

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ANNIE MARQUES KOSTULSKI

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO DE
CIMENTO PORTLAND, BLOCOS INTERTRAVADOS E CONCRETO ASFÁLTICO**

**Alegrete
2015**

ANNIE MARQUES KOSTULSKI

ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND, BLOCOS INTERTRAVADOS E CONCRETO ASFÁLTICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Jaelson Budny

Coorientador: Rodrigo André Klamt

**Alegrete
2015**


ANNIE MARQUES KOSTULSKI

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO
DE CIMENTO PORTLAND, BLOCOS INTERTRAVADOS E CONCRETO
ASFÁLTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 07 julho de 2015.

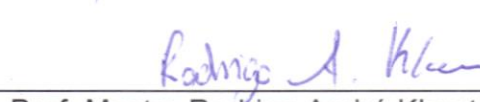
Banca examinadora:



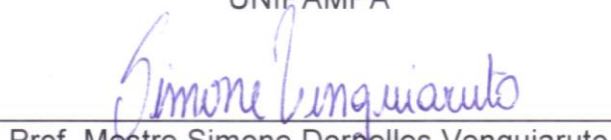
Prof. Mestre Jaelson Budny
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Mestre Magnos Baroni
UFSM



Prof. Mestre Rodrigo André Klamt
Co-Orientador
UNIPAMPA



Prof. Mestre Simone Dornelles Venquiaruto
UNIPAMPA

Dedico este trabalho aos meus irmãos, Andrey (in memoriam), Livia e Paulo Vitor, por serem o estímulo a cada desânimo, o sorriso a cada fracasso, a razão do querer viver e vencer a cada novo dia.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente à Deus, por proporcionar esta experiência maravilhosa em meu caminho, me fazendo amadurecer e me realizar pessoal e profissionalmente.

Expresso toda a gratidão aos meus pais, Paulo e Santa Catarina, que juntamente aos meus irmãos, tios e avós tiveram suas atenções divididas com a rotina incessante de estudos.

Aos colegas, que se tornaram grandes amigos, em especial à Marta Felipette, amiga, mãe, que no decorrer da minha formação, ofereceu ombro amigo, momentos de cumplicidade, incentivo aos estudos e as palavras acolhedoras em momentos difíceis.

Ao Professor Jaelson Budny, pela capacidade de acreditar e apostar em mim, mesmo quando nem mesmo eu via sentido de continuar.

Ao Professor e ex colega Rodrigo André Klamt, por enxergar meu potencial e me ajudar a vencer esta etapa, a qual me solidifica agora como sua colega engenheira.

Aos demais professores, cada qual marcando minha vida com seus gestos, sorrisos ou a lembrança da dedicação em dar e receber conhecimento, muitos aprendendo junto aos seus alunos, estes foram os maiores mestres que já conheci.

Aos funcionários da Instituição que fizeram da Universidade minha segunda casa, me acolhendo e fazendo a cada dia sentir-me parte de uma família, sendo estes funcionários concursados ou terceirizados.

Gostaria de poder agradecer a cada pessoa que fez parte e vivenciou minha caminhada para poder expor a gratidão que sinto por cada um. Peço à Deus que me dê oportunidade de agradecer pessoalmente a todos.

Depois de algum tempo você aprende a diferença, a sutil diferença, entre dar a mão e acorrentar uma alma[...]

Começa a aceitar suas derrotas com a cabeça erguida e olhos adiante, com a graça de um adulto e não com a tristeza de uma criança. Descobre que as pessoas com quem você mais se importa na vida são tomadas de você muito depressa... por isso sempre devemos deixar as pessoas que amamos com palavras amorosas; pode ser a última vez que as vejamos. [...]

Aprende que, ou você controla seus atos, ou eles o controlarão... e que ser flexível não significa ser fraco, ou não ter personalidade, pois não importa quão delicada e frágil seja uma situação, sempre existem, pelo menos, dois lados. Aprende que heróis são pessoas que fizeram o que era necessário fazer, enfrentando as conseqüências[...]

Aprende que maturidade tem mais a ver com os tipos de experiência que se teve e o que você aprendeu com elas do que com quantos aniversários você celebrou. [...]

Aprende que nunca se deve dizer a uma criança que sonhos são bobagens... Poucas coisas são tão humilhantes e seria uma tragédia se ela acreditasse nisso. Aprende que quando está com raiva tem o direito de estar com raiva, mas isso não te dá o direito de ser cruel[...]

Aprende que o tempo não é algo que possa voltar. Portanto, plante seu jardim e decore sua alma, em vez de esperar que alguém lhe traga flores.

O Menestrel

William Shakespeare

RESUMO

O presente trabalho delimitou um trecho de rodovia no município de Alegrete/RS para que através de observações e aplicação de métodos de contagens e classificação dos veículos fosse possível realizar a análise e o dimensionamento de pavimentos de diferentes revestimentos como concreto asfáltico, blocos intertravados e concreto de cimento Portland, determinando o custo unitário de seus materiais e execução, tendo em vista a comparação e a obtenção do pavimento que geraria menor custo atendendo a um período de vida útil de dez anos para a rodovia, levando em consideração o crescimento do número de veículos de 3% conforme indicação do DNIT no Manual de estudos de tráfego. Foram utilizados sistemas SICRO II e SINAPI para a obtenção dos custos unitários e finais de cada projeto, determinados para um quilômetro, sendo possível a aplicação de tais composições em outros estudos de pavimentação que também envolvam diferentes materiais, técnicas de dimensionamentos e custos. Após a realização de estudos, conclui-se que financeiramente o pavimento de blocos intertravados atende aos requisitos de projeto e se apresenta mais atrativo à execução quando comparado ao custo de execução de pavimentos de concreto asfáltico e de concreto de cimento Portland.

Palavras-Chave: Pavimentos. Custos. Estudo Comparativo. Concreto de cimento Portland. Concreto asfáltico. Blocos intertravados.

ABSTRACT

This study identified a stretch of highway in the municipality of Alegrete/RS that through observation and application of methods of counting and classification of vehicles was possible to perform the analysis and the design of floor coverings such as different asphalt concrete , interlocking blocks and concrete Portland cement , determining the unit cost of their materials and execution, with a view to comparison and obtaining the pavement which generate lower cost serving a life span of ten years for highway , taking into account the growing number of vehicle 3% as indicated by the DNIT in traffic studies Manual. Systems were used SICRO II and SINAPI to obtain unit costs and end of each project, determined for one kilometer, being possible the use of these indices in other paving studies that also involve different materials , sizing techniques and costs. After conducting studies , it appears that financially the pavement interlocking blocks meet the design requirements and features more attractive to implement when compared to the cost of execution of asphaltic concrete pavement and Portland cement concrete.

Keywords: Floors . Costs. Comparative Study. Portland cement concrete. Asphaltic concrete. Interlocking blocks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dissipação de esforços em pavimentos rígidos e flexíveis	20
Figura 2 - Camadas constituintes dos pavimentos flexíveis	22
Figura 3 - Camadas constituintes dos pavimentos rígidos	23
Figura 4 - Classificação das contagens volumétricas.....	24
Figura 5 - Métodos de Contagem.....	25
Figura 6 - Ficha de Contagem Volumétrica.....	26
Figura 7 - Veículos comerciais adotados na classificação do DNIT	29
Figura 8 - Aspectos da composição do pavimento flexível.....	34
Figura 9 - Número de repetições admissíveis em função do fator de fadiga.....	37
Figura 10 - Número admissível de repetições de carga com base no fator de erosão (sem acostamento de concreto)	38
Figura 11 - Planejamento de Pesquisa	40
Figura 12 - Fotografia do trecho escolhido	41
Figura 13 - Escolha do Trecho de Pesquisa.....	41
Figura 14 - Composição das camadas de pavimento flexível	48
Figura 15 - Composição das camadas do pavimento de concreto.....	51
Figura 16 - Composição das camadas do pavimento de blocos intertravados	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Custos dos Acidentes Rodoviários	15
Tabela 2 - Qualidade de estimativas de contagem	27
Tabela 3 - Fatores de equivalência de carga da AASHTO.....	31
Tabela 4 - Fatores de equivalência de carga do USACE	31
Tabela 5 - Espessuras mínimas de revestimento betuminoso em função de N	33
Tabela 6- Espessura e resistência dos blocos de revestimento.....	39
Tabela 7 - Percentual de veículos passantes.....	43
Tabela 8 - Classificação por eixos dos veículos passantes	43
Tabela 9 - Volume obtido na contagem em função dos eixos	44
Tabela 10 - Cálculo do Número "N"	45
Tabela 11 - Espessuras mínimas de revestimento betuminoso em função de N	46
Tabela 12 - CBRs adotados	46
Tabela 13 - Coeficientes de equivalência estrutural.....	47
Tabela 14 - Pré dimensionamento das camadas	47
Tabela 15 - Espessura final das camadas	48
Tabela 16 - Cálculo de número de passagens para cada eixo.....	50
Tabela 17 - Parâmetros adotados no dimensionamento	51
Tabela 18 - Dimensionamento quanto ao consumo por Fadiga - 21cm	52
Tabela 19- Dimensionamento quanto ao consumo por Fadiga - 22cm.....	53
Tabela 20 -Dimensionamento quanto ao consumo por Erosão - 21cm.....	54
Tabela 21 - Dimensionamento quanto ao consumo por Erosão - 22cm.....	54
Tabela 22 - Parâmetros adotados no dimensionamento	55
Tabela 23 - Dimensionamento ao consumo por Fadiga - 21cm com reforço	56
Tabela 24 - Dimensionamento ao consumo por Fadiga - 22cm com reforço	57
Tabela 25- Dimensionamento ao consumo por Erosão - 21cm com reforço.....	58
Tabela 26 - Dimensionamento ao consumo por Erosão - 22cm com reforço.....	58
Tabela 27 - Espessura e resistência dos blocos de revestimento.....	60
Tabela 28 - Dimensionamento de Intertravados.....	60
Tabela 29 - Distância de transporte de materiais	63
Tabela 30 - Transporte de material betuminoso.....	63
Tabela 31 - Valores dos materiais asfálticos	64

Tabela 32 Custo unitário do concreto asfáltico.....	65
Tabela 33 - Custo unitário da pintura de ligação	65
Tabela 34 - Custo unitário da imprimação.....	66
Tabela 35 -Custo unitário da brita graduada	66
Tabela 36 - Custo unitário do macadame seco	66
Tabela 37 - Custo unitário da camada de bloqueio	67
Tabela 38 - Custo total do pavimento de concreto asfáltico	67
Tabela 39 - Distância de transporte de materiais	68
Tabela 40 - Custo unitário do concreto de cimento Portland.....	69
Tabela 41 - Custo total do pavimento de concreto de cimento Portland	69
Tabela 42 - Distância de transporte de material.....	70
Tabela 43 - Custo total do pavimento de blocos intertravados.....	70
Tabela 44 - Análise comparativa de custos final	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

B - espessura da base

BGS - Brita Graduada Simples

BL - Camada de Bloqueio

CA - Concreto Asfáltico

CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente

CBR ou ISC - California Bearing Ratio ou Índice de Suporte Califórnia

CDC - Coordenadoria de Defesa da Concorrência

CNT - Confederação Nacional do Transporte

CUB - Custo Unitário Básico da Construção Civil

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes

ESRD - Eixo Simples de Rodas Duplas

ESRS - Eixo Simples de Rodas Simples

ETD - Eixo Tandem Duplo

ETT - Eixo Tandem Triplo

FEC - Fator de Equivalência de Cargas

FGV - Fundação Getúlio Vargas

FR - Fator climático regional

h₂₀ - espessura da sub-base

H₂₀ - espessura de pavimento sobre a sub-base

h_n - espessura do reforço do subleito

H_n - espessura do pavimento sobre a camada com IS = n

H_m - espessura total do pavimento necessária para proteger para proteger o subleito

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IG - índice de grupo

Km – quilômetros

KB - coeficiente de equivalência estrutural da base

KR - coeficiente de equivalência estrutural do revestimento

K_{ref} - coeficiente de equivalência estrutural do reforço de subleito

Ks - coeficiente de equivalência estrutural da sub-base

MPa - Megapascal

N - número equivalente de operações do eixo padrão

R - espessura do revestimento

SICRO - Sistema de Custos Rodoviários

USACE - United States Army Corps of Engineers

VDM - Volume Médio Diário

VDMA - Volume Médio Diário Anual

VS - Volume Semanal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Contextualização do tema e do problema de pesquisa	15
1.2 Objetivos	17
1.2.1 Objetivo geral	17
1.2.2 Objetivos específicos	17
1.3 Justificativa	18
1.4 Estrutura do trabalho	18
2.1 Tipos de Pavimentos	20
2.1.1 Pavimentos Flexíveis	21
2.1.2 Pavimentos Rígidos	22
2.2 Contagem de Veículos (área urbana)	23
2.2.1 Contagens Volumétricas	23
2.2.2 Métodos de Contagem	25
2.3 Determinação do Número “N”	28
2.3.1 Volume Médio Diário Anual (VMDA)	28
2.3.2 Classificação da Frota	29
2.3.3 Carregamento da Frota	29
2.3.4 Fatores de Equivalência de Carga por Eixo (FC)	30
2.4 Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis - Método Empírico DNIT	32
2.5 Dimensionamento de Pavimentos Rígidos	35
2.5.1 Parâmetros de Dimensionamento	35
2.6 Dimensionamento de Pavimentos Intertravados	39
3 METODOLOGIA	40
3.1 Planejamento de Pesquisa	40
3.2 Escolha do Trecho	40
3.3 Contagem	42
3.4 Classificação dos Veículos	42
3.5 Dimensionamento	42
3.6 Custos dos Diferentes Pavimentos	42
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA	43
4.1 Determinação da frota passante	43
4.2 Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis - Método Empírico DNIT	45

4.3 Dimensionamento de Pavimentos Rígidos	49
4.3.1 Parâmetros de Dimensionamento	49
4.3.1.1 Dimensionamento à Fadiga	51
4.3.1.2 Dimensionamento à Erosão	53
4.3.1.3 Dimensionamento à Fadiga - Considerando reforço na sub-base.....	55
4.3.1.4 Dimensionamento à Erosão - Considerando reforço na sub-base	57
4.4 Dimensionamento de Pavimentos Intertravados	59
5 Análise de Custos	62
5 Análise de Custos	62
5.1 Custos dos pavimentos de concreto asfáltico	62
5.2 Custos dos pavimentos de cimento Portland.....	67
5.3 Custos dos pavimentos de blocos intertravados.....	69
5.4 Comparativo de custos entre os diferentes pavimentos	70
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
6.1 Sugestões para trabalhos futuros	74
ANEXO A - Ficha de Contagem Volumétrica	77
APÊNDICE A - Relação entre Índice de Suporte Califórnia (CBR) e coeficiente de recalque (k) do subleito	78
APÊNDICE B - Tensão Equivalente para Eixos Simples e Tandem Duplo (MPa) PSAC (pavimento sem acostamento de concreto).....	79
APÊNDICE C - Tensão Equivalente para Eixos Tandem Triplos (MPa) PSAC (pavimento sem acostamento de concreto).....	80
APÊNDICE D- Repetições Admissíveis à Fadiga 21cm	81
APÊNDICE E - Repetições Admissíveis à Fadiga 22cm.....	82
APÊNDICE F - Fator de erosão para eixo simples e tandem duplo	83
APÊNDICE G - Fator de erosão para tandem triplo.....	84
APÊNDICE H - Repetições Admissíveis à Erosão 21cm	85
APÊNDICE I - Repetições Admissíveis à Erosão 22 cm	86
APÊNDICE J - aumento do coeficiente K devido à presença de sub-base granular	87
APÊNDICE K - Repetições Admissíveis à Fadiga 21cm com reforço	88
APÊNDICE L - Repetições Admissíveis à Fadiga 22cm com reforço	89
APÊNDICE M - Repetições Admissíveis à Erosão 21 com reforço	90
APÊNDICE N - Repetições Admissíveis à Erosão 22 com reforço	91

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do tema e do problema de pesquisa

Desde 1960, até a atualidade, o setor rodoviário responde por aproximadamente 60% do total de cargas transportadas no país. De acordo com dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2014) a malha rodoviária Brasileira possui a extensão de 1.691.804 km, sendo que apenas 203.944 km são pavimentados, o que corresponde à aproximadamente 12%.

Pode-se considerar que este modal de transportes é responsável pela maioria do transporte de pessoas e pelos mais variados tipos de carga, contudo, o atual estado de conservação destas rodovias eleva o custo operacional e de manutenção dos veículos e diminui sensivelmente o nível de segurança, traduzido pelo crescente número de acidentes nas estradas.

Somente em 2012, segundo dados da Confederação Nacional do Transporte, houveram 184.493 acidentes em rodovias federais policiadas, reconhecendo-se então a necessidade de manter as rodovias brasileiras em boas condições de tráfego e segurança, observada a grande influência do seu estado na qualidade do serviço oferecido aos usuários.

Ainda, segundo os dados referentes aos acidentes, nota-se o alto custo que os mesmos trazem aos cofres públicos, o qual pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 Custos dos Acidentes Rodoviários

Custo Econômico dos Acidentes Rodoviários - 2012			
Tipo	Custo Médio (R\$)	Número de Acidentes	Custo Total dos Acidentes (R\$ bilhões)
Não informado	-	1.371	-
Sem vítima	26.801,1	112.408	R\$ 3,01
Com ferido	136.917,9	63.715	R\$ 8,72
Com morte	665.779,7	6.999	R\$ 4,66
		184.493	R\$ 16,40

Fonte: CNT (2012, p.1)

Conforme a tabela 1, verifica-se que, de acordo com o informativo de acidentes no Brasil, os 184.493 acidentes acontecidos no ano de 2012 geraram um gasto de aproximadamente dezesseis bilhões e quatrocentos milhões de reais, os quais poderiam ter sido aplicados em manutenções nas próprias vias, proporcionando maior segurança e melhores condições de trafegabilidade.

Conforme pesquisa da Confederação Nacional dos Transportes, sabe-se que 60% das cargas nacionais são movimentadas por rodovias, sendo um dos índices mais altos registrados em todo o mundo e que o custo desse tipo de transporte se torna 30% mais caro do que deveria ser, em decorrência do precário estado de pavimentação em grande parte das rodovias nacionais. Dos 90 mil quilômetros vistoriados pela Confederação Nacional de Transportes, 58,8% se encontram em situação regular, ruim ou péssima, enquanto apenas 41,2% apresentam boas condições de tráfego. Ainda assim, os dados da pesquisa assinalam sensível melhoria em relação ao ano de 1997, quando menos de 20% das estradas foram consideradas satisfatórias (CNT, 2012).

Os pavimentos são dimensionados para terem uma vida útil pré-estabelecida, mas com o tempo, a capacidade estrutural se modifica devido a fatores externos, como a falta de drenagem e o excesso de carga, acelerando assim sua deterioração (JOHNSTON, 2001).

O investimento atual do Brasil não é suficiente para manter as condições da malha e por causa da falta de manutenção durante anos, as rodovias tendem à apresentar uma progressiva degradação em seu estado de conservação, fazendo com que sua restauração passe a ser mais cara, pois em alguns trechos sua estrutura precisa ser reconstruída. Baseando-se em estudos que demonstram que a restauração muitas vezes se torna mais cara que a repavimentação, busca-se determinar as melhores opções estruturais que podem ser aplicadas às rodovias com vistas à relação custo-benefício, comparando diferentes propostas de soluções estruturais, facilitando o trabalho de engenheiros projetistas optarem por empreendimentos viáveis técnica e economicamente.

Com a análise do comportamento dos pavimentos e seus materiais constituintes pode-se estabelecer fatores condicionantes de projeto, os quais variam conforme sua caracterização. Dentre os materiais mais utilizados para a pavimentação, encontram-se os blocos de concreto intertravado, o concreto asfáltico e o concreto de cimento Portland.

Neste contexto o fator determinante pela escolha de uma das técnicas é na grande maioria das vezes o custo do revestimento. Desta forma, se na área de projetos de estruturas viárias existem inúmeros métodos e técnicas a serem utilizadas com a garantia de pavimentos com vida útil de projeto satisfatória, porque não realizar um estudo comparativo entre os diferentes materiais de revestimento que podem ser empregados, analisando o custo de implantação de cada solução?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Realizar a análise comparativa de custo de projetos de pavimentos, comparando projetos que utilizem revestimentos de blocos intertravados, concreto asfáltico e concreto de cimento Portland, para um trecho rodoviário na cidade de Alegrete/RS.

1.2.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral alguns objetivos específicos deverão ser cumpridos, dentre os quais:

- Delimitar um trecho de rodovia no município de Alegrete para o desenvolvimento do trabalho;
- Realizar a contagem e a classificação dos veículos passantes no trecho a ser utilizado para o dimensionamento.
- Elaborar os projetos das espessuras de todas as camadas desta via para os revestimentos determinados, utilizando os dados de observação e informações da literatura;
- Simular o custo final de cada projeto a partir das espessuras das camadas do pavimento.
- Realizar uma análise de custos para verificar qual o preço de execução de cada uma das soluções analisadas.

1.3 Justificativa

A justificativa para o presente trabalho encontra-se na necessidade dos engenheiros buscarem a melhor solução em seus projetos, os quais devem atender à fatores funcionais e de conforto aos seus usuários, utilizando-se também do aperfeiçoamento de técnicas e da análise do custo de diversos materiais garantindo a viabilidade do empreendimento. As rodovias brasileiras com seu uso no tempo apresentam fatores de risco ao usuário, devendo receber intervenções e manutenções periódicas, o que torna as mesmas de alto custo, objetivando a busca pela melhoria de processos construtivos que alcancem alto desempenho e mantenham o padrão para os quais foram projetadas.

1.4 Estrutura do trabalho

No capítulo 1 é tratado a respeito da contextualização do tema, da importância do transporte através do modal rodoviário e das atuais condições de conforto e segurança que os pavimentos das rodovias oferecem aos usuários atualmente, o que junto ao conhecimento de diversos materiais e técnicas de dimensionamento geraram o problema de pesquisa e a necessidade da comparação dos materiais e seus custos, resultando nos objetivos que o presente trabalho se propôs a alcançar.

No segundo capítulo, é apresentada uma revisão bibliográfica acerca de assuntos que facilitem o entendimento e a contextualização da pesquisa. Foram realizadas pesquisas e interpretações de como cada pavimento é classificado, bem como o método correto de realizar as contagens e classificações dos veículos que trafegam no trecho delimitado.

No capítulo três delimitou-se o planejamento de execução da pesquisa, o trecho a ser analisado e os motivos que levaram para que tal fosse escolhido, bem como os três tipos de pavimentos que serão estudados: Pavimento de concreto asfáltico, de blocos intertravados e de concreto de cimento Portland, cada qual com seu método de dimensionamento.

No capítulo quatro relata-se como o projeto foi executado, os dados obtidos inicialmente com a contagem e os secundários, referentes às espessuras das

camadas de cada pavimento, levando em consideração as características dos materiais utilizados.

Já no capítulo cinco realizam-se a determinação dos custos de cada pavimento, levando em consideração além dos materiais, mas também seu transporte e execução, tendo como base os indicadores do SICRO II e SINAPI, obtendo valores de cada pavimento por uma extensão de um quilômetro e realizando-se o comparativo de custo final entre os mesmos.

No capítulo seis conclui-se que financeiramente o pavimento de blocos intertravados atende aos requisitos de projeto e se apresenta mais atrativo à execução quando comparado ao custo de execução de pavimentos de concreto asfáltico e de concreto de cimento Portland.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

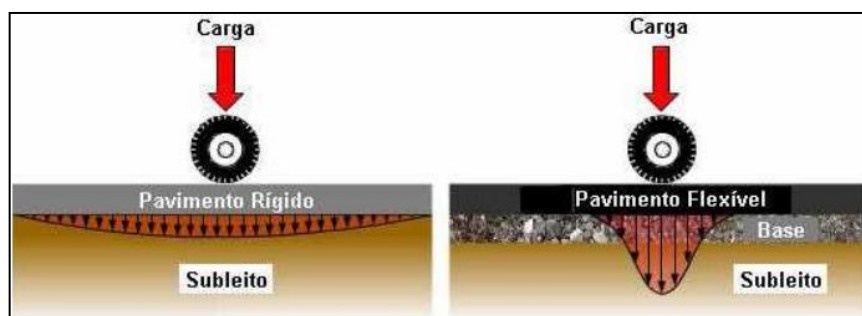
Um pavimento pode ser definido como uma estrutura formada de múltiplas camadas de espessuras finitas construída sobre a superfície final de um local que sofreu terraplenagem, sendo destinada de forma técnica e econômica à resistir aos esforços oriundos do tráfego e do clima e a melhorar as condições de rolamento, conforto, economia e segurança de seus usuários. Os pavimentos são projetados de forma que sua estrutura deva resistir às forças verticais (cargas dos eixos dos veículos) e horizontais (ações do clima e dos esforços de frenagem e aceleração dos veículos) as quais estão sendo submetidos.

O projeto de um pavimento leva em consideração que as cargas verticais apresentam-se de forma dinâmica, considerando os diferentes tipos de eixos rodoviários que ali trafegam, bem como seu peso e tensão gerada na camada do pavimento, projetando o uso da rodovia e seu crescimento em todo horizonte de projeto. Os problemas mais comuns de uma rodovia e que são importantes no momento do projeto são a redução de riscos de acidentes, de ruídos, de congestionamentos e de poluição ambiental.

2.1 Tipos de Pavimentos

O pavimento rodoviário classifica-se tradicionalmente em dois tipos básicos: rígidos e flexíveis, os quais dissipam seus esforços como representado na Figura 1. Os revestimentos das estruturas de pavimento em geral são submetidos a esforços de compressão e de tração devidos à flexão, ficando as demais camadas submetidas principalmente à compressão.

Figura 1 - Dissipação de esforços em pavimentos rígidos e flexíveis



Fonte:Portland (2012,p.43)

Uma das principais diferenças entre os tipos de pavimentos é a forma como as cargas são distribuídas no terreno. Enquanto os pavimentos flexíveis tendem a transmitir as cargas verticalmente, concentradas num único ponto, as placas de concreto atuam de forma semelhante a uma chapa sobre o subleito. Dessa maneira, o solo tem menor contribuição, pois as cargas são distribuídas por uma área maior.

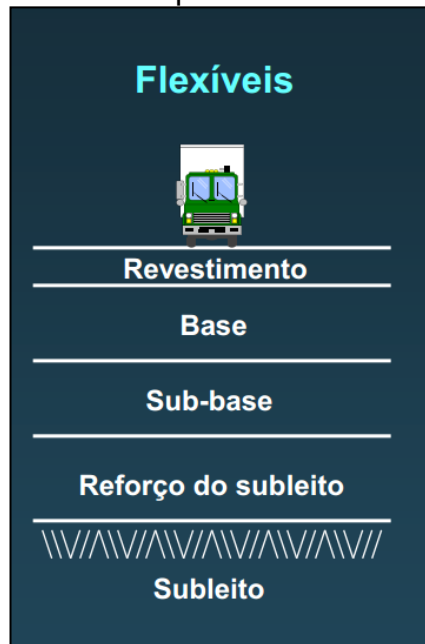
Em certos casos, uma camada subjacente ao revestimento pode ser composta por materiais estabilizados quimicamente de modo a proporcionar coesão e aumentar sua rigidez, podendo resistir a esforços de tração. Embora possuam coesão, as camadas de solos finos apresentam baixa resistência à tração, diferentemente dos materiais estabilizados quimicamente. Diversos autores têm empregado a terminologia de pavimentos semi-rígidos para aqueles com revestimentos asfálticos que possuam em sua base ou sub-base materiais cimentados, que também são solicitados à tração ampliando então a classificação tradicional dos tipos de pavimentos.

2.1.1 Pavimentos Flexíveis

Os pavimentos flexíveis, em geral são associados aos pavimentos asfálticos, são compostos por camada superficial asfáltica (revestimento), apoiada sobre camadas de base, de sub-base e de reforço do subleito, constituídas por materiais granulares, solos ou misturas de solos, sem adição de agentes cimentantes, como pode ser visualizado na Figura 2. Dependendo do volume de tráfego, da capacidade de suporte do subleito, da rigidez, espessura das camadas e condições ambientais, uma ou mais camadas podem ser suprimidas.

Nos pavimentos asfálticos, as camadas de base, sub-base e reforço do subleito são de grande importância estrutural. Limitar as tensões e deformações na estrutura do pavimento, por meio da combinação de materiais e espessuras das camadas constituintes, é o objetivo da mecânica dos pavimentos (Medina, 1997).

Figura 2 - Camadas constituintes dos pavimentos flexíveis



Fonte: Portland (2012,p.43)

Usualmente os pavimentos flexíveis recebem como camada de revestimento algum tipo de mistura asfáltica, podendo também ser feito o revestimento com blocos intertravados, visto que mesmo os blocos sendo rígidos, a distribuição de tensões às camadas abaixo dos mesmos acontecem de forma muito semelhante aos revestimentos asfálticos.

2.1.2 Pavimentos Rígidos

Os pavimentos rígidos, em geral associados aos de concreto de cimento Portland, são compostos por uma camada superficial de concreto de cimento Portland (em geral placas, as quais podem ser armadas ou não), apoiada geralmente 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. A Figura 3 mostra uma estrutura-tipo de pavimento de concreto de cimento Portland.

Figura 3 - Camadas constituintes dos pavimentos rígidos



Fonte: Portland (2012,p.43)

Durabilidade e resistência são os principais trunfos dos pavimentos rígidos. Enquanto pavimentos flexíveis são projetados para ter uma vida útil de aproximadamente dez anos, os pavimentos de concreto são concebidos para operar por até trinta anos com intervenções de manutenção mínimas. Essa menor necessidade de manutenção pode, assim, diluir o ônus do maior investimento inicial, que o pavimento rígido requer para a implantação.

2.2 Contagem de Veículos (área urbana)

Os procedimentos normalmente utilizados na engenharia de tráfego para levantamentos de dados de campo são as pesquisas, que podem ser feitas mediante entrevistas ou por observação direta. Nas entrevistas, o processo consiste em obter a informação formulando perguntas orais ou escritas ao usuário, classificando suas respostas de acordo com certos padrões estabelecidos. Na observação direta, trata-se de registrar os fenômenos de trânsito tal como são, sem perturbá-los.

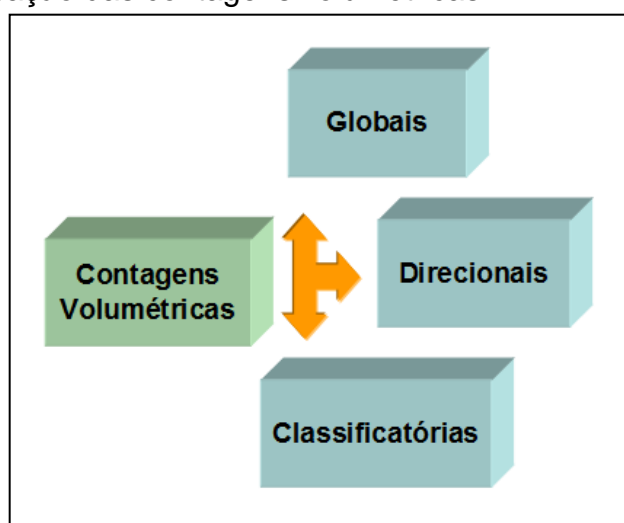
2.2.1 Contagens Volumétricas

As Contagens Volumétricas visam determinar a quantidade, o sentido e a composição do fluxo de veículos que passam por um ou vários pontos selecionados

do sistema viário, numa determinada unidade de tempo. Essas informações são usadas na análise de capacidade, na avaliação das causas de congestionamento e de elevados índices de acidentes, no dimensionamento do pavimento, nos projetos de canalização do tráfego e outras melhorias.

As contagens volumétricas para estudos em áreas rurais classificam-se em globais, direcionais e classificatórias, como visualizado na Figura 4:

Figura 4 - Classificação das contagens volumétricas



Fonte: Elaboração Própria

Existem dois locais básicos para realização das contagens: nos trechos entre interseções e nas interseções. As contagens entre interseções têm como objetivo identificar os fluxos de uma determinada via e as contagens em interseções levantar fluxos das vias que se interceptam e dos seus ramos de ligação.

a) Contagens Globais

São aquelas em que é registrado o número de veículos que circulam por um trecho de via, independentemente de seu sentido, agrupando-os geralmente pelas suas diversas classes. São empregadas para o cálculo de volumes diários, preparação de mapas de fluxo e determinação de tendências do tráfego.

b) Contagens Direcionais

São aquelas em que é registrado o número de veículos por sentido do fluxo e são empregadas para cálculos de capacidade, determinação de intervalos de sinais,

justificação de controles de trânsito, estudos de acidentes, previsão de faixas adicionais em rampas ascendentes, etc.

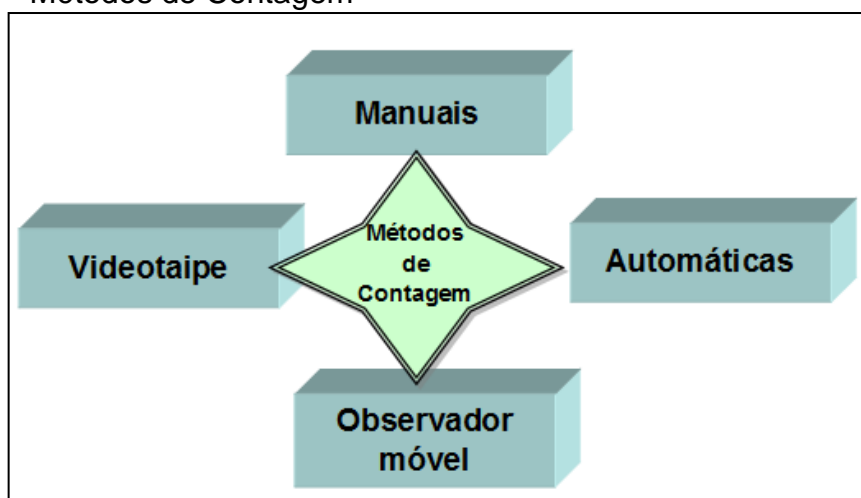
c) Contagens Classificatórias

Nessas contagens são registrados os volumes para os vários tipos ou classes de veículos. São empregadas para o dimensionamento estrutural e projeto geométrico de rodovias e interseções, cálculo de capacidade, cálculo de benefícios aos usuários e determinação dos fatores de correção para as contagens mecânicas.

2.2.2 Métodos de Contagem

Os métodos de contagem podem ser apresentados como manuais, automáticos, videoteipe e com auxílio de um observador móvel, como esquematizado na Figura 5.

Figura 5 - Métodos de Contagem



Fonte: Elaboração Própria

2.2.2.1 Contagens Manuais

São contagens feitas por pesquisadores, com auxílio de fichas e contadores manuais, sendo ideais para a classificação de veículos, análise de movimentos em interseções e contagens em rodovias com muitas faixas. Para contagens em vias urbanas é comum adotar um critério de grupamento de veículos com base em características semelhantes de operação (automóveis, ônibus e caminhões).

O processo normal de coleta consiste em utilizar contadores manuais mecânicos presos em uma prancheta, na qual está também a ficha para transcrição dos dados. As instruções básicas para a realização das contagens volumétricas manuais estão apresentadas na publicação do DNER, “Metodologia de Contagem Volumétrica de Tráfego”. A Figura 6 apresenta um modelo de ficha de contagem volumétrica, a qual é mais adequada para trechos com baixo volume de tráfego, e deverá incluir os tipos de veículos previstos no trecho. Prevê-se contagem manual, que poderá ser feita com traços a lápis para cada veículo e totalizada por sentido, para cada intervalo de tempo escolhido. Este método tem a vantagem de ser de fácil operação, com custos baixos e alta flexibilidade quanto à mudança de locais para a cobertura de uma área num período curto de tempo.

Figura 6 - Ficha de Contagem Volumétrica

CONTAGEM VOLUMÉTRICA																					
ESTADO		RODOVIA		CÓD. PAV		TRECHO		A		B											
POSTO		LOCAL DA CONTAGEM		MARCO QUILOMÉTRICO		DATA DA CONTAGEM		HORA INÍCIO		HORA TÉRMINO		SENTIDO		A → B		B → A					
PERÍODO (hrs)	VEÍCULOS LEVES			ÔNIBUS		CAMINHÕES									OUTROS		TOTAL				
	Autos	Camionetas		2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2		3C3	H0 veículos		

Fonte: DNIT (2006, p.104) ¹

Pode-se observar que a ficha de contagem volumétrica divide e classifica os veículos em veículos leves, ônibus, caminhões e outros, levando em consideração os fatores de carga de cada eixo. É fundamental a anotação de quaisquer fatores que dificultem ou possam falsear os resultados das contagens. Interrupções podem ser causadas por acidentes, obras, afundamento de pista, etc., e, se não forem devidamente anotadas, poderão fazer com que o fluxo medido seja inferior ao real

¹ Anexo A - Ficha de Contagem Volumétrica

em condições normais, reduzindo assim a confiabilidade dos resultados a partir da amostra analisada.

Tabela 2 - Qualidade de estimativas de contagem

Usando Contadores Manuais			
Método	Nível de Precisão	Variações aceitáveis	Observações
(1) - Contagem durante 1 hora, em um dia de semana, entre 9 a.m. e 6 p.m.	D	A contagem pode ser estendida	
(2) - Contagem em um dia de semana, de 6 a.m. até 10 p.m.	C ou D		
(3) - Contagem entre 6 a.m. e 10 p.m. de 5ª Feira até Domingo	C	Pode ser estendida para dias incluindo 2ª Feira	Para a semana use $5 \times 5^a + \text{Sábado} + \text{Domingo}$
(4) - Contagem entre 6 a.m. e 10 p.m. em 7 dias consecutivos	C		
(5) - Métodos (1) a (4) em 4 vezes (6) - em intervalos de 3 meses (7) - (usando para (1) e (2) diferentes horas (8) - e dias)	C C B B	O número de vezes pode ser 2,3 ou 6 em vez de 4, alterando de forma semelhante o espaçamento	Calcule os totais de cada semana e então a média das 4 semanas
(9) - Contagem das 6 am às 10 pm de 52 em 52 dias durante 1 ano (7 contagens)	B		Estes métodos são de grande utilidade quando se tem que contar em vários pontos de uma mesma área. Podem ser feitas variações para atender a condições especiais
(10) - Contagem das 6 am às 10 pm de 26 em 26 dias durante 1 ano (14 contagens)	A ou B		
(11) - Contagem das 6 am às 10 pm de 13 em 13 dias durante 1 ano (28 contagens)	A		
(12) - Como em (9), mas divida o trecho do dia de interesse em 7 partes iguais (p. ex 2 horas. Em cada uma das 7 contagens conte uma parte, na ordem 1,4,7,3,6,2,5	C	Pode variar a parte em que inicia a contagem, mantendo a ordem, como 4,7,3,6,6,5,1, ou 3,6,2,5,1,4,7	
(13) - Como em (10) mas divida o trecho do dia de interesse em 14 partes iguais (por ex. 14 partes de 1 hora) e conte sucessivamente as partes 1,4,7,10,13,2,5,8,11,14,3,6,9,12	C		
(14) - Como em (11) divida o trecho do dia de interesse em 14 partes iguais e conte sucessivamente as partes 1,6,11,2,7,12,3,8,13,4,9,14, e então repita este ciclo	B		

Fonte: DNIT (2006, p.120)

A rigor qualquer amostra deve ser dimensionada a partir de análise estatística, no entanto, razões de caráter prático, baseadas na experiência pregressa dos órgãos rodoviários, levam à necessidade de tecer algumas considerações. Para medir a utilização média de uma via, o índice adequado é o Volume Médio Diário (VMD). No caso do volume médio diário, sua estimativa a partir

de contagens rápidas sempre incorrerá em erro. A questão é saber qual é o erro e o que se admite como “tolerável”. Na Tabela 2 pode-se observar a classificação conforme DNIT da qualidade das estimativas de contagem, a qual apresenta variações aceitáveis e os níveis de precisão para a utilização de contadores manuais.

2.3 Determinação do Número “N”

A correta avaliação da solicitação que o pavimento sofrerá pelo tráfego é fundamental para o correto dimensionamento. Em qualquer caso, o desejável é que sejam definidos os seguintes elementos relativos ao tráfego:

- Volume médio diário anual (VMDa);
- Classificação da frota;
- Carregamento da frota;
- Fator de equivalência de carga.

2.3.1 Volume Médio Diário Anual (VMDA)

Conforme já visto, a determinação dos volumes de tráfego deve ser baseada em contagens volumétricas classificatórias realizadas no trecho em análise. Desvios de tráfego significativos devem ser levados em conta, para a definição de subtrechos homogêneos em termos de tráfego. Por volume diário médio, entende-se o volume total de veículos que passam por uma seção da via, englobando todos os veículos em ambos sentidos da via.

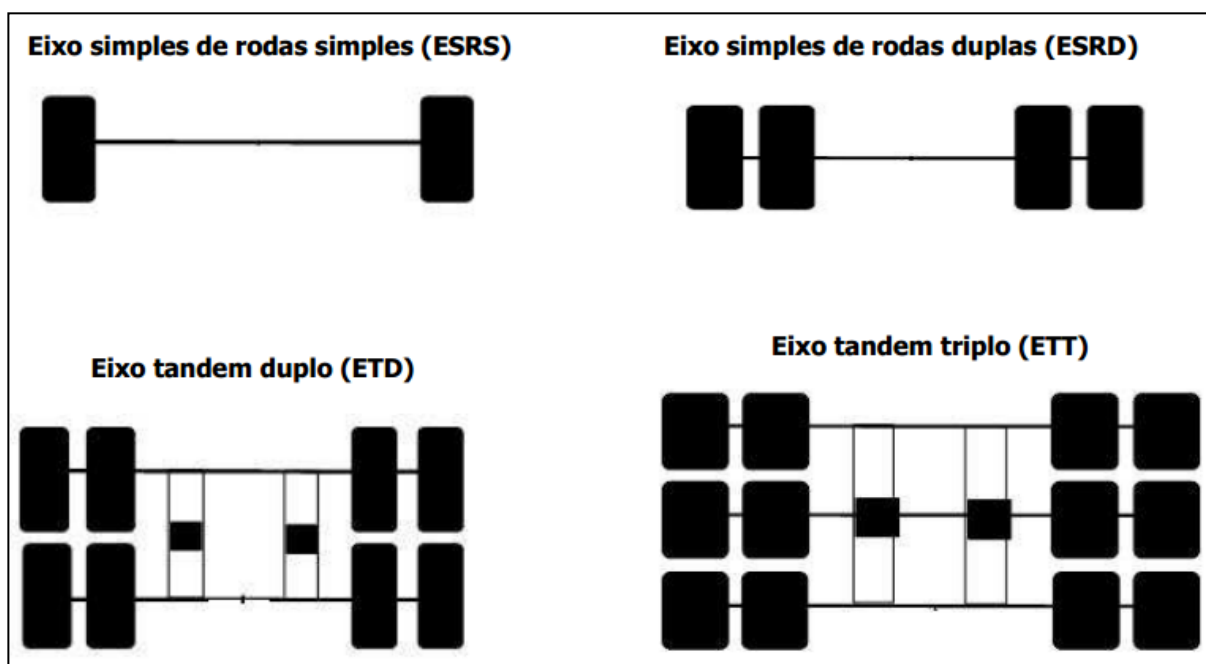
O VDM é geralmente obtido com base no cálculo de 365 dias para abrigo todas as condições de sazonalidade semanais ou mensais, compreendidos os veículos de passeio, ônibus e caminhões, tendo por este motivo a denominação de VDM anual.

A contagem de veículos e a utilização de fatores de expansão permitem a definição do perfil de tráfego ao longo de um ano inteiro, o que servirá de base para o projeto de tráfego para qualquer ano no horizonte de projeto. Para calcular o VDM anual é realizada a contagem durante um ano e o valor obtido é então dividido por 365 dias, gerando então um volume médio diário.

2.3.2 Classificação da Frota

A grande diversidade de efeitos gerados sobre o pavimento pelos diversos tipos de veículos rodoviários levou à necessidade de dispor de uma classificação da frota, a mais detalhada possível, sendo a classificação mínima útil a avaliação do tráfego compreende as seguintes subclasses de veículos de carga: eixo simples de rodas simples (ESRS), eixo simples de rodas duplas (ESRD), eixo tandem duplo (ETD) e eixo tandem triplo (ETT), classificação de veículos adotada pelo DNIT nas contagens volumétricas classificatórias e pesagens apresentada na Figura 7.

Figura 7 - Veículos comerciais adotados na classificação do DNIT



Fonte: Adaptado de DNIT (2007, p.109)

2.3.3 Carregamento da Frota

Assim como a classificação da frota, os pesos por eixo de cada um dos tipos de veículos de carga é igualmente importante e se a distribuição da carga por eixo não for adequadamente considerada, as previsões da solicitação futura do tráfego serão provavelmente imprecisas. Portanto, para a avaliação do efeito do tráfego sobre o pavimento é preciso conhecer as cargas por eixo com as quais os veículos de carga solicitam a estrutura. Isto pode ser feito preferencialmente por meio de

pesagens levadas a efeito no próprio trecho, ou em trecho com comportamento de tráfego similar.

Os procedimentos de pesagem existentes segundo o método de projeto do DNIT são: balanças fixas, balanças portáteis e sistemas automáticos de pesagem, que permitem pesagem contínua através de longos períodos. Nos últimos anos foram desenvolvidos equipamentos para pesar dinamicamente os veículos e classificá-los automaticamente. Em qualquer caso é necessário que os dados de pesagem sejam compatíveis com a classificação adotada para a frota de carga.

Apesar da tecnologia ter evoluído, a pesagem se torna inviável de ser aplicada no presente trabalho, devendo então estabelecer a distribuição das cargas por eixo através de estimativas levando em consideração os pesos legais admitidos pelo DNIT. A Divisão de Estudos e Projetos do DNIT publicou o volume “Tabelas de Fatores de Veículos”, originada de uma pesquisa em 28 postos permanentes distribuídos nas regiões norte, centro-oeste, sudeste e sul, e em 12 postos temporários nas regiões norte, nordeste, sudeste e sul do Brasil. Nessa publicação são calculados para cada trecho, os fatores de veículos (FV) pelo método da AASHTO, conforme Tabela 3 e pelo método do Corpo dos Engenheiros (USACE), a qual divide as faixas de carga conforme o peso em toneladas, aplicando as equações demonstradas na Tabela 4.

2.3.4 Fatores de Equivalência de Carga por Eixo (FC)

A conversão do tráfego misto em um número equivalente de operações de um eixo considerado padrão é efetuada aplicando-se os chamados Fatores de Equivalência de Cargas (FC). Estes fatores permitem converter uma aplicação de um eixo solicitado por uma determinada carga em um número de aplicações do eixo-padrão que deverá produzir um efeito equivalente.

Os conceitos adotados nos diversos métodos para a definição da equivalência de cargas são os mais variados, e não dependem exclusivamente do eixo-padrão considerado. O Método de Projeto do DNIT adota um eixo-padrão de 8,2t, sendo os fatores de equivalência de carga aqueles desenvolvidos pelo Corpo de Engenheiros do Exército Norte-americano.

As cargas dos veículos causam deflexões nas camadas do pavimento e alteram o estado de tensões e deformações. Cada carga provoca um efeito

destrutivo e reduz a vida remanescente do pavimento. Diferentes configurações de eixos e cargas produzem deflexões diferenciadas, que reduzem a vida remanescente do pavimento de diversas maneiras. Os fatores de equivalência de carga por eixo são utilizados para fazer conversões das várias possibilidades de carga por eixo em números de eixo-padrão.

As expressões para cálculo dos fatores de equivalência de carga são apresentadas na Tabela 3 para o método da AASHTO, e na Tabela 4, para o método do Corpo dos Engenheiros (USACE).

Tabela 3 - Fatores de equivalência de carga da AASHTO

Tipos de eixo	Equações (P em tf)
Simplex de rodagem simples	$FC = (P / 7,77)^{4,32}$
Simplex de rodagem dupla	$FC = (P / 8,17)^{4,32}$
Tandem duplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 15,08)^{4,14}$
Tandem triplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 22,95)^{4,22}$

Fonte: Adaptado de DNIT (2006, p.244)

Onde:

FC - Fator de Equivalência de Cargas

P - Carga de aplicação de um eixo (valores em tonelada força)

Tabela 4 - Fatores de equivalência de carga do USACE

Tipos de eixo	Faixas de Cargas (t)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 – 8	$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	≥ 8	$FC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 – 11	$FC = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
	≥ 11	$FC = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
Tandem triplo	0 – 18	$FC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$

Fonte: Adaptado de DNIT (2006, p.244)

Onde:

FC - Fator de Equivalência de Cargas

P - Carga de aplicação de um eixo (valores em tonelada força)

De posse do volume médio diário anual (VMDa), da classificação e carregamento da frota, e do fator de equivalência de carga, pode-se então determinar o número equivalente “N” para utilização do mesmo no dimensionamento de pavimentos flexíveis. Na determinação do número N são considerados fatores relacionados à composição do tráfego referentes a cada categoria de veículo, aos pesos das cargas transportadas e sua distribuição nos diversos tipos de eixos dos veículos. Seus valores anuais e acumulados durante o período de projeto são calculados com base nas projeções do tráfego, sendo necessário para isso o conhecimento qualitativo e quantitativo da sua composição presente e futura segundo o método de projeto do DNIT. Esse conhecimento é obtido por meio das pesagens, pesquisas de origem e destino, contagens volumétricas classificatórias e pesquisas de tendências da frota regional ou nacional.

2.4 Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis - Método Empírico DNIT

Dimensionar um pavimento significa determinar as espessuras das camadas que o constituem de forma que estas camadas (reforço do subleito, sub-base, base e revestimento) resistam e transmitam ao subleito as pressões impostas pelo tráfego, sem levar o pavimento à ruptura, deformações ou desgastes excessivos.

Os métodos empíricos de dimensionamento têm como base o método CBR, processo desenvolvido pelo DNIT, o qual roteiriza o dimensionamento de pavimentos flexíveis em função dos seguintes fatores:

- capacidade do subleito (CBR);
- número equivalente de operações do eixo padrão (N) e
- espessura total do pavimento durante um período de projeto.

O número “N” de equivalentes operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN é a transformação de todos os tipos de eixos e cargas dos veículos comerciais que trafegarão sobre o pavimento em um eixo simples padrão de rodas duplas equivalente de 80 kN. Consideram-se apenas os veículos comerciais no cálculo do número “N”, visto que os automóveis possuem carga de magnitude desprezível em relação aos veículos comerciais, o qual é utilizado na determinação da espessura mínima que a camada superficial de revestimento betuminoso deve contemplar, tendo como finalidade proteger a camada de base dos esforços

impostos pelo tráfego e preservar o revestimento de uma ruptura, a qual é obtida por meio da Tabela 5.

Tabela 5 - Espessuras mínimas de revestimento betuminoso em função de N

N	Espessura mínima de revestimento betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \cdot 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \cdot 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \cdot 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \cdot 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: DNIT (2006, p.147)

A altura total, também conhecida como H_m , é obtida por meio da aplicação da equação $H_m = 77,67 \cdot N^{0,0482} \cdot CBR^{-0,598}$, e uma vez determinadas as espessuras H_m , H_n , H_{20} , as quais estão relacionadas com o número N e o CBR, as espessuras da base (B), sub-base (h_{20}) e reforço do subleito (h_n) são obtidas pela resolução sucessiva das seguintes inequações:

$$K_R \cdot R + K_B \cdot B \geq H_{20} \quad (1)$$

$$K_R \cdot R + K_B \cdot B + K_S \cdot h_{20} \geq H_n \quad (2)$$

$$K_R \cdot R + K_B \cdot B + K_S \cdot h_{20} + K_{ref} \cdot h_n \geq H_m \quad (3)$$

Onde:

K_R : coeficiente de equivalência estrutural do revestimento

R : espessura do revestimento

K_B : coeficiente de equivalência estrutural da base

B : espessura da base

H_{20} : espessura de pavimento sobre a sub-base

K_S : coeficiente de equivalência estrutural da sub-base

h_{20} : espessura da sub-base

H_n : espessura do pavimento sobre a camada com $IS = n$

K_{ref} : coeficiente de equivalência estrutural do reforço de subleito

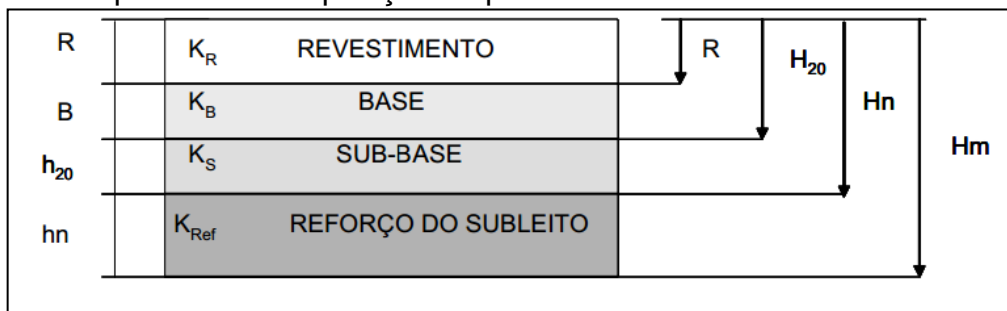
h_n : espessura do reforço do subleito e

H_m : espessura total do pavimento necessária para proteger para proteger o subleito.

As espessuras das camadas constituintes são determinadas através da multiplicação das espessuras obtidas para o material padrão (base granular) pelos coeficientes estruturais parciais correspondentes a cada tipo de material. Cada camada possui um coeficiente de equivalência estrutural (k), que relaciona a espessura que a camada deve possuir de material padrão (base granular), com a espessura equivalente do material que realmente irá compor a camada.

A composição das camadas do pavimento será finalizada e disposta como o exemplo da Figura 8, a qual é composta de camadas de reforço de subleito, camada de sub-base, camada de base e finalmente a camada superficial de revestimento.

Figura 8 - Aspectos da composição do pavimento flexível



Fonte: Adaptado de DNIT (2006,p.149)

Onde:

K_R : coeficiente de equivalência estrutural do revestimento

R: espessura do revestimento

K_B : coeficiente de equivalência estrutural da base

B: espessura da base

H_{20} : espessura de pavimento sobre a sub-base

K_S : coeficiente de equivalência estrutural da sub-base

h_{20} : espessura da sub-base

H_n : espessura do pavimento sobre a camada com $IS = n$

K_{Ref} : coeficiente de equivalência estrutural do reforço de subleito

hn: espessura do reforço do subleito e

H_m : espessura total do pavimento necessária para proteger para proteger o subleito.

2.5 Dimensionamento de Pavimentos Rígidos

No caso de pavimentos rígidos, há necessidade de conhecer, para o período de projeto, os números de repetições dos diferentes eixos, grupados em intervalos de carga. O dimensionamento de pavimentos rígidos necessita das seguintes informações relativas ao tráfego:

- Volumes de tráfego, classificados por tipo de veículo, ano a ano, para o período de projeto;
- Excluídos os carros de passeio e veículos utilitários, carga por tipo de eixo dos veículos, por intervalo de carga.

O método de dimensionamento baseia-se em:

- Estudos teóricos clássicos sobre o comportamento de placas de concreto;
- Ensaios de laboratório e em modelos, sobre os comportamentos e influências de juntas, de sub-bases e acostamentos no desempenho de pavimentos de concretos;
- Pistas experimentais e estudos realizados por diversos órgãos rodoviários e aeroportuários;
- Observação metódica de pavimentos em serviços.

Através deste método é possível combinar diferentes fatores de projeto, permitindo desta forma a adoção de soluções alternativas e mais econômicas.

2.5.1 Parâmetros de Dimensionamento

Os parâmetros que devem ser observados anteriores ao dimensionamento são os que seguem:

- Tipo de acostamento (se haverá ou não);
- Uso ou não de barras de transferência;
- Resistência à tração na flexão aos 28 dias;
- Coeficiente de recalque (obtido em função do CBR do subleito);
- Fator de segurança de carga;
- número de eixos equivalentes;

O dimensionamento da espessura do pavimento de concreto leva em conta o número de eixos totais e das cargas que eles transmitem ao pavimento durante o período de vida útil do projeto. As cargas consideradas são corrigidas através de fatores de segurança em função do tipo de pavimento como é observado no Quadro 1.

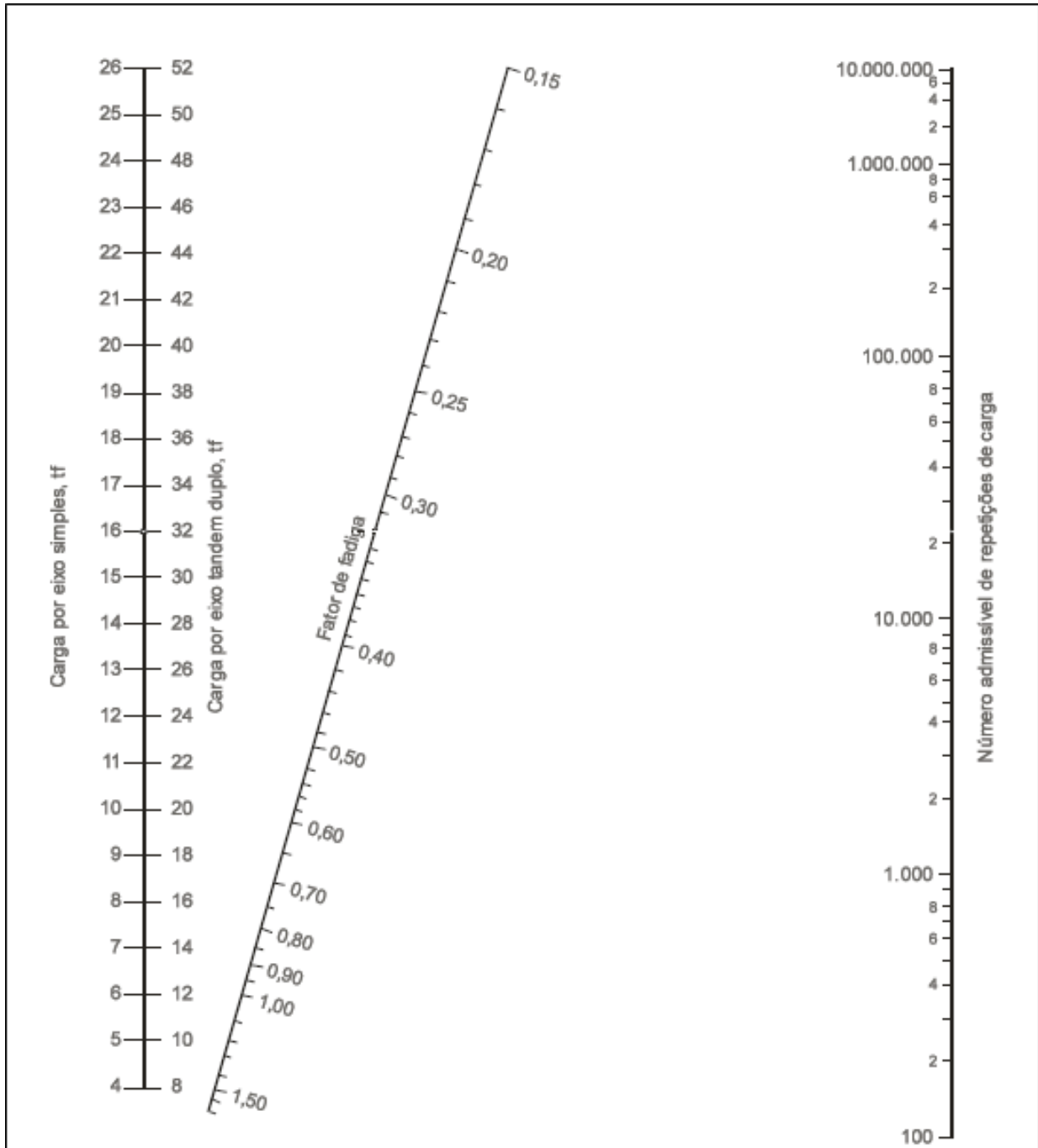
Quadro 1 - Fatores de Segurança para as cargas

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: DNIT(2005, p.95)

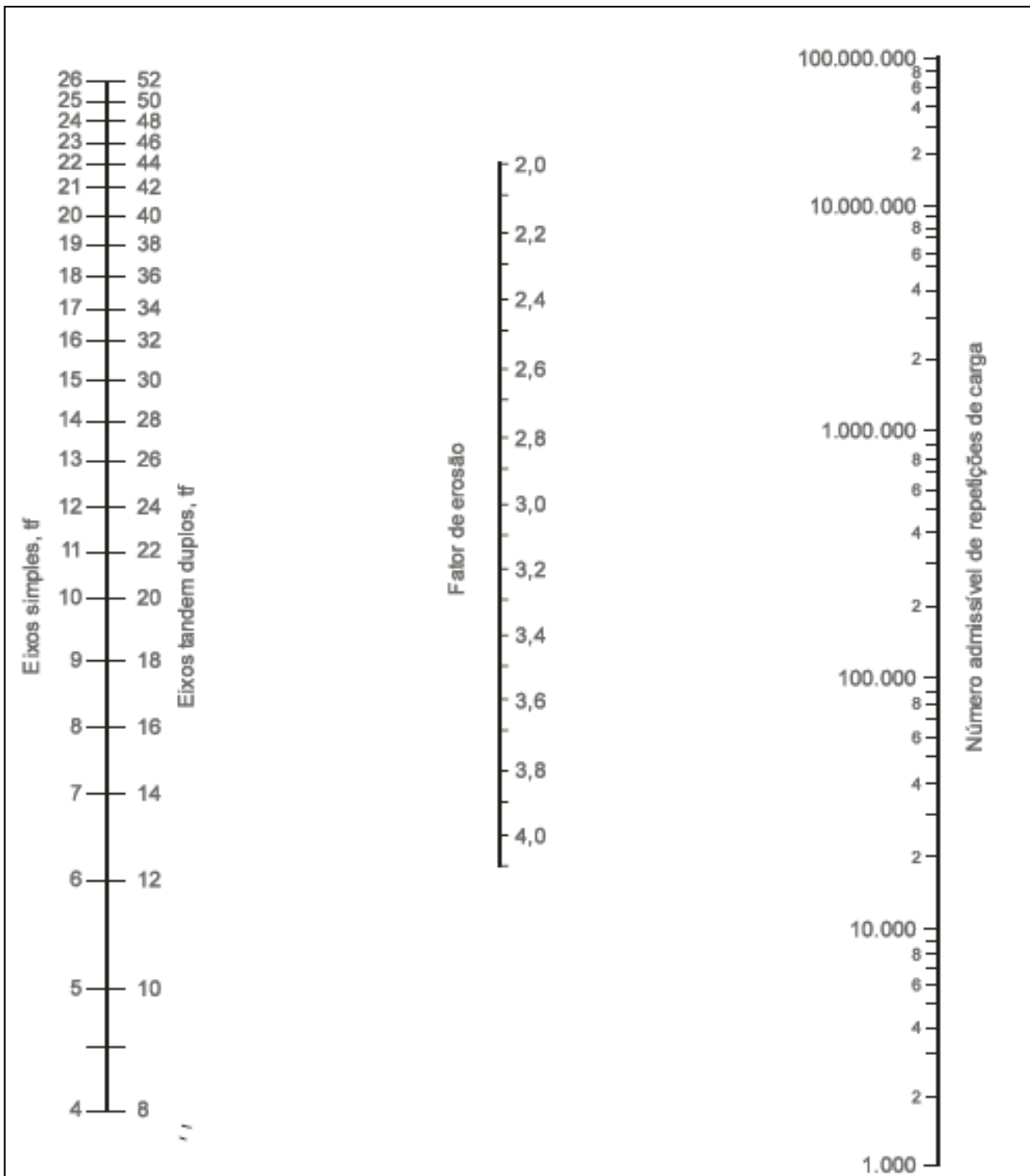
Os parâmetros de composição do método leva em consideração a adoção de uma espessura tentativa de concreto, da determinação da tensão equivalente, das curvas de fadiga e dos efeitos de erosão, os quais são observados através dos ábacos das Figuras 9 e 10.

Figura 9 - Número de repetições admissíveis em função do fator de fadiga



Autor: DNIT (2005, p.113)

Figura 10 - Número admissível de repetições de carga com base no fator de erosão (sem acostamento de concreto)



Autor: DNIT (2005, p.114)

2.6 Dimensionamento de Pavimentos Intertravados

O método de dimensionamento da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) é recomendado para vias de tráfego muito leve e leve com “N” (número “N” de solicitações do eixo simples padrão) típico de até 10^5 . Primeiramente se estabelece a espessura total através da aplicação da equação 4, sendo que no dimensionamento da espessura deste tipo de pavimento, costuma-se empregar o método do CBR, tomando apenas 50% da carga por roda. A espessura do pavimento é então dada pela expressão:

$$e = \frac{150 + 150\sqrt{P/2}}{I_s + 5} \quad (4)$$

onde:

e - espessura total do pavimento, em cm

P - carga por roda, em tf

I_s - CBR do subleito, em %

A espessura e resistência dos blocos de revestimento deverão seguir os valores da Tabela 6, a qual através do volume de tráfego especifica a espessura do revestimento a ser adotado e a resistência à compressão que deverá atender.

Tabela 6- Espessura e resistência dos blocos de revestimento

<i>TRÁFEGO</i>	<i>ESPESSURA REVESTIMENTO</i>	<i>RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES</i>
$N \leq 5 \times 10^5$	6,0 cm	35 MPa
$5 \times 10^5 < N < 10^7$	8,0 cm	35 a 50 MPa
$N > 10^7$	10,0 cm	50 MPa

Fonte: Carvalho (1998, p.14)

De posse da espessura total, subtrai-se o valor de espessura referente ao bloco intertravado, bem como 4cm de espessura de assentamento, valor este fixado pelo DNIT, tendo desta forma o valor referente à espessura de base que será utilizada.

3 METODOLOGIA

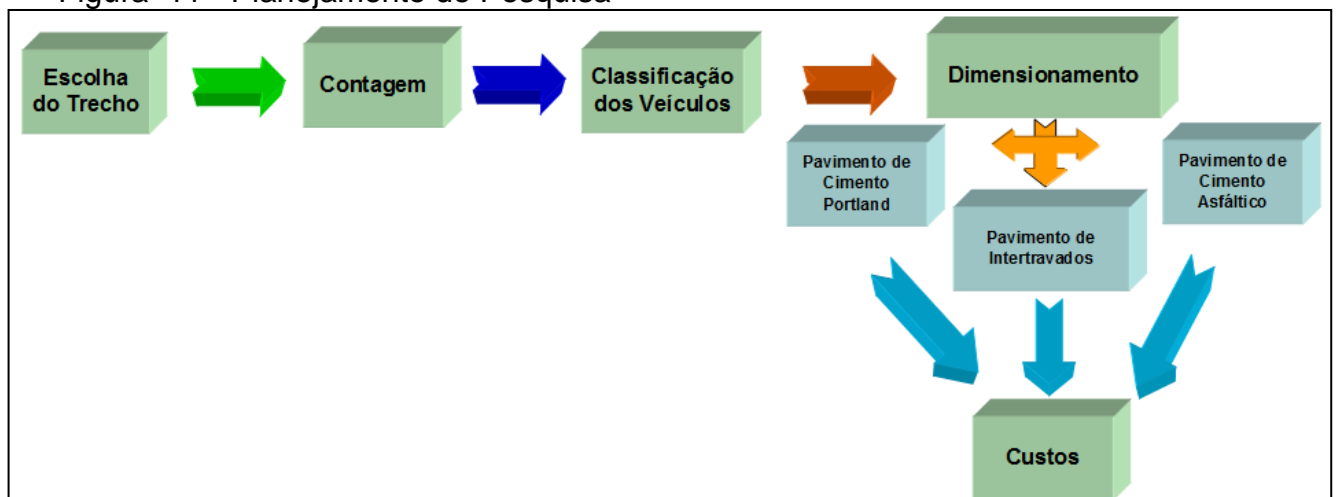
3.1 Planejamento de Pesquisa

A presente pesquisa tem como objetivo analisar o custo de projetos de pavimentação, com blocos intertravados, concreto asfáltico e concreto de cimento Portland através de simulação de custos para diferentes estruturas dimensionadas para atenderem a mesma vida útil de projeto.

Para atingir o objetivo geral foi delimitado um trecho para análise no município de Alegrete e por meio de processos de observação, obteve-se os dados de entrada para os modelos de dimensionamento dos diferentes tipos de soluções analisadas.

O fluxograma que foi seguido, pode ser observado na Figura 11:

Figura 11 - Planejamento de Pesquisa



Fonte: Elaboração Própria

3.2 Escolha do Trecho

Foi determinado como trecho a ser analisado a Avenida Ibicuí, localizado nas proximidades da Ponte Borges de Medeiros, em função da alta trafegabilidade da via e da localização do mesmo, tendo a mesma sete metros de largura, sendo representada na Figura 12.

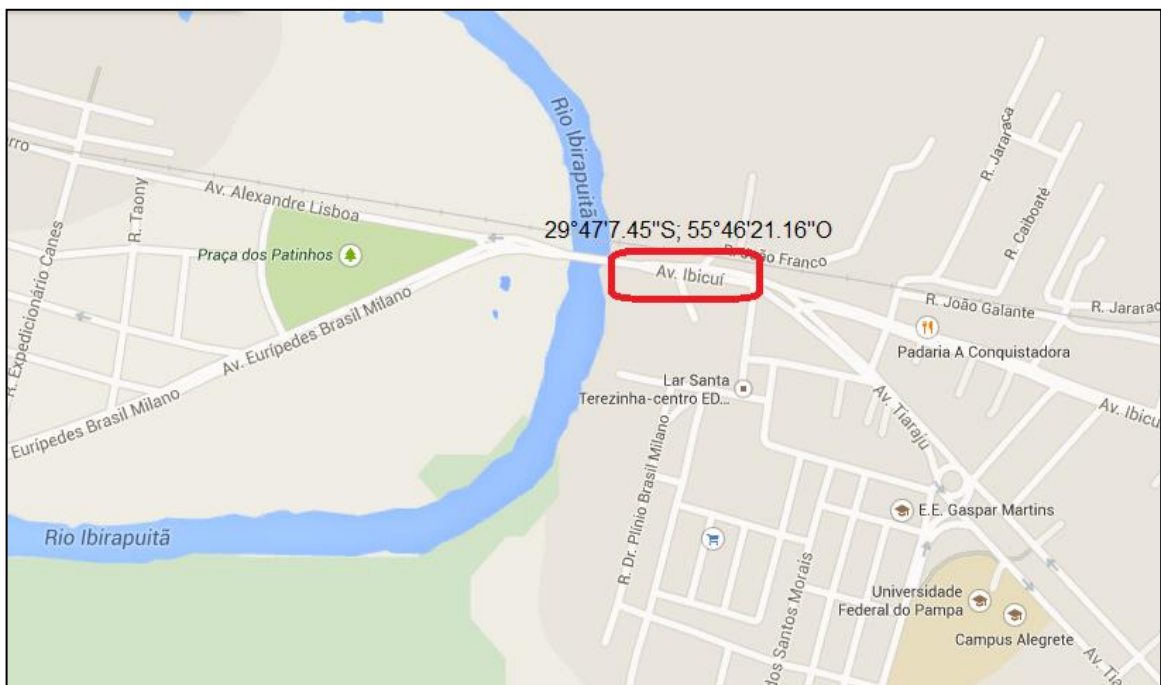
O trecho escolhido para ser analisado justifica-se por se encontrar em uma via a qual liga a zona leste ao centro, como mostrada na Figura 13, sendo considerada importante via de tráfego, de coordenadas geográficas 29°47'7.45"S; 55°46'21.16"O.

Figura 12 - Fotografia do trecho escolhido



Fonte: Elaboração Própria

Figura 13 - Escolha do Trecho de Pesquisa



Fonte: Elaboração Própria

3.3 Contagem

Após a escolha do trecho, executou-se o procedimento de contagem de veículos, identificando os mesmos para determinação de projeto. O procedimento de contagem adotou o método de nº 4 - contagem entre 6 horas e 22 horas em 7 dias consecutivos, conforme método que utiliza contadores manuais, atendendo a um nível de precisão C, o qual apresenta-se de boa qualidade e atende às necessidades do presente estudo.

3.4 Classificação dos Veículos

A classificação dos veículos foi realizada conforme o manual de estudos de tráfego do DNIT(2006), variando conforme as metodologias de dimensionamento das diferentes tipologias de pavimento, adotando-se o cálculo do número "N" para pavimentos de concreto asfáltico e blocos intertravados e a classificação por eixos passantes para pavimento de concreto de cimento Portland.

3.5 Dimensionamento

O dimensionamento foi realizado para os três tipos de revestimentos de acordo com os procedimentos descritos no item 2.4 à 2.6 constantes na revisão de literatura.

3.6 Custos dos Diferentes Pavimentos

Para a determinação dos custos dos diferentes tipos de pavimentos, foram utilizados os dados fornecidos pelos manuais de custos rodoviários do DNIT e das composições do SICRO 2.

Os custos dos pavimentos foram determinados após o dimensionamento das espessuras das camadas e dos materiais que são então utilizados nos projetos de concreto asfáltico, blocos intertravados e concreto de cimento Portland, levando em consideração as estruturas que foram dimensionadas mais o uso de maquinários e mão-de-obra empregados.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA

4.1 Determinação da frota passante

A partir da contagem realizada das 6 horas até as 22 horas durante os sete dias consecutivos, no período de 29 abril à 05 de maio de 2015, obteve-se o volume de tráfego e a classificação dos veículos passantes na via escolhida. O percentual de veículos que transitaram durante o período de coleta de dados pode ser observado na Tabela 7. Pode-se observar que a maioria de veículos passantes, são classificados como veículos de passeio, os quais contemplam as motos, camionetas e carros, sendo que estes não influenciam no dimensionamento em função de sua baixa capacidade de carga. Os veículos comerciais utilizados para os dimensionamentos propostos, somam 4,27% do total de veículos, os quais serão considerados nos dimensionamentos.

Tabela 7 - Percentual de veículos passantes

Veículos de Passeio	Moto	12609	18,86%	95,73%
	Carro	45302	67,75%	
	Camioneta	6098	9,12%	
Veículos comerciais	Caminhão ESRD	1246	1,86%	4,27%
	Caminhão ETD	206	0,31%	
	Caminhão ETT	1	0,00%	
	ônibus ESRD	1269	1,90%	
	ônibus ETD	131	0,20%	

Fonte: Elaboração Própria

A partir da classificação de veículos por eixos, obteve-se a quantidade de veículos passantes constituídos de quatro classificações, conforme apresentados na Tabela 8:

- Veículo com eixo simples de rodagem simples (ESRS);
- Veículo com eixo simples de rodagem dupla (ESRD);
- Veículo com eixo em tandem duplo (ETD);
- Veículo com eixo em tandem triplo (ETT).

Tabela 8 - Classificação por eixos dos veículos passantes

ESRS	2853
ESRD	2515
ETD	337
ETT	1

Fonte: Elaboração Própria

A adoção de cargas legais para cada veículo da frota comercial brasileira, conforme o Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (2006) indica que as cargas a serem consideradas para projeto são:

- Veículo com eixo simples de rodagem simples (ESRS): 6,0 tf
- Veículo com eixo simples de rodagem dupla (ESRD): 10,0 tf
- Veículo com eixo tandem duplo (ETD): 17,0 tf
- Veículo com eixo tandem triplo (ETT): 25,5 tf

De posse das classificações dos veículos em seus eixos, das cargas legais dos mesmos e das equações da USACE, utilizadas pelo DNIT, encontrou-se o volume semanal (VS) de cada eixo, como apresentado na Tabela 9. Os métodos de dimensionamento calculam o volume médio diário e o volume médio diário anual, porém optou-se por transformar o volume semanal em volume anual multiplicando-se por 54 semanas, mantendo a fidelidade dos dados obtidos na contagem.

Tabela 9 - Volume obtido na contagem em função dos eixos

Tipos de eixo	Cargas Legais (t)	Fator de Equivalência de Cargas	N ocorrências	(N ocorrências) x (FEC)
ESRS	6	0,278	2853	792,89
ESRD	10	2,164	2515	5441,58
ETD	17	8,549	337	2880,95
ETT	25,5	0,968	1	0,97
Annual	492284,86			9116,39
Volume previsto	5643494,25			
Volume previsto	5,64E+06			

Fonte: Elaboração Própria

O volume anual, que seria o volume total de tráfego para o período de um ano, deve ser corrigido em função de um fator climático regional (FR), definido pelo DNIT como o coeficiente que leva em consideração as variações de umidade dos materiais do pavimento durante as diversas estações do ano, o qual adota-se o valor de 1,0 devido à grande variabilidade na região em estudo. Como os projetos são dimensionados para um determinado período útil de vida, o volume de tráfego deve ter seu valor corrigido, considerando a taxa de crescimento anual em progressão geométrica, adotada como 3% por indicação do DNIT, e o período de vida útil, aqui adotado como 10 anos, representados na Tabela 10, aplicados na equação 5, adaptada de DNIT (2006):

$$N = V_{\text{anual}} \cdot \left[\frac{[(1+t)]^P - 1}{t} \right] \quad (5)$$

Onde:

N - número equivalente de operações do eixo padrão;

V_{anual} - volume total de tráfego para o período de um ano (VA);

t - taxa de crescimento;

P - período de tempo.

Tabela 10 - Cálculo do Número "N"

Dados		
t (taxa de crescimento)	3	%
P (período de tempo)	10	anos
F clima	1	
N	5643494,25	

Fonte: Elaboração Própria

4.2 Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis - Método Empírico DNIT

O método empírico de dimensionamento do DNIT tem como base o dimensionamento de pavimentos flexíveis em função dos seguintes fatores:

- capacidade do subleito (CBR), adotado neste projeto como 5%, também usado para os demais dimensionamentos;
- número equivalente de operações do eixo padrão (N) e
- espessura total do pavimento durante um período de projeto.

De posse do número "N", o qual considera apenas os veículos comerciais em virtude dos veículos de passeio possuírem carga de magnitude desprezível em relação aos veículos comerciais, o qual seu cálculo foi apresentado anteriormente, determina-se a espessura mínima que a camada superficial de revestimento betuminoso deve contemplar por meio da Tabela 11 buscando preservar o revestimento em sua vida útil.

Verifica-se então que a espessura mínima de revestimento a ser adotada é de 7,5cm, seguindo então as especificações técnicas do DNIT, onde a fixação da

espessura mínima se faz para proteger a camada de base dos esforços impostos pelo tráfego, sejam os mesmos de tração ou flexão.

Tabela 11 - Espessuras mínimas de revestimento betuminoso em função de N

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, p.147)

Para a obtenção do pré dimensionamento das alturas, adotou-se que o CBR da camada em função do material utilizado, sendo que o CBR da base é de 20% (valor mínimo adotado por DNIT representado na Tabela 12), e que o revestimento utilizado foi de concreto betuminoso, conforme Tabela 13, sendo então utilizados materiais de base e sub base granular, onde seus coeficientes K serão determinados através da Tabela 13.

Tabela 12 - CBRs adotados

Camada	CBR
base	80
sub base	20
sub leito	5

Fonte: Elaboração Própria

Os valores dos coeficientes de equivalência estrutural dependem do tipo de material construtivo utilizado no pavimento. Cada camada possui um coeficiente de equivalência estrutural (k), que relaciona a espessura que a camada deve possuir de material padrão (base granular), com a espessura equivalente do material que realmente irá compor a camada.

Tabela 13 - Coeficientes de equivalência estrutural

Componentes dos pavimentos	Coeficiente de equivalência estrutural (K)
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pre-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento por penetração	1,20
Base granular	1,00
Sub-base granular	0,77(1,00)
Reforço do subleito	0,71 (1,00)
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 Kg/cm ²	1,70
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 Kg/cm ² e 28 Kg/cm ²	1,40
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 Kg/cm ² e 21 Kg/cm ²	1,20
Bases de Solo-Cal	1,20

Fonte: Adaptado de DNIT: (2006, p.146)

As alturas das camadas são pré calculadas através da aplicação da equação $H = 77,67 \cdot N^{0,0482} \cdot CBR^{-0,598}$ em cada camada, o que resultou em valores mostrados na Tabela 14, sendo utilizados nas inequações apresentadas a seguir.

Tabela 14 - Pré dimensionamento das camadas

	Espessura calculada		Espessura Adotada	
Hn	62,76	cm	63	cm
H 20	27,39	cm	28	cm

Fonte: Elaboração Própria

Após a determinação das espessuras Hm, Hn, H20, aplicam-se de forma sucessiva as seguintes inequações:

$$KR \cdot R + KB \cdot B \geq H20 \quad (6)$$

$$KR \cdot R + KB \cdot B + KS \cdot h20 \geq Hn \quad (7)$$

$$KR \cdot R + KB \cdot B + KS \cdot h20 + Kref \cdot hn \geq Hm \quad (8)$$

Onde:

KR: coeficiente de equivalência estrutural do revestimento

R: espessura do revestimento

KB: coeficiente de equivalência estrutural da base

B: espessura da base

H20: espessura de pavimento sobre a sub-base

Ks: coeficiente de equivalência estrutural da sub-base

h20: espessura da sub-base

Hn: espessura do pavimento sobre a camada com $IS = n$

Kref: coeficiente de equivalência estrutural do reforço de subleito

hn: espessura do reforço do subleito e

Hm: espessura total do pavimento necessária para proteger para proteger o subleito.

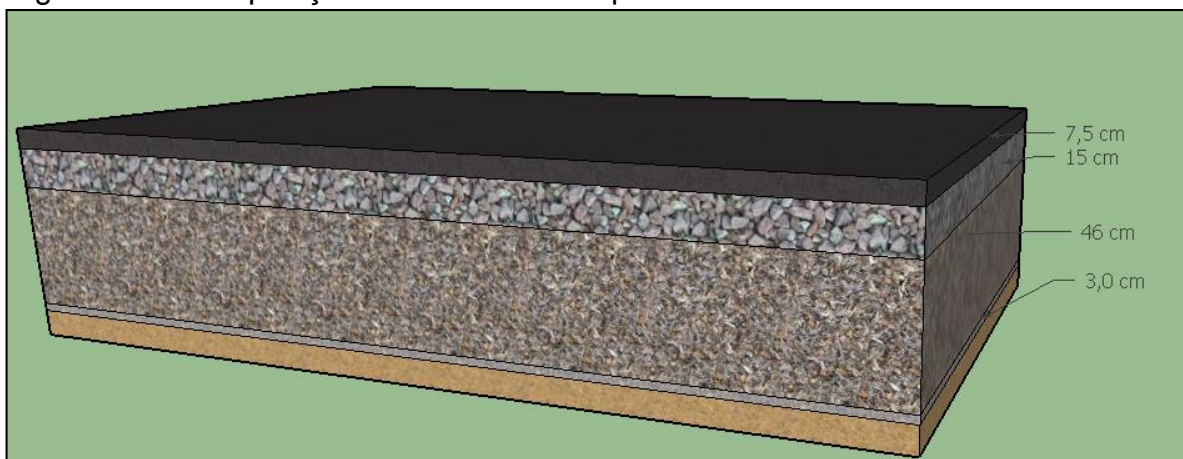
Tabela 15 - Espessura final das camadas

N	5,64E+06	Espessura Adotada
E revestimento (cm)	7,5	7,5
E base (cm)	13,0	15,0
E sub base (cm)	45,5	46,0
Bloqueio (cm)	3,0	3,0

Fonte: Elaboração Própria

A composição das camadas do pavimento já dimensionada está disposta como o exemplo da Figura 14, a qual é composta de camada de sub-base, camada de base e finalmente a camada superficial de revestimento, cada qual com uma espessura mínima de 15cm para as camadas granulares, não sendo utilizado reforço de subleito em função da boa resistência das camadas de solo superiores.

Figura 14 - Composição das camadas de pavimento flexível



Fonte: Elaboração Própria

A camada de bloqueio ou camada de isolamento aplica-se para evitar que as arestas do agregado graúdo penetrem no material do solo, e que, como

conseqüência, os finos existentes venham a contaminar a camada executada. A mesma se constitui de material granular de dimensões de 19,1mm, tendo seu espalhamento executado por motoniveladora e a acomodação da camada de compressão com espessura máxima de 0,03m feita com a utilização de rolo estático liso, como previsto no SICRO II.

4.3 Dimensionamento de Pavimentos Rígidos

No caso de pavimentos rígidos, há necessidade de conhecer, para o período de projeto, os números de repetições dos diferentes eixos, agrupados em intervalos de carga. As cargas de cada eixo adotadas seguem a classificação do peso máximo legal do Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (2006), sendo então considerados:

- Veículo com eixo simples de rodagem simples (ESRS): 6,0 tf
- Veículo com eixo simples de rodagem dupla (ESRD): 10,0 tf
- Veículo com eixo tandem duplo (ETD): 17,0 tf
- Veículo com eixo tandem triplo (ETT): 25,5 tf

Se faz necessário estabelecer alguns parâmetros de projeto como os apresentados abaixo:

- Tipo de acostamento (se haverá ou não);
- Uso ou não de barras de transferência;
- Resistência à tração na flexão aos 28 dias;
- Coeficiente de recalque (obtido em função do CBR do subleito);
- Fator de segurança de carga;

4.3.1 Parâmetros de Dimensionamento

Os parâmetros adotados para o dimensionamento em questão são:

- Tipo de acostamento: Não haverá acostamento por tratar-se de um trecho urbano.
- Barras de transferência: O pavimento será de concreto simples, o qual não dispõe de aço, gerando placas de no máximo 6m de comprimento.
- Resistência à tração na flexão aos 28 dias: Resistência adotada: 45 MPa

- Coeficiente de recalque: 38 (obtido em função do CBR do subleito, no apêndice A);
- Fator de segurança de carga: 1,0 pois o tráfego apresenta baixa porcentagem de passagens de caminhões.
- Número de eixos passantes: Adotado conforme contagem de passagens de cada eixo.

O dimensionamento da espessura do pavimento de concreto leva em conta o número de eixos totais e das cargas que eles transmitem ao pavimento durante o período de vida útil do projeto. As cargas consideradas foram corrigidas através de fatores de segurança em função do tipo de pavimento como é mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Fatores de Segurança para as cargas

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: DNIT(2005, p.95)

Com a classificação dos tipos de eixo e a adoção das cargas legais para cada classe, encontrou-se o número de solicitações para cada eixo, que foi utilizado no dimensionamento de pavimentos de concreto de cimento Portland, os quais podem ser visualizados na Tabela 16.

Tabela 16 - Cálculo de número de passagens para cada eixo

Tipos de eixo	Cargas Legais (t)	N ocorrências	N anual	Volume Total	(Volume Total) x (Fator Regional)
ESRS	6	2853	154062	1766148,17	1766148,17
ESRD	10	2515	135810	1556909,45	1556909,45
ETD	17	337	18198	208619,68	208619,68
ETT	25,5	1	54	619,05	619,05
			308124		

Fonte: Elaboração Própria

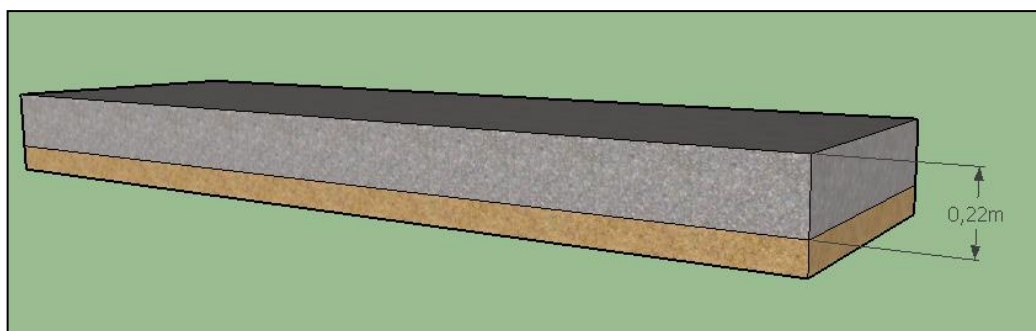
O dimensionamento leva em consideração um coeficiente de recalque, obtido através de um ábaco, como mostrado no Apêndice A, sendo $k=38$ de acordo com o CBR encontrado no subleito, neste caso de 5%. Foi realizado o dimensionamento para diversas espessuras tentativa, sendo demonstrados apenas as espessuras de 21 e 22cm, primeiramente sobre o subleito e posteriormente para as duas espessuras com adição de reforço de sub-base com material granular, comparando-se os resultados.

Tabela 17 - Parâmetros adotados no dimensionamento

Espessura tentativa (cm)	21	Espessura tentativa (cm)	22
Fator de segurança	1,0	Fator de segurança	1,0
Resistência característica à tração (Mpa)	4,5	Resistência característica à tração (Mpa)	4,5
k	38	k	38
t (taxa de crescimento) ("%)	3,0	t (taxa de crescimento) ("%)	3,0
P (período de tempo) (anos)	10,0	P (período de tempo) (anos)	10,0
Fator de clima	1,0	Fator de clima	1,0

Fonte: Elaboração Própria

Figura 15 - Composição das camadas do pavimento de concreto



Fonte: Elaboração Própria

4.3.1.1 Dimensionamento à Fadiga

Os parâmetros de composição do método levam em consideração a adoção de espessuras tentativas de concreto, sendo demonstradas apenas o dimensionamento para as camadas de 21 e 22cm, vistas na Tabela 17, da determinação da tensão equivalente, a qual se dá por meio de interpolações dos valores encontrados através do coeficiente de recalque e da espessura adotada no

pré dimensionamento da placa de concreto, como pode ser visto nos Apêndices B e C, para eixos simples, tandem duplo e tandem triplo. Tais valores servirão como balizadores no ábaco onde se determinam as repetições admitidas em projeto, ou seja, quantas vezes cada eixo poderá trafegar neste pavimento em toda sua vida útil, em função de seus eixos e cargas admitidas.

Para o dimensionamento à fadiga é necessário determinar o fator de fadiga, o qual é encontrado dividindo-se a Tensão equivalente referente à cada eixo, pela Resistência característica à tração do concreto. Tais valores são apresentados nas Tabelas 18 e 19, utilizados nos Apêndices D e E, para a determinação das repetições admissíveis para cada eixo em função do seu carregamento. O consumo do pavimento pela fadiga se dá em razão das repetições previstas em relação às repetições admissíveis, expressando quanto deste pavimento é "consumido" pela fadiga.

Tabela 18 - Dimensionamento quanto ao consumo por Fadiga - 21cm

Cálculo da espessura de pavimento de concreto						
Tensão Equivalente	Fator de Fadiga	Cargas por eixo	Cargas por eixo c/ FS	Nº repetições previstas	Análise da Fadiga	
					nº repetições admissíveis	Consumo da Fadiga (%)
Eixos Simples						
1,753	0,3896	5 - 6	6	1766148,174	ilimitado	0,00%
		10 - 11	10	1556909,449	2.200.000	70,77%
Eixos Tandem Duplo						
1,562	0,3471	17 - 18	17	208619,6757	ilimitado	0,00%
Eixos Tandem Triplo						
1,154	0,2564	24 - 26	25,5	619,0494828	ilimitado	0,00%
					Total:	70,77%

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 19- Dimensionamento quanto ao consumo por Fadiga - 22cm

Cálculo da espessura de pavimento de concreto						
Tensão Equivalente	Fator de Fadiga	Cargas por eixo	Cargas por eixo c/ FS	N° repetições previstas	Análise da Fadiga	
					n° repetições admissíveis	Consumo da Fadiga (%)
Eixos Simples						
1,641	0,3647	5 - 6	6	1766148,174	ilimitado	0,00%
		10 - 11	10	1556909,449	ilimitado	0,00%
Eixos Tandem Duplo						
1,480	0,3289	17 - 18	17	208619,6757	ilimitado	0,00%
Eixos Tandem Triplo						
1,093	0,2429	24 - 26	25,5	619,0494828	ilimitado	0,00%
					Total:	0,00%

Fonte: Elaboração Própria

Das curvas de fadiga obtidas através do ábaco em função das cargas e dos fatores de fadiga de cada eixo, verifica-se que as repetições admissíveis são tomadas como ilimitadas para os três tipos eixos, não havendo consumo do pavimento por efeito de fadiga.

Os eixos tandem triplos são considerados para a determinação de repetições admissíveis como 3 eixos simples, cada um com um terço de sua carga total, o que resulta em 8,5 toneladas, sendo que considera-se o triplo das repetições previstas.

4.3.1.2 Dimensionamento à Erosão

Os parâmetros do método, assim como o dimensionamento à fadiga, leva em consideração a adoção de espessuras tentativas, de dimensões de 21 e 22cm, da determinação do fator de erosão, a qual se dá através de interpolações dos valores encontrados através do coeficiente de recalque e da espessura adotada no pré dimensionamento da placa de concreto, como pode ser visto nos Apêndices F e G, sendo para eixos simples, tandem duplo e tandem triplo.

Tais valores servirão como balizadores no ábaco onde se determinam as repetições admitidas em projeto, ou seja, quantas vezes cada eixo poderá trafegar

neste pavimento em toda sua vida útil, em função de seus eixos e cargas admitidas, considerando a erosão do pavimento, visto nos Apêndices H e I.

O consumo do pavimento pela erosão se dá pela perda de material da camada de suporte da camada de concreto pela passagem de cargas. As repetições admissíveis serão obtidas através do ábaco em função das cargas e dos fatores de erosão para cada eixo, como é visto nas Tabelas 20 e 21.

Tabela 20 - Dimensionamento quanto ao consumo por Erosão - 21cm

Cálculo da espessura de pavimento de concreto					
Fator de Erosão	Cargas por eixo	Cargas por eixo c/ FS	Nº repetições previstas	Análise de Erosão	
				nº repetições admissíveis	Danos por erosão (%)
Eixos Simples					
2,996	5 - 6	6	1766148,174	80.000.000	2,21%
	10 - 11	10	1556909,449	1.700.000	91,58%
Eixos Tandem Duplo					
3,201	17 - 18	17	208619,6757	1.000.000	20,86%
Eixos Tandem Triplo					
3,231	24 - 26	25,5	619,0494828	900.000	0,21%
				Total:	114,859%

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 21 - Dimensionamento quanto ao consumo por Erosão - 22cm

Cálculo da espessura de pavimento de concreto					
Fator de Erosão	Cargas por eixo	Cargas por eixo c/ FS	Nº repetições previstas	Análise de Erosão	
				nº repetições admissíveis	Danos por erosão (%)
Eixos Simples					
2,946	5 - 6	6	1766148,174	ilimitado	0,00%
	10 - 11	10	1556909,449	1.900.000	81,94%
Eixos Tandem Duplo					
3,161	17 - 18	17	208619,6757	1.600.000	13,04%
Eixos Tandem Triplo					
3,191	24 - 26	25,5	619,0494828	1.200.000	0,15%
				Total:	95,136%

Fonte: Elaboração Própria

No dimensionamento, o DNIT(2005) esclarece que caso a espessura adotada seja insuficiente, deve-se repetir o cálculo com uma espessura maior, e caso a porcentagem da fadiga consumida ou porcentagem de dano por erosão fiquem próximas de zero, considera-se que a placa está superdimensionada, devendo-se portanto diminuir a espessura do pavimento, otimizando-se o projeto.

Das curvas de erosão obtidas através do ábaco em função das cargas e dos fatores de erosão de cada eixo, verifica-se que as repetições admissíveis são estabelecidas, havendo consumo do pavimento por dano de erosão de 114,86% para o pavimento de espessura de 21cm, o que leva-se a concluir que o mesmo não atende à vida útil requerida, sendo então redimensionado para outra espessura. Já o dimensionamento do pavimento com espessura de 22 cm, apresenta o dano de erosão de 95,14%, atendendo à vida útil requerida e estando otimizado, apresentado no exemplo da Figura 15.

4.3.1.3 Dimensionamento à Fadiga - Considerando reforço na sub-base

Os parâmetros de composição do método levam em consideração a adoção de espessuras tentativas de concreto, adotando-se as mesmas espessuras dos dimensionamentos anteriores, porém considerando novo k, como pode ser visualizado na Tabela 22. O dimensionamento leva em consideração um aumento do coeficiente K devido à presença de sub-base granular, o qual é obtido através de um ábaco, como mostrado no Apêndice J, onde obtém-se o k adicional de 53, totalizando um valor de k igual a 91, fator este que direcionará o dimensionamento.

Tabela 22 - Parâmetros adotados no dimensionamento

Espessura tentativa (cm)	21	Espessura tentativa (cm)	22
Fator de segurança	1,0	Fator de segurança	1,0
Resistência característica à tração (Mpa)	4,5	Resistência característica à tração (Mpa)	4,5
k	91	k	91
t (taxa de crescimento) (‰)	3,0	t (taxa de crescimento) (‰)	3,0
P (período de tempo) (anos)	10,0	P (período de tempo) (anos)	10,0
Fator de clima	1,0	Fator de clima	1,0

Fonte: Elaboração Própria

Leva-se em conta também determinação da tensão equivalente, por meio de interpolações dos valores encontrados através do coeficiente de recalque e da espessura adotada no pré dimensionamento da placa de concreto, como pode ser visto nos Apêndices B e C, sendo para eixos simples, tandem duplo e tandem triplo.

Tais valores servirão como balizadores no ábaco onde se determinam as repetições admitidas em projeto, ou seja, quantas vezes cada eixo poderá trafegar neste pavimento em toda sua vida útil, em função de seus eixos e cargas admitidas.

Para o dimensionamento à fadiga ainda falta determinar o fator de fadiga, encontrado dividindo-se a tensão equivalente referente à cada eixo, pela Resistência característica à tração do concreto, como realizado no dimensionamento anterior. Tais valores são apresentados nas Tabelas 23 e 24, utilizadas nos Apêndices K e L, para a determinação das repetições admissíveis para cada eixo em função do seu carregamento. O consumo do pavimento pela fadiga se dá em razão das repetições previstas em relação às repetições admissíveis, expressando quanto deste pavimento é "consumido" pela fadiga.

Tabela 23 - Dimensionamento ao consumo por Fadiga - 21cm com reforço

Cálculo da espessura de pavimento de concreto						
Tensão Equivalente	Fator de Fadiga	Cargas por eixo	Cargas por eixo c/ FS	Nº repetições previstas	Análise da Fadiga	
					nº repetições admissíveis	Consumo da Fadiga (%)
Eixos Simples						
1,487	0,3304	5 - 6	6	1766148,174	ilimitado	0,00%
		10 - 11	10	1556909,449	ilimitado	0,00%
Eixos Tandem Duplo						
1,252	0,2781	17 - 18	17	208619,6757	ilimitado	0,00%
Eixos Tandem Triplo						
0,912	0,2026	24 - 26	25,5	619,0494828	ilimitado	0,00%
					Total:	0,00%

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 24 - Dimensionamento ao consumo por Fadiga - 22cm com reforço

Cálculo da espessura de pavimento de concreto						
Tensão Equivalente	Fator de Fadiga	Cargas por eixo	Cargas por eixo c/ FS	Nº repetições previstas	Análise da Fadiga	
					nº repetições admissíveis	Consumo da Fadiga (%)
Eixos Simples						
1,393	0,3094	5 - 6	6	1766148,174	ilimitado	0,00%
		10 - 11	10	1556909,449	ilimitado	0,00%
Eixos Tandem Duplo						
1,182	0,2626	17 - 18	17	208619,6757	ilimitado	0,00%
Eixos Tandem Triplo						
0,862	0,1915	24 - 26	25,5	619,0494828	ilimitado	0,00%
					Total:	0,00%

Fonte: Elaboração Própria

Das curvas de fadiga obtidas através do ábaco em função das cargas e dos fatores de fadiga de cada eixo, verifica-se que o consumo por fadiga no dimensionamento do pavimento de 21cm apresenta-se como nulo, bem como o dimensionamento dos 22cm, o que inicialmente é visto como um superdimensionamento, porém deve ser considerado paralelamente o dano por erosão.

Os eixos tandem triplos são considerados para a determinação de repetições admissíveis como 3 eixos simples, cada um com um terço de sua carga total, o que resulta em 8,5 toneladas, sendo que considera-se o triplo das repetições previstas.

4.3.1.4 Dimensionamento à Erosão - Considerando reforço na sub-base

Os parâmetros do método, assim como o dimensionamento à fadiga, leva em consideração a adoção de espessuras tentativas, de dimensões de 21 e 22cm, da determinação do fator de erosão, a qual se dá através de interpolações dos valores encontrados através do coeficiente de recalque e da espessura adotada no pré dimensionamento da placa de concreto, como pode ser visto nos Apêndices F e G, sendo para eixos simples, tandem duplo e tandem triplo.

Tais valores servirão como balizadores no ábaco onde se determinam as repetições admitidas em projeto, ou seja, quantas vezes cada eixo poderá trafegar

neste pavimento em toda sua vida útil, em função de seus eixos e cargas admitidas, considerando a erosão do pavimento, visto nos Apêndices M e N.

O consumo do pavimento pela erosão se dá pela perda de material da camada de suporte da camada de concreto pela passagem de cargas. As repetições admissíveis serão obtidas através do ábaco em função das cargas e dos fatores de erosão para cada eixo, como é visto nas Tabelas 25 e 26.

Tabela 25- Dimensionamento ao consumo por Erosão - 21cm com reforço

Cálculo da espessura de pavimento de concreto					
Fator de Erosão	Cargas por eixo	Cargas por eixo c/ FS	N° repetições previstas	Análise de Erosão	
				n° repetições admissíveis	Danos por erosão (%)
Eixos Simples					
2,945	5 - 6	6	1766148,174	100.000.000	1,77%
	10 - 11	10	1556909,449	1.900.000	81,94%
Eixos Tandem Duplo					
3,079	17 - 18	17	208619,6757	3.200.000	6,52%
Eixos Tandem Triplo					
3,095	24 - 26	25,5	619,0494828	3.000.000	0,06%
				Total:	90,290%

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 26 - Dimensionamento ao consumo por Erosão - 22cm com reforço

Cálculo da espessura de pavimento de concreto					
Fator de Erosão	Cargas por eixo	Cargas por eixo c/ FS	N° repetições previstas	Análise de Erosão	
				n° repetições admissíveis	Danos por erosão (%)
Eixos Simples					
2,885	5 - 6	6	1766148,174	ilimitado	0,00%
	10 - 11	10	1556909,449	3.500.000	44,48%
Eixos Tandem Duplo					
3,029	17 - 18	17	208619,6757	3.200.000	6,52%
Eixos Tandem Triplo					
3,055	24 - 26	25,5	619,0494828	3.000.000	0,06%
				Total:	51,064%

Fonte: Elaboração Própria

No dimensionamento, o DNIT(2005) esclarece que caso a espessura adotada seja insuficiente, deve-se repetir o cálculo como uma espessura maior, e caso a porcentagem da fadiga consumida ou porcentagem de dano por erosão fiquem próximas de zero, considera-se que a placa está superdimensionada, devendo-se portanto diminuir a espessura do pavimento, otimizando-se o projeto.

Das curvas de erosão obtidas através do ábaco em função das cargas e dos fatores de erosão de cada eixo, verifica-se que as repetições admissíveis são estabelecidas, havendo consumo do pavimento por dano de erosão de 90,29% para o pavimento de espessura de 21cm, e para o pavimento com espessura de 22 cm, o dano de erosão de 51,06%, atendendo ambos à vida útil requerida e estando otimizado.

Os eixos tandem triplos são considerados para a determinação de repetições admissíveis como 3 eixos simples, cada um com um terço de sua carga total, o que resulta em 8,5 toneladas, sendo que considera-se o triplo das repetições previstas.

Para a análise de custos dos pavimentos de cimento Portland, serão levados em consideração os três dimensionamentos que atenderam ao inicialmente estipulado, fazendo um comparativo entre eles e sobre as possibilidades de uso e de custo de cada um.

4.4 Dimensionamento de Pavimentos Intertravados

O método de dimensionamento da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) é recomendado para vias de tráfego muito leve e leve com “N” (número “N” de solicitações do eixo simples padrão) típico de até 10^5 . No dimensionamento da espessura total deste tipo de pavimento, costuma-se empregar o método do CBR, tomando apenas 50% da carga por roda. A espessura do pavimento é dada pela expressão:

$$e = \frac{150 + 150\sqrt{P/2}}{I_s + 5} \quad (9)$$

onde:

e - espessura total do pavimento, em cm

P - carga por roda, em tf

Is - CBR do subleito, em %

A espessura e resistência dos blocos de revestimento deverão seguir os valores da Tabela 27, dados estes obtidos através da observação de Carvalho, 1998, a qual através do volume de tráfego especifica a espessura do revestimento a ser adotado e a resistência à compressão que deverá atender.

Tabela 27 - Espessura e resistência dos blocos de revestimento

<i>TRÁFEGO</i>	<i>ESPESSURA REVESTIMENTO</i>	<i>RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES</i>
$N \leq 5 \times 10^5$	6,0 cm	35 MPa
$5 \times 10^5 < N < 10^7$	8,0 cm	35 a 50 MPa
$N > 10^7$	10,0 cm	50 MPa

Fonte: Carvalho (1998, p.14)

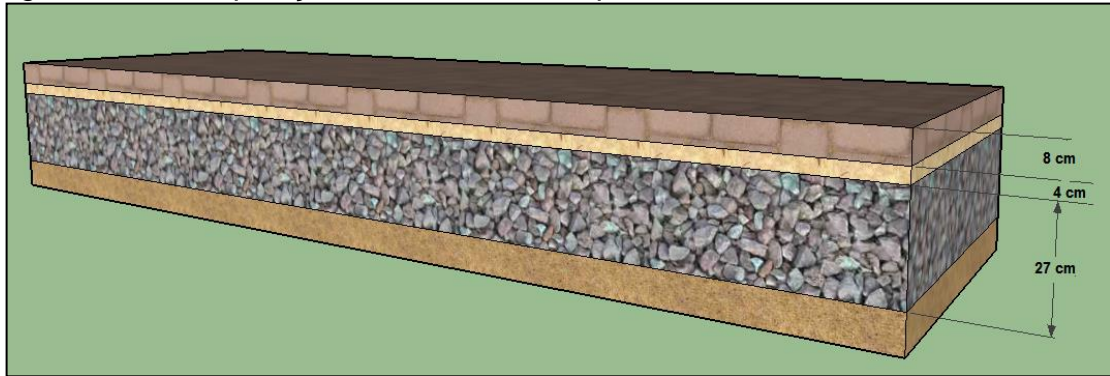
Como pode ser visto, o pavimento contará com uma espessura de revestimento de 8cm, assentado sobre uma base de assentamento de 4cm, parâmetro fixado pelo DNIT, a qual servirá para garantir que a resistência à compressão simples de até 50MPa seja distribuída sem rompimento do bloco e sem o afundamento do mesmo. A resultante da aplicação da equação 9 e as camadas então resultantes podem ser observadas na Tabela 28.

Tabela 28 - Dimensionamento de Intertravados

	Espessura Calculada		Espessura Adotada	
e total	38,72	cm	39	cm
e bloco	8,0	cm	8	cm
e base assentamento	4,0	cm	4	cm
e base	26,7	cm	27	cm

Fonte: Elaboração Própria

Figura 16 - Composição das camadas do pavimento de blocos intertravados



Fonte: Elaboração Própria

De posse da espessura total, subtraindo a espessura do bloco, e da base de assentamento, resta a espessura da camada de base, com espessura adotada de 27cm, como é visto na Tabela 28, e apresentado na Figura 16.

5 Análise de Custos

Os custos desenvolvidos neste capítulo tem como base os dimensionamentos realizados nos capítulos anteriores, para concreto asfáltico, blocos intertravados e concreto de cimento Portland realizado para três dimensionamentos de espessuras distintas, sendo então realizados através de índices e custos unitários de cada projeto. O estabelecimento dos custos levou em consideração as camadas e os materiais utilizados em cada dimensionamento para o trecho escolhido o qual apresenta-se com 7m de largura, sendo cada custo calculado para 1km de pavimentação, não contemplando custos adicionais de larguras de acostamentos, apenas da via pois a mesma foi considerada como via urbana.

Para o possível uso de tais custos por outros autores ou órgãos públicos, optou-se pela realização do custo unitário de cada um, tendo por base o sistema SICRO II e SINAPI, podendo tais dimensionamentos terem seus custos unitários corrigidos conforme o momento de execução e utilizados em qualquer data, sem quaisquer perda de validade de tais composições.

Os materiais utilizados no projeto de concreto asfáltico e que terão seus custos unitários definidos são: bloqueio, brita graduada simples, macadame seco, imprimação, pintura de ligação e a camada de revestimento de concreto asfáltico. Já para o projeto de concreto de cimento Portland, será definido o custo da camada de brita graduada simples e o revestimento de concreto de cimento Portland, e no projeto de blocos intertravados, a camada de base de brita graduada simples, a base de assentamento de areia e o revestimento de blocos intertravados.

5.1 Custos dos pavimentos de concreto asfáltico

O levantamento dos custos unitários de referência para os serviços empregados nas estruturas definidas foi realizado utilizando-se as composições do sistema SICRO II do DNIT, tendo como referência o mês de março de 2015, e do SINAPI. Para o transporte de materiais betuminosos utilizou-se as composições do sistema SICRO II para encontrar os custos unitários de referência para os serviços empregados, apresentados na Tabela 29, onde considera-se que os materiais betuminosos serão adquiridos na cidade de Porto Alegre/RS e os demais nas jazidas locais.

Para determinação do custo unitário de referência do transporte, para materiais betuminosos, foi utilizada a metodologia apresentada na instrução de serviço DNIT - IS/DG nº 02 de 18 de janeiro de 2011. A referida instrução de serviço define as equações tarifárias para o cálculo do custo base de transporte para materiais betuminosos a quente e a frio, considerando as diferentes condições de superfície encontradas durante a realização do transporte, influenciando no custo. Este custo base foi atualizado pela relação entre o índice de pavimentação da fundação Getúlio Vargas (FGV) na data base do orçamento, e o índice referência (na data base) das equações de transporte.

Tabela 29 - Distância de transporte de materiais

Distâncias médias de transporte para levantamento de custos - Concreto Asfáltico				
Descrição	Origem	Destino	Distância média de transporte (km)	Condição de superfície
Mat. bet. a quente	Refinaria	Usina	550	Pavimentado
Mat. bet. a frio	Distribuidora	Usina	550	Pavimentado
Areia/brita comercial	Jazida	Usina	10	Pavimentado
Areia/brita comercial	Jazida	Pista	10	Pavimentado
Concreto Asfáltico	Usina	Pista	10	Pavimentado
Brita graduada	Jazida	Pista	10	Pavimentado
Macadame seco	Jazida	Pista	10	Pavimentado
Bloqueio	Jazida	Pista	10	Pavimentado

Fonte: Adaptado de Klamt (2014)

Após a atualização do custo base, adicionou-se o ICMS referente ao estado do Rio Grande do Sul (17%). A Tabela 30 explica a obtenção do custo unitário por tonelada para o transporte de materiais betuminosos, onde D representa a distância média de transporte definida da usina até a pista.

Tabela 30 - Transporte de material betuminoso

Transporte Material Betuminoso							
Com base na IS/DG nº 02 de 18 de janeiro de 2011							
Custo base (R\$/t)		Índice de pavimentação FGV		Custo corrigido (R\$/t)		Custo final (R\$/ t) com acréscimo ICMS 17%	
A quente: Cb = 24,715 + 0,247 x D	A frio: Cb = 22,244 + 0,223 x D	Janeiro de 2009	Março de 2015	A quente	A frio	A quente	A frio
		224,886	289,138				
160,57	144,89	Fator de correção:	1,2857	206,44	186,29	248,72	224,45

Fonte: Adaptado de Klamt (2014)

Os custos dos materiais asfálticos foram coletados através das tabelas referentes ao mês de março de 2015, fornecidas pela Coordenadoria de Defesa da Concorrência (CDC) da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), de acordo com a portaria 349 de 06/03/2010. A Tabela 31 apresenta os valores encontrados para os diferentes materiais asfálticos empregados nos processos produtivos das estruturas analisadas para o Estado do Rio Grande do Sul, com o ICMS referente ao mesmo.

Tabela 31 - Valores dos materiais asfálticos

Valores Materiais Asfálticos - ANP - Março de 2015 - Portaria 349 de 06/03/2010					
Código Sicro	Descrição	Rio Grande do Sul		Custo final com acréscimo de ICMS 17%	
		R\$/kg	R\$/ton	R\$/kg	R\$/ton
M101	Cimento asfáltico CAP 50/70	0,1413	141,3300	0,1703	170,2771
M103	Asfalto diluído CM-30	1,9063	1906,3000	2,2967	2296,7470
M104	Emulsão asfáltica RR-1C	1,1902	1190,1500	1,4339	1433,9157
M105	Emulsão asfáltica RR-2C	0,9372	937,2000	1,1292	1129,1566

Fonte: Adaptado de Klamt (2014)

As Tabelas 32 à 37 apresentam respectivamente os custos unitários calculados para o concreto asfáltico, pintura de ligação, imprimação, brita graduada simples, macadame seco e camada de bloqueio. Os preços finais unitários foram encontrados adicionando-se ao custo base, os lucros e despesas indiretas (LDI) de 29,98% para materiais, equipamentos e mão de obra. Sobre o custo de aquisição e transporte dos materiais betuminosos foi acrescido um LDI de 15%. Todos os agregados foram considerados de origem comercial e assim como os seus respectivos custos de transporte.

Tabela 32 Custo unitário do concreto asfáltico

Concreto Asfáltico			
2 S 02 540 51 - CBUQ - capa de rolamento AC/BC			PE (t/h): 75
Etapa	Descrição	Composições Auxiliares	Custo (R\$)
A	Equipamentos	-	499,11
B	Mão de obra	-	103,29
C	Execução (A+B / PE)	-	8,03
D	Atividades auxiliares	1 A 01 390 52	68,91
E	Transp. mat. produzidos/comerciais	1 A 00 001 05 / 1 A 00 001 91	10,44
F	Materiais betuminosos:	<i>Aquisição</i>	-
		<i>Transporte</i>	-
Custo unitário (C+D+E)			87,38
Preço unitário (LDI: 26,7%)			110,71
Custo unitário materiais betuminosos (F)			23,04
Preço unitário materiais betuminosos (LDI: 15,00%)			26,50
Preço unitário final/t			137,22
Preço unitário final/m³ (D = 2,425)			332,75

Fonte: Adaptado de Klamt (2014)

Tabela 33 - Custo unitário da pintura de ligação

Pintura de Ligação			
2 S 02 400 00 - Pintura de ligação			PE (m²/h): 1687
Etapa	Descrição	Composições Auxiliares	Custo (R\$)
A	Equipamentos	-	191,38
B	Mão de obra	-	59,36
C	Execução (A+B / PE)	-	0,15
E	Materiais betuminosos:	<i>Aquisição</i>	-
		<i>Transporte</i>	-
Custo unitário (C)			0,15
Preço unitário (LDI: 29,98%)			0,19
Custo unitário materiais betuminosos (E)			0,66
Preço unitário materiais betuminosos (LDI: 15,00%)			0,76
Preço unitário final/m²			0,96

Fonte: Adaptado de Klamt (2014)

Tabela 34 - Custo unitário da imprimação

Imprimação			
2 S 02 300 00 - Imprimação			PE (m²/h): 1125
Etapa	Descrição	Composições Auxiliares	Custo (R\$)
A	Equipamentos	-	181,01
B	Mão de obra	-	59,36
C	Execução (A+B / PE)	-	0,21
E	Materiais betuminosos:	<i>Aquisição</i>	2,76
		<i>Transporte</i>	0,27
Custo unitário (C)			0,21
Preço unitário (LDI: 29,98%)			0,28
Custo unitário materiais betuminosos (E)			3,03
Preço unitário materiais betuminosos (LDI: 15,00%)			3,48
Preço unitário final/m²			3,76

Fonte: Adaptado de Klamt (2014)

Tabela 35 -Custo unitário da brita graduada

Brita Graduada			
2 S 02 230 50 - Brita graduada BC			PE (m³/h): 121
Etapa	Descrição	Composições Auxiliares	Custo (R\$)
A	Equipamentos	-	886,27
B	Mão de obra	-	52,19
C	Execução (A+B / PE)	-	7,76
D	Atividades auxiliares	1 A 01 395 51	97,89
E	Transp. mat. produzidos/comerciais	1 A 00 001 91	11,28
Custo unitário total/m ³ (C+D+E)			116,93
Preço unitário final/m³ (LDI: 29,98%)			151,98

Fonte: Adaptado de Klamt (2014)

Tabela 36 - Custo unitário do macadame seco

Macadame Seco			
2 S 02 231 50 - Base de macadame BC			PE (m³/h): 136
Etapa	Descrição	Composições Auxiliares	Custo (R\$)
A	Equipamentos	-	942,54
B	Mão de obra	-	59,36
C	Execução (A+B / PE)	-	7,37
D	Atividades auxiliares	1 A 00 717 00	88,39
E	Transp. mat. produzidos/comerciais	1 A 00 001 91	10,58
Custo unitário total/m ³ (C+D+E)			106,33
Preço unitário final/m³ (LDI: 29,98%)			138,21

Fonte: Adaptado de Klamt (2014)

Tabela 37 - Custo unitário da camada de bloqueio

Camada de Bloqueio			
2 S 04 999 07 - Bloqueio			PE (m³/h):
			3
Etapa	Descrição	Composições Auxiliares	Custo (R\$)
A	Equipamentos	-	14,93
B	Mão de obra	-	6,72
C	Execução (A+B / PE)	-	7,22
D	Atividades auxiliares	1 A 00 717 00	36,90
E	Transp. mat. produzidos/comerciais	1 A 00 001 91	10,58
Custo unitário total/m³ (C+D+E)			54,69
Preço unitário final/m³ (LDI: 29,98%)			71,09

Fonte: Adaptado de Klamt (2014)

De acordo com as tabelas anteriores onde foram demonstradas as composições dos custos unitários de cada material utilizado, pode-se então determinar o custo total do pavimento de concreto asfáltico em função das espessuras adotadas no dimensionamento realizado, totalizando o custo total de concreto asfáltico a cada km de execução, como pode ser visto na Tabela 38.

Tabela 38 - Custo total do pavimento de concreto asfáltico

Custo Total do Pavimento Concreto Asfáltico			
Material	Espessura	Volume	Custo
Concreto Asfáltico	7,5	525	R\$ 174.693,91
Pintura de Ligação	-	-	R\$ 11.663,66
Imprimação	-	-	R\$ 45.835,00
Brita graduada simples	15	1050	R\$ 159.579,22
Macadame seco	46	3220	R\$ 445.036,92
Bloqueio	-	-	R\$ 26.019,00
Custo Total (/Km)	-	-	R\$ 862.827,72

Fonte: Elaboração Própria

5.2 Custos dos pavimentos de cimento Portland

Para a realização dos custos dos projetos dos pavimentos de cimento Portland, levou-se em consideração os três dimensionamentos válidos, levando-se em conta a otimização através de implantação de reforços, apresentada como uma das alternativas aplicáveis ao projeto, comparando-se tais resultados de custos unitários entre os mesmos e os demais tipos de pavimentos.

O levantamento dos custos unitários do pavimento de concreto de cimento Portland seguiu com grande similaridade o realizado para o pavimento de concreto asfáltico, utilizando-se as composições do sistema SICRO II do DNIT, tendo como referência o mês de março de 2015, e do SINAPI. Para o transporte, utilizou-se as composições do sistema SICRO II para encontrar os custos unitários de referência para a distância dos materiais empregados, apresentados na Tabela 39, onde considera-se que o concreto de 45 MPa, será feito in loco, recebendo cimento da distribuidora e os demais materiais a partir das jazidas locais.

Tabela 39 - Distância de transporte de materiais

Distâncias médias de transporte para levantamento de custos - Concreto de cimento Portland				
Descrição	Origem	Destino	Distância média de transporte (km)	Condição de superfície
Areia	Jazida	Pista	10	Pavimentado
Brita	Jazida	Pista	10	Pavimentado
Cimento	Distribuidora	Pista	10	Pavimentado
Brita graduada	Jazida	Pista	10	Pavimentado

Fonte: Adaptado de Klamt (2014)

A partir da Tabela 39, a qual apresenta as distâncias a serem percorridas por cada material, demonstra-se os processos e composições segundo DNIT e SINAPI para obtenção do custo unitário dos materiais, apresentados então na Tabela 40. Os preços finais unitários, da mesma forma que para o dimensionamento de concreto asfáltico, foram encontrados adicionando-se ao custo base, os lucros e despesas indiretas (LDI) de 26,7% para materiais, equipamentos e mão de obra. Sobre o custo de aquisição e transporte dos materiais betuminosos foi acrescido um LDI de 15%.

Tabela 40 - Custo unitário do concreto de cimento Portland

Cimento Portland			
2 S 03 329 04 - Concreto estrutural fck=35 MPa-controle razoável c/aditivo conformação e lançamento			PE (t/h):
			5,6
Etapa	Descrição	Composições Auxiliares	Custo (R\$)
A	Equipamentos	-	114,26
B	Mão de obra	-	286,71
C	Execução (A+B / PE)	-	71,60
D	Material	-	234,90
E	Atividades auxiliares	-	25,63
F	Transp. mat. produzidos/comerciais	-	11,37
Custo unitário (C+E+F)			108,60
Preço unitário (LDI: 26,7%)			137,60
Custo unitário materiais (D)			234,90
Preço unitário materiais (LDI: 15,00%)			270,14
35MPa - Preço unitário final/m³			1019,33
45MPa - Preço unitário final/m³			1141,65

Fonte: Elaboração Própria

A determinação do custo total do pavimento de concreto asfáltico em função das espessuras adotadas no dimensionamento realizado a cada km de execução, levando em consideração cada dimensionamento e o uso ou não de camada de reforço é demonstrado na Tabela 41.

Tabela 41 - Custo total do pavimento de concreto de cimento Portland

Custo total do pavimento de cimento Portland						
Concreto			Brita Graduada Simples (BGS)			Custo total/km
Espessura	Volume	Custo	Espessura	Volume	Custo	
22 cm sem reforço	1540	R\$ 1.758.138,32	0	0	R\$ 0,00	R\$ 1.758.138,32
21 cm com reforço	1470	R\$ 1.678.222,94	20	1400	R\$ 212.772,30	R\$ 1.890.995,24
22 cm com reforço	1540	R\$ 1.758.138,32	20	1400	R\$ 212.772,30	R\$ 1.970.910,62

Fonte: Elaboração Própria

5.3 Custos dos pavimentos de blocos intertravados

O levantamento dos custos unitários do pavimento de blocos intertravados seguiu com grande similaridade o realizado para os anteriores, utilizando-se as composições do SINAPI. Para a execução, utilizou-se as composições do sistema SINAPI para encontrar os custos unitários de referência para os serviços empregados, sendo que o mesmo já prevê a execução do pavimento e do colchão de areia de assentamento em um único valor tabelado e as composições do sistema

SICRO II para o transporte e o emprego da camada de brita graduada, sendo que os blocos serão adquiridos na cidade de Santa Maria/RS, como é visto na Tabela 42.

Tabela 42 - Distância de transporte de material

Distâncias médias de transporte para levantamento de custos - Blocos Intertravados				
Descrição	Origem	Destino	Distância média de transporte (km)	Condição de superfície
Blocos intertravados	Distribuidora	Pista	240	Pavimentado
Areia	Jazida	Pista	10	Pavimentado
Brita graduada	Jazida	Pista	10	Pavimentado

Fonte: Adaptado de Klamt (2014)

O custo total do pavimento de blocos intertravados a cada km é dado então pelo valor encontrado na Tabela 43.

Tabela 43 - Custo total do pavimento de blocos intertravados

Custo total do pavimento de blocos intertravados					
Concreto		BGS			Custo total/km
Área	Custo	Espessura	Volume	Custo	
7000	R\$ 563.570,00	27	1890	R\$ 287.242,60	R\$ 850.812,60

Fonte: Adaptado de Klamt (2014)

5.4 Comparativo de custos entre os diferentes pavimentos

Inicialmente e intuitivamente observando a Tabela 44, pode-se afirmar que o menor custo apresentado para a pavimentação do trecho escolhido, é o pavimento de blocos intertravados, seguido pelo pavimento de concreto asfáltico e com o custo mais elevado do comparativo entre os três materiais, o concreto de cimento Portland.

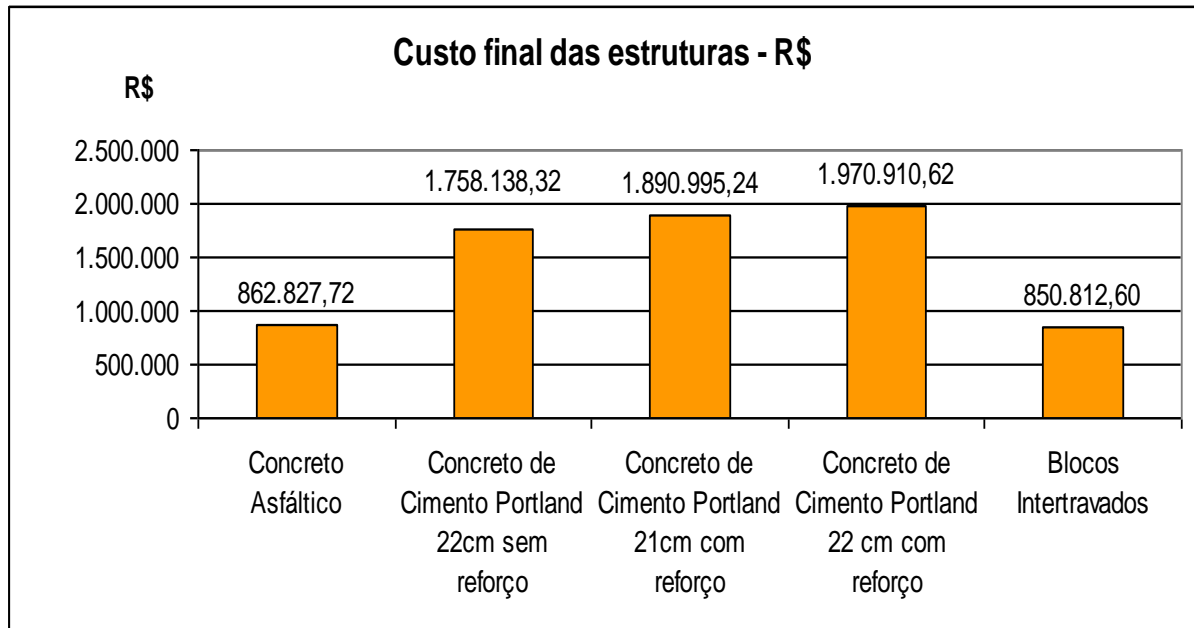
Tabela 44 - Análise comparativa de custos final

Custo final estruturas	
Concreto Asfáltico	R\$ 862.827,72
Concreto de Cimento Portland 22cm sem reforço	R\$ 1.758.138,32
Concreto de Cimento Portland 21cm com reforço	R\$ 1.890.995,24
Concreto de Cimento Portland 22 cm com reforço	R\$ 1.970.910,62
Blocos Intertravados	R\$ 850.812,60

Fonte: Elaboração Própria

O Gráfico 1 apresenta os valores encontrados na Tabela 44, permitindo realizar a comparação de dados de forma visual, onde se pode observar a grande discrepância de valores no dimensionamento de concreto de cimento Portland.

Gráfico 1 - Custo final das estruturas - R\$

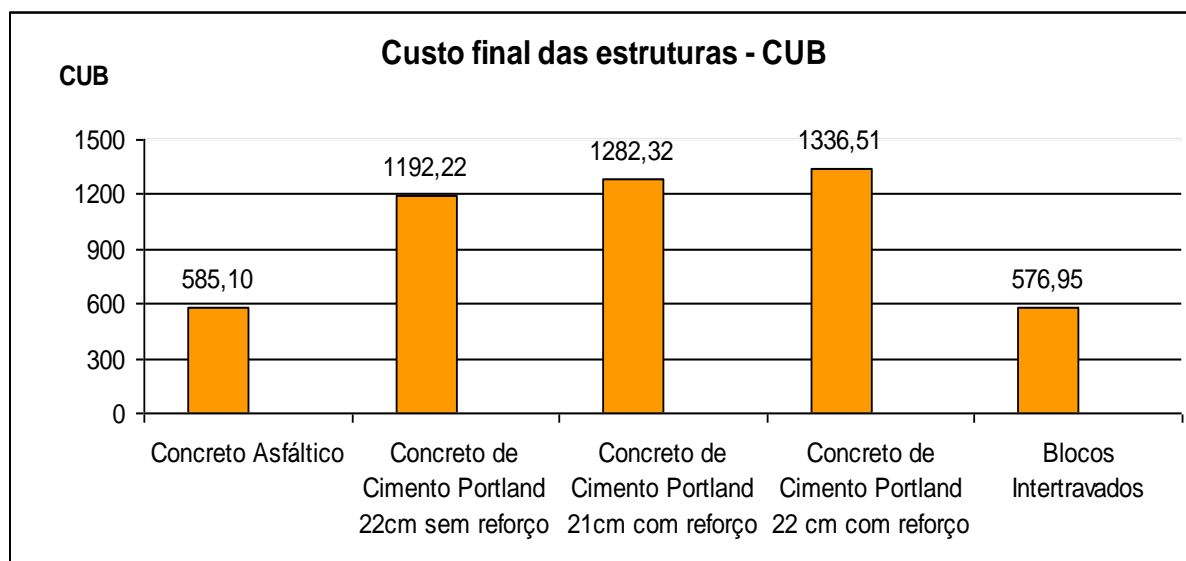


Fonte: Elaboração Própria

A presente pesquisa adotou como indicador o custo unitário básico da construção civil (CUB), o qual é calculado mensalmente pelos sindicatos da indústria da construção civil de todo o país, determinando o custo global da obra para fins de cumprimento do estabelecido na lei de incorporação de edificações habitacionais em condomínio, servindo como mecanismo de reajuste de preços.

Para que os dados referentes aos custos dos pavimentos possam ser utilizados em outros trabalhos, apresenta-se no Gráfico 2, os custos finais das estruturas em CUB, baseado na unidade atualizada no mês de julho de 2015 (R1N - referente à residência unifamiliar normal, de valor R\$ 1.474,67), permitindo que os interessados façam o reajuste de valores através da unidade atual de CUB para qualquer período, sem que a pesquisa e seus dados se tornem obsoletos.

Gráfico 2 - Custo final das estruturas - CUB



Fonte: Elaboração Própria

Apesar da pesquisa apresentar o menor custo, deve-se levar em consideração questões técnicas além das financeiras, para a escolha do revestimento a se utilizar, como as seguintes:

- tempo de execução e liberação da pista: Por ser uma via de grande tráfego e importância dentro do município, antes de optar por uma ou outra solução técnica deve-se observar que o pavimento de concreto de cimento Portland demanda de uso de aditivos, ou um período de cura maior do que o pavimento de concreto asfáltico exige para o resfriamento de seu revestimento, caso seja utilizada mistura a quente, quanto que os blocos intertravados dependem do tempo dos mesmos serem assentados;
- mão de obra qualificada no local de execução: na cidade onde encontra-se o trecho delimitado, não há execução de pavimento de concreto, o que pode acarretar em falta de mão de obra quanto à execução do mesmo, porém já apresenta algumas vias com pavimentação de blocos intertravados, e a pavimentação dominante de concreto asfáltico, onde as técnicas de execução já se tornaram mais comuns.
- aquisição dos materiais: levando em consideração as cidades de onde os mesmos são provindos e o tempo que os mesmos demorariam a ser entregues.

- manutenção: a manutenção de placas de cimento Portland de 22cm ou 21 cm com reforço, apresenta sua manutenção com certa restrição, já que o pavimento deve ser recortado e depois o tempo de cura deve ser obedecido para então a pista ser liberada, assim como o resfriamento do concreto asfáltico, caso seja utilizado o concreto betuminoso usinado a quente, porém na manutenção dos blocos intertravados, os mesmos são reutilizados e após assentados não há prazo para liberação da pista, tornando-se uma alternativa prática para trechos onde não é indicado a interrupção do fluxo por períodos muito longos.

Conclui-se que financeiramente o pavimento de blocos intertravados atende aos requisitos de projeto e se apresenta mais atrativo à execução quando comparado ao custo de execução de pavimentos de concreto asfáltico e de concreto de cimento Portland.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na presente pesquisa pode-se comparar projetos que utilizavam em suas composições revestimentos de concreto asfáltico, blocos intertravados e concreto de cimento Portland, realizando o custo por km de um trecho rodoviário na cidade de Alegrete/RS. Para tanto, foi delimitado o trecho na Avenida Ibicuí, no município de Alegrete e por meio de observação visual executou-se a classificação e contagem dos veículos passantes por tal trecho.

A partir dos dados de veículos passantes e das classificações dos mesmos foi elaborado os projetos de pavimento de concreto asfáltico, blocos intertravados e concreto de cimento Portland, definindo as espessuras e materiais de suas camadas, atendendo então ao tráfego que por ali transitaria em um período de vida útil de dez anos, considerando um crescimento anual de 3%.

De posse dos projetos e suas características, foi simulado o custo final que cada projeto geraria ao ser executado a partir das espessuras das camadas do pavimento, o que gerou um comparativo e análise de custos apontando a pavimentação de blocos intertravados como o menor custo.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Em função das observações realizadas durante a pesquisa sugere-se:

- realizar um estudo referente aos fatores complementares de projeto que envolvam características de custo benefício para a escolha de qual pavimento utilizar como a iluminância necessária a partir do uso de cada pavimento, a velocidade de operação da pista e a geração de ruídos, considerando tais parâmetros na escolha da melhor técnica;
- reaplicar a pesquisa para outros trechos na cidade considerando a importância das vias, tráfego, peso e velocidade, para que se possa utilizar o custo unitário determinado na presente pesquisa e comparar o projeto de menor custo;
- dos dados de veículos passantes, verificar o nível operação da rodovia, para analisar quando ocorrerá a saturação da via e a necessidade de duplicação da ponte Borges de Medeiros em relação ao fluxo de veículos passantes.

REFERÊNCIAS

AASHTO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION. **Mechanistic-empirical pavement design guide**. Washington, D. C., 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Rodovias reguladas pela ANTT: relatório anual 2014**. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/relatorios/rodoviario/RelatorioAnual2014.pdf>>. Acesso em: 05 setembro. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Comparação de distribuição de carga entre pavimentos equivalentes**. 3. ed. rev. São Paulo:ABCP, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Peças de concreto para pavimentação** – Especificação. NBR 9781. Rio de Janeiro, 1987

CARVALHO, M. D. **Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto**. Associação Brasileira de Cimento Portland, 3. ed. rev. São Paulo:ABCP, 1998.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **Boletim Estatístico**. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Boletim%20Estat%20C3%ADstico/Boletim%20Estatistico%20CNT%20-%20Abril%202014.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

COORDENADORIA DE DEFESA DA CONCORRÊNCIA - CDC. **Relatório Mensal de Acompanhamento de Mercado**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: 20 maio de 2014.

CNT. **Pesquisa de rodovias 2012**: relatório gerencial. – Brasília : CNT : SEST : SENAT, 2012

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro: DNER – Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico, Divisão de Capacitação Tecnológica, 1998. 243p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. Rio de Janeiro: DNER – Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1981. 34p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT.
Manual de Estudos de Tráfego. Rio de Janeiro: IPT, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT.
Manual de Pavimentos Rígidos. Rio de Janeiro: IPT, 2005.

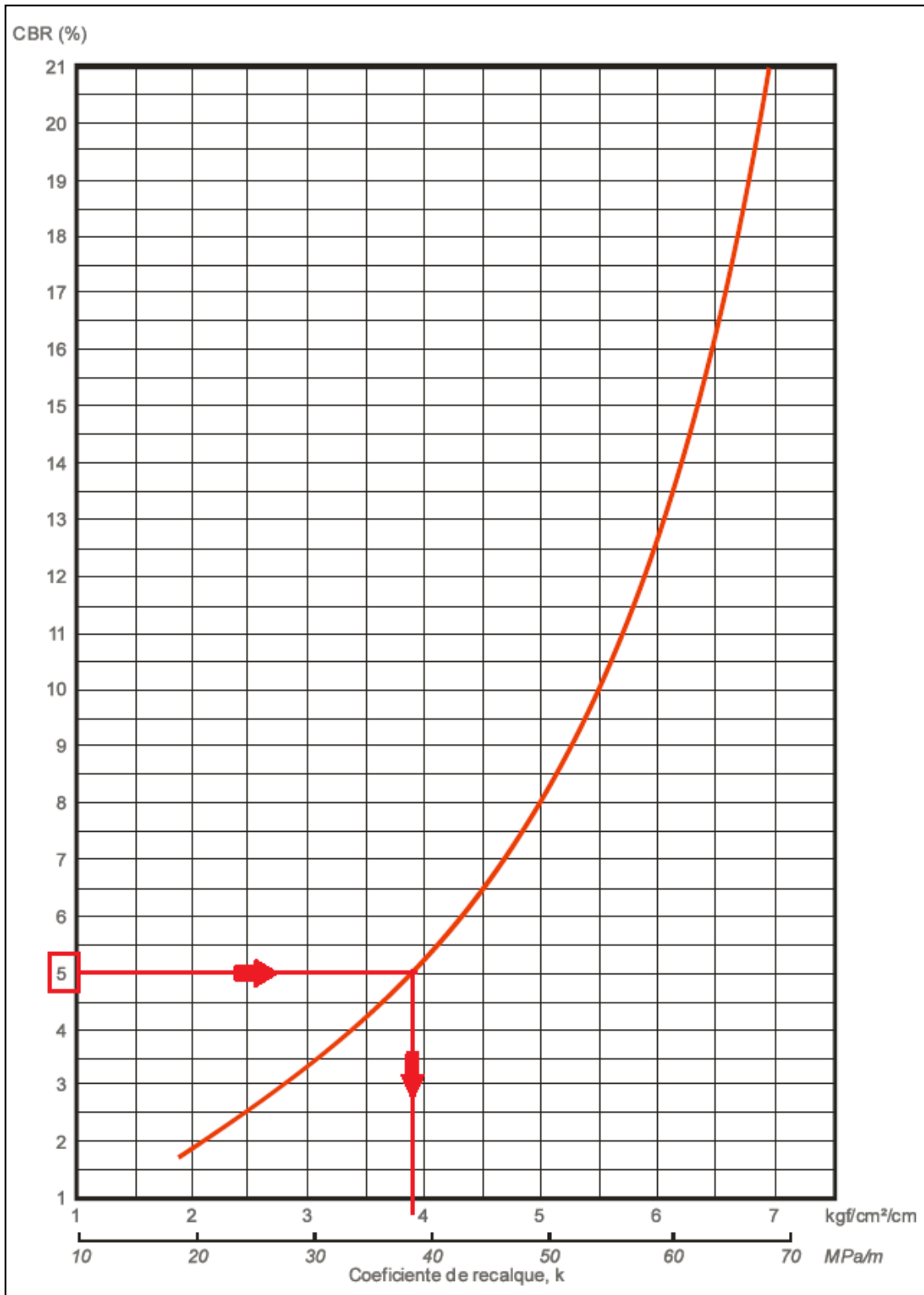
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT.
Quadro de Fabricantes de Veículos. Brasília, 2007. 109p

JOHNSTON, Marlova Grazziotin. **Estudo de obtenção do número estrutural em pavimentos flexíveis.** 2001. 187 f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

KLAMT, Rodrigo André. **Influência da ação do tráfego no custo de construção e restauração de pavimentos asfálticos.** 2014. 182 f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS). Santa Maria, RS, 2014.

MEDINA, Jacques de. **Mecânica dos Pavimentos.** 1 ed. Rio de Janeiro: URFJ, 1997.

APÊNDICE A - Relação entre Índice de Suporte Califórnia (CBR) e coeficiente de recalque (k) do subleito



Fonte: Adaptado de DNIT(2005, p.70)

**APÊNDICE B - Tensão Equivalente para Eixos Simples e Tandem Duplo (MPa)
PSAC (pavimento sem acostamento de concreto)**

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)																	
	20		38		40		60		80		91		100		150		180	
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD
12	4,30	3,56	3,78	3,01	3,51	2,81	3,31	2,68	3,17	2,57	2,91	2,43	2,74	2,35				
13	3,84	2,33	3,38	2,73	3,14	2,53	2,97	2,40	2,84	2,30	2,61	2,16	2,46	2,08				
14	3,46	2,96	3,05	2,49	2,83	2,29	2,68	2,16	2,56	2,08	2,37	1,94	2,23	1,85				
15	3,14	2,72	2,27	2,29	2,57	2,09	2,44	1,97	2,33	1,88	2,16	1,75	2,04	1,67				
16	2,87	2,52	2,53	2,12	2,35	1,93	2,23	1,81	2,13	1,73	1,97	1,60	1,87	1,52				
17	2,63	2,35	2,33	1,97	2,16	1,79	2,05	1,67	1,96	1,60	1,81	1,47	1,72	1,39				
18	2,43	2,20	2,15	1,84	1,99	1,66	1,89	1,55	1,81	1,48	1,68	1,36	1,59	1,28				
19	2,25	2,07	1,99	1,72	1,85	1,56	1,75	1,45	1,68	1,38	1,56	1,26	1,48	1,19				
20	2,10	1,95	1,85	1,62	1,72	1,46	1,64	1,36	1,56	1,29	1,45	1,18	1,38	1,11				
21	1,96	1,85	1,73	1,53	1,61	1,38	1,52	1,29	1,46	1,22	1,36	1,11	1,28	1,04				
22	1,83	1,75	1,62	1,45	1,50	1,31	1,42	1,22	1,37	1,15	1,28	1,05	1,20	0,98				
23	1,72	1,67	1,52	1,38	1,41	1,24	1,33	1,15	1,28	1,09	1,20	0,99	1,13	0,92				
24	1,62	Sem reforço			1,31	1,33	1,18	1,25	1,10	1,21	1,04	1,13	0,94	1,07	0,88			
25	1,53	Sem reforço			1,25	1,26	1,12	1,11	Com reforço			0,99	1,07	0,89	1,01	0,83		
26	1,45	1,45	1,28	1,20	1,19	1,07	1,13	1,00	1,08	0,94	1,01	0,85	0,95	0,80				
27	1,83	1,39	1,21	1,15	1,13	1,03	1,07	0,95	1,01	0,87	0,94	0,78	0,88	0,76				
28	1,31	1,34	1,15	1,10	1,07	0,99	1,02	0,91	0,98	0,85	0,91	0,75	0,84	0,73				
29	1,25	1,29	1,10	1,06	1,02	0,95	0,97	0,88	0,95	0,82	0,88	0,72	0,81	0,69				
30	1,19	1,24	1,05	1,02	0,97	0,91	0,92	0,85	0,91	0,78	0,85	0,69	0,77	0,66				
31	1,13	1,20	1,00	0,99	0,93	0,88	0,88	0,81	0,88	0,75	0,81	0,66	0,74	0,64				
32	1,09	1,16	0,96	0,95	0,89	0,85	0,84	0,78	0,80	0,74	0,75	0,67	0,71	0,62				
33	1,04	1,12	0,92	0,92	0,85	0,82	0,80	0,76	0,77	0,71	0,72	0,64	0,68	0,60				
34	1,00	1,08	0,88	0,89	0,81	0,79	0,77	0,73	0,73	0,69	0,69	0,62	0,66	0,58				

Legenda:	
	Eixo Simples
	Eixo Tandem Duplo

Fonte: Adaptado de DNIT(2005, p.101)

**APÊNDICE C - Tensão Equivalente para Eixos Tandem Triplos (MPa) PSAC
(pavimento sem acostamento de concreto)**

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)						180
	20	38	40	60	80	91	
	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT
12	2,60	2,30	2,20	2,14	2,08	2,07	
13	2,35	2,04	1,93	1,87	1,80	1,78	
14	2,15	1,83	1,72	1,65	1,58	1,55	
15	1,99	1,67	1,55	1,48	1,40	1,37	
16	1,85	1,54	1,41	1,34	1,25	1,23	
17	1,73	1,43	1,30	1,23	1,14	1,11	
18	1,62	1,34	1,21	1,14	1,04	1,01	
19	1,53	1,26	1,13	1,06	0,96	0,92	
20	1,45	1,19	1,07	0,99	0,89	0,85	
21	1,37	1,13	1,01	0,93	0,83	0,79	
22	1,30	1,07	0,95	0,88	0,78	0,74	
23	1,24	1,02	0,91	0,84	0,73	0,70	
24	1,17	0,97	0,87	0,80	0,69	0,66	
25	1,13	0,93	0,83	0,76	0,65	0,62	
26	1,07	0,89	0,79	0,73	0,63	0,59	
27	1,02	0,86	0,76	0,70	0,60	0,57	
28	0,98	0,82	0,73	0,67	0,57	0,54	
29	0,93	0,79	0,71	0,65	0,55	0,52	
30	0,89	0,76	0,68	0,63	0,53	0,50	
31	0,85	0,73	0,66	0,60	0,50	0,47	
32	0,81	0,70	0,63	0,58	0,50	0,46	
33	0,77	0,68	0,61	0,56	0,48	0,45	
34	0,73	0,65	0,59	0,55	0,46	0,43	

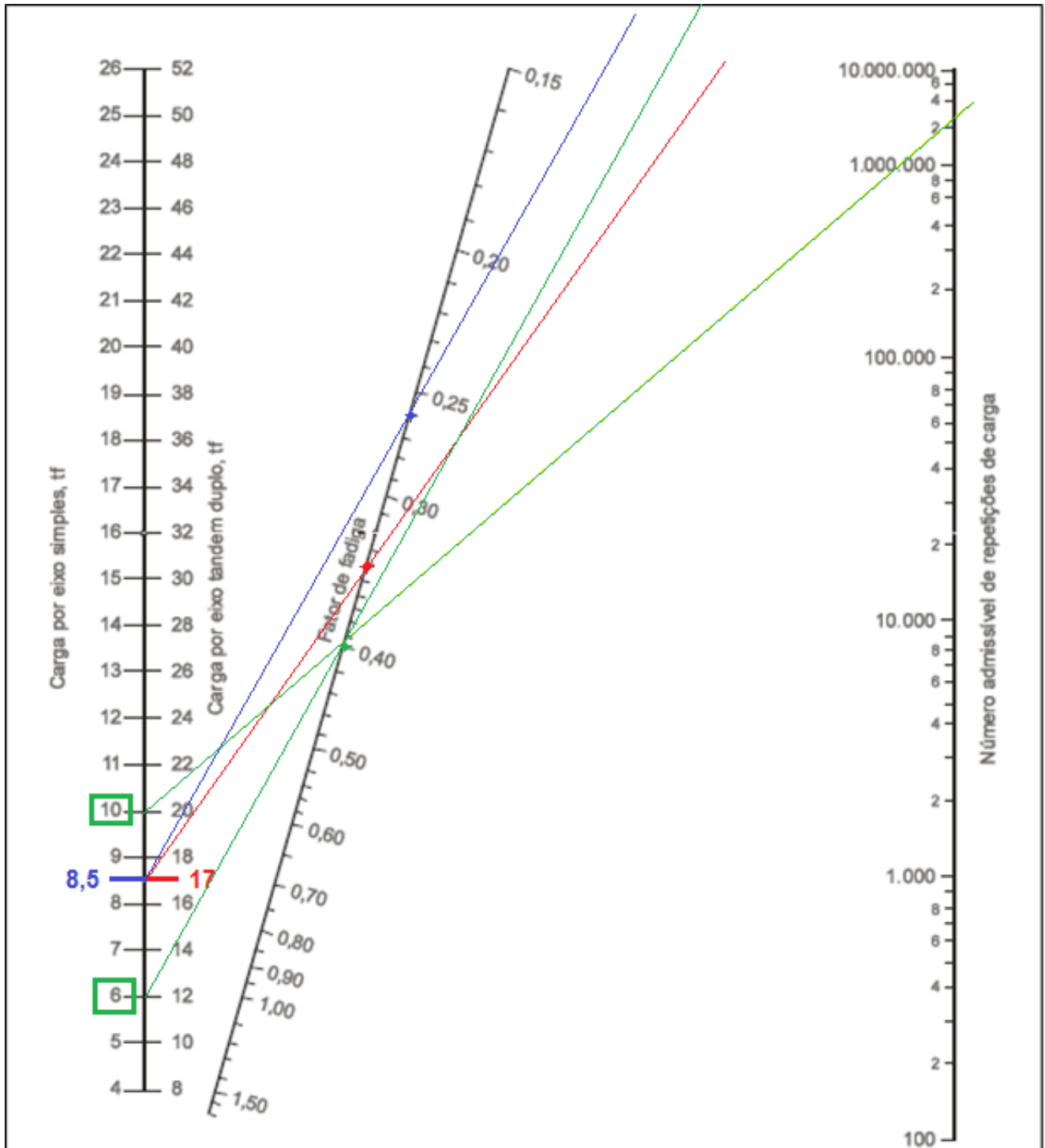
Fonte: Adaptado de DNIT(2005, p.102)

Legenda:



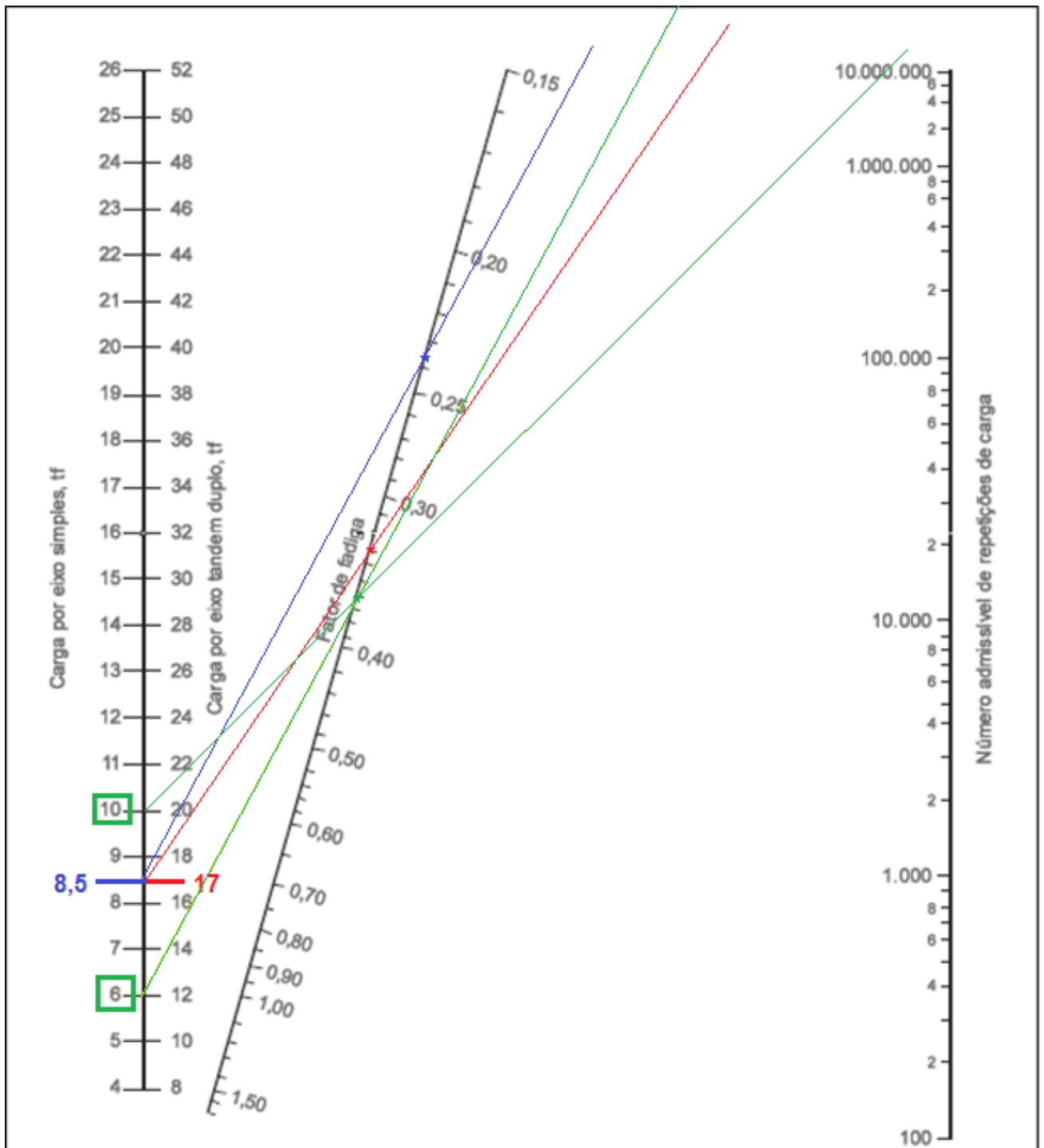
Eixo Tandem Triplo

APÊNDICE D- Repetições Admissíveis à Fadiga 21cm





Fonte: Adaptado de DNIT (2005, p.113)

APÊNDICE E - Repetições Admissíveis à Fadiga 22cm



Fonte: Adaptado de DNIT (2005, p.113)

APÊNDICE F - Fator de erosão para eixo simples e tandem duplo


Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)																	
	20		38		40		60		80		91		100		150		200	
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD
12	2,72	3,82	3,69	3,74	3,67	3,69	3,65	3,67	3,64	3,65	3,63	3,61	3,59	3,58				
13	3,62	3,75	3,59	3,66	3,57	3,61	3,55	3,59	3,54	3,57	3,52	3,52	3,49	3,49				
14	3,53	3,68	3,50	3,59	3,48	3,53	3,46	3,51	3,45	3,49	3,43	3,44	3,40	3,41				
15	3,45	3,61	3,41	3,52	3,39	3,46	3,37	3,44	3,36	3,42	3,34	3,37	3,31	3,34				
16	3,37	3,55	3,33	3,46	3,31	3,40	3,29	3,37	3,28	3,35	3,26	3,30	3,23	3,26				
17	3,30	3,50	3,26	3,40	3,23	3,34	3,21	3,31	3,20	3,29	3,18	3,23	3,16	3,20				
18	3,23	3,44	3,18	3,34	3,16	3,28	3,14	3,25	3,13	3,23	3,11	3,17	3,09	3,13				
19	3,17	3,39	3,12	3,29	3,09	3,23	3,07	3,19	3,06	3,17	3,04	3,11	3,02	3,07				
20	3,11	3,35	3,05	3,24	3,03	3,17	3,01	3,14	3,00	3,12	2,98	3,05	2,96	3,02				
21	3,05	3,30	2,99	3,19	2,97	3,13	2,95	3,09	2,94	3,07	2,92	3,00	2,90	2,96				
22	3,00	3,26	2,94	3,15	2,91	3,08	2,89	3,04	2,88	3,02	2,86	2,85	2,84	2,91				
23	2,94	3,22	2,88	3,11	2,85	3,03	2,83	2,99	2,82	2,97	2,80	2,90	2,78	2,86				
24	2,90	Sem reforço				2,80	2,99	2,7	Com reforço				3	2,75	2,86	2,73	2,82	
25	2,86	Sem reforço				2,76	2,96	2,7	Com reforço				9	2,70	2,82	2,68	2,78	
26	2,81	3,11	2,75	2,99	2,71	2,92	2,69	2,88	2,68	2,86	2,65	2,71	2,63	2,74				
27	2,77	3,08	2,70	2,96	2,67	2,89	2,64	2,84	2,63	Legenda:  Eixo Simples  Eixo Tandem Duplo								
28	2,73	3,05	2,66	2,93	2,62	2,85	2,60	2,81	2,59									
29	2,70	3,02	2,62	2,90	2,58	2,82	2,56	2,78	2,55									
30	2,66	2,99	2,59	2,86	2,54	2,79	2,51	2,75	2,50									
31	2,63	2,96	2,55	2,83	2,50	2,76	2,48	2,72	2,47									
32	2,59	2,93	2,51	2,81	2,47	2,73	2,44	2,69	2,43	2,66	2,40	2,58	2,38	2,54				
33	2,56	2,90	2,48	2,78	2,43	2,70	2,40	2,66	2,39	2,63	2,36	2,55	2,34	2,51				
34	2,53	2,88	2,45	2,75	2,40	2,67	2,37	2,63	2,36	2,60	2,32	2,52	2,30	2,48				

Fonte: Adaptado de DNIT(2005, p.105)

APÊNDICE G - Fator de erosão para tandem triplo

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)							
	20	38	40	60	80	91	140	180
	ETT		ETT	ETT	ETT		ETT	ETT
12	3,85		3,75	3,70	3,66		3,57	3,53
13	3,77		3,68	3,62	3,58		3,50	3,45
14	3,70		3,60	3,55	3,51		3,42	3,38
15	3,64		3,54	3,48	3,44		3,36	3,32
16	3,58		3,47	3,42	3,38		3,29	3,25
17	3,52		3,42	3,36	3,32		3,23	3,19
18	3,47		3,36	3,30	3,26		3,18	3,14
19	3,42		3,31	3,25	3,21		3,13	3,09
20	3,37		3,26	3,20	3,16		3,08	3,04
21	3,33		3,22	3,16	3,11		3,03	2,99
22	3,29		3,18	3,11	3,07		2,99	2,95
23	3,25		3,13	3,07	3,03		2,94	2,91
24	Sem reforço			3,03	Com reforço			2,86
25				2,99				2,83
26	3,14		3,02	2,96	2,91		2,83	2,79
27	3,10		2,99	2,92	2,88		2,79	2,75
28	3,07		2,96	2,89	2,85		2,76	2,72
29	3,04		2,92	2,86	2,82		2,73	2,69
30	3,01		2,89	2,83	2,79		2,70	2,66
31	2,98		2,87	2,80	2,76		2,67	2,63
32	2,96		2,84	2,77	2,73		2,64	2,60
33	2,93		2,81	2,74	2,70		2,61	2,57
34	2,91		2,81	2,72	2,67		2,58	2,54

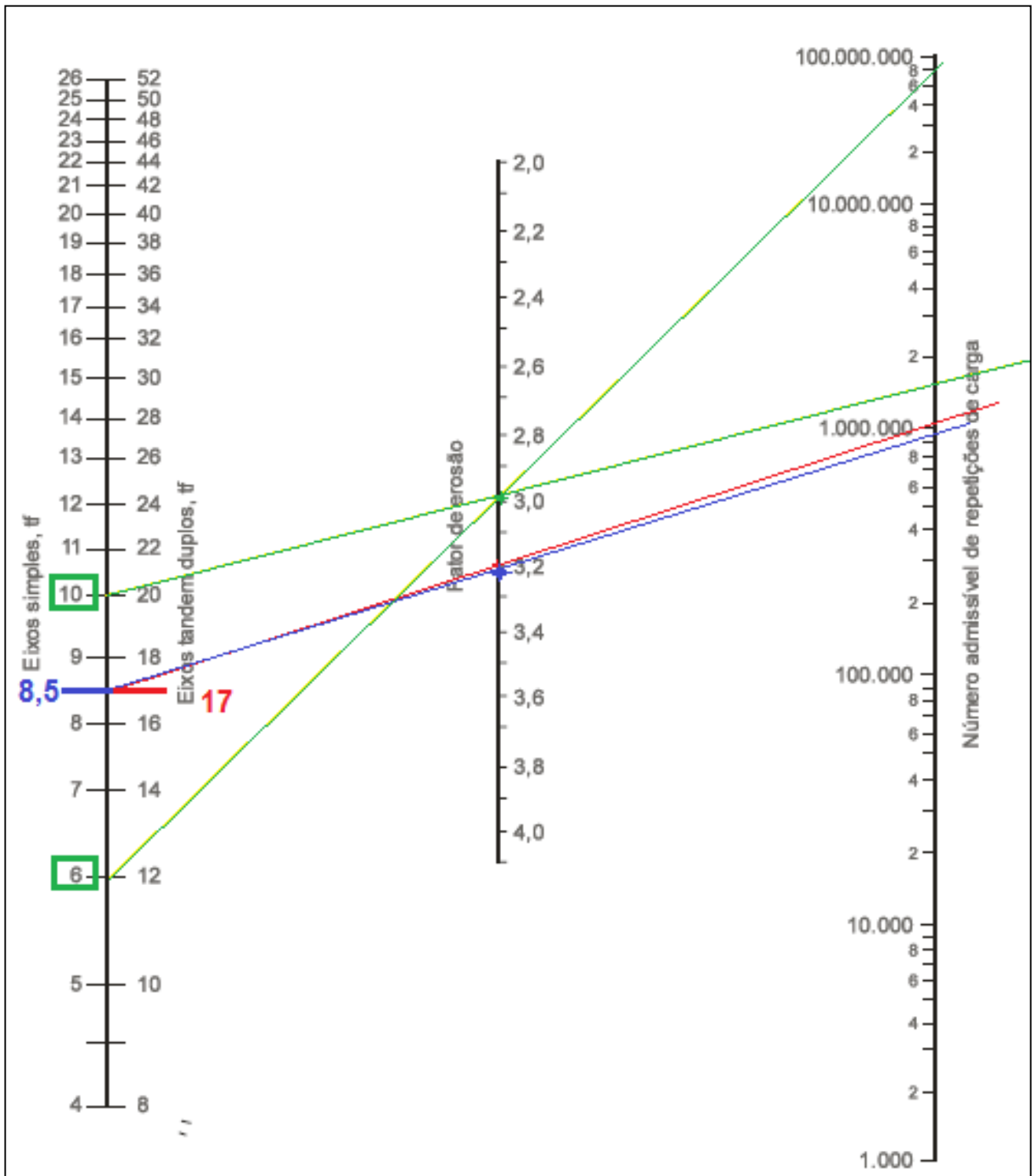
Legenda:



Eixo Tandem Triplo

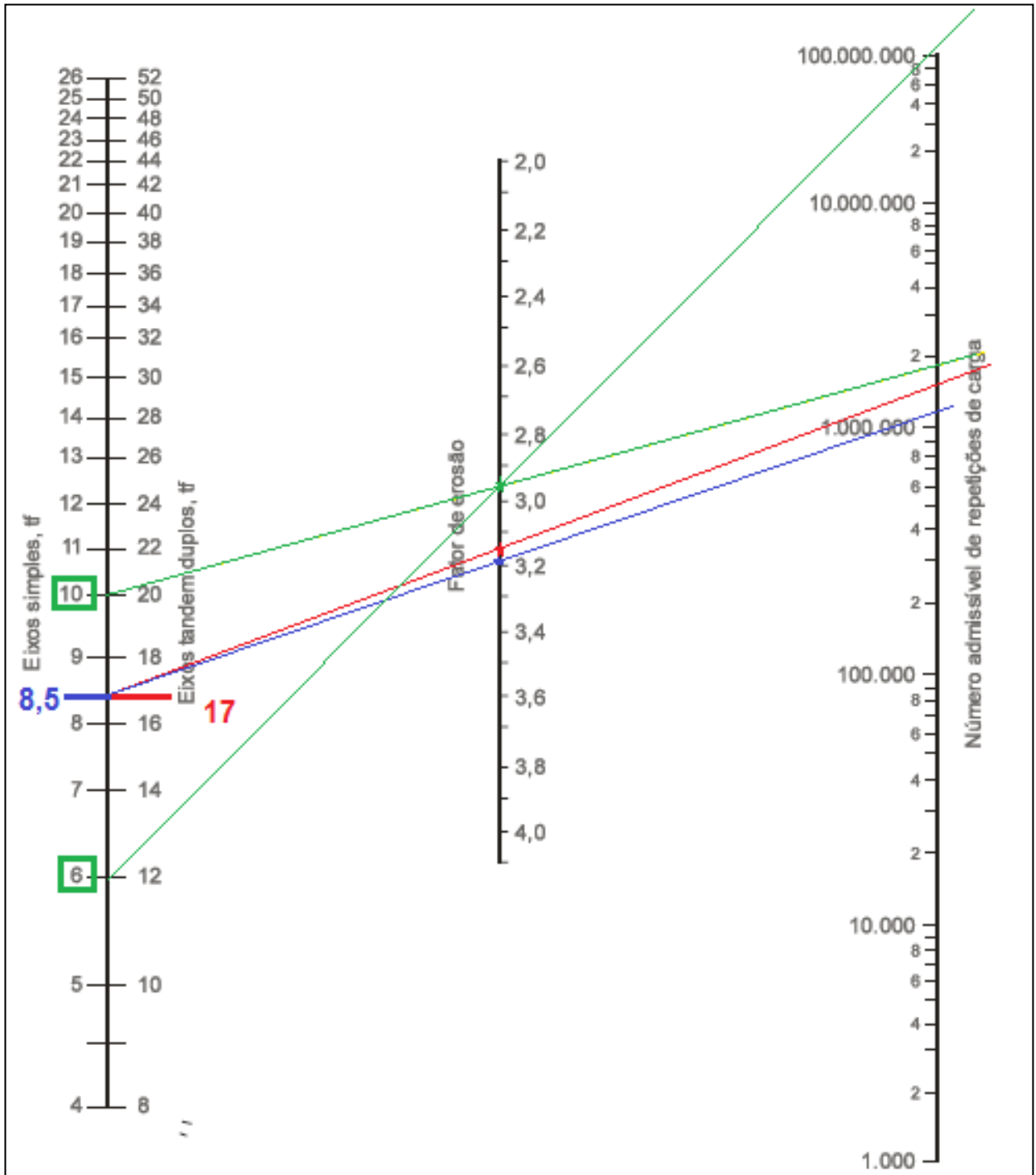
Fonte: Adaptado de DNIT(2005, p.106)

APÊNDICE H - Repetições Admissíveis à Erosão 21cm



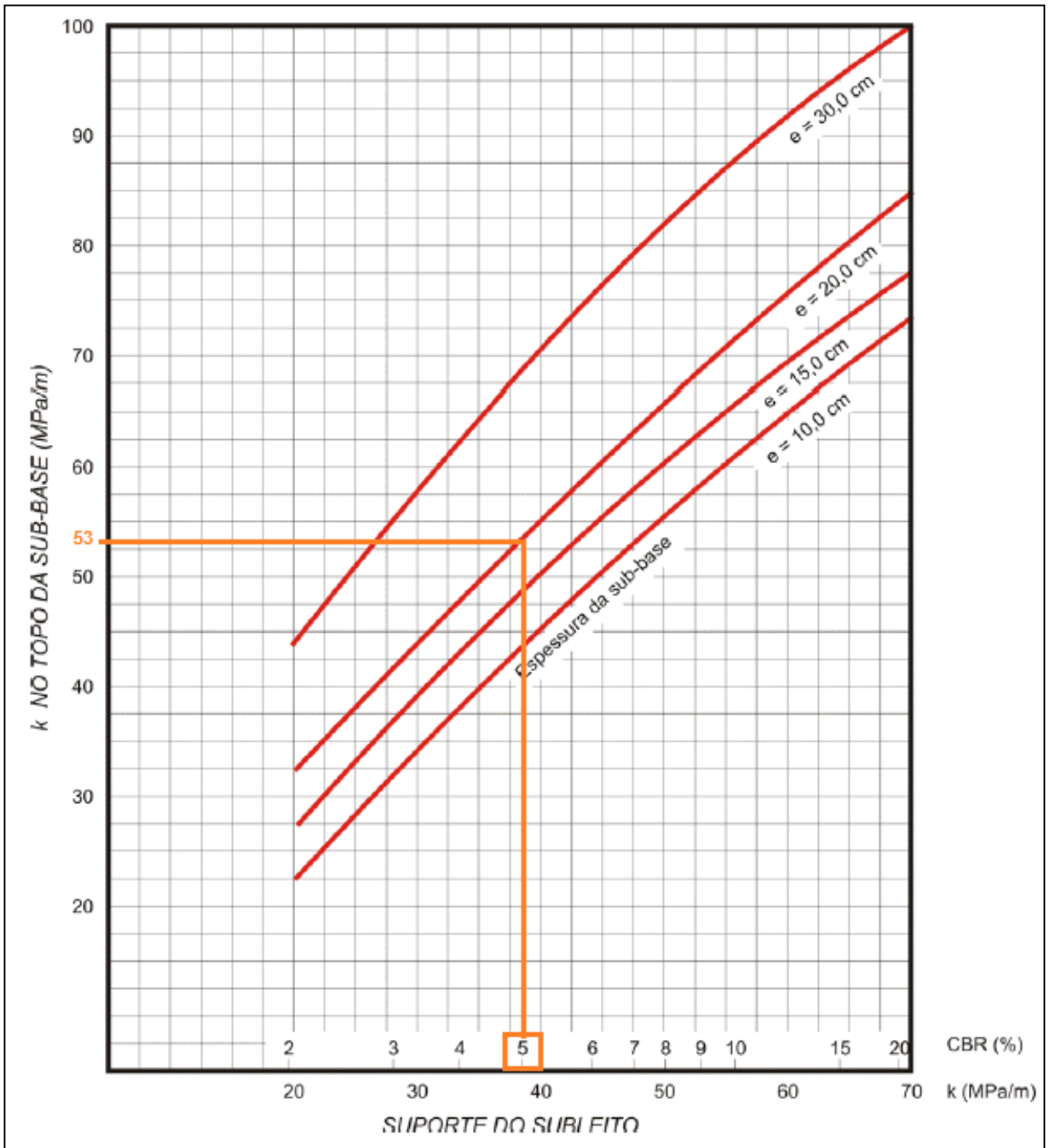
Fonte: Adaptado de DNIT (2005, p.114)

APÊNDICE I - Repetições Admissíveis à Erosão 22 cm



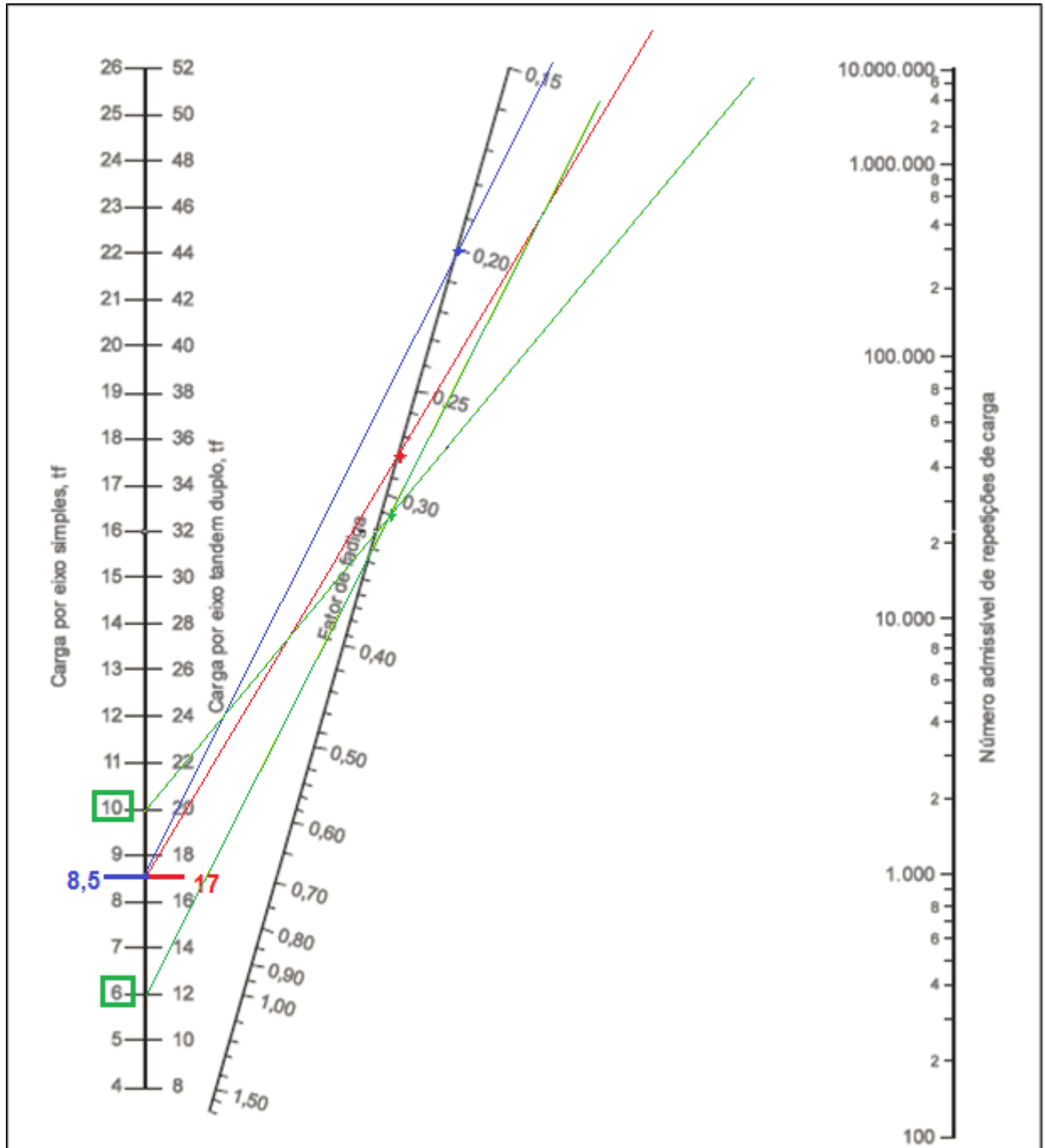
Fonte: Adaptado de DNIT (2005, p.114)

APÊNDICE J - aumento do coeficiente K devido à presença de sub-base granular



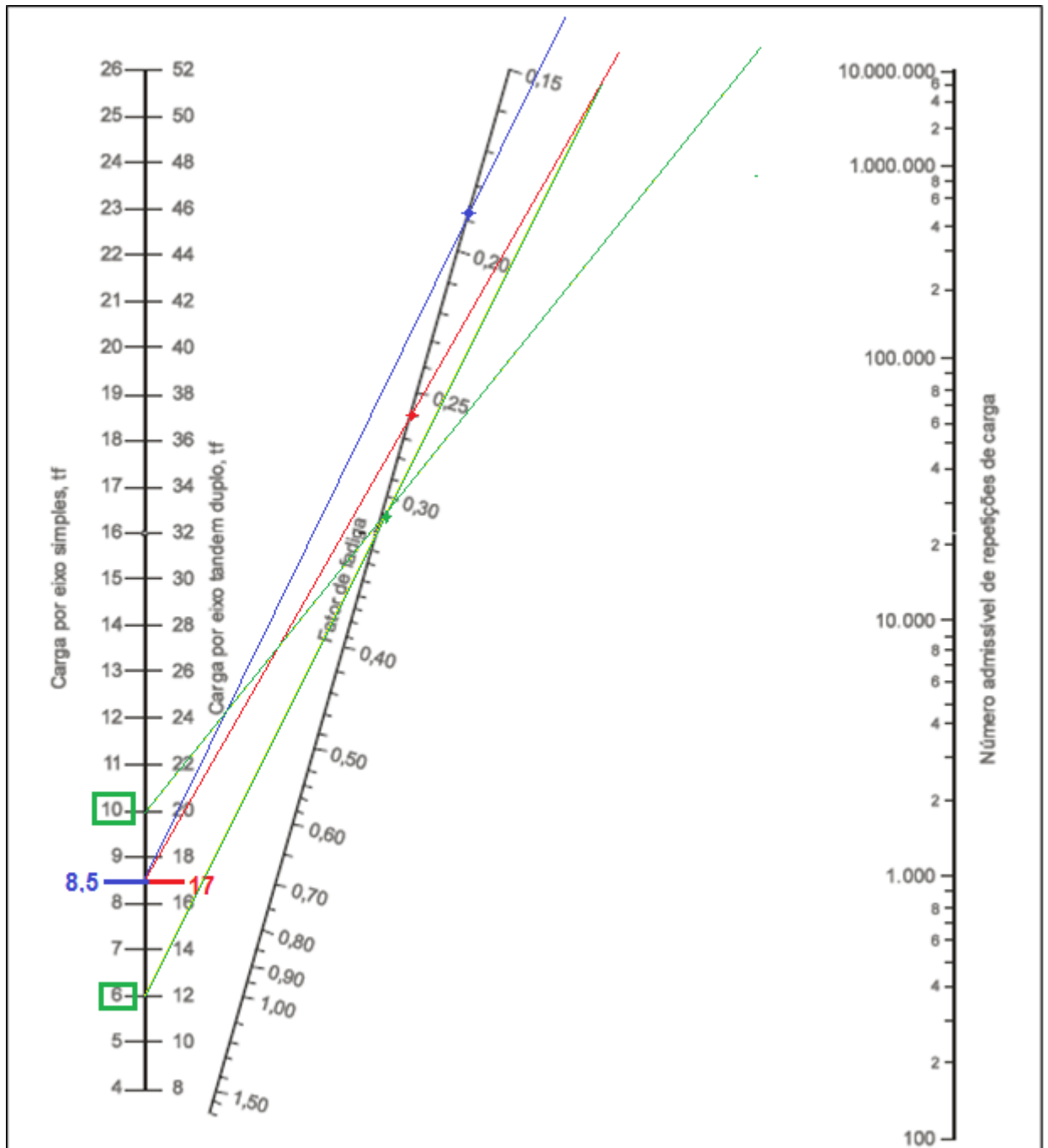
Fonte: Adaptado de DNIT (2005, p.78)

APÊNDICE K - Repetições Admissíveis à Fadiga 21cm com reforço



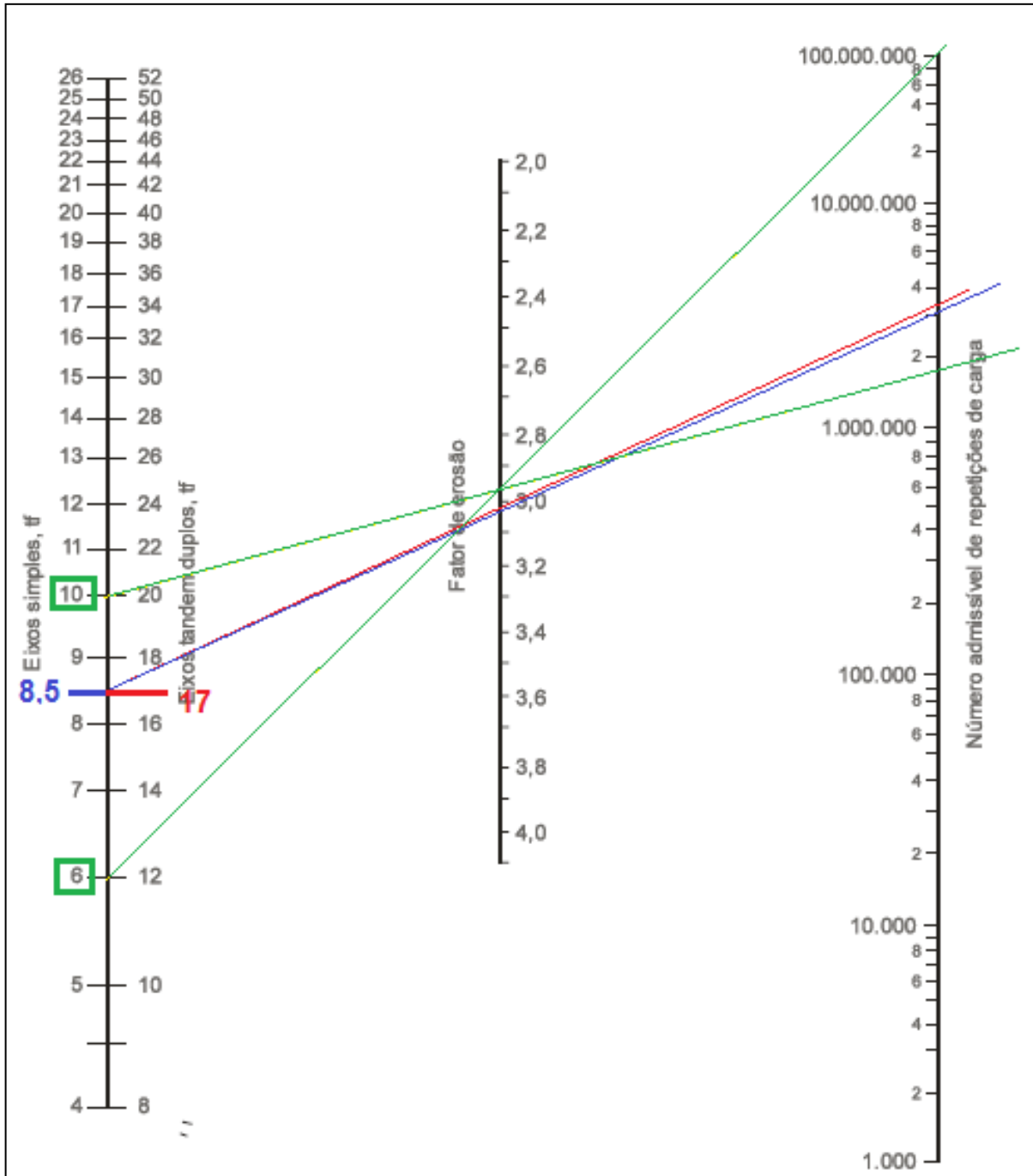
Fonte: Adaptado de DNIT (2005, p.113)

APÊNDICE L - Repetições Admissíveis à Fadiga 22cm com reforço



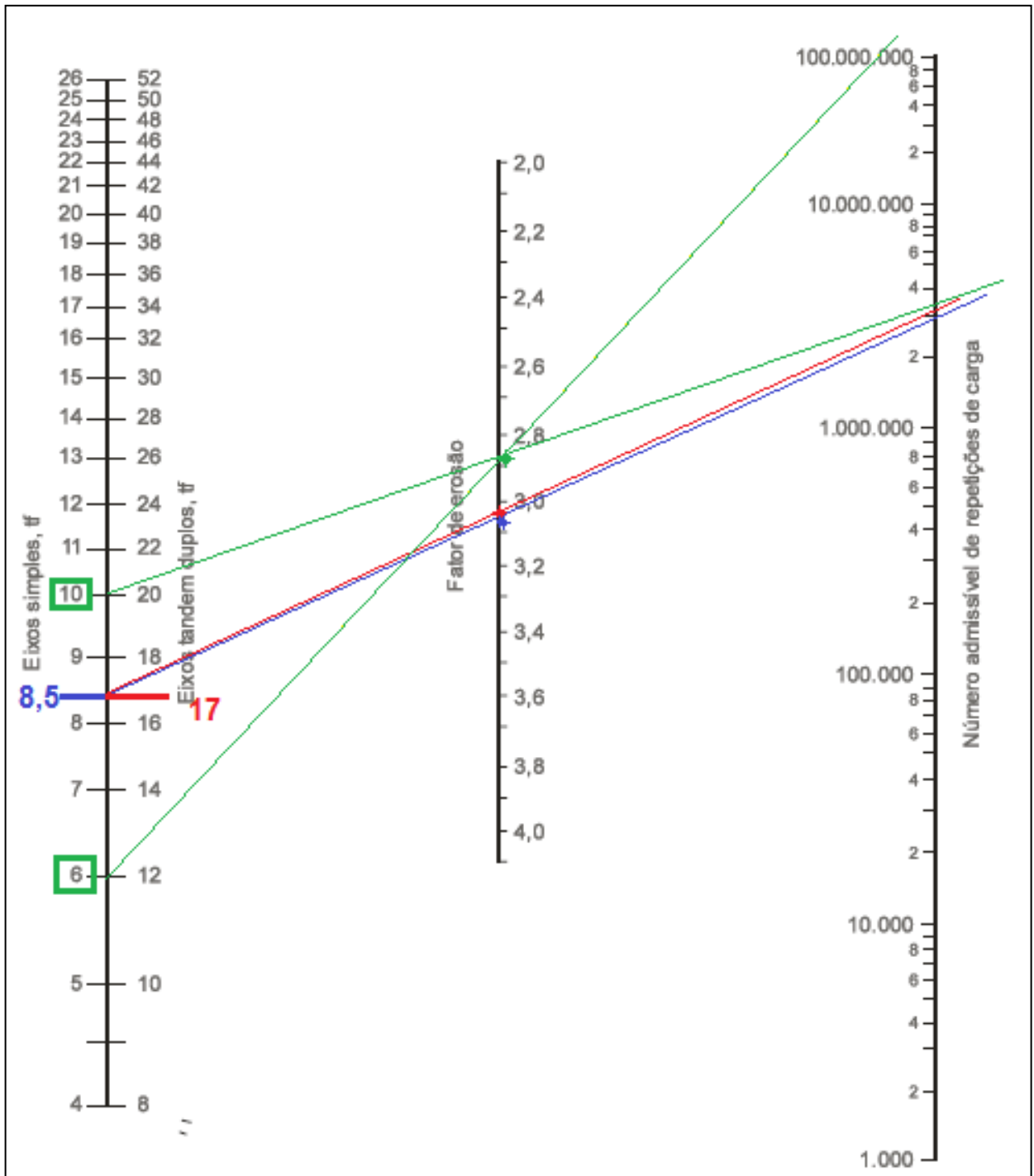
Fonte: Adaptado de DNIT (2005, p.113)

APÊNDICE M - Repetições Admissíveis à Erosão 21 com reforço



Fonte: Adaptado de DNIT (2005, p.114)

APÊNDICE N - Repetições Admissíveis à Erosão 22 com reforço



Fonte: Adaptado de DNIT (2005, p.114)