

Análise comparativa entre o pavimento flexível e o rígido, dimensionamento e custos

(Comparative analysis between flexible and rigid pavement, applications and costs)

Rafael de Souza Martins¹; Thais de Carvalho²; Vinicius Slompo Pinto³

¹Graduação – Centro Universitário UNIFAFIBE – Bebedouro SP
rafamartins.eng@gmail.com

²Graduação – Centro Universitário UNIFAFIBE – Bebedouro SP
eng.thaiscarvalho@gmail.com

³Centro Universitário UNIFAFIBE – Bebedouro – SP
vinicius.slompo.p@gmail.com

***Abstract.** The pavement consists of a system of overlapping layers with thicknesses designed to withstand the conditions imposed on the pavement. The dimensions of their respective thicknesses are realized through the methodology directed to each floor, traditionally classified in two basic types: flexible pavement known as asphaltic and the hard or concrete pavement. The sizing methods used in this work for each pavement were the DER / SP method and the PCA (1984), taking into account the same traffic conditions, ground and materials used for the sub-base in order to compare them in initial cost feasibility. Where an advantage of financial investment of the flexible deck compared to the rigid one could be observed in the face of the situation imposed on the roads.*

***Keywords.** Flexible flooring; hard flooring; asphalt pavement; concrete floor; sizing; costs*

***Resumo.** A pavimentação consiste em um sistema de camadas sobrepostas com espessuras dimensionadas a fim de suportar as condições impostas ao pavimento. Os dimensionamentos de suas respectivas espessuras são realizados através da metodologia direcionada para cada pavimento, classificados tradicionalmente em dois tipos básicos: pavimento flexível conhecido como asfáltico e o pavimento rígido ou de concreto. Os métodos de dimensionamento utilizados neste trabalho para cada pavimento foram o método do DER/SP, e o PCA (1984), levando em consideração as mesmas condições de tráfego, subleito e materiais utilizados para a sub-base com o objetivo de realizar um comparativo entre eles em relação à viabilidade de custo inicial. Onde pôde ser observada diante da situação imposta às vias uma vantagem de investimento financeiro do pavimento flexível em relação ao rígido.*

***Palavras-chave.** Pavimento flexível; pavimento rígido; pavimento asfáltico; pavimento de concreto; dimensionamento; custos.*

1 Introdução

Há anos o principal meio de movimentação de cargas e pessoas no Brasil tem sido o transporte rodoviário. Na matriz do transporte de cargas, possui maior participação, com 61,1%, quando comparado com os demais modais: E a movimentação de passageiros lidera com participação de 95%. Sendo, portanto, um importante meio de interação e de alta contribuição ao sistema socioeconômico do país. (CNT, 2016).

O termo pavimento significa:

[...] uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinado tecnicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos, às condições do clima e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança. No âmbito geral, a rodovia pavimentada incrementa o progresso socioeconômico da região, repercutindo na positiva qualidade de vida da comunidade, na distribuição espacial da população, na disponibilidade de transportes coletivos entre outros itens [...] (BERNUCCI et. al., 2008, p.9).

O Manual de Pavimentação do DNIT (2006) classifica pavimentos como:

- a) flexível, com sub-base granular e revestimento asfáltico;
- b) semirrígido, com camada de solo cimento e revestimento asfáltico;
- c) rígido, constituído por um revestimento de concreto Portland.

É possível dimensionar as camadas de um pavimento, flexível ou rígido, de acordo com as características específicas de: condições de tráfego, ensaios geológicos e técnicos, subleito e sub-base. (DER/SP, 2012)

Quando comparado com o pavimento rígido, o pavimento flexível possui estrutura mais espessa, maior quantidade de camadas, já que sua camada de rolamento, diferente do rígido que redistribui os esforços reduzindo a tensão imposta à fundação, absorve às tensões de carregamento transmitindo-as para a fundação, sendo necessárias mais camadas para absorver as tensões e não danificar o subleito. (BIANCHI, et. al, 2008)

A vida útil do pavimento rígido chega ao dobro de tempo quando comparado com o flexível que é usualmente utilizado uma vida útil de 10 anos. Além da maior vida útil também apresenta maior resistência e durabilidade em relação às manutenções. (BIANCHI, et. al, 2008)

O objetivo deste artigo é o dimensionamento das espessuras do pavimento flexível e do pavimento rígido levando em consideração as mesmas condições de volume de tráfego, mesmo tipo de solo para o subleito e mesmos materiais para sub-base. Será feita uma comparação

através de um levantamento de custos baseado em planilhas bases para preços orçamentários de obras, SICRO e TCPO, para realizar o comparativo de viabilidade de custo entre os dois tipos de pavimentos.

2 Referencial teórico

2.1 Conceito de pavimentação

A pavimentação consiste em uma estrutura construída depois da execução da terraplanagem e que se destina a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego, tornar melhores as condições de rolamento, comodidade e segurança. Devem também resistir aos esforços horizontais, desgastes, de modo a tornar mais durável a superfície de rolamento (ABNT, NBR 7207: 1982).

O pavimento é uma superestrutura que se constitui por um sistema de camadas sobrepostas e com respectivas espessuras pré dimensionadas de acordo com as solicitações impostas ao pavimento. São assentadas sobre a camada prepara e formada pelo solo do terreno, designada de subleito. (DNIT, 2006)

As espessuras de cada camada que constituem o pavimento devem ser dimensionadas afim de resistirem às condições de tráfego, sem que as mesmas não sofram deformações plásticas ocasionando o surgimento de patologias em sua estrutura, ou seja “defeitos”, que inviabilize as condições ideais ao rolamento e a segurança de seus usuários (MARQUES, 2012).

2.2 Camadas do pavimento

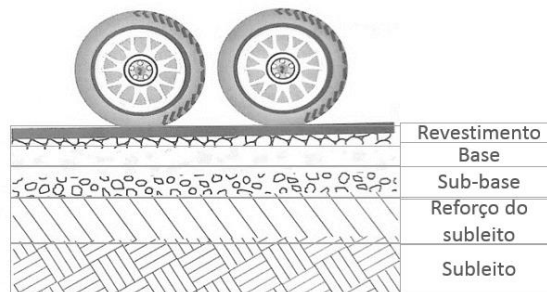
As camadas que compõem o pavimento podem ser compreendidas entre as seguintes: subleito, sub-base, base e revestimento (ABNT NBR 7207, 1982):

- a) Subleito: Camada formada pelo terreno natural do pavimento ou do revestimento;
- b) Reforço do subleito: Camada de espessura constante, construída, se necessário, acima da regularização, com características técnicas inferiores ao material usado na camada que lhe for superior (sub-base), porém superiores às do material do subleito;
- c) Sub-base: Camada intermediária ou complementar, fundamental para suportar a carga de projeto quando a resistência das camadas anteriores (subleito) não é adequada para tal;

- d) Base: Camada que se responsabiliza por absorver e distribuir as cargas verticais de projeto, sobre a qual é aplicado o revestimento;
- e) Revestimento: Camada, teoricamente impermeável, que se responsabiliza pelo recebimento do tráfego dos veículos.

Quando há necessidade, pode-se acrescentar uma camada de reforço do subleito, visando tornar melhor as condições de suporte do solo e de fundação do pavimento (ABNT, NBR 12752: 2008). Um exemplo de pavimento com reforço de subleito é demonstrado na figura 1.

Figura 1 - Camadas de um pavimento asfáltico



Fonte: Adaptado, Balbo (2015)

2.3 Classificação dos pavimentos

De acordo com Manual de Pavimentação do DNIT (2006), os pavimentos são classificados de acordo com a rigidez do conjunto, ou seja: rígido, semirrígido e flexível.

2.3.1 Pavimento flexível

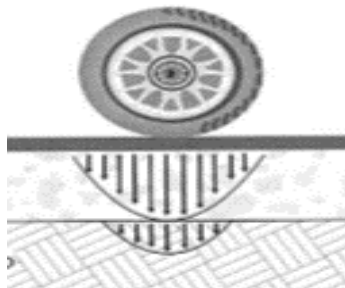
Para Betuseau (2014), o que distingue o pavimento flexível dos demais, é que neste tipo de pavimento, não é empregado concreto ou cimento, nem em sua base, nem na superfície. Trata-se do tipo mais indicado para as vias de tráfego que recebem menos peso.

Um exemplo típico de pavimento flexível também conhecido como pavimento asfáltico é aquele constituído por uma base de brita (brita graduada ou macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica. DNIT (2006).

As cargas aplicadas pelo tráfego no pavimento flexível são absorvidas pelo revestimento e transmitidas às demais camadas de forma equivalente deformando-as elasticamente, ou seja, de forma que suportem os esforços sem causar sua ruptura. (BERNUCCI et al., 2008).

Conforme esquematizado na figura 2:

Figura 2- Distribuição das cargas no pavimento flexível



Fonte: Adaptado, Balbo (2015)

Os revestimentos asfálticos do pavimento flexível podem ser classificados como: concreto asfáltico, conhecido como CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) ou mistura a frio denominada EAP (Emulsão asfáltica). (BERNUCCI et al., 2008)

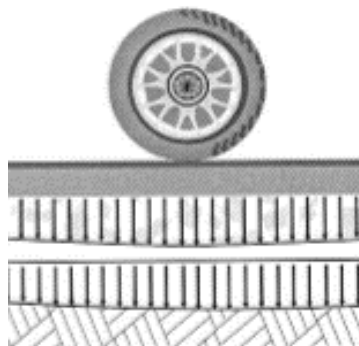
2.3.2 Pavimento rígido

O pavimento rígido é aquele conceituado por Bernucci et al. (2008) que se encontra associado ao concreto de cimento Portland. Ele é constituído por uma camada superficial de concreto de cimento Portland (que podem ser placas, armadas ou não), que se apoia sobre uma camada de material granular ou de material estabilizado com cimento (chamada sub-base), assentada sobre o subleito ou sobre um reforço do subleito quando necessário.

São indicados para vias que abrigam tráfego pesado, já que são rígidos e pouco deformáveis. Suas deformações ocorrem principalmente devido à tração na flexão. (SENÇO, 1997)

Devido à alta rigidez da camada de revestimento do pavimento rígido, as cargas recebidas são absorvidas e distribuídas de forma mais uniforme, transmitindo-as às demais camadas do pavimento sem ocasionar grandes deformações. Conforme esquematizado na figura 3.

Figura 3- Distribuição das cargas no pavimento rígido



Fonte: Adaptado, Balbo (2015)

O concreto é constituído por uma mistura de cimento Portland, agregados miúdo e graúdo e água, distribuído numa camada devidamente adensada. Essa camada funciona ao mesmo tempo como revestimento e base do pavimento (DNIT, 2006).

2.5 Dimensionamento de pavimento

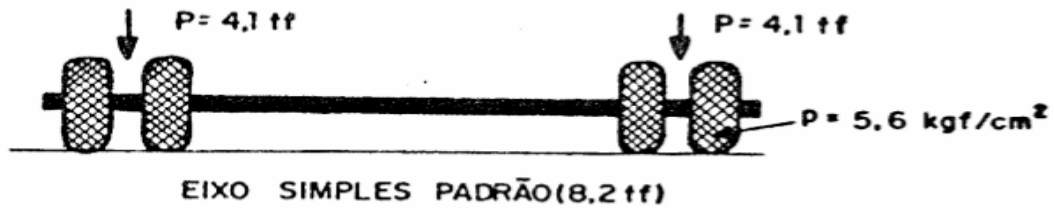
As camadas de um pavimento devem atender às necessidades de resistência, afim de transmitir e distribuir os esforços do tráfego de forma a não sofrer ruptura, sem deformações consideráveis ou desgaste excessivo. O dimensionamento de pavimento consiste em determinar tais espessuras (SENÇO, 1997).

2.5.1 Dimensionamento de pavimento flexível

Segundo o DER/SP (2012), o dimensionamento do pavimento é realizado em função da(o):

- a) Capacidade de suporte do subleito e as demais camadas: através de ensaios geotécnicos as camadas são avaliadas e por meio da média aritmética desses ensaios são determinados os respectivos CBR para as camadas;
- b) Tráfego: número de operações do eixo simples padrão (representado na figura 4), em relação a deterioração do pavimento ao tráfego previsto para o período de projeto.

Figura 4 - Eixo padrão rodoviário



Fonte: MARQUES, 2012

Conhecido como CBR (California Bearing Ratio), o ensaio de suporte Califórnia, compreende na determinação da capacidade de suporte do solo. Por meio a imersão do corpo de prova em água é possível determinar a durabilidade em relação ao índice de expansibilidade, seguido da determinação de sua resistência à penetração, através da relação da pressão necessária para penetrar um pistão no corpo de prova e em uma brita graduada padrão, determinado pela equação:

$$CBR(\%) = \frac{\text{Pressão lida ou corrigida}}{\text{Pressão padrão}} \times 100 \quad (1)$$

O número “N”, representa a quantidade de passadas do eixo padrão sobre o pavimento em determinado período de utilização da via (DNIT, 2006). A figura 7 apresenta o eixo padrão utilizado em projeto.

Através da equação 2 pode-se calcular o Volume de tráfego total (V_t), sendo V_m o volume médio de tráfego, determinado através de um estudo de tráfego onde dados são colhidos em função da quantidade de veículos que trafegam na via durante um determinado período P de projeto. Ou determinado através da equação 3, caso haja dados já coletados anteriormente em função de um período de projeto P , uma taxa anual de crescimento t , e um volume inicial de tráfego V_o . (DER/SP, 2012).

Segundo DER/SP (2012) o período de projeto P varia de acordo com o tipo de pavimento aplicado na via, usualmente utiliza-se para pavimentos flexíveis um período de projeto P de 10 anos, já para o rígido 20 anos.

$$V_t = 365 \times P \times V_m \quad (2)$$

$$\frac{V_m = V_o \left(2 + P \times \frac{t}{100}\right)}{2} \quad (3)$$

O número equivalente de operações do eixo padrão N, exemplificado na equação 4, é obtido através do produto do volume total de tráfego V_t com o coeficiente fator de veículo (F.V.), que dar-se-á através da equação 5, do produto dos coeficientes: fator de eixo (F.E.) e fator de carga (F.C.), valores tabelados de acordo com o tipo de veículo e tipo de eixo. (DER/SP, 2012).

Exemplificado na equação 5 o fator de veículos trata-se do produto dos coeficientes: fator de eixo (F.E.) e fator de carga (F.C.). (DER/SP, 2012):

$$N = V_t \times F.V. \quad (4)$$

$$F.V. = F.E. \times F.C. \quad (5)$$

Utilizando todas as informações acima e representado na equação 6 encontra-se a equação aberta para encontrar o valor de N:

$$N = 365 \times P \times V_m \times F.E. \times F.C. \quad (6)$$

Considerando que:

N: número equivalente de aplicações do eixo padrão

P: período de tempo (anos)

V_m : volume médio diário

V_t : volume total de tráfego

FE: fator de eixo

FC: fator de carga

FV: fator de veículo

O Manual Básico de Estradas e Rodovias e Vicinais (DER/SP), Vol. III, (2012) apresenta as etapas necessárias para o dimensionamento de pavimentos flexíveis:

1 - Através do valor do parâmetro N é possível definir a espessura de revestimento "R" através da tabela 1:

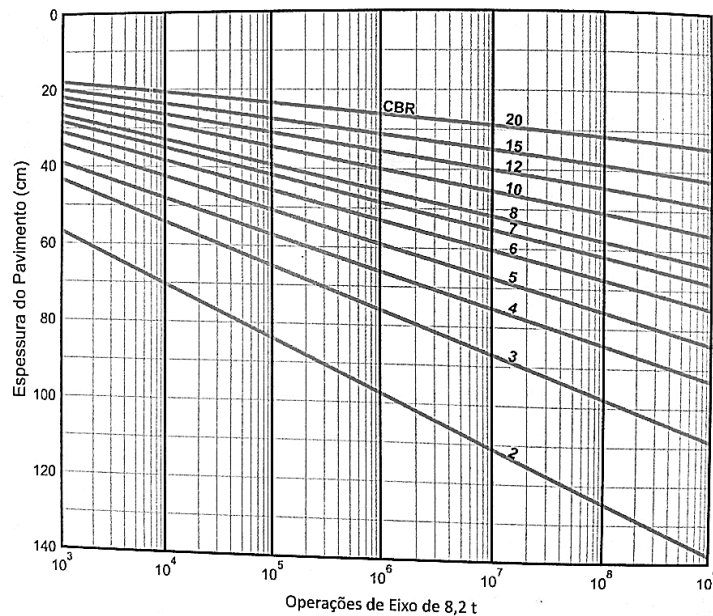
Tabela 1 – Tipos e espessuras mínimas de revestimento

Tipo e Espessura do Revestimento Asfáltico	Número "N"
Tratamentos superficiais asfálticos duplos e triplos	$N \leq 1 \times 10^6$
Concreto asfáltico com 5,0 cm de espessura	$1 \times 10^6 < N \leq 5 \times 10^6$
Concreto asfáltico com 7,5 cm de espessura	$5 \times 10^6 < N \leq 1 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 10,0 cm de espessura	$1 \times 10^7 < N \leq 2,5 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 12,5 cm de espessura	$2,5 \times 10^7 < N \leq 5 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 15,0 cm de espessura	$N > 5 \times 10^7$

Fonte: Adaptado DNIT (2006)

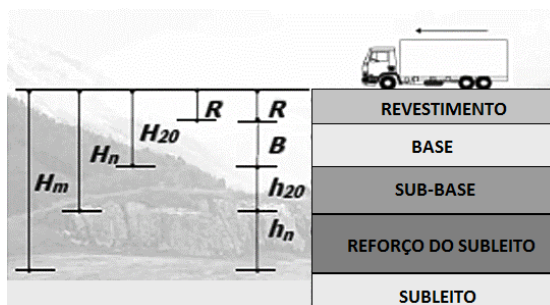
2 – Através da figura 5, em função do valor N e os respectivos valores de CBR de cada camada é possível a definição das espessuras necessárias para proteção das camadas inferiores: H_m , H_n e H_{20} , camadas demonstradas pela figura 6.

Figura 5 - Ábaco para determinação da espessura do pavimento



Fonte: DER/SP (2012)

Figura 6 - Camadas do pavimento



Fonte: Adaptado DER-SP (2012)

3 – Cada camada possui um coeficiente K de acordo com o material a ser aplicado e pode ser determinado através da tabela 2. Porém o coeficiente estrutural K para o reforço do subleito e o coeficiente K para a sub-base são determinados através da equação 7, onde é realizado a divisão do CBR da sub-base com o CBR subleito e a divisão do CBR do reforço com o CBR do subleito, através do resultado da divisão caso seja um valor maior ou igual a três adota-se K igual a um, e resultado menor a três o coeficiente K é obtido pela tabela 3.

Tabela 2- Coeficiente de equivalência estrutural de cada material

Camada de Pavimento	Coeficiente Estrutural (K)
Revestimento de concreto betuminoso	2,00
Revestimento betuminoso por penetração	1,20
Base de brita graduada e de macadame hidráulico	1,10
Bases estabilizadas granulometricamente e bases de solo arenoso fino	1,00

Fonte: DER/SP (2012)

$$\left. \begin{array}{l} \frac{CBR (sub-base)}{CBR (subleito)} \\ \\ \frac{CBR (reforço)}{CBR (subleito)} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \geq 3 \rightarrow K = 1 \\ < 3 \rightarrow K = \text{tabela 3} \end{array} \quad (7)$$

Tabela 3 - coeficientes estruturais

CBR ¹ /CBR ²	K	CBR ¹ /CBR ²	K
1,10	0,72	2,10	0,90
1,20	0,75	2,20	0,91
1,30	0,76	2,30	0,92
1,40	0,78	2,40	0,94
1,50	0,80	2,50	0,95
1,60	0,82	2,60	0,96
1,70	0,83	2,70	0,97
1,80	0,85	2,80	0,98
1,90	0,86	2,90	0,99
2,00	0,88	3,00	1,00

Fonte: Adaptado PITTA (1998)

4 – Para obtenção das espessuras das camadas do pavimento deve-se utilizar as equações 8, 9 e 10, de forma que as incógnitas apresentadas nas equações estão especificadas na figura 6.

$$R \times Kr + B \times Kb \geq H20 \quad (8)$$

$$R \times Kr + B \times Kb + h20 \times Ks \geq Hn \quad (9)$$

$$R \times Kr + B \times Kb + h20 \times Ks + hn \times Kref \geq Hm \quad (10)$$

2.5.2 Dimensionamento de pavimento rígido

O método para dimensionamento do pavimento rígido é denominado PCA (Portland Cememnt Associaion. Seu dimensionamento é realizado em função da fundação, tráfego, concreto e em função das tensões de tração na flexão. (DNIT, 2005).

Através de provas de carga e a capacidade de suporte do subleito pode-se definir o coeficiente de recalque (K). Para efeito de projeto, o coeficiente de recalque (K) é relacionado com o CBR do subleito, através da tabela 4 (PITTA, 1998)

Tabela 4 - Correlação entre CBR e coeficiente de recalque K

Índice de suporte Califórnia, CBR (%)	Coeficiente de recalque, k (MPa/m)	Índice de suporte Califórnia, CBR (%)	Coeficiente de recalque, k (MPa/m)
2	16	12	53
3	24	13	54
4	30	14	56
5	34	15	57
6	38	16	59
7	41	17	60
8	44	18	61
9	47	19	62
10	49	20	63
11	51		

Fonte: PITTA (1998)

A sub-base na estrutura do pavimento tem a função de aumentar o suporte, e com sua presença o coeficiente de recalque K sofre um aumento, de acordo com o material e tipo de sub-base utilizada: granular, estabilizada com cimento e solo/cimento. Para sub-base granular o coeficiente de recalque K passa a ser determinado pela tabela 5, para as demais sub-bases compostas de outros materiais possuem valores tabelados direcionados para cada composição de sub-base.

Tabela 5 – Aumento de K devido à presença de sub-base granular

Valor de suporte do subleito		Coeficiente de recalque no topo do sistema (MPa/m), para espessuras de sub-base iguais a			
CBR (%)	k (MPa/m)	10 cm	15 cm	20 cm	30 cm
2	16	19	22	27	33
3	24	27	31	37	45
4	30	34	38	44	54
5	34	38	42	49	59
6	38	42	46	53	65
7	41	45	50	56	69
8	44	48	53	60	72
9	47	52	56	63	76
10	49	54	58	65	79
11	51	56	60	67	81
12	53	58	62	69	84
13	54	59	63	70	85
14	56	61	65	72	87
15	57	62	66	73	88
16	59	64	68	75	91
17	60	65	69	76	92
18	61	66	70	77	93
19	62	67	71	78	94
20	63	68	72	79	96

Fonte: Pitta (1998)

O tráfego na via também interfere nos cálculos de dimensionamento, referente à classificação, quantidade de veículos e peso. Para efeito de cálculo, apenas os veículos comerciais são levados em consideração e é adotado um coeficiente de segurança de carga (FSc) apresentados na tabela 6, e o peso bruto por eixo máximo legalizado estão expostos na tabela 7. (DNIT, 2005)

Tabela 6 – Fatores de segurança para as cargas (FSc)

Tipo de Pavimento	FSc
- Para ruas com tráfego com pequena porcentagem de caminhões e pisos em condições semelhantes de tráfego (estacionamentos, por exemplo)	1,0
- Para estradas e vias com moderada frequência de caminhões	1,1
- Para altos volumes de caminhões	1,2
- Pavimentos que necessitem de um desempenho acima do normal	Até 1,5

Fonte: Adaptado DNIT (2005)

Tabela 7 – Carga máxima legal por tipo eixo dos veículos

Eixo	Carga Máxima Legal	Com Tolerância de 7,5 %
Dianteiro simples de roda simples	6 t	6,45 t
Simplex de roda simples	10 t	10,75 t
Tandem duplo	17 t	18,28 t
Tandem Triplo	25,5 t	27,41 t

Fonte: Adaptado DNIT (2005)

A passagem de carga no pavimento gera a tensão de tração na flexão. A razão da tração na flexão do pavimento com a resistência do concreto à tração na flexão resulta na relação de tensões que é relacionada em um número limite de aplicações da carga do qual o concreto rompe por um fenômeno de fadiga, apresentado pela tabela 8. (PITTA, 1998)

Tabela 8 - Relação de tensões e número admissível de repetições de cargas

Relação de tensões(*)	Nº admissível de repetições de carga	Relação de tensões	Nº admissível de repetições de carga
0,50	ilimitado	0,68	3.500
0,51	400.000	0,69	2.500
0,52	300.000	0,70	2.000
0,53	240.000	0,71	1.500
0,54	180.000	0,72	1.100
0,55	130.000	0,73	850
0,56	100.000	0,74	650
0,57	75.000	0,75	490
0,58	57.000	0,76	360
0,59	42.000	0,77	270
0,60	32.000	0,78	210
0,61	24.000	0,79	160
0,62	18.000	0,80	120
0,63	14.000	0,81	90
0,64	11.000	0,82	70
0,65	8.000	0,83	50
0,66	6.000	0,84	40
0,67	4.500	0,85	30

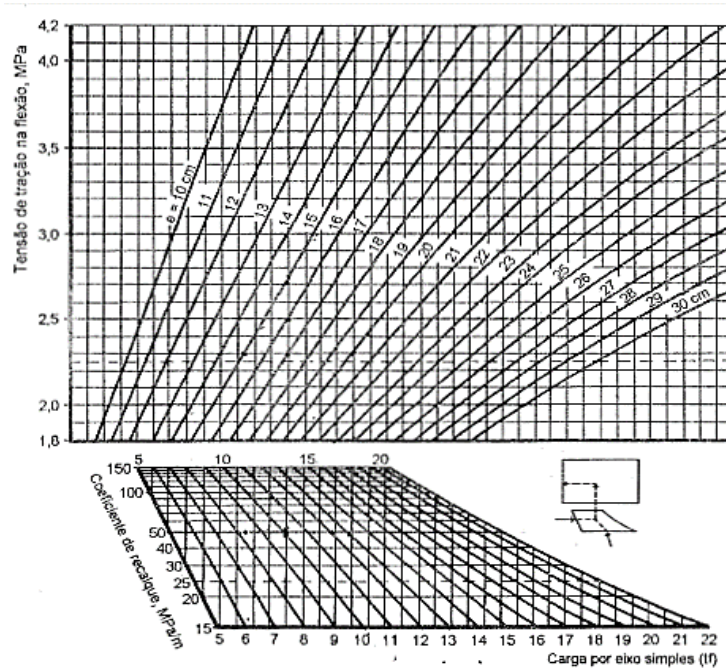
(*) Igual à tensão de tração na flexão devida à carga dividida pela resistência característica à tração na flexão do concreto.

Fonte: Pitta (1998)

Os ábacos para dimensionamento do pavimento rígido são de acordo com o tipo de veículo que trafegam na via, caso haja a existência de mais de um tipo deve ser realizado o dimensionamento para cada um e levado em consideração o resultado da espessura de maior valor. (PITTA, 1998).

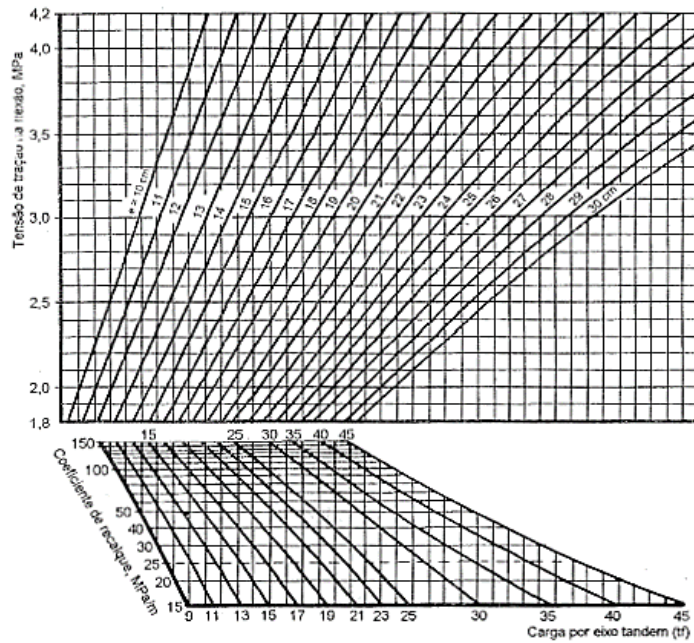
Apresentado na figura 7 o ábaco direcionado para veículos com eixos simples e apresentado na figura 8 para veículos com eixos tandem, ou seja, dois ou mais eixos que constituem um conjunto de suspensão. (PITTA, 1998).

Figura 7 - Para cargas de eixo simples



Fonte: Pitta (1998)

Figura 8 - Para cargas de eixo tandem duplo



Fonte: Pitta (1998)

Para dimensionamento da espessura de revestimento de concreto através dos ábacos de dimensionamento, devem ser levado em consideração: a carga por tipo de veículo (tf), determinado pela tabela 7 ou através de estudo de tráfego; o coeficiente de recalque K (Mpa/m),

determinado pela tabela 5 e a tensão de tração na flexão $f_{ctM,d}$ (Mpa), determinada pela equação 11. Essas informações associadas aos ábacos obtém-se a espessura de revestimento necessária para manter a tensão de tração na flexão dentro de um limite. (PITTA, 1998).

A equação 11 compreende da divisão da resistência do concreto à tração na flexão $f_{ctM,k}$, no qual usualmente utiliza-se valor de 4,5 Mpa, aos 28 dias, com o fator de segurança de tensões FST (PITTA, 1998)

$$f_{ctM,d} = \frac{f_{ctM,k}}{FST} \quad (11)$$

Segundo Pitta (1998), quando há inexistência de dados específicos de tráfego, é usualmente adotado: um valor de relação de tensões (tabela 8) igual a 0,50, para que assim o número admissível de repetições de cargas seja ilimitado e dessa forma um fator de segurança de tensões (FST) igual a 2.

2.4 Insumos e composição de custos

Orçamentação consiste no processo de execução de um orçamento, cujo objetivo é estipular um custo para realizar determinado serviço, e consiste em quantificar insumos, mão de obra ou equipamentos necessários para sua execução e seus respectivos valores. (AVILA, et al., 2003)

Para levantamento da produtividade da mão de obra, equipamentos e custos existem ferramentas que auxiliam na elaboração dos orçamentos de projetos rodoviários, como por exemplo o SICRO (Sistema de custos referenciais de obras), ferramenta criada e aperfeiçoada pelo DNIT (Departamento nacional de infraestrutura e transporte), que apresenta entre suas funções: metodologia para cálculo do custo horário dos equipamentos; definição dos custos de mão de obra e insumos. (ALBUQUERQUE, 2017).

A TCPO (Tabela de Composição de Custos) onde os preços de referência são calculados pelo departamento de engenharia da PINI, e possibilita a obtenção de dados, para a realização da composição de custos de determinado serviço.

3 Materiais e Métodos

3.1 Materiais

Para elaboração do dimensionamento do pavimento foi utilizado pesquisas bibliográficas e planilhas eletrônicas do *Software Excel*.

A determinação dos equipamentos e materiais a serem utilizados em relação ao tipo de pavimento foram através das normas da DNIT. Para o levantamento de insumos, quantitativos e custos foram utilizados: o SICRO (Sistema de custos referenciais de obras) e a TCPO (Tabela de composições de preços para orçamento).

3.2 Métodos

O método utilizado para dimensionamento do pavimento flexível foi o método do DER/SP (Departamento de estradas e rodagem) que é baseado no método da DNIT e para o rígido foi utilizado o método PCA (Portland Cememnt Association) (1984), citado por PITTA (1998).

Será considerado, para aplicação dos métodos de dimensionamento e custos, um exemplo de aplicação: um trecho com extensão de 1000 metros de uma via coletora e estrutural com tráfego pesado, largura para cada via de rolamento adotou-se 4,5 metros totalizando em 7 m para ambos sentidos.

3.2.1 Estudo de caso: pavimento flexível

Para dimensionamento de um pavimento flexível é necessário a coleta de dados, tais como volume de tráfego, tipo de veículos e cargas, através de estudo de tráfego para determinar o valor de N, quantidade de passadas do eixo padrão sobre o pavimento. Porém foi determinado um valor tabelado para N, tabela 9, de acordo com o tipo e função de via e intensidade do tráfego.

Dessa forma, foi levado em consideração uma via coletora estrutural com tráfego previsto como pesado determinando-se valor de $N = 2 \times 10^7$

Tabela 9 – Valores de N tabelados por tipo de via

FUNÇÃO PREDOMINANTE DA VIA	TIPO DE TRÁFEGO PREVISTO	PERÍODO DE PROJETO (ANOS)	VOLUME INICIAL NA CARREGADA FAIXA MAIS (VO)		FAIXA PARA N	N CARACTERÍSTICO
			VEÍCULOS LEVES	CAMINHÃO OU ÔNIBUS		
Via local	Leve	10	100 a 400	4 a 20	$2,70 \times 10^4$ a $1,40 \times 10^5$	10^5
Via local e coletora secundária	Médio	10	401 a 1.500	21 a 100	$1,40 \times 10^5$ a $6,80 \times 10^5$	5×10^5
	Meio pesado	10	1.501 a 5.000	101 a 300	$1,4 \times 10^6$ a $3,1 \times 10^6$	2×10^6
<u>Vias coletoras e estruturais</u>	<u>Pesado</u>	12	5.001 a 10.000	301 a 1.000	$1,0 \times 10^7$ a $3,3 \times 10^7$	2×10^7
	Muito pesado	12	> 10.000	1.001 a 2.000	$3,3 \times 10^7$ a $6,7 \times 10^7$	5×10^7

Fonte: Adaptado Balbo (2015)

Os materiais a serem utilizados e CBR's de cada camada foram adotados da seguinte forma:

Tabela 10 – Valores adotados para dimensionamento do pavimento flexível

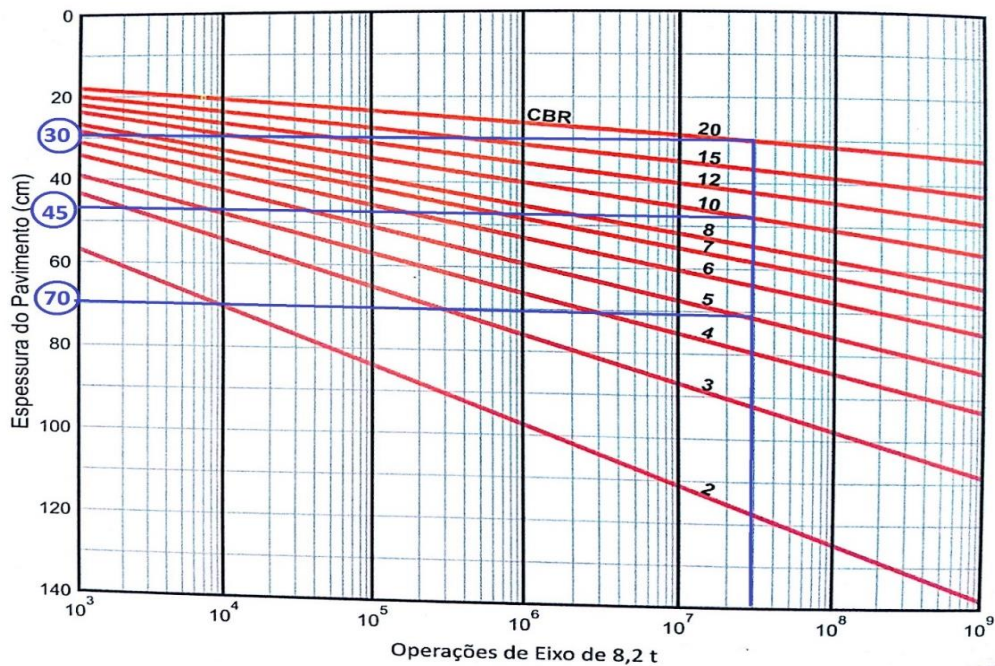
Material da base		BGS (brita graduada simples)
CBR	Subleito	5%
	Reforço	10%
	Sub-base	20%
Quant. De passadas eixo padrão	N	2×10^7

Fonte: Autoria própria (2017)

Para o dimensionamento do pavimento flexível foram realizados os seguintes passos:

- 1 – Definição da camada de revestimento através da tabela 1 (localizada no item 2.5.1 deste trabalho), onde para um valor de $N = 2 \times 10^7$ o tipo e espessura de revestimento correspondente, foi: revestimento de concreto asfáltico com espessura **R = 10 cm**.
- 2 – Levando em consideração o valor de operações de eixo ($N = 2 \times 10^7$) e os valores dos CBR das camadas, através da figura 9 obtenção das espessuras: Hm (espessura do reforço ao revestimento), Hn (espessura da sub-base ao revestimento) e H20 (espessura da base ao revestimento), esquematizado pela figura 06 (localizada no item 2.5.1 deste trabalho).

Figura 09 - Ábaco de dimensionamento de pavimento flexível



Fonte: Autoria própria (2017)

Dessa forma, conforme esquematizado no ábaco obteve-se as seguintes espessuras:

Hm = 70 cm; Hn = 45 cm; H20 = 30 cm

3 - Através da tabela 2 (localizada no item 2.5.1 deste trabalho) foram determinados os coeficientes estruturais de revestimento (K_r) e coeficiente estrutural da base (K_b):

- Tipo da camada de revestimento = concreto betuminoso, dessa forma o coeficiente de revestimento $\rightarrow K_r = 2,00$
- Tipo da camada da base = brita graduada, dessa forma o coeficiente da base $\rightarrow K_b = 1,10$

Os coeficientes da sub-base (K_s) e coeficiente de reforço (K_{ref}) foram determinados através da equação 7 (localizada no item 2.5.1 deste trabalho) e desenvolvida para cada camada a seguir, em função do CBR das camadas:

- Coeficiente da sub-base $\rightarrow K_s \rightarrow \frac{CBR(sub-base)}{CBR(subleito)} = \frac{20}{5} = 4 > 3$, portanto coeficiente **$K_s = 1$**
- Coeficiente do reforço $\rightarrow K_{ref} \rightarrow \frac{CBR(reforço)}{CBR(subleito)} = \frac{10}{5} = 2 < 3$, portanto obtenção do coeficiente através da tabela 3 (localizada no item 2.5.1 deste trabalho), dessa forma para um resultado da divisão dos CBR's igual a 2 o coeficiente de reforço relacionado é **$K_{ref} = 0.88$** .

4 – Obtenção das espessuras do pavimento através das fórmulas:

$$R \times Kr + B \times Kb \geq H20 \rightarrow 10 \times 2 + B \times 1,10 \geq 30 \rightarrow B = 9 \text{ cm} \quad (\text{Adotou-se, segundo o DER/SP (2012) espessura mínima para camadas granulares } \mathbf{B} = \mathbf{10 \text{ cm}})$$

$$R \times Kr + B \times Kb + h20 \times Ks \geq Hn \rightarrow 10 \times 2 + 10 \times 1,10 + h20 \times 1,00 \geq 45 \rightarrow \mathbf{h20 = 15 \text{ cm}}$$

$$R \times Kr + B \times Kb + h20 \times Ks + hn \times Kref \geq Hm$$

$$\rightarrow 10 \times 2 + 10 \times 1,10 + 15 \times 1,00 + hn \times 0,88 \geq 70 \rightarrow \mathbf{hn = 28 \text{ cm}}$$

Portanto:

Revestimento $\rightarrow \mathbf{R = 10 \text{ cm}}$

Base $\rightarrow \mathbf{B = 10 \text{ cm}}$

Sub-base $\rightarrow \mathbf{h20 = 15 \text{ cm}}$

Reforço $\rightarrow \mathbf{Hn = 28 \text{ cm}}$

3.2.2 Estudo de caso: pavimento rígido

Para o dimensionamento das camadas para o pavimento rígido, foram adotados a mesma condição de tráfego, CBR's das camadas e outros dados específicos para o pavimento rígido adotados por serem usualmente utilizados para o dimensionamento, conforme PITTA (1998) demonstrados na tabela

Tabela 11 – Valores adotados para dimensionamento do pavimento rígido

Material da base		BGS (brita graduada simples)
CBR	Subleito	5%
	Reforço	10%
	Sub-base	20%
Quant. De passadas eixo padrão	N	2×10^7
Fator de resistência do concreto	fctM,k	4,5 Mpa
Fator de segurança de tensões	FST	2

Fonte: Autoria própria (2017)

Para o dimensionamento do pavimento rígido foram executadas as etapas da seguinte forma:

1 – Determinação do coeficiente de recalque (K) no topo do subleito, através da tabela 5, considerando CBR do subleito 5% e camada de sub-base granular com espessura de 15 cm (mesmo valor dimensionado para o pavimento flexível). Encontrando-se coeficiente do subleito **K_{subl} = 34 Mpa/m** e da sub-base granular **K_{bg} = 42 Mpa/m**.

Valor de suporte do subleito		Coeficiente de recalque no topo do sistema (MPa/m), para espessuras de sub-base iguais a			
CBR (%)	k (MPa/m)	10 cm	15 cm	20 cm	30 cm
2	16	19	22	27	33
3	24	27	31	37	45
4	30	34	38	44	54
5	34	38	42	49	59

Fonte: Adaptado Balbo (2015)

2 – Carga máxima legal por tipo de eixo de cada veículo representada na tabela 7 (localizada no item 2.5.1 deste artigo), onde se determinou carga máxima legal para veículos tipo eixo simples um valor de 10 tf e para tipo de veículo eixo tandem duplo um valor de carga máxima de 17 tf.

3 – Por ter sido adotado tráfego de uma via coletora estrutural com tráfego pesado o fator de segurança de carga adotado através da tabela 6 (localizada no item 2.5.1 deste artigo) foi de **FSC = 1,2**.

Dessa forma, multiplicou-se o valor de carga máxima de cada veículo em relação aos eixos ao fator de segurança de carga (FSC) adotado:

- a) Eixo simples: *Carga máx. eixo simples (tf) × FSc = 10 × 1,2 = 12 tf*;
- b) Eixo tandem duplo: *s: Carga máx. tandem duplo (tf) × FSc = 17 × 1,2 = 20,4 tf*

4 – Através da equação 11 é possível determinar o valor da tensão de tração na flexão (fctM,d), por meio da divisão da resistência do concreto a tensão de tração na flexão (fctM,k) com o fator de segurança de tensão FST, ambos dados já adotados e exemplificados na tabela x .

$$f_{ctM,d} = \frac{f_{ctM,k}}{FST} \quad (11)$$

Dados:

$f_{ctM,k} = 4,5 \text{ MPa}$ (resistência do concreto)

$FST = 2$ (fator de segurança de tensões)

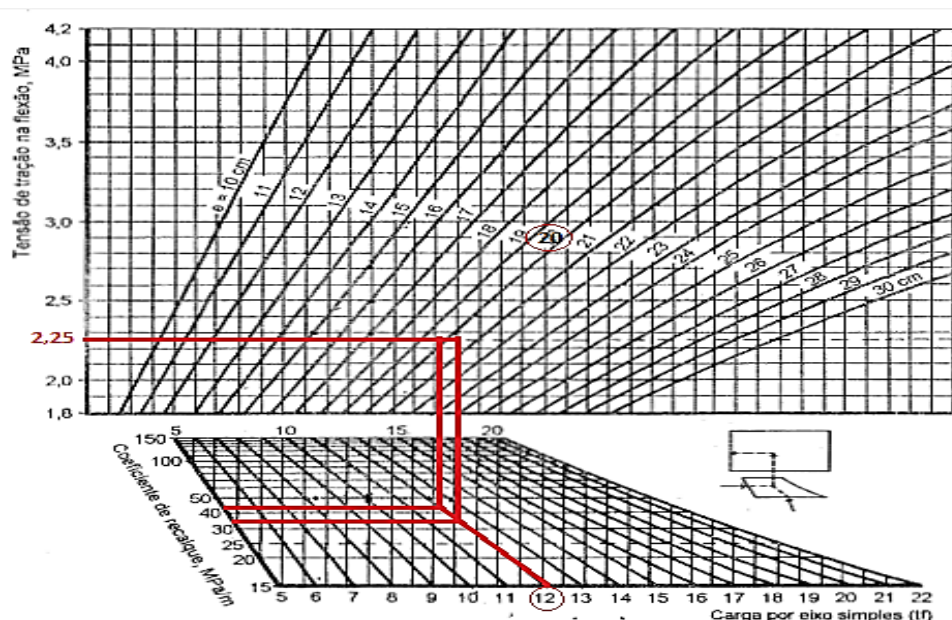
Valor da tensão de tração na flexão:

$$f_{ctM,d} = \frac{f_{ctM,k}}{FST} \rightarrow f_{ctM,d} = \frac{4,5}{2} \rightarrow f_{ctM,d} = 2,25 \text{ MPa}$$

5 – Utilizando todos os dados obtidos até agora, pode-se realizar o dimensionamento do revestimento de concreto.

Para os veículos de eixos simples utilizou-se a figura, com a carga por eixo multiplicada pelo fator de segurança de 12 tf; coeficiente de recalque K igual a 34 e 42 Mpa/m; e tensão de tração na flexão $f_{ctM,d} = 2,25 \text{ MPa}$. Encontrando-se na linha correspondente, determinando a espessura da camada de revestimento de concreto $R = 20 \text{ cm}$ (circulado na figura).

Figura 10 – Ábaco para determinar espessura de revestimento de concreto para veículos eixo simples

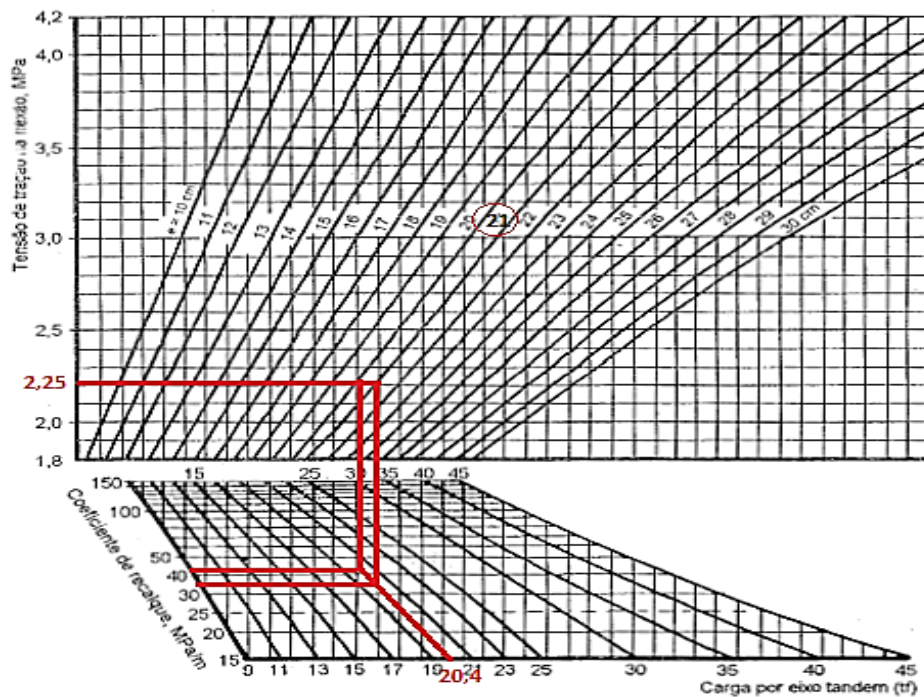


Fonte: Adaptado Pitta (1998)

Para os veículos de eixos tandem duplo utilizou-se a figura, com a carga por eixo multiplicada pelo fator de segurança de 20,4 tf; coeficiente de recalque K igual a 34 e 42

Mpa/m; e tensão de tração na flexão $f_{tcM,d} = 2,25$ Mpa. Encontrando-se na linha correspondente, determinando a espessura da camada de revestimento de concreto $R = 21$ cm (circulada na figura).

Figura 11 – Ábaco para determinar espessura de revestimento de concreto para veículos eixos tandem duplo



Fonte: Adaptado, Pitta (1998)

Com ambos resultados das espessuras de revestimento: para veículos eixo simples revestimento $R = 20$ cm e para veículos eixo tandem duplo revestimento $R = 21$ cm, conforme PITTA (1998) foi adotado o de maior valor, ou seja, a espessura de revestimento de concreto do pavimento rígido é de 21 cm.

3.2.3 Levantamento de insumos e orçamentação

As orçamentações de ambos os pavimentos foram realizadas através da determinação dos materiais e equipamentos a serem utilizados por meio das normas da DNIT. Para pavimento flexível foi utilizado: a norma DNIT 031/2006 – ES, norma direcionada ao pavimento flexível de camada de revestimento de concreto asfáltico, revestimento este determinado no dimensionamento do pavimento.

Para pavimento rígido foi utilizado a norma DNIT 047/2004 – ES, norma direcionada a execução do pavimento rígido com equipamento de pequeno porte, execução adotada.

Posteriormente foi realizado o levantamento dos insumos, produtividade dos equipamentos e mão de obra baseados nas tabelas da TCPO e da SICRO, com a descrição do serviço a ser feito e equipamentos necessários para execução do mesmo obteve-se as informações necessárias para a composição de custos também baseadas nas tabelas da SICRO e TCPO.

Para levantamento dos quantitativos em relação às espessuras dimensionadas de acordo com o sistema de unidade imposto para cada serviço, foram realizados cálculos exemplificados ao decorrer das tabelas de custos de cada serviço.

4 Resultados

Através do dimensionamento do pavimento flexível foi obtido os valores representados na tabela 12 para suas camadas

Tabela 12 – Valores das espessuras das camadas do pavimento flexível

CAMADAS		ESPESSURAS (cm)
Revestimento asfáltico	R	10
Base	B	10
Sub-base	h20	15
Reforço	Hn	28

Fonte: Autoria própria (2017)

Através do dimensionamento do pavimento rígido foi obtido os seguintes os valores representados na tabela 13 para suas camadas.

Tabela 13 – Valores das espessuras das camadas do pavimento flexível

CAMADAS	ESPESSURAS (cm)
Sub-base	15
Revestimento de concreto	21

Fonte: Autoria própria (2017)

A via considerada para estudo de caso possui largura de rolamento de 7 metros total compreendendo as duas vias em ambos sentidos, e extensão de 1000 metros.

Após a determinação das etapas de serviço, equipamentos e materiais através das normas da DNIT (citadas no item 3.2.3 deste trabalho), foram calculados os volumes para cada etapa e camada do pavimento para obtenção dos quantitativos, posteriormente através da SICRO obteve-se as produtividades de cada equipamento, sua unidade de serviço, índice para cada atividade, onde cada valor de quantitativo foi multiplicado por cada índice referente, conforme solicitado pelo SICRO, e também obteve-se seus respectivos valores unitários para cada serviço.

Para a composição de custos seguiu-se as seguintes etapas de serviços para a implantação de um pavimento:

A primeira etapa compreende em realizar a escarificação do terreno, ou seja, limpeza, movimentação de terra e preparo do subleito. É necessário o cálculo do volume de solo em metros cúbicos que serão necessários movimentar, obtido pelo produto do comprimento, com a largura da via e o somatório das espessuras que compreendem o pavimento já dimensionadas e 20 cm de aprofundamento do subleito para seu preparo, conforme a norma do DER/SP (1991). Calculado através da equação 12 (os valores de cada incógnita estão demonstrados na tabela 12).

$$\text{Volume escarificação} = \text{comp.} \times \text{larg.} \times (R + B + h20 + hn + \text{esub}) \quad (12)$$

$$\text{Volume escarificação} = 1000m \times 9m \times (0,10 + 0,10 + 0,15 + 0,28 + 0,20)m$$

$$\text{Volume escarificação} = 7.470 \text{ m}^3$$

Tabela 14 - Custo para escarificação de material

Item	Atividade	Unidade	Índice	Quantidade	Valor unitário	Valor total
1	ESCARIFICAÇÃO					
	Trator de esteiras, potencia 185HP-lâmina de 9,93m ³ -vida útil 8.000H					
1.1		hora produção	0,019	141,93	R\$ 164,60	R\$ 23.361,68
	Carregadeira sobre rodas 211HP, capacidade da caçamba de 3,30m ³ -vida útil 8.000H					
1.2		hora produção	0,020	149,40	R\$ 322,11	R\$ 48.123,23
	potencia 167HP, caçamba 5m ³ , vida útil 8.000H					
1.3		hora produção	0,060	448,20	R\$ 181,57	R\$ 81.379,67
					Total:	R\$ 152.864,59

Fonte: Autoria própria (2017)

Após a abertura do solo e escarificação do terreno é realizado o levantamento dos quantitativos para cada camada dimensionada. Para a compactação do subleito o cálculo é realizado através da equação 13.

$$\text{Volume compactação subleito} = \text{comp.} \times \text{larg.} \times \text{esubleito} \quad (13)$$

$$\text{Volume compactação subleito} = 1000m \times 9m \times 0,20m$$

$$\text{Volume compactação subleito} = 1.800 m^3$$

Tabela 15 – Custo para compactação de material de subleito

Item	Atividade	Unidade	Índice	Quantidade	Valor unitário	Valor total
COMPACTAÇÃO DO SUBLEITO						
2	Caminhão irrigadeira, diesel, potência 162HP, capacidade 5.000L, vida útil 8.000H					
2.1		hora produção	0,010	18,00	R\$ 87,71 R\$	1.578,78
2.2	Rolo compactador vibratório com pneus de tração, cilindro pé de carneiro em aço, potência 150HP, vida útil 8.000H	hora produção	0,005	9,00	R\$ 156,65 R\$	1.409,85
2.3	Trator sobre pneus, potência 92HP, vida útil 8.000H	hora produção	0,010	18,00	R\$ 99,68 R\$	1.794,24
2.4	Grade de disco rebocável 3,50m, vida útil 20.000H	hora produção	0,010	18,00	R\$ 2,58 R\$	46,44
2.5	Motoniveladora sobre pneus 135HP, vida útil 8.000H	hora produção	0,005	9,00	R\$ 192,79 R\$	1.735,11
2.6	Rolo compactador estático de pneus 135HP, vida útil 8.000H	hora produção	0,005	9,00	R\$ 156,64 R\$	1.409,76
					Total: R\$	7.974,18

Fonte: Autoria própria (2017)

Os mesmos critérios são utilizados para determinar as camadas seguintes. Volume para a camada de reforço de subleito:

$$\text{Volume reforço do subleito} = \text{larg.} \times \text{comp.} \times \text{hn} \quad (14)$$

$$\text{Volume reforço do subleito} = 1000m \times 9m \times 0,28m$$

$$\text{Volume reforço do subleito} = 2520 m^3$$

Tabela 16 – Custo para execução da camada de reforço do subleito

Item	Atividade	Unidade	Índice	Quantidade	Valor unitário		Valor total
3	REFORÇO DO SUB LEITO						
3.1	Caminhão basculante, potência 167HP, caçamba 5m ³ , vida útil 8.000H	hora produção	0,042	105,84	R\$	181,57 R\$	19.217,37
3.2	Caminhão irrigadeira, diesel, potência 162HP, capacidade 5.000L, vida útil 8.000H	hora produção	0,010	25,20	R\$	87,71 R\$	2.210,29
3.3	Rolo compactador vibratório com pneus de tração, cilindro pé de carneiro em aço, potência 150HP, vida útil 8.000H	hora produção	0,005	12,60	R\$	156,65 R\$	1.973,79
3.4	Trator sobre pneus, potência 92HP, vida útil 8.000H	hora produção	0,010	25,20	R\$	99,68 R\$	2.511,94
3.5	Grade de disco rebocável 3,50m, vida útil 20.000H	hora produção	0,100	252,00	R\$	2,58 R\$	650,16
3.6	Motoniveladora sobre pneus 135HP, vida útil 8.000H	hora produção	0,005	12,60	R\$	192,79 R\$	2.429,15
3.7	Rolo compactador estático de pneus 135HP, vida útil 8.000H	hora produção	0,005	12,60	R\$	156,64 R\$	1.973,66
						Total: R\$	30.966,36

Fonte: Autoria própria (2017)

Volume para a camada sub-base granular:

$$Volume\ sub - base = larg. \times comp. \times h_{20} \quad (15)$$

$$Volume\ sub - base = 1000m \times 9m \times 0,15m$$

$$Volume\ sub - base = 1.350\ m^3$$

Tabela 17 – Custo para execução da camada de sub-base

Item	Atividade	Unidade	Índice	Quantidade	Valor unitário		Valor total
4	SUB BASE GRANULAR						
4.1	Brita graduada	m ³	1,050	1.417,50	R\$	40,00 R\$	56.700,00
4.2	Rolo compactador vibratório com pneus de tração, cilindro pé de carneiro em aço, potência 150HP, vida útil 8.000H	hora produção	0,005	6,75	R\$	156,65 R\$	1.057,39
						Total: R\$	57.757,39

Fonte: Autoria própria (2017)

Volume para a camada de base granular:

$$\text{Volume base} = \text{larg.} \times \text{comp.} \times B \quad (16)$$

$$\text{Volume base} = 1000m \times 9m \times 0,10m$$

$$\text{Volume base} = 900 \text{ m}^3$$

Tabela 18 - Custo para execução da camada de base

Item	Atividade	Unidade	Indice	Quantidade	Valor unitário		Valor total
5		BASE GRANULAR					
5.1	Brita graduada	m ³	1,050	945,00	R\$	40,00	R\$ 37.800,00
	Rolo compactador vibratório com pneus de tração, cilindro pé de carneiro em aço, potência 150HP, vida útil 8.000H						
5.2		hora produção	0,005	4,50	R\$	156,65	R\$ 704,93
						Total: R\$	38.504,93

Fonte: Autoria própria (2017)

Área de imprimação betuminosa ligante:

$$\text{Área imprimação} = \text{larg.} \times \text{comp.} \quad (17)$$

$$\text{Área imprimação} = 1000m \times 9m$$

$$\text{Área imprimação} = 9.000 \text{ m}^2$$

Tabela 19 - Custo para imprimação betuminosa ligante

Item	Atividade	Unidade	Indice	Quantidade	Valor unitário		Valor total
6		IMPRIMAÇÃO					
6.1	Emulsão asfáltica	kg	0,800	7.200,00	R\$	1,02	R\$ 7.344,00
	Caminhão espargidor com bomba 167HP, capacidade 6.000L, vida útil 8.000H						
6.2		hora produção	0,003	27,00	R\$	152,18	R\$ 4.108,86
	Vassoura mecânica rebocável 2,44m, vida útil 8.000H						
6.3		hora produção	0,020	180,00	R\$	84,30	R\$ 15.174,00
	Trator sobre pneus, potência 92HP, vida útil 8.000H						
6.4		hora produção	0,002	18,00	R\$	183,00	R\$ 3.294,00
						Total: R\$	29.920,86

Fonte: Autoria própria (2017)

Volume de concreto asfáltico para a camada de revestimento:

$$\text{Volume revestimento} = \text{larg.} \times \text{comp.} \times R \quad (18)$$

$$\text{Volume revestimento} = 1000m \times 9m \times 0,10m$$

$$\text{Volume revestimento} = 900 m^3$$

Tabela 20 – Custo para execução da camada de revestimento asfáltico

Item	Atividade	Unidade	Indice	Quantidade	Valor unitário	Valor total
7	CONCRETO BETUMINOSO					
7.1	Concreto betuminoso	tonelada	2,430	2.187,00	R\$ 160,50	R\$ 351.013,50
	Vibroacabadora sobre esteiras, potência 77HP, vida útil 20.000H					
7.2		hora produção	0,068	61,20	R\$ 138,15	R\$ 8.454,78
	Carregadeira sobre rodas 211HP, capacidade da caçamba de 3,30m ³ , vida útil 8.000H					
7.3		hora produção	0,070	63,00	R\$ 189,64	R\$ 11.947,32
	Rolo compactador estático de pneus 135HP, vida útil 8.000H					
7.4		hora produção	0,068	61,20	R\$ 59,75	R\$ 3.656,70
	Caminhão irrigadeira, diesel, potência 162HP, capacidade 5.000L, vida útil 8.000H					
7.5		hora produção	0,390	351,00	R\$ 87,71	R\$ 30.786,21
					Total: R\$	405.858,51
					Total Geral: R\$	723.846,81

Fonte: Autoria própria (2017)

A somatória de todas as atividades para implantação do pavimento flexível na via totalizou em **R\$ 723.846,81**.

Para o cálculo do pavimento rígido, os passos a serem seguidos são os mesmos do pavimento flexível, porém com uma quantidade menor de camadas. O volume de escarificação é calculado através da equação 19 (os valores de cada incógnita estão demonstrados na tabela 13).

$$\text{Volume escarificação} = \text{comp.} \times \text{larg.} \times (R + B + \text{esub}) \quad (19)$$

$$\text{Volume escarificação} = 1000m \times 9m \times (0,21 + 0,10 + 0,20)m$$

$$\text{Volume escarificação} = 14.193 m^3$$

Tabela 21 – Custo para escarificação de material

Item	Atividade	Unidade	Índice	Quantidade	Valor unitário	Valor total
1	ESCARIFICAÇÃO					
1.1	Trator de esteiras, potência 185HP-lâmina de 9,93m ³ -vida útil 8.000H	hora produção	0,019	141,93 R\$	164,60 R\$	23.361,68
1.2	Carregadeira sobre rodas 211HP, capacidade da caçamba de 3,30m ³ -vida útil 8.000H	hora produção	0,020	149,40 R\$	322,11 R\$	48.123,23
1.3	potência 167HP, caçamba 5m ³ , vida útil 8.000H	hora produção	0,060	448,20 R\$	181,57 R\$	81.379,67
					Total: R\$	152.864,59

Fonte: Autoria própria (2017)

Foi determinado o volume do subleito para compactação através da equação 20.

$$\text{Volume compactação subleito} = \text{comp.} \times \text{larg.} \times \text{esubleito} \quad (20)$$

$$\text{Volume compactação subleito} = 1000m \times 9m \times 0,20m$$

$$\text{Volume compactação subleito} = 1.800 m^3$$

Tabela 22 – Custo para compactação de material de subleito

Item	Atividade	Unidade	Índice	Quantidade	Valor unitário	Valor total
2	COMPACTAÇÃO DO SUBLEITO					
2.1	Caminhão irrigadeira, diesel, potência 162HP, capacidade 5.000L, vida útil 8.000H	hora produção	0,010	18,00 R\$	87,71 R\$	1.578,78
2.2	Rolo compactador vibratório com pneus de tração, cilindro pé de carneiro em aço, potência 150HP, vida útil 8.000H	hora produção	0,005	9,00 R\$	156,65 R\$	1.409,85
2.3	Trator sobre pneus, potência 92HP, vida útil 8.000H	hora produção	0,010	18,00 R\$	99,68 R\$	1.794,24
2.4	Grade de disco rebocável 3,50m, vida útil 20.000H	hora produção	0,010	18,00 R\$	2,58 R\$	46,44
2.5	Motoniveladora sobre pneus 135HP, vida útil 8.000H	hora produção	0,005	9,00 R\$	192,79 R\$	1.735,11
2.6	Rolo compactador estático de pneus 135HP, vida útil 8.000H	hora produção	0,005	9,00 R\$	156,64 R\$	1.409,76
					Total: R\$	7.974,18

Fonte: Autoria própria (2017)

Volume para a camada sub-base granular:

$$\text{Volume sub - base} = \text{larg.} \times \text{comp.} \times B \quad (21)$$

$$\text{Volume sub - base} = 1000m \times 9m \times 0,15m$$

$$\text{Volume sub - base} = 1.350 m^3$$

Tabela 23 - Custo para execução da camada de sub-base

Item	Atividade	Unidade	Indice	Quantidade	Valor unitário	Valor total
4	SUB BASE GRANULAR					
4.1	Brita graduada	m ³	1,050	1.417,50	R\$ 40,00	R\$ 56.700,00
	Rolo compactador vibratório com pneus de tração, cilindro pé de carneiro em aço, potência 150HP, vida útil 8.000H					
4.2		hora produção	0,005	6,75	R\$ 156,65	R\$ 1.057,39
					Total: R\$	57.757,39

Fonte: Autoria própria (2017)

Volume de revestimento de concreto:

$$\text{Volume revestimento} = \text{larg.} \times \text{comp.} \times R \quad (22)$$

$$\text{Volume revestimento} = 1000m \times 9m \times 0,21m$$

$$\text{Volume revestimento} = 17.010 m^3$$

Tabela 24 - Custo para execução da camada de revestimento de concreto

Item	Atividade	Unidade	Indice	Quantidade	Valor unitário	Valor total
4	REVESTIMENTO DE CONCRETO					
4.1	Concreto para pavimento	m ³	1,020	1.927,80	R\$ 379,16	R\$ 730.944,65
4.2	Pedreiro	h	0,200	378,00	R\$ 12,73	R\$ 4.811,94
4.3	Servente	h	1,100	2.079,00	R\$ 9,85	R\$ 20.478,15
4.4	Armador	h	0,020	37,80	R\$ 12,73	R\$ 481,19
4.5	Espaçador tipo carangueijo	kg	0,012	22,68	R\$ 20,00	R\$ 453,60
4.6	Tratamento de juntas	m ³	5,260	9.941,40	R\$ 3,61	R\$ 35.888,45
4.7	Barras de tranferência	kg	14,030	26.516,70	R\$ 2,90	R\$ 76.898,43
					Total: R\$	869.956,42
					Total Geral: R\$	1.038.825,54

Fonte: Autoria própria (2017)

A somatória de todas as atividades para implantação do pavimento rígido na via totalizou em **R\$ 1.038.825,54**.

5 Considerações Finais

Através do estudo de caso realizado foi alcançado o objetivo principal deste trabalho, ou seja, comparar os custos de um pavimento flexível em relação a um pavimento rígido ambos dimensionados para as mesmas condições de tráfego, CBR das camadas de mesmo valores e mesmos materiais de base.

Dessa forma, foi analisado ambos custos totais para a implantação das vias para cada tipo de pavimento. A via com implantação do pavimento flexível totalizou em um custo inicial de mão de obra e equipamentos de R\$ 723.846,81, já para a implantação do pavimento rígido foi identificado um valor total de R\$ 1.038.825,54.

Portanto, com os valores obtidos conclui-se que o pavimento flexível em relação ao rígido, para as condições impostas, em relação ao custo de aplicação inicial, é mais vantajoso, já que possui um valor de mais de 30 % menor do que do pavimento de concreto, com uma diferença de custo entre eles de R\$ 314.978,73.

Foi constatado maior viabilidade econômica no investimento inicial, porém a longo prazo levando em consideração a vida útil, durabilidade, manutenções durante o ciclo de vida de cada pavimento esse cenário poderia ser diferente, podendo ser levado a diante este trabalho para um estudo mais aprofundado em relação a análise do ciclo de vida dos pavimentos e a viabilidade econômica a longo prazo.

Referências

ALBULQUERQUE, Luiz Heleno. *Sistema de Custos Referenciais de obras - SICRO*. Brasília: DNIT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-7207: Terminologia e classificação de Pavimentação*. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-12752: Execução de reforço do subleito de uma via*. Rio de Janeiro, 2008.

BALBO, J. T. *Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração*. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

_____. *Pavimentos de concreto*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

BARRETO, S. S. Estudo e abordagem da origem e desenvolvimento das patologias em pavimento. *Revista Saber Acadêmico*, n. 21, 2016. Disponível em:

<http://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20170420170858.pdf>. Acesso em: 18 out. 2017

BARTHOLOMEU, D. B.; CAIXETA FILHO, J. V. Impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras: um estudo de caso. *Rev. Econ. Sociol. Rural*, v. 46, n. 3, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-20032008000300006&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 17 out. 2017.

BERNUCCI, L. B. et al. *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro: Petrobrás ABEDA, 2008. Disponível em: <<https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/49841285/222438739-Patologias-de-Pavimentos-Asfalticos-e-Suas-Recuperacoes.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2017

BERNUCCI, L.B. *Tipos de revestimentos asfálticos: programa Asfalto nas Universidades*. 2011. Disponível em: <<http://docslide.com.br/documents/aula011-tipos-de-revestimentos-asfalticos.html>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

BETUSEAL. *Diferentes tipos de pavimentação*. 2014. Disponível em: <<http://www.betuseal.com.br/diferentes-tipos-de-pavimentacao/>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

CARVALHO, Marcos Dutra. *Pavimento de concreto: reduzindo o custo social*. São Paulo, 2007.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE. *Pesquisa CNT de rodovias*. Brasília: 2016.

DER – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. *Manual básico de estradas e rodovias vicinais*. 2ª ed. São Paulo: 2012. v. 3

DER - DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM. *Manual de Normas – Pavimentação*. São Paulo: 1991.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. *Manual de pavimentação*. 3ª ed. Rio de Janeiro: 2006.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 150/2010 – ES: *Pavimentação asfáltica – Lama Asfáltica – Especificação de serviço*. Rio de Janeiro: IPR, 2010.

MARQUES, G. L. de OL. *Pavimentação TRN 032*. Universidade Federal de Juiz de Fora. Minas Gerais, 2012. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2012/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf>> Acesso em: 10 abr. 2017.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. DER/SP. *Manual de Normas – Pavimentação. Seção 3.01. Melhoria do subleito e preparo do leito*. São Paulo, 1991.

NAKAMURA, J. *Pavimentação asfáltica: Os tipos de revestimentos, o maquinário necessário e os cuidados na contratação, projeto e execução*. Infraestrutura urbana, 2015. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/16/pavimentacao-asfaltica-os-tipos-de-revestimentos-o-maquinario-necessario-260588-1.aspx>> Acesso em: 11 abr. 2017.

PITTA, Márcio Rocha. *Dimensionamento dos pavimentos rodoviários de concreto*. 10. ed. São Paulo, ABCP, 1998. 44p. (ET-14)

PORTAL BRASIL. *Extensão de rodovias pavimentadas cresce 23% em 15 anos*, 2016. Disponível em: < <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/05/extensao-de-rodovias-pavimentadas-cresce-23-em-15-anos>> Acesso em: 11 abr. 2017.

ROCHA, Robson Soares. *Patologias de pavimentos asfálticos e suas recuperações – estudo de caso da avenida Pinto de Aguiar*. Disponível em <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/49841285/222438739-Patologias-de-Pavimentos-Asfalticos-e-Suas-Recuperacoes>. Acesso em 18 out. 2017.

SANTANA, H. *Manual de Pré-Misturados a Frio*. IBP/ Comissão de Asfalto. Rio de Janeiro, RJ, 1993.

SENÇO, W. *Manual de Técnicas de Pavimentação*. 1ªed. São Paulo, v.1, p.746, 1997. Disponível em http://www.coenge.ufcg.edu.br/publicacoes/Public_419.pdf. Acesso em 18 out. 2017.

SENÇO, W. *Manual de técnicas de pavimentação*. 2. ed. v. I. São Paulo: Pini, 2008.

SILVA, A. H. M. da. *Avaliação do comportamento de pavimentos com camada reciclada de revestimentos asfálticos a frio com emulsão modificada por polímero*. 2011. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

TCPO 14. *Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos*. São Paulo: PINI, 2014

ZAGONEL, A.R. *Inovações em revestimentos asfálticos utilizados no Brasil*. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2013.