R \times K_r + B \times K_b \geq 23$$

$$4 \times 2 + B \times 1 \geq 23 \rightarrow B \geq 19$$

Será adotado B = 19 cm.

4.1.1 Sub-Base

A sub-base de pavimentação, deve ser calculado levando em conta o CBR encontrado para o subleito, nesse caso 8,39%.

Aplicando o valor de CBR do subleito, junto do número “N”, na fórmula presente no ábaco, tem-se que a camada de revestimento, base e sub-base, juntos, devem ter espessura total de 36 cm.

Logo, tem-se a seguinte fórmula:

$$R \times K_r + B \times K_b + h_{20} \times K_s \geq 36$$

$$4 \times 2 + 19 \times 1 + h_{20} \times 1 \geq 36 \rightarrow h_{20} \geq 13$$

Deste modo, deve ser aplicado uma camada de sub-base de, no mínimo, 13 cm.

4.1.2 Dimensionamento Opcional

Há também a possibilidade do aumento da camada de Sub-base, como sugerido pelo projetista, utilizando-se assim uma camada de 20cm de espessura. Portanto, para o dimensionamento da Base, a espessura total com seus respectivos coeficientes devem ser de no mínimo 36cm.



Utilizando a fórmula abaixo, é possível encontrar a espessura da Base.

$$R \times K_r + B \times K_b + h_{20} \times K_s \geq 36$$
$$4 \times 2 + B \times 1 + 20 \times 1 \geq 36 \rightarrow h_{20} \geq 8$$

Entretanto, devido ao controle tecnológico, o DNIT recomenda espessuras mínimas e máximas de 10cm e 20cm, respectivamente. Pois camadas fora desta faixa tem sua compactação dificultada.

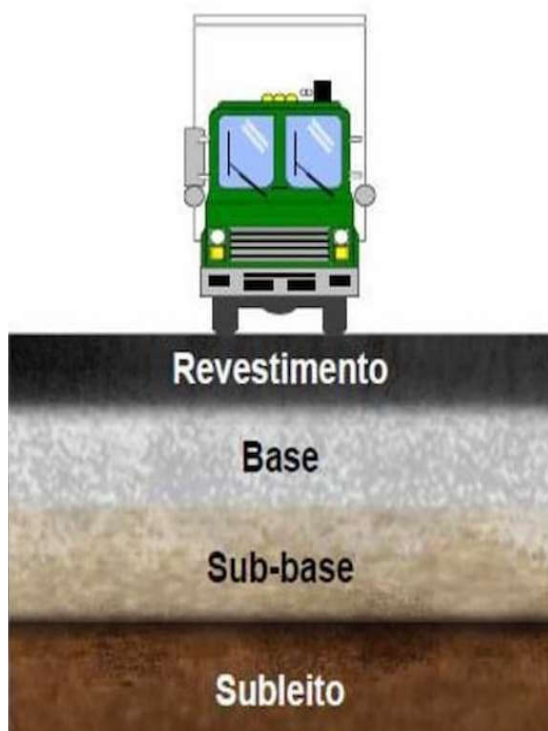
Portanto, recomenda-se a adoção de uma camada de base de no mínimo 10 cm.



2 Resultados

As espessuras mínimas para o pavimento devem seguir o modelo representado abaixo.

4.2.1 Modelo 01



REVESTIMENTO BETUMINOSO Á
EXECUTAR = 4 cm

BRITA GRADUADA SIMPLES Á
EXECUTAR = 15 cm

PEDRA RACHÃO OU MACADAME SECO À
EXECUTAR = 20 cm

Capitão Leônidas Marques, 11 de março de 2025

Jean Carlos Gibbert
Engenheiro Civil
CREA PR 167999/D



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.

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