



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U. nº 198, de 14/10/2016
AELBRA EDUCAÇÃO SUPERIOR - GRADUAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO S.A.

Thiago Milhomem Almeida

ESTUDO COMPARATIVO TÉCNICO-FINANCEIRO PARA
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL NO TRECHO ENTRE OS
MUNICÍPIOS DE OLIVEIRA DE FÁTIMA E CRIXÁS DO TOCANTINS NA BR-153

Palmas – TO

2019

Thiago Milhomem Almeida

ESTUDO COMPARATIVO TÉCNICO-FINANCEIRO PARA
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL NO TRECHO ENTRE OS
MUNICÍPIOS DE OLIVEIRA DE FÁTIMA E CRIXÁS DO TOCANTINS NA BR-153

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. MSc. Fernando Moreno Suarte Júnior.

Palmas – TO

2019

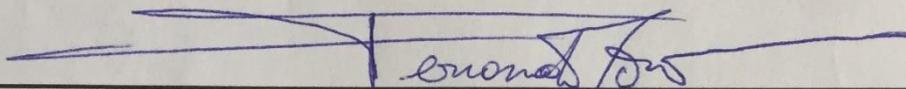
Thiago Milhomem Almeida
ESTUDO COMPARATIVO TÉCNICO-FINANCEIRO PARA
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL NO TRECHO ENTRE OS
MUNICÍPIOS DE OLIVEIRA DE FÁTIMA E CRIXÁS DO TOCANTINS NA BR-153

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. MSc. Fernando Moreno Suarte Júnior.

Aprovado em: 11 / 11 / 2019

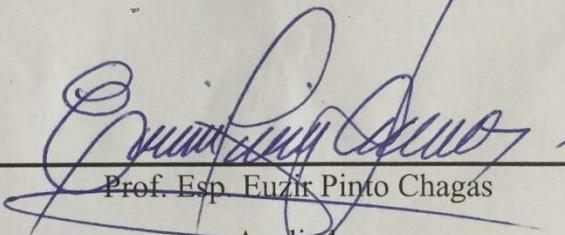
BANCA EXAMINADORA



Prof. MSc. Fernando Moreno Suarte Júnior

Orientador

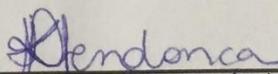
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Esp. Kenia Parente Lopes Mendonça

Avaliadora

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2019

Dedico a Deus, pelo folego da vida e aos meus familiares e amigos por todo apoio e incentivo recebido.

Dedico também, em especial, ao meu querido amigo, Michael Douglas Silva Nascimento (in memoriam), pela amizade e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Ser engenheiro civil era um sonho o qual se iniciou no Colégio COOPEFA, na cidade de Formoso do Araguaia – TO. A conclusão deste curso e a elaboração deste trabalho contou com a ajuda de várias pessoas, dentre as quais agradeço:

Primeiramente agradeço a Deus, que me abençoou e iluminou os meus caminhos, não somente nestes anos como universitário, mas ao longo de toda minha vida.

Ao meu pai, Raimundo Nonato, que sempre se esforçou para dar a melhor educação possível a mim.

A minha mãe, Maria Dalva, que nunca mediu esforços para me ajudar (em todos os sentidos) e sempre esteve comigo em todos os momentos.

Ao meu padrasto, Valter Brito, que entrou na minha vida ainda no começo do curso e já contribuiu de todas as formas para minha formação profissional e também como ser humano.

Aos meus tios, Roberto, Carlos André e Diocleude (tio Preto), pela disposição e acolhimento nos momentos mais difíceis dessa jornada, de quando nos deparamos com uma nova cidade.

A minha irmã, Sinara Morgana, minha companheira, que esteve comigo todos os dias da minha vida.

Aos meus queridos amigos, os que conheci no ensino médio: Mateus e Maycon, e os que conheci na faculdade: Ana Beatriz, Lohane, Carlos Adriano, Pedro e Pablo, que contribuíram de todas as maneiras que se possa imaginar, durante este curso.

Ao meu prezado orientador Prof^o. MSc. Fernando Moreno Suarte Júnior, pela confiança, compreensão, apoio e dedicação durante a elaboração deste trabalho.

Agradeço a todos que contribuíram com a minha formação, de forma direta ou indiretamente, que aqui não foram citados. Muito obrigado.

“Mas os que esperam no SENHOR renovam as suas forças, sobem com asas como águias, correm e não se cansam, caminham e não se fatigam.”

Isaías 40:31

RESUMO

ALMEIDA, Thiago Milhomem. **Estudo comparativo técnico-financeiro para dimensionamento de pavimento flexível no trecho entre os municípios de Oliveira de Fátima e Crixás do Tocantins na BR-153**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas - CEULP/ULBRA, Palmas - TO, 2019.

A pavimentação, seja urbana ou rural, é uma importante obra para o desenvolvimento de um país, principalmente o Brasil, que faz das rodovias o seu principal meio de transporte. Em um projeto de pavimentação, é de grande importância a seleção dos materiais a serem utilizados na obra e um dimensionamento tecnicamente exequível, que tenha capacidade de absorção das cargas solicitantes, mas que também seja tecnicamente viável, visto que obras de pavimentação tem um custo relativamente alto. Dessa forma, esse trabalho foi desenvolvido para determinar o método de dimensionamento de pavimento flexível, reconhecido pelo DNIT, que tenha as propriedades de absorver os esforços atuantes, mas que apresente um menor custo de implantação. Então, com o auxílio de dados fornecidos pelo DNIT, foi elaborado dois dimensionamentos de pavimento flexível, utilizando metodologias diferentes (método da resiliência e do CBR) para um mesmo trecho da BR-153, compreendido entre as cidades de Oliveira de Fátima e Crixás do Tocantins, com 45,43 Km de extensão, priorizando a otimização e exequibilidade no projeto e, posteriormente, feito um orçamento comparativo, determinando o método que apresenta menor custo. Para esse estudo, constatou-se que o método da resiliência respondeu melhor ao quesito custo.

Palavras-chave: Pavimentação; Dimensionamento; DNIT; Método; Resiliência; CBR; Custo; Comparação.

ABSTRACT

ALMEIDA, Thiago Milhomem. **Comparative study of technical financing for the sizing of the flexible pavement between the cities de Oliveira de Fátima and Crixás do Tocantins in the Brazilian highway 153.** Essay for course conclusion (Graduation in Civil Engineering) Lutheran University Center of Palmas, Palmas, 2019

Rural or urban pavement is very important work for a country development, mainly in Brazil, which make the highways the central means of transport. In a pavement project, is essential the selection of the matters that will be used in the work and a technically feasible sizing, that has the capacity of absorption from the requesting cargos, however that it be technically viable, once that pavement work has a high elevate cost. In this way, this work was developed to determinate the sizing method of flexible pavement, recognized for the National Department of Transport Infrastructure, which has the properties of absorbing acting forces, but it shows a lowest implantation cost. So, with the help from data supplied by National Department of Transport Infrastructure, it was elaborated two flexible pavement sizing, using different methodologies (Resilience method and CBR) for the same passage of the Brazilian highway 153, between the cities Oliveira de Fátima and Crixás do Tocantins, over 45,43 Km of extension, prioritizing the optimization and viability in the project and subsequently it was made a comparative budget, determining the method that presents the lowest cost. For this study, it was found that the resilience method responded better to the cost.

Key Words: Pavement, Sizing, DNIT, Method, Resilience, CBR, cost, comparative.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Corte representativo de solos transportados.	19
Figura 2 - Curvas de compactação para tipos de solos distintos	21
Figura 3 - Prensa para Índice de suporte Califórnia	22
Figura 4 - Perfil estrutural do pavimento flexível	26
Figura 5 - Área de contato pneu x pavimento	26
Figura 6 - Distribuição dos esforços ao longo do pavimento.	27
Figura 7 - Ábaco para determinação das espessuras do pavimento	35
Figura 8 - Esquema do pavimento em relação às camadas equivalentes	35
Figura 9 - Situação do objeto de estudo	42
Figura 10 - Fluxograma da pesquisa	43
Figura 11 - Estaqueamento do projeto.....	47
Figura 12 - Pontos de coleta para caracterização do solo.....	47
Figura 13 - Croqui de localização da jazida	50
Figura 14 - Situação da estaca 1225	50
Figura 15 - Seção do pavimento dimensionado pelo método do CBR – (m).....	57
Figura 16 - Seção do pavimento dimensionado pelo método da resiliência – (m).....	59
Figura 17 - Análise anti-plágio feito pelo software Copy-Spider	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Decomposição das rochas.	18
Tabela 2 - Penetração no corpo-de-prova x pressão padrão	23
Tabela 3 - Largura das camadas dos pavimentos (m)	30
Tabela 4 - Largura das faixas de rolamento (m).....	30
Tabela 5 - Granulometria para base granular	34
Tabela 6 - Coeficientes de equivalência estrutural - k.....	36
Tabela 7 - Coeficientes em função do tipo de solo	38
Tabela 8 - Valor estrutural da camada betuminosa	39
Tabela 9 - Localização dos pontos de coleta de amostra para caracterização do solo	48
Tabela 10 – Resumo da contagem volumétrica classificatória (CVC) – (Continua)	51
Tabela 11 - Cálculo do fator de eixo – (Continua)	52
Tabela 12 - Determinação do fator de carga por faixa da pista.....	54
Tabela 13 - Sub-trechos e médias de CBR e siltes (%) – (Continua).....	57
Tabela 13 - Sub-trechos e médias de CBR e siltes (%) – (Conclusão)	58
Tabela 14 - Relação entre as espessuras dos dois dimensionamentos.....	60
Tabela 15 - Cálculo do volume de base dimensionada pelo método do CBR.....	61
Tabela 16 - Cálculo do volume de base pelo método da resiliência.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Determinação do fator de carga.	32
Quadro 2 - Fatores de equivalência de carga do USACE.....	32
Quadro 3 - Características dos materiais a compor o pavimento	33
Quadro 4 - Espessura mínima de revestimento betuminoso	34
Quadro 5 - Tipo do solo em função do CBR e silte	37
Quadro 6 - Propriedades mecânicas do solo da jazida	49
Quadro 7 - Planilha orçamentária do dimensionamento pelo método do CBR.....	63
Quadro 8 - Planilha orçamentária do dimensionamento pelo método da resiliência	65
Quadro 9 - Planilha comparativa de custo de pavimentação granular	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Massa específica seca x teor de umidade.....	21
Gráfico 2 - Curvas de massa específica - umidade e CBR-umidade.....	23
Gráfico 3 - Distribuição granulométrica do solo da jazida.....	49
Gráfico 4 - Volume dos materiais para cada método de dimensionamento	66
Gráfico 5 - Custo da pavimentação granular dos dimensionamentos	67

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

AASHTO	Associação Americana de Rodovias do Estado e Funcionários de Transporte
BDI	Benefício e despesas indiretas
CAP	Cimento asfáltico de petróleo
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
CBUQ	Concreto betuminoso usinado a quente
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura dos Transportes
ES	Eixo simples
ESRD	Eixo simples de roda dupla
ETD	Eixo tandem duplo
ETT	Eixo tandem triplo
Fci	Fator de equivalência de carga
IP	Índice de plasticidade
ISC	Índice de Suporte California
LL	Limite de Liquidez
SICRO	Sistema de Custos Referenciais de Obras
TDM	Tráfego diário médio
USACE	Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos

LISTA DE EQUAÇÕES

(1) Peso específico seco.....	20
(2) Índice de Suporte California.....	23
(3) Raio da área de contato pneu x pavimento.....	27
(4) Tensão aplicada na altura “z”	28
(5) Número de operações por eixo padrão.....	31
(6) Volume médio diário de transporte.....	31
(7) Fator de eixo.....	32
(8) Espessura equivalente do pavimento.....	34
(9) Espessuras das camadas do pavimento.....	35
(10) Espessura total do pavimento.....	37
(11) Deflexão na camada de revestimento.....	38
(12) Espessura da camada de revestimento.....	38
(13) Espessura da camada granular.....	38
(14) Espessura da camada de reforço ou sub-base.....	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	17
1.1.1 Objetivo Geral	17
1.1.2 Objetivos Específicos	17
1.2 JUSTIFICATIVA	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 MATERIAIS	18
2.1.1 Solos.	18
2.1.2 Revestimentos Asfálticos.....	24
2.2 PAVIMENTO FLEXÍVEL	25
2.2.1 Sistemas de Cargas	26
2.2.2 Camadas Estruturais.....	28
2.3 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL E METODOLOGIAS	31
2.3.1 Número de Operação por Eixo Padrão (Número “N”).....	31
2.3.2 Método do CBR	33
2.3.3 Método da Resiliência	36
2.4 PARÂMETROS ORÇAMENTÁRIOS	40
2.4.1 Orçamento Analítico	40
2.4.2 Etapas do Orçamento.....	40
3 METODOLOGIA.....	42
3.1 TIPO DA PESQUISA	42
3.2 OBJETO DE ESTUDO	42
3.3 COLETA DE DADOS	43
3.4. DIMENSIONAMENTO.....	44
3.4.1 Número “N”	44
3.4.2 Dimensionamento Método do CBR.....	44

3.4.2 Dimensionamento Método da Resiliência.....	45
3.5 APRESENTAÇÃO DO PERFIL ESTRUTURAL	46
3.6 ELABORAÇÃO DA PLANILHA ORÇAMENTÁRIA.....	46
3.7 COMPARATIVO DE CUSTO	46
4 RESULTADOS	47
4.1 APRESENTAÇÃO DO TRECHO	47
4.1.1 Dados de jazida	48
4.1.2 Localização da jazida	50
4.1.3 Estudo de tráfego	51
4.2 DIMENSIONAMENTO MÉTODO DO CBR.....	55
4.3 DIMENSIONAMENTO MÉTODO DA RESILIÊNCIA	57
4.4 ORÇAMENTO DE PROJETO	61
4.4.1 Projeto 01 – Método do CBR.....	61
4.4.2 Projeto 02 – Método da resiliência	64
4.4.3 Análise dos resultados	66
5 CONCLUSÃO.....	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
APÊNDICES	72
ANEXOS	77

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, segundo a BBC NEWS (2018), é extremamente dependente do setor rodoviário, no qual chega a ter uma concentração de transporte de cargas e pessoas com cerca de 53%, liderando nesse quesito entre as principais economias mundiais.

Dessa forma, se faz necessário que haja um dimensionamento coerente, ou seja, que alinhe a capacidade de resistir às ações do tráfego com o custo desse empreendimento. Para isso, existem, no mundo vários métodos de dimensionamento de pavimento, sendo empíricos, mecanístico-empíricos e mecanicistas.

Essas metodologias de dimensionamento muitas vezes se diferem entre si, tanto nos parâmetros utilizados, como também nos resultados das espessuras obtidos, podendo se fazer importante com relação a custo durante um orçamento de obras rodoviárias.

Nesta pesquisa foram abordados o comparativo de custo entre dois desses métodos para dimensionamento de pavimento flexível, sendo um empírico e outro mecanístico-empírico, chamados de método do CBR e da resiliência, respectivamente, de forma a apontar o que apresenta o menor custo para um trecho escolhido.

Assim, primeiramente foi escolhido um trecho como objeto de estudo para o qual foram realizados os dimensionamentos. Para tanto, são necessárias informações (dados) de estudos geotécnicos e de tráfego, os quais foram fornecidos pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Posto isso, se sucedeu os dimensionamentos de forma técnico-econômica, para a realização da orçamentação dos perfis estruturais gerados e a comparação final de custo.

Dessa forma, esta pesquisa se baseou nas possibilidades de resultados possíveis, ou seja, um dos dois métodos de dimensionamento de pavimento flexível citados acima resultaria em um menor custo para implantação.

Foi realizada então uma revisão bibliográfica na área de solos, pavimentação e orçamento, a fim de obter um levantamento teórico que contextualizasse e desse diretrizes para a investigação. As principais obras ou autores utilizados foram: José Tadeu Balbo, Homero Pinto Caputo, Wlastermiler de Senço, manual de pavimentação do DNIT, Liedi Bariani Bernucci (et. al) e Aldo Dórea Mattos.

O objeto de estudo foi um trecho da BR-153 de 45 Km, entre os municípios de Oliveira de Fátima e Crixás do Tocantins, a uma distância média de 157 Km de Palmas, capital do estado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Comparar o custo dos dimensionamentos de pavimento flexível para trecho da BR 153, entre os municípios de Oliveira de Fátima e Crixás do Tocantins, no estado do Tocantins, utilizando os métodos do CBR e o da resiliência.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estudar as condicionantes de projeto para pavimento flexível no trecho da BR-153 entre os municípios de Oliveira de Fátima e Crixás do Tocantins;
- Dimensionar e representar os perfis estruturais para os dois métodos propostos;
- Realizar um estudo comparativo financeiro através de planilhas analíticas para os métodos propostos.

1.2 JUSTIFICATIVA

No Brasil, cerca de 60% das mercadorias e 90% dos passageiros utilizam os meios rodoviários para transporte, mostrando ser um grande componente da economia, no entanto, apenas 12,4% da malha rodoviária brasileira é pavimentada, indicando uma baixa oferta de infraestrutura no modal mais utilizado do país (CNT, 2018).

Conforme um estudo da CNT (2018) nas rodovias federais e nas principais vias estaduais, mais da metade (em torno de 60%) das vias brasileiras apresentam algum tipo de patologia, classificadas em regular, ruim ou péssima, sendo um motivo de preocupação, pois mesmo com uma densidade rodoviária considerada baixa, não se consegue manter um bom estado de conservação do pavimento.

Em um país tão dependente do setor rodoviário, o cuidado deveria ser ainda maior, pois uma condição ruim de pavimentação afeta diretamente, não só aos usuários, mas também a economia. O aumento no gasto de combustíveis, o risco de acidentes, prolongamento do tempo de viagem e desconforto são alguns dos problemas enfrentados, principalmente para aqueles que utilizam as vias como meio de trabalho (SANTOS, 2011).

Entende-se que um dos motivos para a baixa durabilidade dos pavimentos brasileiros é a metodologia muito antiga de dimensionamento de pavimento (CNT, 2018).

Diante da atual situação da malha rodoviária brasileira, e das dificuldades financeiras causadas pela recente instabilidade econômica, é notório a necessidade de estudos e dimensionamento de pavimentos com métodos que atendam às necessidades técnicas mínimas exigidas, mas que também busquem por meios mais econômicos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MATERIAIS

2.1.1 Solos

Para CAPUTO (1998), os solos são materiais provenientes da decomposição química ou desintegração mecânica da rocha-mãe pela ação dos agentes de intempérie (água, vento, pressão, temperatura, etc.), resultando em pedregulhos, areias (partículas grossas), siltes (partículas intermediárias) e em um estágio mais avançado de decomposição, as argilas (materiais finos).

Esses materiais são formados, tanto por partículas sólidas como também por líquidos e gases. A parte sólida são os grãos, com formas, dimensões e natureza mineralógica diferente, provenientes das rochas de origem. Os líquidos podem se apresentar de diversas formas no solo, oferecendo propriedades diferentes ao solo, ocupando parte dos vazios deixados pelos grãos. A fração gasosa ocupa a outra parte dos vazios, sendo constituída por ar, vapor d'água e carbono combinados (SENÇO, 2007).

O DNIT (2006a) divide o solo em dois grupos, com base na origem dos seus componentes: solos residuais, que são quando os subprodutos da rocha de origem permanecem no local, e solos transportados, que são solos residuais levados por um agente externo (chuva, vento, gravidade, etc.) para um local diferente de onde foi criado.

A estruturação mineralógica dos solos residuais depende dos materiais que compõe a rocha-mãe. Como exemplo, a decomposição de basaltos forma solos de características argilo-arenosas e de quartzitos e arenitos formam solos arenosos (DNIT, 2006a).

Tabela 1 - Decomposição das rochas.

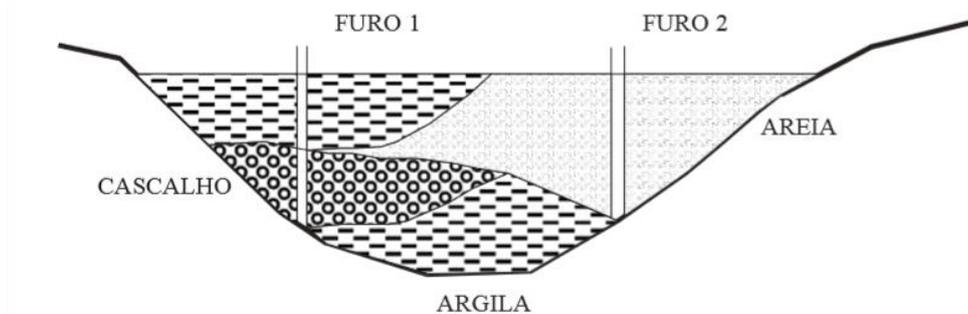
TIPO DE ROCHA	COMPOSIÇÃO MINERAL	TIPO DE SOLO	COMPOSIÇÃO
basalto	Plagioclásio píroxênios	Argiloso (pouca areia)	argila
quartzito	quartzo	Arenoso	quartzo
filitos	Micas (sericita)	Argiloso	argila
granito	Quartzo, feldspato e mica	arenoso-argiloso (micáceo)	quartzo
calcário	calcita		argila

FONTE: Adaptado de DNIT (2006a), pág. 17-18.

Os solos transportados são geralmente mais heterogêneos e inconsolidados que os solos residuais, podendo apresentar grandes variações laterais e verticais, a depender da capacidade do agente transportador. É possível classificar esses solos de acordo com o agente de transporte, decorrendo no Brasil principalmente, são eles: os aluviões (arrastados pelas águas), colúviais

(ação da gravidade) e eólicos (transportados pelo vento), muito comum nas dunas litorâneas (DNIT, 2006a).

Figura 1- Corte representativo de solos transportados.



FONTE: DNIT (2006a), pág. 19.

2.1.1.1 Propriedades físicas e mecânicas

O DNIT (2006a) elenca algumas das propriedades físicas e mecânicas mais importantes no campo rodoviário, são elas: permeabilidade, capilaridade, compressibilidade, elasticidade, contratilidade e expansibilidade e resistência ao cisalhamento.

- **Permeabilidade:** é definida como sendo a velocidade de escoamento da água através do solo, com base em um gradiente hidráulico previamente definido. Esse coeficiente é definido pela lei de Darcy (1856) e tem uma vasta importância na área rodoviária, informando parâmetros como: capacidade de drenagem, rebaixamento de nível d'água, recalques etc. (CAPUTO, 1988; DNIT, 2006a).
- **Capilaridade:** O DNIT (2006a) classifica a capilaridade no solo como a capacidade do solo de absorver água por entre seus vazios através da tensão superficial da água, podendo até mesmo ir contra a força gravitacional. Segundo CAPUTO (1988), o estudo dos fenômenos capilares tem grande relevância na construção rodoviária, como por exemplo, informar o risco da ascensão do lençol freático por capilaridade, o que pode vir a comprometer a estrutura.
- **Compressibilidade:** Pode ser definida como a deformação do solo, após submetido à ação de cargas, ocasionando a redução de seu volume. Segundo CAPUTO (1988), é uma das principais causas de recalque existentes.

- Elasticidade: Para o DNIT (2006a), a propriedade de elasticidade se caracteriza pela capacidade de o solo recuperar completa ou parcialmente a sua forma inicial, após uma certa deformação.
- Contratilidade e Expansibilidade: O DNIT (2006a) os define como a capacidade do solo de variar o seu volume na presença de umidade. Na contratilidade há a redução no volume pela diminuição de umidade, e na expansibilidade, um ganho de volume pelo aumento na umidade. Essas características são comuns em solos argilosos.
- Resistência ao cisalhamento: Segundo CAPUTO (1988), é uma das mais importantes características geotécnicas da engenharia. Está ligada a capacidade de o solo resistir aos esforços sem romper.

2.1.1.2 Compactação dos solos

Compactação do solo é o ato de reduzir os vazios, usando a energia de impacto, pressão ou vibração, visando uma ligação mais próxima entre os grãos, aumentando o peso específico. Essa operação é de grande importância, pois melhora diversos aspectos do solo, como a permeabilidade, compressibilidade, absorção de água e a resistência (CAPUTO, 1988; DNIT, 2006a).

Segundo CAPUTO (1988), para atingir um grau de compactação desejado, é necessário ter controle sobre a energia a ser utilizada bem como no teor de umidade do solo. Para um mesmo solo com teores de umidade e energia de compactação distintas, obtém-se pesos específicos diferentes, podendo assim ser construído o gráfico de compactação.

Para a determinação do peso específico seco do solo, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$\gamma_s = \frac{\gamma}{1+h} \quad (1)$$

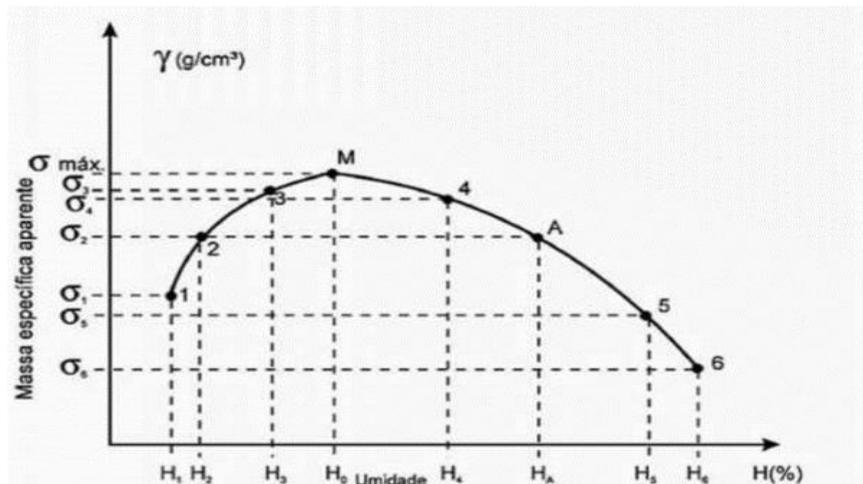
Onde:

γ = Peso específico do solo;

h = umidade.

O gráfico de compactação (Gráfico 1) apresentará um ponto em que o peso específico é máximo, de acordo com um teor de umidade adotado. Denomina-se este ponto como sendo o de umidade ótima (h_{ot}).

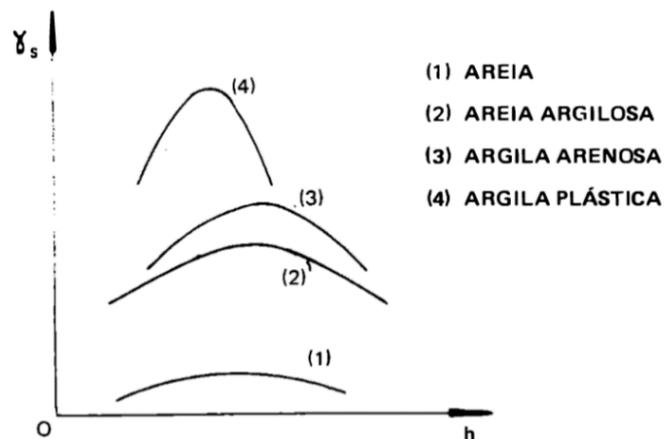
Gráfico 1 - Massa específica seca x teor de umidade



FONTE: Adaptado de Senço, (2007), pág. 133.

Por conta de suas propriedades físico-mecânicas peculiares, os solos demandam de energias de compactação e de valores para peso específico seco e umidade ótima diferentes para cada tipo. Mesmo assim, é possível notar semelhanças entre as curvas de compactação de solos distintos.

Figura 2 - Curvas de compactação para tipos de solos distintos



FONTE: CAPUTO, (1988), pág. 174.

2.1.1.3 Índice de suporte califórnia ou CBR

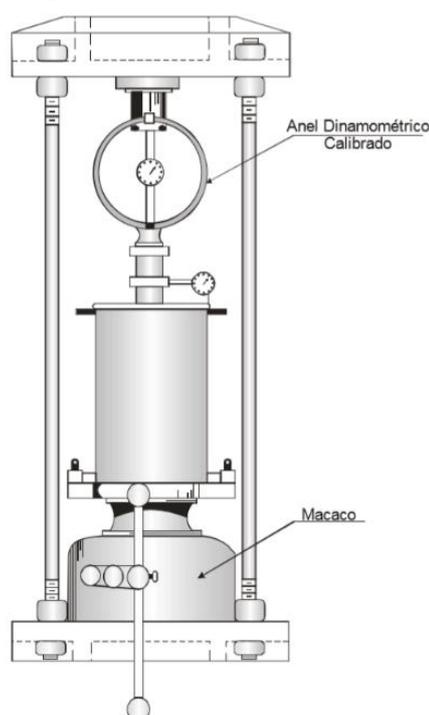
Para Senço (2007), o *California Bearing Ratio* (CBR), ou por tradução, Índice de Suporte Califórnia (ISC), é um dos parâmetros mais aceitos atualmente para entender o comportamento do solo enquanto fundação ou componente das camadas estruturais de pavimentação.

Esse procedimento foi criado no final dos anos 30, pelo engenheiro O. J. Porter, para definir a resistência do solo destinado a pavimentação. No princípio, fazia-se o uso de curvas para a determinação das espessuras necessárias das camadas de pavimentação. Atualmente, a premissa deste modelo permanece a mesma, mas com algumas alterações, devidas às inovações no setor de pavimentação e aos atuais níveis de compactação proporcionados pelos modernos equipamentos (SENÇO, 2007).

Para a determinação do CBR do solo, usa-se a relação entre a pressão necessária para a penetração de um pistão em uma amostra de solo conveniente preparada, com a pressão necessária para a mesma penetração numa brita padronizada. O percentual resultante dessa relação é denominado CBR, que nos permite determinar as espessuras das camadas, por meio de métodos específicos para pavimento flexível (SENÇO, 2007; DNIT, 2006a).

O DNIT (2006a) esclarece que este ensaio se consiste na compactação do solo em um molde cilíndrico, sendo 5 camadas de solo com 12 golpes de soquete entre cada uma. Rasa-se o material excedente, aproveitando uma amostra de aproximadamente 100g para verificar a umidade. Compacta-se outros corpos-de-prova com teores crescentes de umidade para formar a curva de compactação, e posteriormente os coloca submersos por 4 dias para a saturação. Após o período determinado, as amostras são colocadas em uma prensa (Figura 3) para a penetração do pistão a uma velocidade de 0,05 pol/min.

Figura 3 - Prensa para Índice de suporte Califórnia



FONTE: DNIT (2006a), pág. 39.

O índice de suporte Califórnia para cada corpo de prova é dado pela equação:

$$\text{CBR} = \frac{\text{PRESSÃO CALCULADA}}{\text{PRESSÃO PADRÃO}} \quad (2)$$

Segundo CAPUTO (1988), a pressão padrão corresponde à resistência que apresenta a pedra britada. Para uma determinada penetração no corpo de prova, adota-se uma pressão padrão diferente, como descrita na Tabela 2.

Tabela 2 - Penetração no corpo-de-prova x pressão padrão

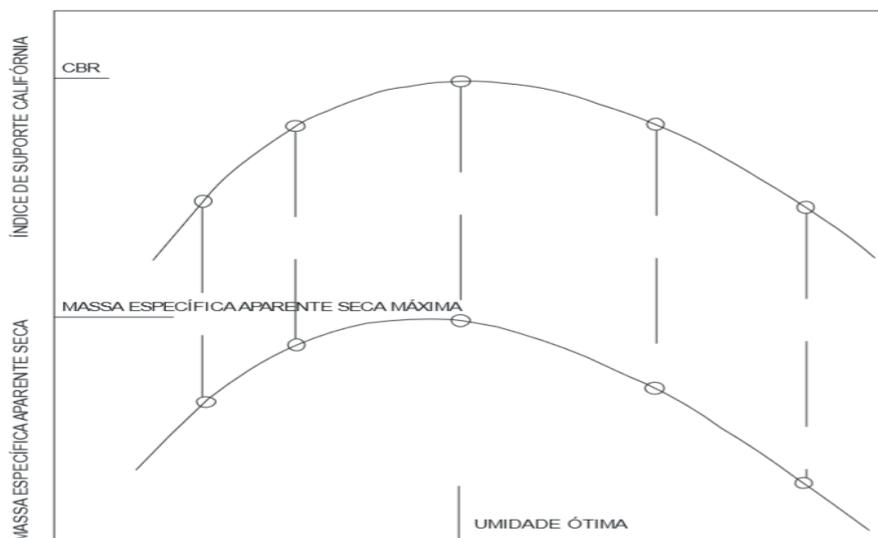
Penetração		Pressão padrão	
Mm	pol	kg/cm ²	lb/pol ²
2,54	0,1	70	1.000
5,08	0,2	105	1.500
7,62	0,3	133	1.900
10,16	0,4	161	2.300
12,70	0,5	182	2.600

FONTE: Adaptado de CAPUTO (1998), pág. 181.

A pressão calculada adotada deverá ser a maior entre as obtidas com as penetrações para 0,1 e 0,2 polegadas.

O CBR final é determinado lendo-se no gráfico, como o apresentado no Gráfico 2, o CBR correspondente a umidade ótima da curva de compactação.

Gráfico 2 - Curvas de massa específica - umidade e CBR-umidade



FONTE: DNIT (2006a), pág. 40.

2.1.2 Revestimentos Asfálticos

Denominado cimento asfáltico de petróleo (CAP) no Brasil, é um ligante betuminoso derivado do petróleo com propriedades adesivas à altas temperaturas, impermeável e com baixa reatividade. Apresenta características físicas de semi-sólidez, com baixas temperaturas, deformidades simultâneas de elasticidade e viscosidade a temperaturas ambientes e características líquidas quando submetido a altas temperaturas (BERNUCCI et al., 2006).

De acordo com o Senço (2007), o asfalto é o insumo impermeabilizante mais antigo já utilizado pelo homem, sendo como uma espécie de cimento, servindo de aglutinante para outros materiais.

Senço (2007) enfatiza ainda que a utilização em larga escala desse material como insumo de pavimentação se dá pela sua grande diversidade nas características e propriedades que apresenta, são elas:

- Poder de adesividade entre os agregados graúdos;
- Propriedades de impermeabilidade;
- Versatilidade quanto a temperatura de uso durante a aplicação;
- Apesar do alto custo, ainda sim se apresenta superior a outros materiais para pavimentação, em especial para a camada de revestimento.

O material betuminoso pode ser fabricado em usinas (misturas usinadas), de forma fixa ou móvel, ou ainda ser processado na própria pista, no caso de tratamentos superficiais. São divididos quanto ao seu tipo de ligante (BERNUCCI et al., 2006).

De acordo com Bernucci et al. (2006), misturas usinadas a quente, um dos tipos mais empregados no Brasil, são divididas de acordo com o grau de fíler (material de enchimento) em sua composição. Dessa forma, podemos classificar:

- Concreto asfáltico de graduação densa: curva granulométrica contínua e bem graduada, conferindo maior densidade de material e melhor arranjo dos agregados. Ex.: CBUQ (concreto betuminoso usinado a quente).
- Mistura de graduação aberta: granulometria uniforme, proporcionando um perfil poroso pela ausência de material fino para preencher os vazios. Ex.: camada porosa de atrito.
- Mistura de graduação descontínua: Granulometria bem diversificada, com predominância dos grãos de maiores dimensões, seguido dos intermediários e uma

porção de finos, resultando assim, numa camada mais resistente às deformações permanentes. Ex.: *stone matrix asphalt* e *gap-graded*.

Balbo (2007) discorre algumas das propriedades físicas mais importantes do CAP, com base na tecnologia dos pavimentos, são elas:

- Durabilidade: está relacionado à capacidade de o solo preservar as suas propriedades, mesmo exposto a todos os agentes de intempérie.
- Adesividade: é a propriedade que diz respeito ao poder de cola que dos materiais betuminosos com os agregados;
- Suscetibilidade térmica: o revestimento asfáltico apresenta características termoplasticidade (aumento da viscosidade de acordo com o aumento da temperatura). É associado em casos onde há formação de trilhos de roda em dias quentes e de fissuras por retração nos dias mais frios.
- Endurecimento: Tem relação com a oxidação da camada asfáltica. Também conhecido como envelhecimento da camada, pode ocorrer de forma rápida ou lenta, deixando o revestimento duro e quebradiço.

2.2 PAVIMENTO FLEXÍVEL

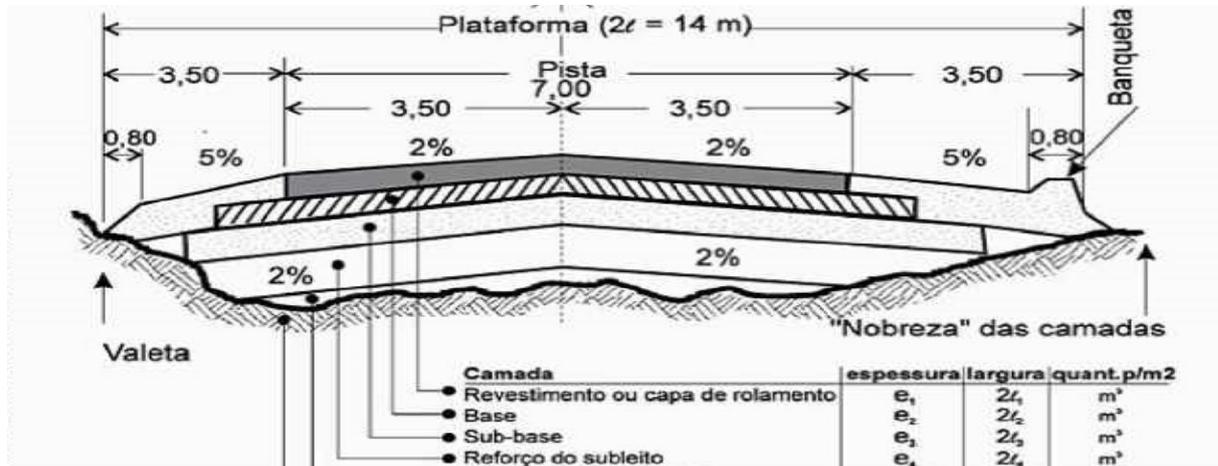
O pavimento é uma superestrutura, formada por um conjunto de camadas finitas e sobrepostas em uma superfície final de terraplenagem, denominada subleito. Essas camadas são constituídas de materiais distintos, com propriedades físicas e mecânicas peculiares, dispostas de forma a propiciar conforto, segurança, condições de rolamento e resistir aos esforços oriundos do tráfego (BERNUCCI et al., 2006; DNIT, 2006a).

Balbo (2007) explica que, no sentido estrutural, uma obra de pavimentação segue a premissa de receber as cargas na camada mais superior e transmitir para as inferiores de forma a diminuir as tensões, sendo assim, as camadas localizadas mais abaixo geralmente possuem materiais menos nobres, mas que isso não é tomado como regra.

Um pavimento flexível é aquele em que, quando se é aplicado uma carga, as tensões provocam deformações elásticas semelhantes entre as camadas. Para tanto, é necessário que as tensões estejam de acordo com a capacidade de carga dos materiais que compõe o pavimento,

para que não ocorram problemas prematuros ao seu bom estado de conservação (BALBO, 2007; DNIT, 2006a).

Figura 4 - Perfil estrutural do pavimento flexível



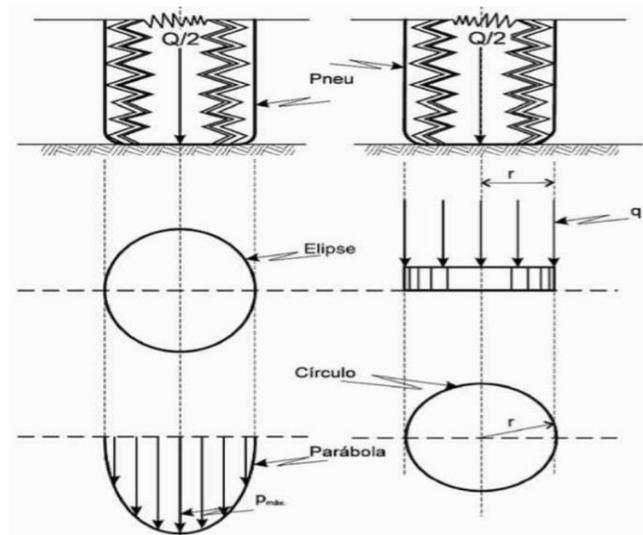
FONTE: Senço (2007), pág. 16

2.2.1 Sistemas de Cargas

2.2.1.1 Aplicação das Cargas

Senço (2007) explica que as cargas são transmitidas ao pavimento pelas rodas dos veículos, sendo considerada a área de aplicação da força com um formato circular.

Figura 5 - Área de contato pneu x pavimento



FONTE: Senço (2007), pág. 8.

Normalmente as cargas são referidas por eixo, sendo necessário então dividir a carga para as duas rodas, e a pressão de contato roda-pavimento é considerada a mesma da pressão dos pneus.

Para a determinação do raio dessa área de contato, basta que se conheça a carga aplicada e a pressão a pressão de contato. Pode-se então ser definido pela expressão:

$$r = \sqrt{\frac{(Q/2)}{(\pi \cdot q)}} \quad (3)$$

Sendo:

r = Raio;

Q = Carga do eixo;

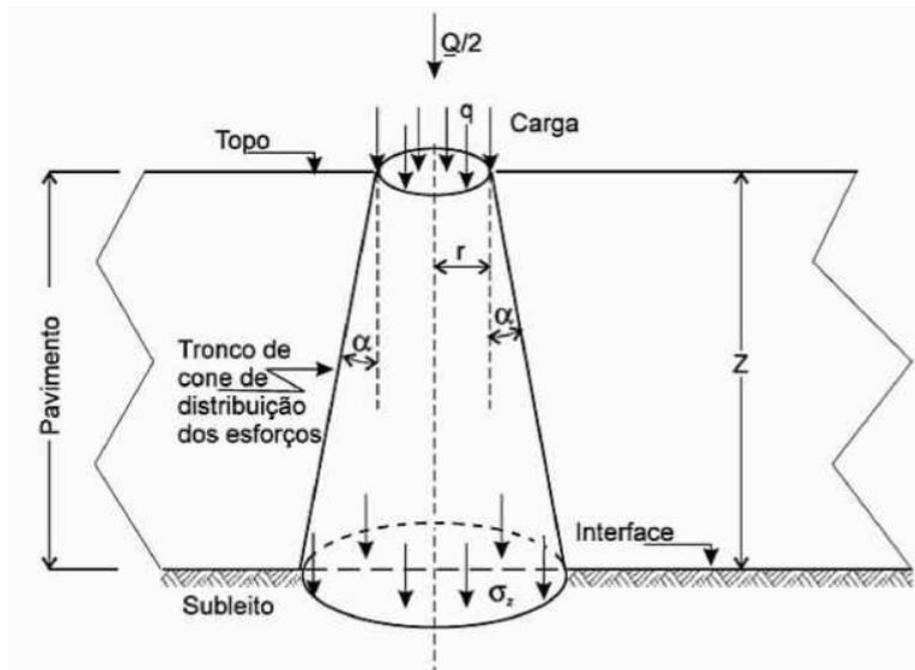
q = Pressão de contato

2.2.1.2. Distribuição das pressões

De acordo com Senço (2007), para a distribuição dos esforços aplicados no pavimento ao longo das camadas que o compõe, é imprescindível que haja uma compatibilidade entre as resistências desses elementos e as pressões que agem sobre eles.

Essa distribuição de tensões ocorre em um formato e tronco de cone (Figura 6), sendo que em $z = 0$, a tensão a ser considerada é apenas a de contato, e tensão na profundidade z é chamada de σ_z , apresentando valores na ordem de um quinto da pressão de contato.

Figura 6 - Distribuição dos esforços ao longo do pavimento.



FONTE: Senço (2007), pág. 11.

A pressão final σ_2 , segundo Senço (2007), é definida pela expressão:

$$\sigma_2 = q * \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{z}{r} * \operatorname{tg}\alpha\right)^2} \right] \quad (4)$$

Sendo:

σ_2 = Tensão aplicada na altura “z”;

α = ângulo de distribuição de tensão;

z = profundidade adotada.

2.2.2 Camadas Estruturais

2.2.2.1 Subleito

Para Balbo (2007), o subleito é a camada de fundação, onde serão dissipadas as tensões provenientes do tráfego, mas que nela atuarão com menor intensidade por estar na parte mais inferior do perfil estrutural do pavimento, portanto a preocupação deve estar nas camadas superiores, sujeitas a esforços de maior magnitude.

Senço (2007) completa que estudos de sondagem para subleitos são feitos com até três metros de profundidade, mas considera-se a parte de fundação efetiva indo de um a um e meio metros abaixo da superfície.

No que diz respeito ao dimensionamento, o subleito tem um importante papel, pois é possível diminuir as espessuras das outras camadas ou até mesmo dispensar algumas como o caso do reforço e a sub-base, quando é o caso de subleitos com propriedades mecânicas satisfatórias (SENÇO, 2007).

2.2.2.2 Regularização de subleito

Segundo Senço (2007), define-se como a camada final e irregular, sobre o subleito, com finalidade de conformá-la com o projeto. Nesta camada, deve-se ter atenção quanto á grandes movimentações de terra, pois para regular a superfície não é interessante substituir materiais naturalmente consolidados por outros a compactar, que nem sempre atingem o mesmo nível de compactação.

Ainda de acordo com Senço (2007), na regularização definem-se as características geométricas do pavimento, como o abaulamento da pista de rolamento e a superelevação nas curvas.

2.2.2.3 Reforço de subleito

Balbo (2007) comenta que o reforço de subleito é uma camada opcional, que possui propriedades geotécnicas superiores ao subleito e inferiores às camadas localizadas acima. Como o próprio nome diz, tem função complementar ao subleito em casos de baixa resistência, decisão essa puramente econômica, pois em casos de subleitos de baixa capacidade de carga, haveria uma necessidade de que as camadas superiores possuíssem maiores espessuras, uma vez que são constituídas de matérias mais nobres, demandando assim, maior custo.

Para esse caso, aplica-se uma camada de reforço ao subleito, que atenderá parcialmente às funções da camada de fundação e diminui a necessidade de que as camadas superiores fiquem com grandes espessuras.

2.2.2.4 Sub-base

Essa camada está localizada acima da regularização de subleito e possui função complementar à base. Sua utilização é também opcional, pois apenas em situações onde não se pode apoiar a base diretamente ao reforço ou à regularização, por questões técnicas e econômicas, divide-se a base em duas partes e para a parte inferior, adota-se um material de menor qualidade, denominado sub-base (SENÇO, 2007).

2.2.2.5 Base

De acordo com Senço (2007), a base é a camada responsável por absorver os carregamentos e redistribuir para as camadas subjacentes do pavimento.

“As bases podem ser constituídas por solo estabilizado naturalmente, misturas de solos e agregados (solo brita), brita graduada, brita graduada tratada com cimento, solo estabilizados quimicamente com ligante hidráulico ou ligante asfáltico” (BALBO, 2007, p. 38).

2.2.2.6 Revestimento

“O revestimento deverá, entre outras, receber as cargas, estáticas ou dinâmicas, sem sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, desagregação de componentes ou, ainda, perda de compactação [...]” (BALBO, 2007, p. 36).

Esta é a camada mais superior do pavimento, na qual é aplicado todos os esforços provenientes do tráfego. Deve apresentar propriedades de grande impermeabilidade e resistir ao desgaste, sendo assim, responsável por manter o bom estado de conservação de toda a estrutura. O revestimento é também encarregado de oferecer conforto e segurança ao condutor (SENÇO, 2007).

De acordo com Senço (2007, p. 20), o revestimento tem espessuras adotadas de acordo com o tráfego previsto, sendo:

- 5 cm para vias simples, duas faixas e duas mãos de direção;
- 7,5 a 10 cm para autoestradas.

Para Senço (2007, p. 20), “[...] nenhum problema técnico deve ser proveniente do fato de fixa-se a espessura do revestimento para, em seguida, calcular as espessuras das demais camadas.”. Dessa forma, a preocupação deve estar no volume de revestimento a cada quilometro, pois se trata da camada de maior valor unitário, com grande diferença para as demais camadas.

Segundo Senço (2007), para a determinação das larguras das camadas, adota -se o valor da tabela da portaria n° 19, do antigo ministério de viação e obras públicas, de 1949), que leva em consideração a classe do projeto, região e TDM (tráfego diário médio). A partir da determinação da largura da camada de revestimento, as outras camadas deverão apresentar larguras maiores, sendo acrescidas 1 metro de cada lado de uma para a outra.

Tabela 3 - Largura das camadas dos pavimentos (m)

classe	Região								
	Plana			Ondulada			Montanhosa		
	Rev.	Base	Sub-base ou regul.	Rev.	Base	Sub-base ou regul.	Rev.	Base	Sub-base ou regul.
I-B e II	7,00	9,00	12,00	7,00	9,00	11,00	7,00	9,00	10,00
III	6,00	8,00	10,00	6,00	8,00	9,00	6,00	8,00	8,40
e	a	a	a	a	A	a	a	a	a
IV	7,00	9,00	11,00	7,00	9,00	10,00	7,00	9,00	9,40

FONTE: Senço (2007), pág. 21.

A largura das faixas de rolamento é definida pela Tabela 4, seguindo as normas para Projeto Geométrico de Estradas de Rodagem, do DNER.

Tabela 4 - Largura das faixas de rolamento (m).

Classe de projeto	Plana	Região Ondulada	Montanhosa
0	3,75	3,75	3,60
I	3,60	3,60	3,60
II	3,60	3,60	3,50
III	3,60	3,50	3,30
IV	-	-	-
Desejável	3,50	3,50	3,30
Absoluta	3,30	3,30	3,00

FONTE: Senço (2007), pág. 22.

2.3 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL E METODOLOGIAS

2.3.1 Número de Operação por Eixo Padrão (Número “N”)

O número “N” é definido como o número de operações de um eixo simples com rodas duplas, no período determinado em projeto e com carga de 8,2 toneladas, tomado como padrão rodoviário para fins de dimensionamento (DNIT, 2006, p. 143).

É determinado pela expressão:

$$N = 365 * V_m * P * FC * FE * FR \quad (5)$$

Sendo:

N = número de operações por eixo padrão;

V_m = volume médio de transporte;

P = período de projeto em anos;

FC = fator de carga

FE = fator de eixo

FR = fator climático regional.

2.3.1.1 Volume médio de transporte

Para a determinação, admite-se uma taxa de crescimento rodoviário anual para a via em questão, levando em conta o histórico, contribuições de vias de acesso e o aumento no volume de veículos devido às melhores condições de tráfego da via recém pavimentada. Também nessa etapa, adota-se um período de projeto ou vida útil para a via a ser pavimentada (DNIT, 2006; SENÇO, 2007).

Nesse sentido, temos:

$$V_m = \frac{V_1 * [2 + (P-1) * (t/100)]}{2} \quad (6)$$

Sendo:

V_1 = volume médio diário de tráfego no ano de abertura;

P = período de projeto;

t = taxa de crescimento anual de tráfego.

2.3.1.2 Fator de carga

Senço (2007) explica o fator de carga como uma equivalência de operações, ou seja, é um fator que relaciona a passagem dos eixos veiculares de qualquer tipologia ou quantidade

com o eixo dado como padrão. Dessa forma, se obtém uma amostra representativa das passagens dos veículos que de fato irão transitar naquela via.

O eixo padrão adotado é o americano, sendo ele ESRD (eixo simples de roda dupla) com carga de 18.000 libras (8,2 toneladas).

Dessa forma, é possível determinar o fator de carga pelo Quadro 1, fazendo a somatória dos produtos das frequências relativas das passagens por eixo com os fatores de carga equivalentes (Quadro 2), levando em consideração a tipologia e a carga do eixo em toneladas.

Quadro 1 - Determinação do fator de carga.

ORDEM	TIPOS DE EIXO			F _{ci}	FREQUÊNCIA ABSOLUTA (F _i)	FREQUÊNCIA RELATIVA (f _i)	F _{ci} x f _i
	ES	ETD	ETT				
							∑(F _{ci} x f _i) = FC

FONTE: Material de aula de pavimentação, prof.º Fernando Moreno Suárte Jr. (CEULP/ULBRA).

Quadro 2 - Fatores de equivalência de carga do USACE.

Tipo de Eixo	Faixas de Carga (tf)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 - 8	$FC = 2,0782 \cdot 10^{-4} \cdot P^{4,0175}$
	≥ 8	$FC = 1,8320 \cdot 10^{-6} \cdot P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 - 11	$FC = 1,5920 \cdot 10^{-4} \cdot P^{3,472}$
	≥ 11	$FC = 1,528 \cdot 10^{-6} \cdot P^{5,484}$
Tandem triplo	0 - 18	$FC = 8,08359 \cdot 10^{-5} \cdot P^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \cdot 10^{-7} \cdot P^{5,5789}$

FONTE: DNIT (2006b), pág. 114.

2.3.1.3 Fator de eixo

Segundo Senço (2007, p. 475), “É um fator que transforma o tráfego em número de veículos padrão no sentido dominante $365 \cdot V_m \cdot P \cdot (FC)$, em número de passagens de eixos equivalentes”. Dessa forma, o DNIT (2006) determina o fator de eixo com a expressão:

$$FE = \frac{(FEA \times \text{passagens de A}) + (FEB \times \text{passagens de B}) + \dots (FEN \times \text{passagens de N})}{\sum \text{PASSAGENS}} \quad (7)$$

Senço (2007) enfatiza que em casos que não se tem acesso à informação de tráfego, seja ela parcial ou completa, é sugerido adotar o valor de 2,07 para fator de eixo.

2.3.2 Método do CBR

O método do CBR ou do DNIT foi proposto na década de 60 pelo engenheiro do instituto militar de engenharia, Murilo Lopes de Souza, sendo a última atualização em 1981, sofrendo pequenas alterações. Para tal, teve embasamento nos trabalhos de W.J. Turnbull, C.R. Foster e R.G. Ahvin, (USACE) e em testes realizados na pista experimental da AASHTO, para obtenção dos coeficientes de equivalência estrutural (BALBO, 2007; DNIT, 2006a; SENÇO, 2007).

Esse método tem como etapas: a determinação dos materiais constituintes da estrutura, o estudo de tráfego, baseado nas repetições de carga de eixo-padrão (item 2.3.1) e na determinação das espessuras das camadas (dimensionamento) (BEZERRA NETO, 2004).

O DNIT (2006a) define algumas características dos materiais para compor a estrutura do pavimento, para assim, respeitar seus os limites máximos e mínimos e evitar que a estrutura venha a colapso de forma prematura.

Quadro 3 - Características dos materiais a compor o pavimento

CAMADA	CRITÉRIOS
Material para subleito	CBR \geq 2% Expansão menor que 2%
Material para reforço do subleito	CBR maior que o do subleito Expansão menor que 1%
Material para sub-base	CBR \geq 20% Expansão menor que 1% (Com sobrecarga de 4,536 kgf) Índice de grupo (IG) igual a zero
Material para base	CBR \geq 80% Expansão menor que 0,5% (Com sobrecarga de 4,536 kgf) LL \geq 25% IP \geq 6%

FONTE: Adaptado de DNIT (2006a), pág 142.

Em relação às características granulométricas dos materiais, o DNIT (2006a) enfatiza que os materiais a compor a camada de base devem obedecer algumas recomendações, como: o material passante na peneira n° 200 deve conter menos de 2/3 da quantidade passante na peneira n° 40, e para a porção graúda, deve apresentar um desgaste Los Angeles menor ou igual a 50. As demais características estão informadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Granulometria para base granular

Tipos	Para $N > 5 \times 10^6$			Para $N < 5 \times 10^6$			Tolerâncias da faixa de projeto
	A	B	C	D	E	F	
% em peso passando							
2"	100	100	-	-	-	-	± 7
1"	-	75-90	100	100	100	100	± 7
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	± 7
Nº 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	± 5
Nº 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	± 5
Nº 40	8-20	15-30	15-30	25-45	25-50	30-70	± 2
Nº 200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25	± 2

FONTE: Adaptado de DNIT (2006a), pág 143.

Com relação a dimensionamento, determina-se a espessura total do pavimento, em seguida a espessura do revestimento tomando como parâmetro o número “N” (Quadro 4) e, posteriormente, define-se as espessuras das demais camadas do pavimento.

Quadro 4 - Espessura mínima de revestimento betuminoso

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: Adaptado de DNIT (2006), pág 147.

Na determinação das espessuras do pavimento, tanto a total como as camadas que o constitui, o DNIT (2006a) afirma que a determinação pode ser feita através do ábaco (Figura 9), relacionando o número de repetições do eixo padrão com o CBR. Balbo (2007) completa que a determinação das espessuras também pode ser feita pela equação 8, sendo elaborada através de uma regressão linear múltipla das retas do ábaco citado.

$$H_{eq} = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598} \quad (8)$$

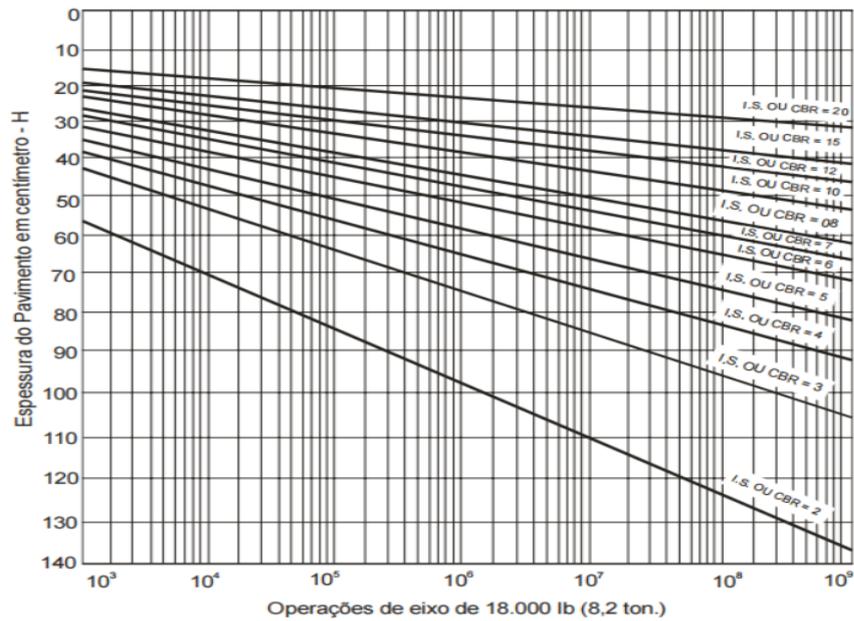
Onde:

H_{eq} = espessura equivalente (cm);

N = número de operações do eixo padrão;

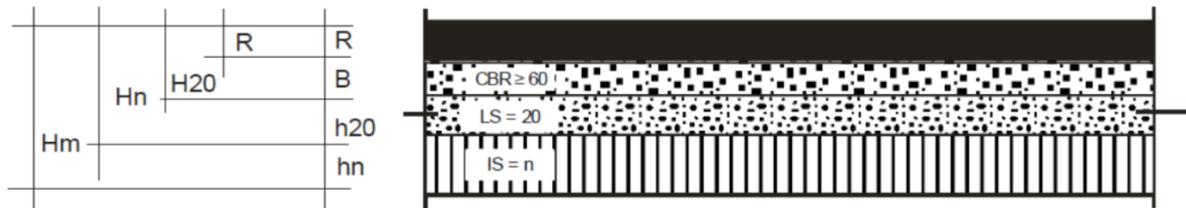
CBR = Índice de suporte California da camada de apoio.

Figura 7 - Ábaco para determinação das espessuras do pavimento



FONTE: DNIT (2006a), pág 149.

Figura 8 - Esquema do pavimento em relação às camadas equivalentes



FONTE: DNIT (2006a), pág 149.

Balbo (2007) chama atenção para os valores mínimos para a base e sub-base, sendo respectivamente 80% e 20%.

Em casos que os valores de CBR para a sub-base sejam superiores a 20%, adota-se 20% para fins de cálculo. Para a base, nas situações em que o número “N” for menor que 5×10^6 , pode-se considerar $CBR \geq 60\%$.

O DNIT (2006a) esclarece ainda que as espessuras máxima e mínima para a compactação deverá ser, respectivamente, de 20cm e 10cm. E ainda que a espessura mínima a ser construída é de 15cm.

A determinação das demais espessuras é feita a partir das seguintes inequações:

$$\begin{aligned} R \times K_r + B \times K_b &\geq H_{20} \\ R \times K_r + B \times K_b + h_{20} \times K_s &\geq H_n \\ R \times K_r + B \times K_b + h_{20} \times K_s + h_n \times K_{ref} &\geq H_m \end{aligned} \quad (9)$$

Sendo:

K_r , K_b , K_s e K_{ref} = coeficientes estruturais, respectivamente, do revestimento, base, sub-base e reforço de subleito;

R , B , h_{20} e h_n = espessuras das camadas que constitui o pavimento;

H_{20} , H_n , e H_m = Espessuras das camadas equivalentes.

Tabela 6 - Coeficientes de equivalência estrutural - k

Componentes dos pavimentos	Coefficiente k
Base ou revestimento do concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento por penetração	1,20
Camadas granulares	1,00
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm ²	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm ² e 28 kg/cm ²	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm ² e 21 kg/cm ²	1,20

FONTE: Adaptado de DNIT (2006a), pág 146.

2.3.3 Método da Resiliência

Segundo Brito e Graeff (2009), é um método mecanístico-empírico (ME), também conhecido como TECNAPAV, desenvolvido pelos engenheiros Salomão Pinto e Ernesto Preussler em 1982 e indicado na norma PRO 269/94 do extinto DNER.

A deformação resiliente do pavimento, na mecânica dos pavimentos, é a deformação recuperável dos solos ou estrutura sob a ação do tráfego (DNER, 1996; SENÇO, 2007).

Os métodos empíricos para dimensionamento de dimensionamento de pavimento flexível geralmente estabelecem as espessuras das camadas levando em conta a capacidade de carga da fundação e os esforços provocados pelo tráfego. No caso dos métodos mecaníscistas, consideram também a compatibilização das deformações das camadas do pavimento, bem como o fenômeno da fadiga dos materiais, o que ocorre nos revestimentos betuminosos e nas bases-cimento, podendo evitar fissuras e flechas excessivas de forma prematura (DNER, 1996; SENÇO, 2007).

De acordo com o DNER (1996), para a obtenção das características resilientes dos materiais, tanto dos materiais asfálticos como os cimentados, são realizados ensaios triaxiais e

de tração indireta por compressão diametral. Tais características nos permite determinar as deflexões máximas para uma determinada vida útil da estrutura.

Segundo Balbo (2007), se tem a necessidade de classificação do material de fundação quanto à resiliência. Para tal, é necessário a determinação do CBR bem como da quantidade de silte em relação a fração de solo passante na peneira n° 200.

Quadro 5 - Tipo do solo em função do CBR e silte

CBR (%)	S (%)		
	Menor que 35	35 a 65	Maior que 65
Maior ou igual a 10	I	II	III
Entre 6 a 9	II	II	III
Entre 2 a 5	III	III	III

FONTE: Adaptado de Senço (2007), pág. 746.

Senço (2007), classifica os tipos de solo quanto a resiliência, sendo:

- Solos tipos I: baixo grau de resiliência. Podem ser utilizados como subleito e reforço ou, esporadicamente, como sub-base;
- Solos tipo II: grau intermediário de resiliência. Comportamento regular para subleito e em casos esporádicos, pode ser usado como reforço;
- Solos tipo III: grau elevado de resiliência. Requer estudos específicos para o uso como subleito e não são indicados para as outras camadas do pavimento.

Para o dimensionamento, DNER (1996) explica que no cálculo da altura total do pavimento pelo método resiliência, adota-se o mesmo cálculo da altura pelo método do CBR, visando proteger a camada de subleito de deformações excessivas.

Da mesma forma, o CBR a ser adotado nas camadas de base e sub-base deverá apresentar valores superiores a 80% e 20%, respectivamente.

Como visto no método do CBR (item 2.3.2), a altura total do pavimento é determinada pela expressão:

$$H_t = 77,67 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598} \quad (10)$$

Onde:

N = número de operações do eixo padrão;

CBR (%) = resistência do subleito;

H_t = altura total do pavimento.

De acordo com o DNER (1996), a deflexão na camada de revestimento, com máximo admissível de 0,01 mm, é determinada pela expressão:

$$\log D = 3,148 - 0,188 \log N \quad (11)$$

Sendo:

D = deflexão na camada de revestimento ($D \leq 0,01$ mm);

N = número de operações do eixo padrão.

Para Senço (2007), a determinação da espessura da camada de revestimento é realizada pela equação 14, com base nos coeficientes da Tabela 8, levando em conta o tipo de solo.

$$H_{CB} = \frac{(-5,737 + 807,961)}{DP} + 0,972 \cdot I_1 + 4,101 \cdot I_2 \quad (12)$$

Onde:

D_p = deflexão de projeto;

H_{CB} = espessura da camada de revestimento betuminoso.

Tabela 7 - Coeficientes em função do tipo de solo

Tipo de solo	Valores de I	
	I ₁	I ₂
I	0	0
II	1	0
III	0	1

FONTE: Adaptado de Senço (2007), pág. 750.

Senço (2007) define a espessura da camada granular fazendo a subtração da espessura da camada betuminosa majorada pelo valor estrutural com a altura total já pré-definida, resultando na expressão:

$$H_{CG} = H_t - H_{CB} \times V_e \quad (13)$$

Onde:

H_{CG} = espessura da camada granular;

H_t = altura total do pavimento;

H_{CB} = espessura da camada granular;

V_e = valor estrutural da camada betuminosa

Tabela 8 - Valor estrutural da camada betuminosa

Tipo de Subleito	N				
	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸
I	4,0	4,0	3,4	2,8	2,8
II	3,0	3,0	3,0	2,8	2,8
III	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

FONTE: Adaptado de DNER (1996), pág. 215.

Para a determinação das camadas de base e sub-base, Senço (2007) considera 3 casos:

- Caso 1: adota-se a camada de base igual a toda a camada granular;
- Case 2: divide-se a camada granular em duas partes, sendo uma para base e outra para sub-base, sendo que o material de sub-base deverá ter um CBR $\geq 20\%$ e a espessura da camada de base deve apresentar $H_B > 10$ cm (espessura mínima);
- Caso 3: Quando as camadas de sub-base e reforço de subleito apresentarem um solo fino com CBR $< 20\%$, classificados como tipo I ou II, o pavimento deverá ser redimensionado considerando o CBR e o tipo de solo correspondente ao da sub-base ou reforço.

A determinação da espessura desta camada foi determinada pela expressão:

$$H_R = \frac{(Ht_1 - Ht_2)}{0,70} \quad (14)$$

Onde:

H_R = espessura da camada de reforço ou sub-base, sendo $H_R \geq 30$ cm;

H_{t1} = espessura correspondente ao CBR do subleito;

H_{t2} = espessura correspondente ao CBR da camada de base ou reforço de subleito.

2.4 PARÂMETROS ORÇAMENTÁRIOS

Segundo Mattos (2006), a orçamentação é o processo de determinação do custo de um empreendimento, sendo este feito por meio de estimativas, antes mesmo da legítima construção do produto. Se faz o uso de técnicas de identificação, descrição, quantificação, análise e valorização, de forma que essa estimativa se aproxime o máximo possível do real, para que não ocorram frustrações de custo e prazo.

Para o processo, é interessante que seja um profissional que tenha conhecimento, não só da ciência de custo, como também da área do serviço a ser orçado, segurança do trabalho, meio ambiente e na área fiscal, sendo assim, um profissional multidisciplinar que deve saber identificar as dificuldades de cada etapa do serviço e os seus impactos de custo na execução (DIAS, 2011; MATTOS, 2006).

Em resumo, a determinação do custo de uma obra é feita pela somatória dos custos diretos (operários, equipamentos e insumos), custos indiretos (contas de água e energia, fretes, canteiro de obra, frete etc.) e adicionando os impostos e lucro (BDI) para se obter o preço de venda. Em casos de concorrência pelo menor preço, deve-se atentar para que o valor não fique baixo à eminência de se obter prejuízo, mas também não tão alto a ponto de não se tornar páreo na disputa (MATTOS, 2006).

2.4.1 Orçamento Analítico

Segundo Mattos (2006), é a forma mais precisa de se determinar o custo da obra. Tem como princípio a composição dos custos unitários, fazendo a relação completa de insumos, equipamentos e mão-de-obra para formar um serviço. Nesse meio, são orçados também os custos indiretos, ligados a canteiro de obras, equipe e suporte da obra.

É importante também que os projetos complementares estejam prontos e detalhados, para que seja possível obter uma previsão de custo o mais próxima possível do real.

2.4.2 Etapas do Orçamento

2.4.2.1 Identificação e levantamento de quantitativos

Para que esta etapa aconteça, deve haver um estudo completo e minucioso de projeto, especificações técnicas e as plantas técnicas, pois se trata de uma das principais tarefas para o orçamentista, na qual um pequeno erro de cálculo pode gerar grandes consequências (DIAS, 2011; MATTOS, 2006).

2.4.2.2 Composição de custos

É o estabelecimento do custo para o serviço ou atividade. Uma composição é formada por um conjunto de insumos e suas respectivas quantidades que somadas, totalizam o custo daquele serviço. Normalmente em obras rodoviárias, se faz o uso do SICRO (Sistema de Custos Rodoviários) para pesquisa de preços dos insumos e composições de custo de serviço do DNIT (MATTOS, 2006; DNIT, 2003).

Na planilha de custos consta os serviços de custo direto, que são todos os custos diretamente relacionados a execução da obra, ou seja, insumos, equipamentos, mão de obra e mais a infraestrutura necessária para produzir (TISAKA, 2006).

Segundo Mattos (2006), eles podem ser unitários, quando tem são indicados por uma unidade de serviço (kg, m², m³ etc.) ou classificado como verba, que são quando não é possível estabelecer uma unidade (ex.: sinalização).

2.4.2.3 Benefício e despesas indiretas – BDI

É um fator de majoração, representados por custos indiretos, taxas tributárias e lucro, aplicados sobre o custo direto na planilha orçamentária. O seu valor é afetado diretamente pela localização do empreendimento, administração local e ainda deve conter um percentual de lucro esperado pelo construtor. Cada empresa apresenta um valor diferente, pois tem relação com o tipo gestão e planejamento para com o empreendimento.

Os custos indiretos são compostos pelos serviços que não estão diretamente ligados aos serviços da obra, mas que são essenciais para que eles possam ser executados. Esses serviços sofrem bastante variação, principalmente por conta da localização, o tipo da obra, impostos e exigências do edital.

Os itens que representam a maior parcela no custo indireto, são eles: mobilização e desmobilização dos equipamentos, mobilização e desmobilização de pessoas, mobilização e desmobilização de ferramentas e utensílios, administração local, administração central e tributos (DIAS, 2011; MATTOS, 2006).

3 METODOLOGIA

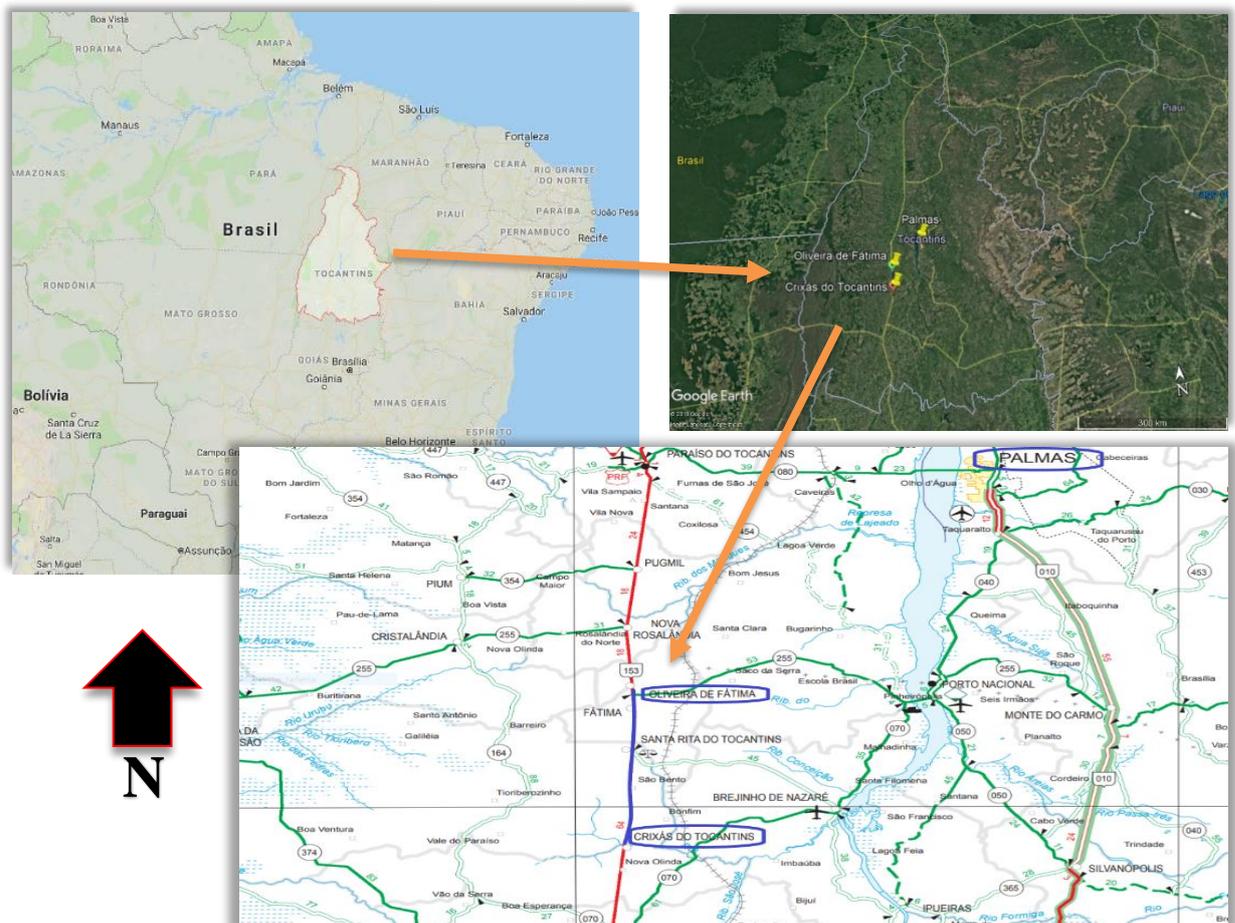
3.1 TIPO DA PESQUISA

Este trabalho foi abordado de forma quali-quantitativamente, com natureza exploratória, constituído basicamente nas etapas de dimensionamento do pavimento com os dois métodos propostos, determinação dos perfis estruturais e orçamento por meio de planilhas analíticas, e também na etapa final de comparação orçamentaria, fundamentando a escolha do método de dimensionamento de pavimento flexível que apresentou menor custo para o trecho em questão.

3.2 OBJETO DE ESTUDO

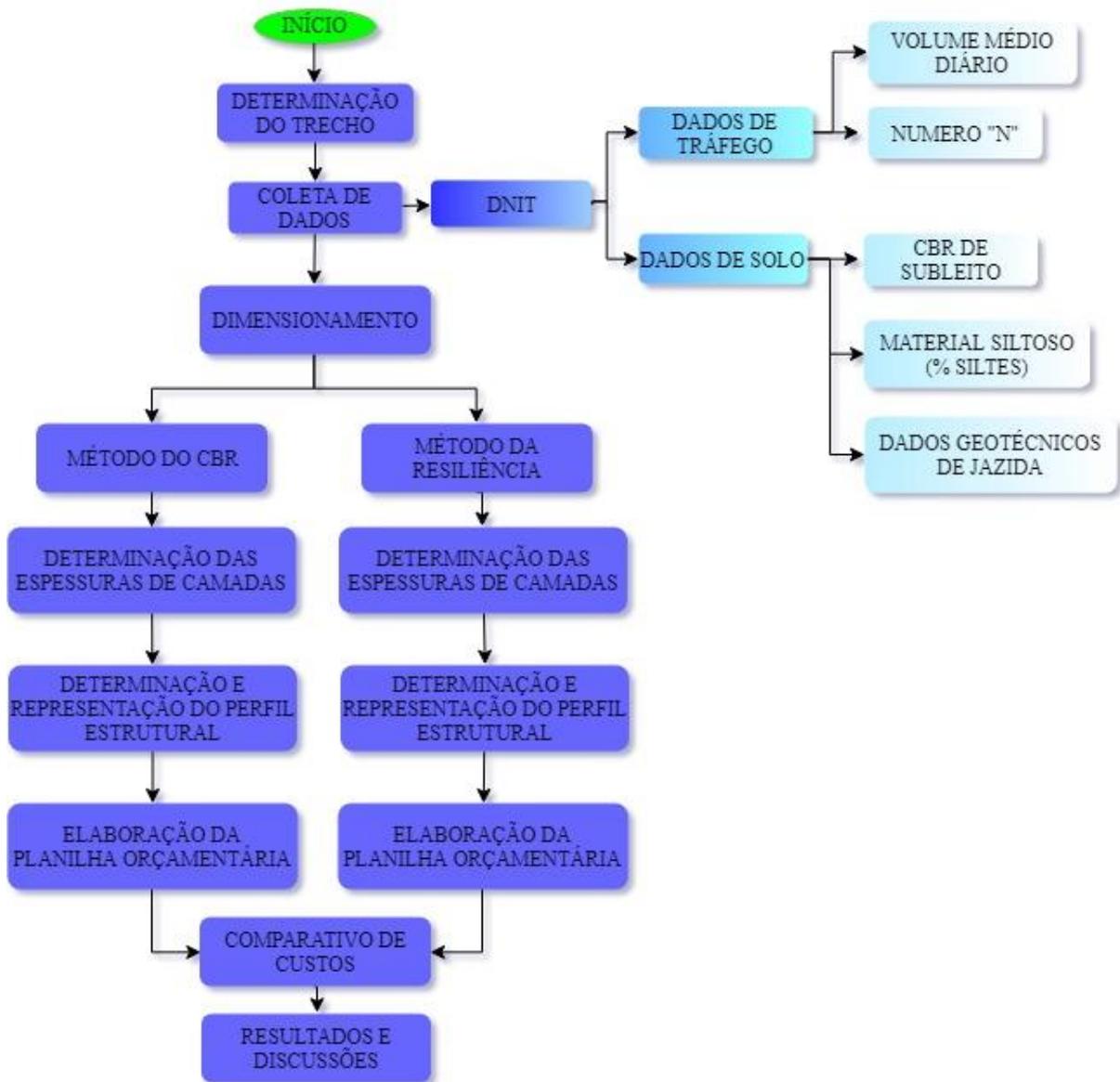
O trecho em questão pertence a BR 153, com 45,43 Km de extensão, entre as cidades de Oliveira de Fátima e Crixás do Tocantins, a uma distância média de 147 Km de Palmas, capital do estado. Vale ressaltar que este trecho já possui pavimentação asfáltica do tipo CBUQ, mas que os estudos geotécnicos e de tráfego que foram utilizados nos dimensionamentos não são os mesmos de quando fora construída.

Figura 9 - Situação do objeto de estudo



FONTE: Google Maps; Google Earth; Mapa DNIT.

Figura 10 - Fluxograma da pesquisa



FONTE: Autor (2019)

3.3 COLETA DE DADOS

Todas as informações necessárias para amparar esta pesquisa, de forma a tornar possível os dimensionamentos (estudos geotécnicos e de tráfego), foram fornecidas pelo principal órgão de execução do ministério dos transportes do governo brasileiro (DNIT), com a sede da superintendência regional do Tocantins localizada em Palmas, capital do estado.

3.4. DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento foi realizado para cada método, entre cada pontos de coleta de corpos de prova, sendo os dados utilizados para cálculo, uma média entre valores obtidos nas caracterizações de solo destes pontos de coleta (CBR e percentual de siltes).

3.4.1 Número “N”

A fim de obter uma maior confiabilidade nos resultados, foi calculado um novo o número “N” com base nos dados fornecidos pelo DNIT, com o objetivo de confrontar o fornecido com o calculado, sendo adotado o de maior valor.

Para o cálculo, foi considerado:

- Volume médio diário, segundo citado no item 2.3.1.1, foi determinado pela equação 6 (pag. 31), para um período de projeto, taxa de crescimento de tráfego e fluxo de veículos atual (informações dadas pelo DNIT).
- O fator de carga foi determinado pelo Quadro 1 (pag. 32), conforme informado no item 2.3.2.9. As informações necessárias para o cálculo dos fatores de equivalência, com base na carga e tipo de eixo, estão informadas no Quadro 2 (pag. 32). As informações necessárias para o cálculo, como carga e classificação dos veículos estão disponíveis no Anexo B.
- O fator de eixo foi determinado pela equação 7 (pag. 32), levando em consideração o fluxo de veículos que foi fornecido pelo DNIT.
- Dessa forma, o número “N” foi determinado pela equação 5 (pag. 31).

3.4.2 Dimensionamento Método do CBR

- **Características dos materiais**

Conforme citado anteriormente (item 2.3.2), para dimensionamento de pavimento flexível pelo método do CBR é necessário que os materiais que constituem as camadas estruturais atendam aos parâmetros mínimos exigidos, sendo estes apresentados no Quadro 3 (pag. 33) relacionado a resistência e índices físicos e na Tabela 5 (pag. 34) relacionado a granulometria.

- **Determinação da espessura da camada betuminosa**

Segundo mostrado (item 2.3.2), a espessura da camada betuminosa foi definida pelo número de operações do eixo padrão, conforme apresentado no Quadro 4 (pag. 34), podendo apresentar uma espessura de no mínimo 7,5 para autoestradas.

- **Determinação das espessuras das camadas granulares**

De acordo com o que foi explicitado no item 2.3.2, primeiramente foi definida a altura total do pavimento do por meio da equação 8 (pag. 34). As espessuras das demais camadas foram determinadas pelas inequações 9 (pag. 35), com base nos dados de equivalência estrutural apresentados na Tabela 6 (pag. 36).

3.4.2 Dimensionamento Método da Resiliência

- **Classificação quanto à resiliência**

Conforme foi visto no item 2.3.3 (pag. 36), foram avaliados o CBR e o percentual de siltes (informações dadas pelo DNIT) para a determinação do tipo do solo, sendo classificado em: tipo I (baixo grau de resiliência), tipo II (grau intermediário de resiliência), ou tipo III (grau elevado de resiliência).

- **Determinação da camada betuminosa**

Ainda de acordo com o item 2.3.3, a altura total do pavimento foi determinada da mesma forma que o método de dimensionamento anterior, utilizando a equação 10 (pag. 37).

Dessa forma, foi determinada a deflexão na camada de revestimento, calculado pela equação 11 (pag. 38), com base no número de operação do eixo padrão.

A determinação da espessura da camada de revestimento se deu pela equação 12 (pag. 38), na qual leva em consideração coeficientes baseados na tipologia do solo (Tabela 7, pag. 38).

- **Determinação da camada granular**

A altura total de camada granular foi determinada pela equação 13 (pag. 38), na qual leva em consideração um fator de majoração para a camada betuminosa, denominado valor estrutural, conforme explicitado na Tabela 8 (pag. 39).

Nos casos em que o resultado da espessura da camada granular foi inferior ao da mínima, foi adotada a mínima.

Esse procedimento foi seguido para ambos os dimensionamentos.

3.5 APRESENTAÇÃO DO PERFIL ESTRUTURAL

A representação do perfil estrutural foi por meio de figuras em 2D de cortes transversais do pavimento então dimensionado.

Os desenhos foram produzidos no software AutoCad (Autodesk, Inc.), compostos por suas camadas e espessuras.

As espessuras e a quantidade de perfis foram determinadas conforme os resultados do dimensionamento, objetivando proporcionar o máximo de economia e exequibilidade.

3.6 ELABORAÇÃO DA PLANILHA ORÇAMENTÁRIA

Foram elaboradas planilhas orçamentárias, do tipo analítica, e planilhas de memorial de cálculo, utilizando a ferramenta Excel (Microsoft Corporation), para cada um dos dimensionamentos realizados.

A planilha é composta pelo quantitativo de serviços, levantados ao final do dimensionamento, e os custos unitários de cada serviço, sendo essa, feita uma pesquisa de preço com base de dados confiáveis.

A pesquisa de preços foi feita no sistema sem desoneração, utilizando a referência de abril de 2019 para o Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO), ferramenta do DNIT para oferecer os melhores parâmetros de elaboração de orçamento de obras rodoviárias.

É importante salientar que o enfoque desta pesquisa está em comparar custos no que se refere a estrutura de pavimentação, sendo esta, composta por camadas granulares e revestimento betuminoso. Dessa forma, no orçamento foi desconsiderado itens que compõem um projeto de pavimentação, mas que nada interfere no dimensionamento estrutural (terraplenagem, sinalização, drenagem etc.).

3.7 COMPARATIVO DE CUSTO

O comparativo foi apresentado por meio de quadros e gráficos, apresentados para cada dimensionamento separadamente, gerados com também o auxílio do software Excel.

Os gráficos ilustram a finalidade da pesquisa, sendo composto por:

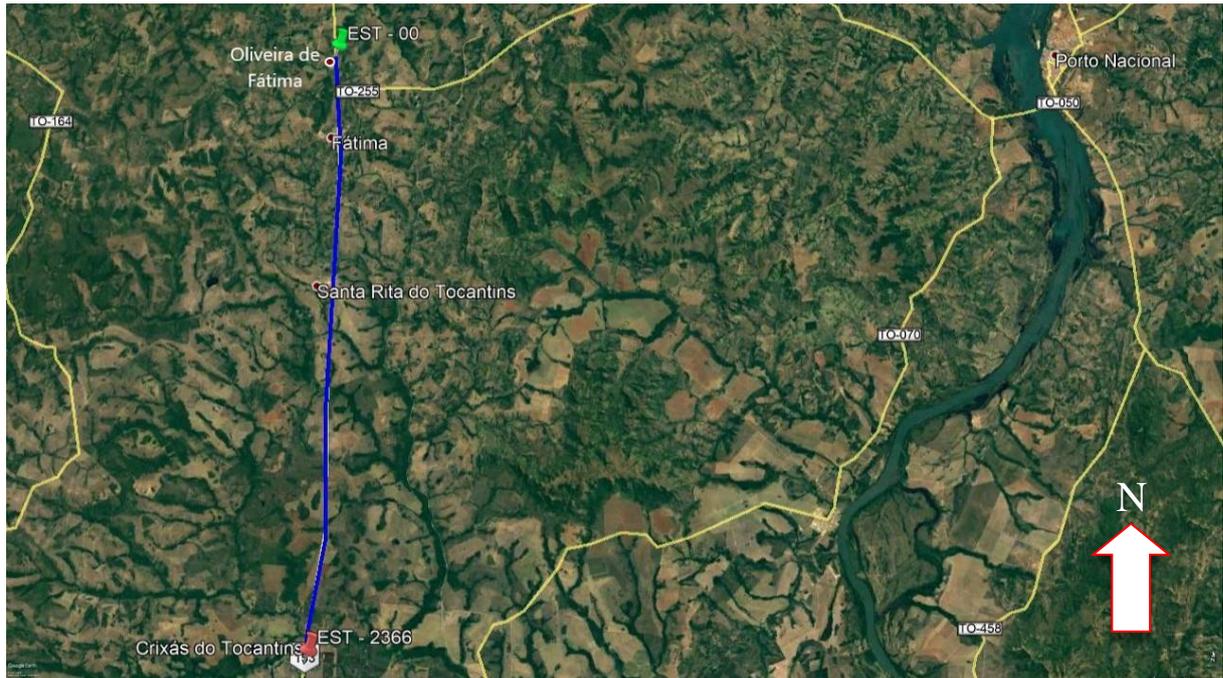
- Gráfico de comparativo de custo total de cada método de dimensionamento;
- Gráfico comparativo de volume de materiais utilizados.

4 RESULTADOS

4.1 APRESENTAÇÃO DO TRECHO

O trecho da BR-153, alvo do projeto, possui 45,43 quilômetros de extensão, sendo o estaqueamento feito a cada 20 metros. Inicia próximo à cidade de Oliveira de Fátima, na estaca 00 (729054,7815 E; 8815952,3166 N), e finaliza próximo a cidade de Crixás do Tocantins, na estaca 2271 + 10m (727000,8918 E; 8770689,4432 N).

Figura 11 - Estaqueamento do projeto



Fonte: Autor (2019)

Ao longo do trecho, foram retirados 22 corpos-de-prova para ensaios de caracterização do solo, sendo coletados, ligeiramente, ao lado esquerdo da rodovia (sentido norte-sul).

Figura 12 - Pontos de coleta para caracterização do solo



Fonte: Autor (2019)

Os pontos estão, aproximadamente, a 2 quilômetros (100 estacas) uns dos outros, sendo a localização exata, a referência com relação ao estaqueamento de projeto, e os dados obtidos na caracterização das amostras, descritos na Tabela 9.

Tabela 9 - Localização dos pontos de coleta de amostra para caracterização do solo

PONTO DE COLETA	ESTACA DE REFERÊNCIA	DISTÂNCIA DA ESTACA 0 (m)	LONGITUDE (m)	LATITUDE (m)	CBR (%)	SILTES (%)
1	0	0	729091,492	8815951,808	16,8	23,9
2	108 + 10m	2.170	729221,027	8813790,271	19,9	16,3
3	198 + 10m	3.970	729332,323	8811991,836	13,4	16,0
4	394 + 14m	7.894	729529,375	8808073,818	20,1	16,6
5	503	10.060	729411,024	8805909,534	11,1	8,9
6	603 + 10m	12.070	729303,268	8803902,762	18,9	17,0
7	704	14.080	729195,188	8801894,657	14,3	16,5
8	811 + 15m	16.235	729080,045	8799742,286	22,3	3,5
9	912 + 3m	18.243	728969,874	8797737,496	15,7	8,2
10	1018 + 6m	20.366	728853,725	8795615,828	17,5	4,8
11	1119 + 4m	22.384	728748,245	8793601,926	16,9	15,3
12	1220	24.400	728639,338	8791587,369	25,5	13,7
13	1321 + 10m	26.430	728529,560	8789559,705	20,7	14,8
14	1420 + 3m	28.403	728524,533	8787588,785	15,3	15,6
15	1522 + 13m	30.453	728527,095	8785538,294	18,5	15,8
16	1619 + 18m	32.398	728556,216	8783592,255	16,8	21,9
17	1722 + 7m	34.447	728584,272	8781544,659	22,0	22,4
18	1822 + 15m	36.455	728534,419	8779533,115	11,9	42,9
19	1926 + 3m	38.523	728143,162	8777496,358	14,9	26,6
20	2027 + 9m	40.549	727761,232	8775506,288	18,1	13,2
21	2147 + 3m	42.943	727305,673	8773155,981	13,7	4,4
22	2271 + 10m	45.430	727041,598	8770685,880	19,8	8,8

Fonte: Adaptado do DNIT

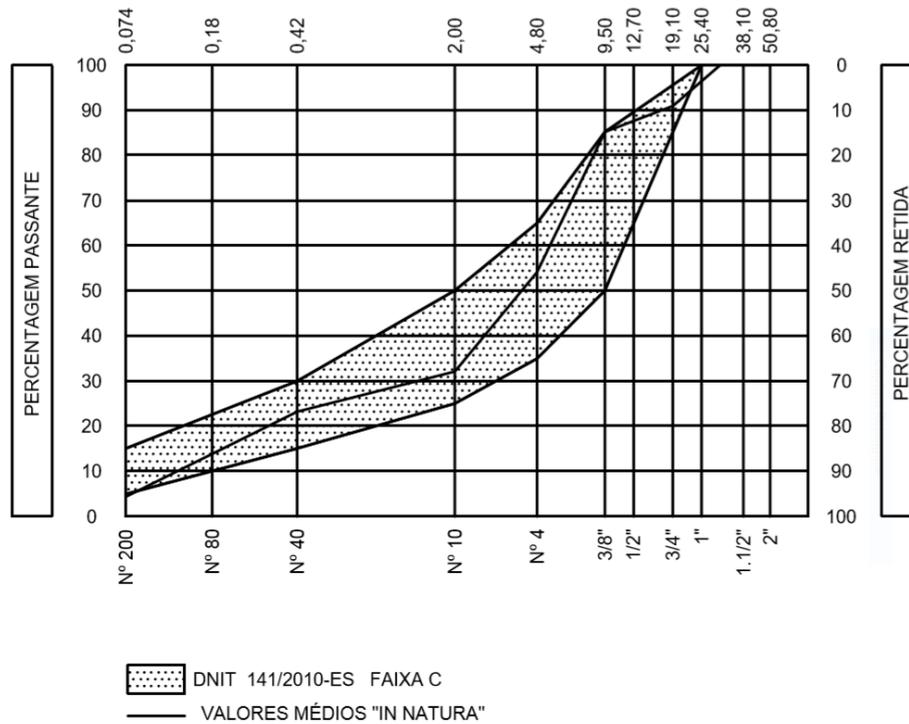
4.1.1 Dados de jazida

Segundo o estudo do DNIT, a jazida apresenta dimensões de 500m x 25m e profundidade de 1,64m (profundidade recomendada), sendo 0,10m de camada de expurgo, totalizando 12.500m² de área útil e 20.500m³ de volume disponível.

As características referentes ao material (distribuição granulométrica e características mecânicas) estão descritas nas imagens a seguir, fornecidas pelo DNIT.

Para se obter essas características, foram feitos 5 furos para a coleta de amostras de solo, estando estes, distantes 100 metros (5 estacas) uns dos outros. Dessa forma, pôde-se ter uma melhor abrangência da jazida e resultados mais próximos da realidade.

Gráfico 3 - Distribuição granulométrica do solo da jazida



Fonte: Adaptado do DNIT 2016

Quadro 6 - Propriedades mecânicas do solo da jazida

		MÉDIA	VAR.	X MIN	X MÁX
ENERGIA DE COMPACTAÇÃO: PROCTOR MODIFICADO	HOT	6,9	0,64	6	7,8
	D. MÁX	2,118	0,01	2,102	2,133
	I.S.C(*)	94	9,89	84	104

(*) Valores de ISC analisados em relação à umidade ótima.

Fonte: Adaptado do DNIT 2016

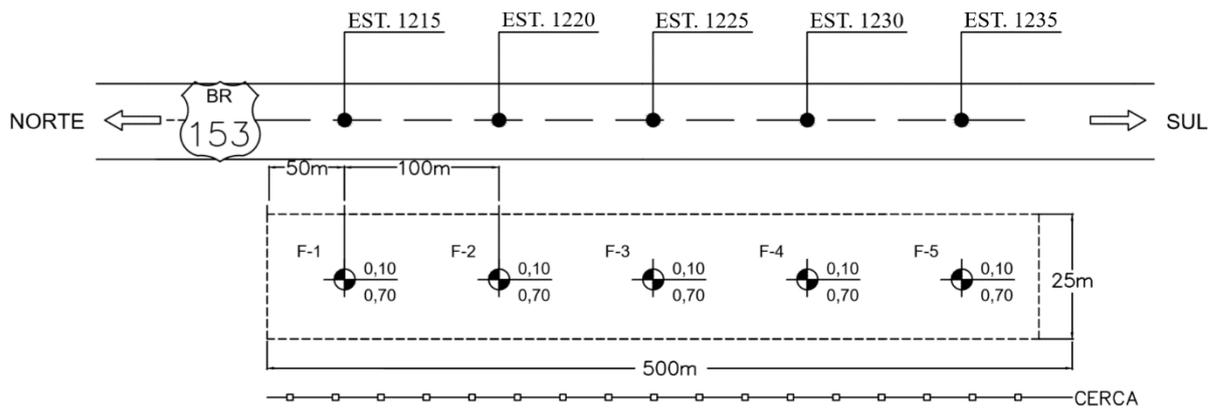
Dessa forma, observa-se que a jazida possui um CBR médio de 94% e densidade máxima de 2,12 Kg/m³.

4.1.2 Localização da jazida

O ponto médio da jazida está localizado 15 metros distante do eixo da rodovia, ao lado direito (sentido norte-sul), alinhado com a estaca 1225 (728590,0469 E; 8791483,4019 N).

O croqui a seguir ilustra a locação da jazida, de acordo com o eixo da pista.

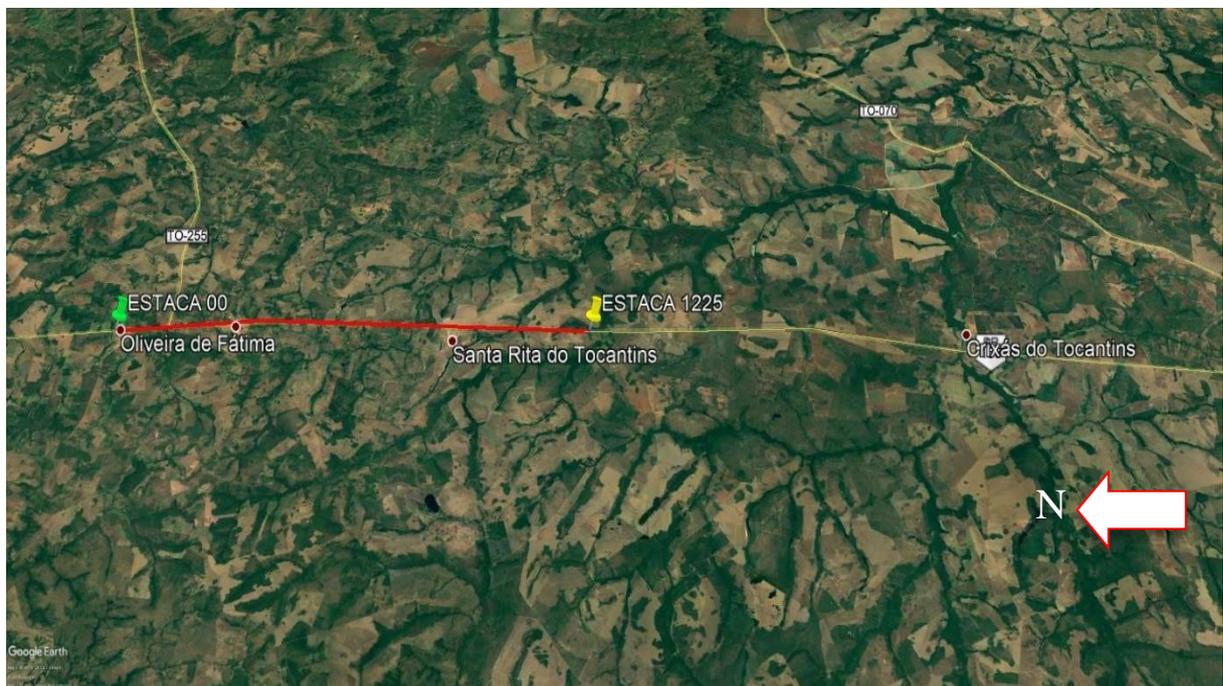
Figura 13 - Croqui de localização da jazida



Fonte: Adaptado do DNIT 2016

A situação da estaca 1225 com relação ao trecho de projeto está ilustrada na figura 18.

Figura 14 - Situação da estaca 1225



Fonte: Autor (2019)

4.1.3 Estudo de tráfego

De acordo com estudos fornecidos pelo DNIT, na determinação do número de operações do eixo padrão “N”, a contagem volumétrica classificatória de veículos (CVC) foi realizada nas proximidades do Km 560 da BR 153 durante 7 dias/24 horas, com uma taxa de crescimento de 3% ao ano e um período de projeto de 10 anos.

Assim, foi calculado um número “N” de:

- $8,71 \times 10^7$ para a faixa Sul-Norte;
- $7,52 \times 10^7$ para a faixa Norte-Sul.

Como dito anteriormente, será calculado um novo número “N” para comparar com o fornecido e fazer a escolha pelo que apresentar maior solicitação.

4.1.3.1 Contagem Classificatória

De acordo com os dados fornecidos pelo DNIT (2016), a Tabela 10 informa a média diária (7 dias) do volume de veículos, classificados pelo tipo, que trafegaram nas proximidades do Km 560 da BR 153 entre os dias 12 e 19 de setembro de 2016.

Tabela 10 – Resumo da contagem volumétrica classificatória (CVC) – (Continua)

Dia / Sentido	Total (7 dias)			Média (7 dias)		
	S-N	N-S	Geral	S-N	N-S	Geral
Passeio/útil.	7474	5289	12763	1068	756	1824
Ônibus 2CB	311	260	571	44	37	81
Ônibus 3CB	373	369	742	53	53	106
Caminhão 2C	672	535	1207	96	76	172
Caminhão 3C/4C	1394	1291	2685	199	184	383
2S1	13	16	29	2	2	4
2S2	591	474	1065	84	68	152
2S3	1071	921	1992	153	132	285
3S1	5	2	7	1	0	1
3S2	81	79	160	12	11	23
3S3	1940	1774	3714	277	253	530
3D4	1000	781	1781	143	112	255
2I2	49	35	84	7	5	12
2I3	26	38	64	4	5	9
3I2	14	12	26	2	2	4
3I3	303	322	625	43	46	89

Fonte: Adaptado do DNIT 2016.

Tabela 10 – Resumo da contagem volumétrica classificatória (CVC) – (Conclusão)

Dia / Sentido	Total (7 dias)			Média (7 dias)		
	S-N	N-S	Geral	S-N	N-S	Geral
3C2	8	21	29	1	3	4
3T6	677	551	1228	97	79	176
4CB	36	20	56	5	3	8
2C2	0	3	3	0	0	0
2J3	5	1	6	1	0	1
3S4	0	2	2	0	0	0
TOTAL	16043	12796	28839	2292	1828	4120

Fonte: Adaptado do DNIT 2016.

4.1.3.2 Determinação do volume médio diário (VMD)

Como visto anteriormente, o total de a considerar de veículos para cálculo são:

- Média S-N = 2292 – 1068 (Passeio/útil.) = 1224 veículos;
- Média N-S = 1828 – 756 (Passeio/útil.) = 1071 veículos.

Para a faixa S-N, temos:

$$VMD = \frac{VMDi * (2 + (P-1) * t / 100)}{2} \rightarrow \frac{1224 * (2 + (10-1) * 3 / 100)}{2} \rightarrow VMD = 1389,24 \text{ passagens}$$

Para a faixa N-S, temos:

$$VMD = \frac{VMDi * (2 + (P-1) * t / 100)}{2} \rightarrow \frac{1072 * (2 + (10-1) * 3 / 100)}{2} \rightarrow VMD = 1216,72 \text{ passagens}$$

4.1.3.3 Determinação do fator de eixo

Tabela 11 - Cálculo do fator de eixo – (Continua)

CLASSE	QUANT. DE EIXOS	MÉDIA DE PASSAGENS		Nº EIXOS X PASSAGENS	
		S-N	N-S	S-N	N-S
2CB	2	44	37	88	74
3CB	2	53	53	106	106
2C	2	96	76	192	152
3C	2	0	0	0	0
4C	2	199	184	398	368
2S1	3	2	2	6	6
2S2	3	84	68	252	204
2S3	3	153	132	459	396
3S1	3	1	0	3	0

Fonte: Autor (2019)

Tabela 11 - Cálculo do fator de eixo – (Conclusão)

CLASSE	QUANT. DE EIXOS	MÉDIA DE PASSAGENS		Nº EIXOS X PASSAGENS	
		S-N	N-S	S-N	N-S
3S2	3	12	11	36	33
3S3	3	277	253	831	759
3D4	4	143	112	572	448
2I2	4	7	5	28	20
2I3	5	4	5	20	25
3I2	4	2	2	8	8
3I3	5	43	46	215	230
3C2	4	1	3	4	12
3T6	5	97	79	485	395
4CB	2	5	3	10	6
2C2	4	0	0	0	0
2J3	4	1	0	4	0
3S4	4	0	0	0	0
TOTAL	73	1224	1071	3717	3242

$$\text{FATOR DE EIXO} = (\sum \text{Nº EIXOS} \times \text{PASSAGENS}) / (\sum \text{PASSAGENS})$$

Fonte: Autor (2019)

Dessa forma, o fator de eixo para cada faixa será:

- Para faixa S-N:

$$FE = \frac{3717}{1224} \rightarrow FE = 3,04$$

- Para faixa N-S:

$$FE = \frac{3242}{1071} \rightarrow FE = 3,03$$

4.1.3.2 Determinando fator de carga

Com base em um estudo do DNIT (2016), para o cálculo do fator de carga, além da classificação dos veículos, é necessário que se saiba as cargas para cada eixo em condições carregadas. Dessa forma, esse carregamento foi definido de acordo com a lei da balança vigente e, como indicação do Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006), majora-se em 5% sem que cada eixo ultrapasse 10% do excesso de carga normatizada.

Foi elaborada uma tabela referente as cargas de cada eixo, para cada classe veicular, disponível no apêndice “A”. Assim foi possível calcular o fator de carga unitário (Fci) dos respectivos eixos.

O fator de carga se dá somando os produtos dos fatores de cargas unitários de cada classe com as frequências relativas, sendo isso feito para cada faixa.

Tabela 12 - Determinação do fator de carga por faixa da pista

CLASSE	Fci (total da classe)	FREQUÊNCIA ABSOLUTA (Fi)		FREQUÊNCIA RELATIVA (fi)		Fci x fi (S-N)	Fci x fi (N-S)
		S-N	N-S	S-N	N-S		
2CB	5,6010	44	37	0,040	0,030	0,2240	0,1680
3CB	3,8242	53	53	0,040	0,050	0,1530	0,1912
2C	5,6010	96	76	0,080	0,070	0,4481	0,3921
3C	12,5185	0	0	0,000	0,000	0,0000	0,0000
4C	13,2835	199	184	0,160	0,170	2,1254	2,2582
2S1	10,2057	2	2	0,000	0,000	0,0000	0,0000
2S2	17,7752	84	68	0,070	0,060	1,2443	1,0665
2S3	17,9706	153	132	0,130	0,120	2,3362	2,1565
3S1	16,7503	1	0	0,000	0,000	0,0000	0,0000
3S2	24,1054	12	11	0,010	0,010	0,2411	0,2411
3S3	23,7322	277	253	0,230	0,240	5,4584	5,6957
3D4	35,4852	143	112	0,120	0,100	4,2582	3,5485
2I2	14,8609	7	5	0,010	0,000	0,1486	0,0000
2I3	19,3470	4	5	0,000	0,000	0,0000	0,0000
3I2	21,1894	2	2	0,000	0,000	0,0000	0,0000
3I3	24,6063	43	46	0,040	0,040	0,9843	0,9843
3C2	21,1894	1	3	0,000	0,000	0,0000	0,0000
3T6	47,0721	97	79	0,080	0,070	3,7658	3,2950
4CB	14,2567	5	3	0,000	0,000	0,0000	0,0000
2C2	14,8609	0	0	0,000	0,000	0,0000	0,0000
2J3	22,3172	1	0	0,000	0,000	0,0000	0,0000
3S4	35,4852	0	0	0,000	0,000	0,0000	0,0000
TOTAL		1224	1071	Fc=		21,3874	19,9971

Fonte: Adaptado do DNIT 2016

4.1.3.3 Determinação do número de operações do eixo padrão

Assim, a determinação do número “N” se dá por:

$$N = 365 * VMD * P * FC * FE * FR$$

- Para a faixa S-N:

VMD = 1389,24 passagens;

FE = 3,04 eixos;

FC = 21,3874;

P = 10 anos;

FR = Adotado como 1,0.

$$N = 365 * 1389,24 * 10 * 21,3874 * 3,04$$

$$N = 3,30 \times 10^8$$

- Para a faixa N-S

VMD = 1276,12 passagens;

FE = 3,03 eixos;

FC = 5,3770;

P = 10 anos;

FR = Adotado como 1,0.

$$N = 365 * 1276,12 * 10 * 5,3770 * 3,03$$

$$N = 2,82 \times 10^8$$

Em suma, podemos observar que o número de operações do eixo padrão calculado foi maior que o fornecido, sendo considerado então o de cálculo ($3,30 \times 10^8$ para faixa S-N e $2,82 \times 10^8$ para faixa N-S). De acordo com o Quadro 4 (pag. 34) e com o especificado na pag. 34 a respeito do valor do número “N”, podemos concluir que o revestimento será de concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura e a base do pavimento terá de apresenta CBR superior ou igual a 80%.

4.2 DIMENSIONAMENTO MÉTODO DO CBR

No dimensionamento, serão admitidos 3 faixas para elaboração dos perfis, tendo como critério os valores de CBR de subleito, adotando sempre o valor inferior da faixa para cálculo.

Assim, as faixas para os perfis são: de 11% a 14%, de 14% a 17% e a última faixa para valores superiores a 17%.

Serão também considerados no cálculo:

- Número “N” = $3,30 \times 10^8$;
- $K_r = 2,00$ e $K_b = 1,00$

- Para: $11\% \leq \text{CBR} \leq 14\%$.

$$H_{20} = 77,67 \times N^{0,0482} \times \text{CBR}^{-0,598}$$

$$H_{20} = 77,67 \times (3,30 \times 10^8)^{0,0482} \times 11^{-0,598}$$

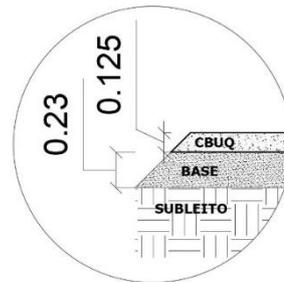
$$H_{20} = 47,65 \text{ cm} \sim 48 \text{ cm}$$

$$R \times K_r + B \times K_b \geq H_{20}$$

$$12,50 \times 2,00 + B \times 1,00 \geq 48$$

$$B = 23 \text{ cm}$$

PERFIL 01



- Para: $14\% < \text{CBR} \leq 17\%$.

$$H_{20} = 77,67 \times N^{0,0482} \times \text{CBR}^{-0,598}$$

$$H_{20} = 77,67 \times (3,30 \times 10^8)^{0,0482} \times 14^{-0,598}$$

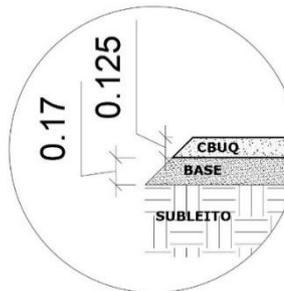
$$H_{20} = 41,25 \text{ cm} \sim 42 \text{ cm}$$

$$R \times K_r + B \times K_b \geq H_{20}$$

$$12,50 \times 2,00 + B \times 1,00 \geq 42$$

$$B = 17 \text{ cm}$$

PERFIL 02



- Para $\text{CBR} > 17\%$.

$$H_{20} = 77,67 \times N^{0,0482} \times \text{CBR}^{-0,598}$$

$$H_{20} = 77,67 \times (3,30 \times 10^8)^{0,0482} \times 17^{-0,598}$$

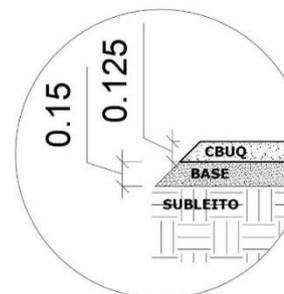
$$H_{20} = 36,73 \text{ cm} \sim 37 \text{ cm}$$

$$R \times K_r + B \times K_b \geq H_{20}$$

$$12,50 \times 2,00 + B \times 1,00 \geq 37$$

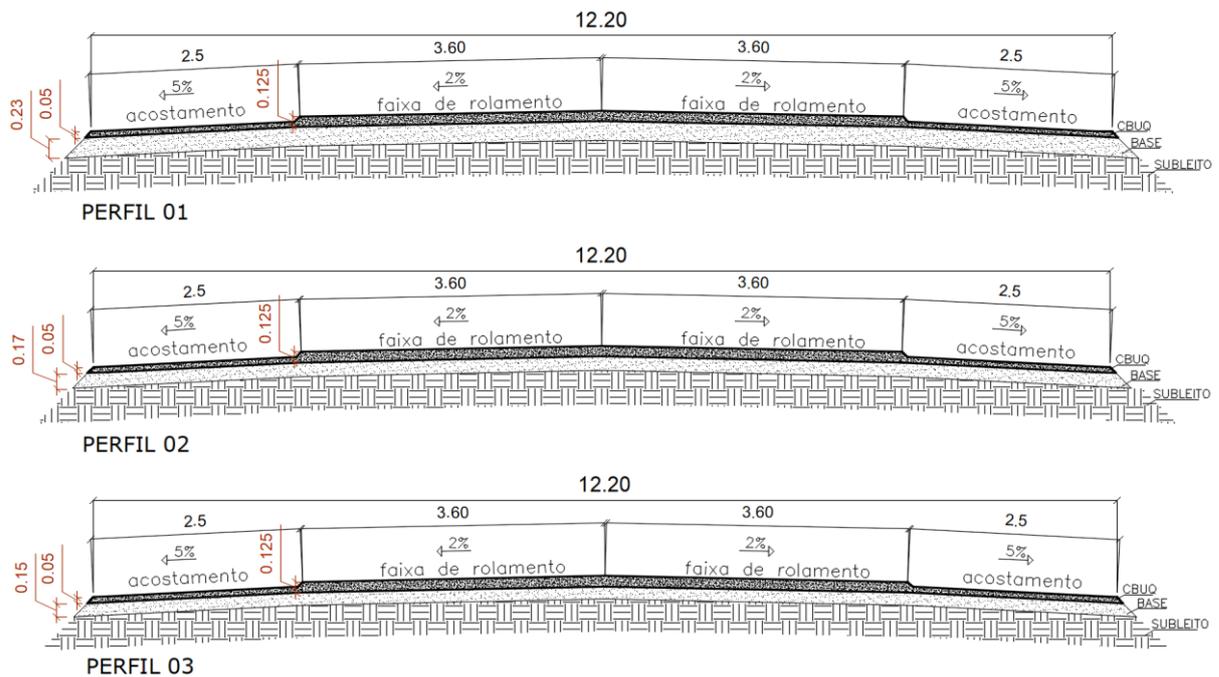
$$B = 12 \sim 15 \text{ cm (espessura mínima)}$$

PERFIL 03



A seguir, está a representação gráfica dos perfis estruturais do pavimento, calculado pelo método do CBR.

Figura 15 - Seção do pavimento dimensionado pelo método do CBR – (m)



Fonte: Autor (2019)

4.3 DIMENSIONAMENTO MÉTODO DA RESILIÊNCIA

Para o dimensionamento pelo método da resiliência, primeiramente é realizada a classificação do solo quanto a resiliência. O percentual de silte e valor de CBR foram calculados uma média para um sub-trecho, determinado entre dois pontos de coleta.

Tabela 13 - Sub-trechos e médias de CBR e siltes (%) – (Continua)

SUB TRECHOS	MÉDIA DE CBR	MÉDIA % SILTE
0-1	18,4	20,1
1-2	16,7	16,15
2-3	16,8	16,3
3-4	15,6	12,75
4-5	15	12,95
5-6	16,6	16,75
6-7	18,3	10
7-8	19	5,85
8-9	16,6	6,5
9-10	17,2	10,05
10-11	21,2	14,5
11-12	23,1	14,25
12-13	18	15,2
13-14	16,9	15,7

Fonte: Adaptado do DNIT 2016

Tabela 14 - Sub-trechos e médias de CBR e siltes (%) – (Conclusão)

SUB TRECHOS	MÉDIA DE CBR	MÉDIA % SILTE
14-15	17,7	18,85
15-16	19,4	22,15
16-17	17	32,65
17-18	13,4	34,75
18-19	16,5	19,9
19-20	15,9	8,8
20-21	16,8	6,6

Fonte: Adaptado do DNIT 2016

Devido aos os valores de CBR serem maiores de 10% e aos percentuais de silte serem inferiores de 35%, a classificação do solo (de acordo com o Quadro 5, pag. 36) de todos os sub-trechos foi considerada “I”. Dessa forma, l_1 e l_2 são iguais a 0.

Para a determinação da altura total do pavimento, foi utilizado o resultado obtido no dimensionamento anterior, para determinação do H_{20} . Assim:

- Para $11\% \leq \text{CBR} \leq 14\% \rightarrow H_t = 48\text{cm}$
- Para $14\% < \text{CBR} \leq 17\% \rightarrow H_t = 42\text{cm}$
- Para $\text{CBR} > 17\% \rightarrow H_t = 37\text{cm}$

A determinação da deflexão da camada de revestimento se dá pela equação 11 (pag. 37).

Logo: $N = 3,30 \times 10^8$

$$\log D = 3,148 - 0,188 \log N$$

$$\log D = 3,148 - 0,188 \log 3,30 \times 10^8$$

$$D = 35,20 \text{ mm}$$

Assim, a determinação da espessura da camada betuminosa se dá pela equação 12 (pag. 37).

Logo:

$$- D_P = 35,20$$

$$- l_1 \text{ e } l_2 = 0$$

$$H_{CB} = -5,737 + \frac{807,961}{D_P} + 0,972 \cdot l_1 + 4,101 \cdot l_2$$

$$H_{CB} = -5,737 + \frac{807,961}{35,20} + 0,972 \cdot 0 + 4,101 \cdot 0$$

$$H_{CB} = 17,22 \sim 18\text{cm}$$

Será adotada a espessura de 12,50cm, sendo essa, o limite máximo estabelecido pelo DNIT (2006).

A determinação da camada granular se dá pela equação 13 (pag. 37). Logo:

- $V_e = 2,80$ (Tabela 8, pag. 38);

- $H_{CB} = 12,50\text{cm}$.

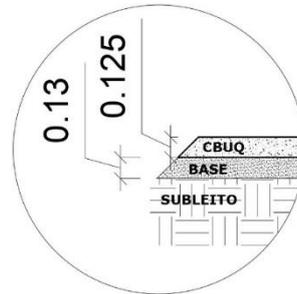
- Para $11\% \leq \text{CBR} \leq 17\%$

$$H_{CG} = H_t - H_{CB} \times V_e$$

$$H_{CG} = 48 - 12,50 \times 2,80$$

$$H_{CG} = 13\text{cm}$$

PERFIL 01



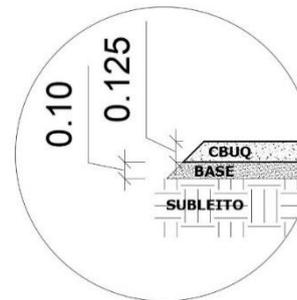
- Para $\text{CBR} > 17\%$

$$H_{CG} = H_t - H_{CB} \times V_e$$

$$H_{CG} = 37 - 12,50 \times 2,80$$

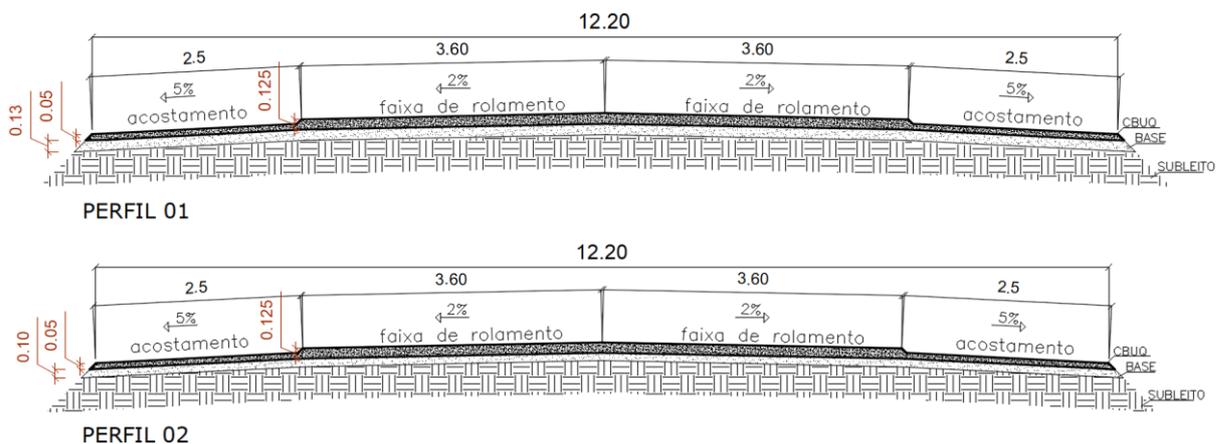
$H_{CG} = 2\text{cm} \sim 10\text{cm}$ (espessura mínima)

PERFIL 02



A seguir, está a representação gráfica do perfil estrutural do pavimento referente a cada perfil, dimensionado pelo método da resiliência.

Figura 16 - Seção do pavimento dimensionado pelo método da resiliência – (m)



Fonte: Autor (2019)

Em suma, observou-se que, devido ao grande fluxo de tráfego, foi adotada a espessura máxima para a camada betuminosa, de 12,50cm (DNIT, 2006) em toda a extensão do trecho, para ambos os dimensionamentos.

Com relação as camadas estruturais, componentes do pavimento, foi definida apenas a camada betuminosa de revestimento e uma camada de base sobre o subleito, também para ambos os dimensionamentos, como representados nas figuras 18 e 19.

Como visto, apenas a espessura da base sofreu variações entre os dimensionamentos. A Tabela 14 compara os resultados obtidos entre essas espessuras.

Tabela 15 - Relação entre as espessuras dos dois dimensionamentos

SUB TRECHOS	MÉDIA DE CBR	BASE (cm)	
		MÉTODO DO CBR	MÉTODO DA RESILIÊNCIA
0-1	18,4	15	10
1-2	16,7	17	10
2-3	16,8	17	10
3-4	15,6	17	13
4-5	15	17	13
5-6	16,6	17	10
6-7	18,3	15	10
7-8	19	15	10
8-9	16,6	17	10
9-10	17,2	15	10
10-11	21,2	15	10
11-12	23,1	15	10
12-13	18	15	10
13-14	16,9	17	10
14-15	17,7	15	10
15-16	19,4	15	10
16-17	17	17	10
17-18	13,4	23	13
18-19	16,5	17	10
19-20	15,9	17	13
20-21	16,8	17	10

Fonte: Autor (2019)

É importante salientar que os valores de 15 e 10 centímetros, apresentados na Tabela 13, são referentes às espessuras mínimas, específicas de cada método. Ou seja, poderiam estes serem iguais, mas por uma questão individual de cada metodologia, esses mínimos se divergem.

4.4 ORÇAMENTO DE PROJETO

Para a determinação do custo de cada dimensionamento e o posterior comparativo, é necessário analisar um dimensionamento por vez. Sendo assim, o orçamento será dividido em: Projeto 01 – Método do CBR e Projeto 02 – Método da resiliência.

Por se tratar de uma proposta de projeto, o BDI foi arbitrado seguindo a recomendação do TCU, acórdão 2622/2013, resultando em um valor de 23,38% (cálculo disponível no anexo “A”), porém utilizado o mesmo para ambos os orçamentos, garantindo assim a mesma homogeneidade no processo de orçamento.

4.4.1 Projeto 01 – Método do CBR

Para auxiliar na quantificação dos serviços, foi elaborada a Tabela 15 para a determinação do volume da camada de base, dimensionada pelo método do CBR.

Tabela 16 - Cálculo do volume de base dimensionada pelo método do CBR

SUB TRECHOS	EXTENSÃO (m)	LARG. (m)	PROF. (cm)	VOLUME (m ³)
0-1	2.170	12,20	15	3.971,10
1-2	1.800	12,20	17	3.733,20
2-3	3.924	12,20	17	8.138,38
3-4	2.166	12,20	17	4.492,28
4-5	2.010	12,20	17	4.168,74
5-6	2.010	12,20	17	4.168,74
6-7	2.155	12,20	15	3.943,65
7-8	2.008	12,20	15	3.674,64
8-9	2.123	12,20	17	4.403,10
9-10	2.018	12,20	15	3.692,94
10-11	2.016	12,20	15	3.689,28
11-12	2.030	12,20	15	3.714,90
12-13	1.973	12,20	15	3.610,59
13-14	2.050	12,20	17	4.251,70
14-15	1.945	12,20	15	3.559,35
15-16	2.049	12,20	15	3.749,67
16-17	2.008	12,20	17	4.164,59
17-18	2.068	12,20	23	5.802,81
18-19	2.026	12,20	17	4.201,92
19-20	2.394	12,20	17	4.965,16
20-21	2.487	12,20	17	5.158,04
VOLUME DE BASE (MÉTODO CBR)				91.254,78

Fonte: Autor (2019)

A partir do valor do volume total de base, e do projeto geométrico já realizado, é possível quantificar os serviços referentes a pavimentação granular. Para isso, foi elaborado um memorial de cálculo, contabilizando os serviços de pavimentação granular e do revestimento, localizada no Apêndice “B”.

A partir dos quantitativos dos serviços, calculados no memorial, foi elaborada uma planilha orçamentária, sendo os custos unitários obtidos na composição SICRO de abril de 2019, disponibilizado pelo DNIT.

Quadro 7 - Planilha orçamentária do dimensionamento pelo método do CBR

PROJETO: Pavimentação Asfáltica					SICRO: 04/2019 N - DESONERADO			
LOCAL: Trecho da BR-153 (Oliveira de Fátima - Crixás do Tocantins)								
BDI: 23,38% ENCARGOS SOCIAIS SOBRE PREÇOS DA MÃO-DE-OBRA: 117,67%(HORA); 74,20%(MÊS)								
Item	Código	Descrição	Unid	Qtde	SEM BDI		COM BDI	
					R\$	TOTAL	R\$ c/ BDI	TOTAL
1		PAVIMENTAÇÃO						
1.1		PAVIMENTAÇÃO GRANULAR						
1.1.1	5502985	Limpeza mecanizada da camada vegetal - JAZIDA	m ²	55.643,16	0,37	20.587,97	0,46	25.595,85
1.1.2	4016008	Escavação e carga de material de jazida com trator de 112 kW e carregadeira de 3,3 m ³	m ³	95.817,52	2,48	237.627,45	3,06	293.201,61
1.1.3	5914335	Transporte com caminhão basculante de 12m ³ - rodovia em revestimento primário	tkm	345.000,55	0,46	158.700,25	0,57	196.650,31
1.1.4	4011219	Base de solo estabilizado granulometricamente sem mistura com material de jazida	m ³	91.254,78	7,70	702.661,81	9,50	866.920,41
					SUBTOTAL	1.119.577,48		1.382.368,18
1.2		PAVIMENTAÇÃO REVESTIMENTO						
1.2.1	4011351	Imprimação com asfalto diluído	m ²	554.246,00	0,24	133.019,04	0,30	166.273,80
1.2.2	4011463	Concreto asfáltico - faixa C - areia e brita comerciais	t	125.386,80	134,73	16.893.363,56	166,23	20.843.047,76
1.2.3	5914613	Transporte de mistura betuminosa em caminhão com caçamba térmica	tkm	11.391.390,78	0,54	6.151.351,02	0,67	7.632.231,82
					SUBTOTAL	23.177.733,62		28.641.553,38
TOTAL DE PAVIMENTAÇÃO						24.297.311,10	C/BDI	30.023.921,56

Fonte: Autor (2019)

De acordo com as planilhas apresentadas, observou-se que o custo total do projeto de pavimentação, dimensionado pelo método do CBR, foi de R\$ 30.023.921,56 com o BDI adotado de 23,38%.

Deste valor total, a execução do revestimento (CBUQ) é responsável por 95,40% (R\$ 30.023.921,56), restando apenas 4,60% (1.382.368,18) do valor total para a execução da camada granular.

4.4.2 Projeto 02 – Método da resiliência

Da mesma forma que para o projeto 01, foi determinado o volume total de base, agora, dimensionada pelo método da resiliência, com o auxílio da Tabela 16. Posteriormente, foi elaborado um memorial de cálculo, disponível no apêndice “C”, e a planilha orçamentária definindo o custo total do dimensionamento pelo método da resiliência.

Tabela 17 - Cálculo do volume de base pelo método da resiliência

SUB TRECHOS	EXTENSÃO (m)	LARG. (m)	PROF. (cm)	VOLUME (m ³)
0-1	2.170	12,20	10	2.647,40
1-2	1.800	12,20	10	2.196,00
2-3	3.924	12,20	10	4.787,28
3-4	2.166	12,20	13	3.435,28
4-5	2.010	12,20	13	3.187,86
5-6	2.010	12,20	10	2.452,20
6-7	2.155	12,20	10	2.629,10
7-8	2.008	12,20	10	2.449,76
8-9	2.123	12,20	10	2.590,06
9-10	2.018	12,20	10	2.461,96
10-11	2.016	12,20	10	2.459,52
11-12	2.030	12,20	10	2.476,60
12-13	1.973	12,20	10	2.407,06
13-14	2.050	12,20	10	2.501,00
14-15	1.945	12,20	10	2.372,90
15-16	2.049	12,20	10	2.499,78
16-17	2.008	12,20	10	2.449,76
17-18	2.068	12,20	13	3.279,85
18-19	2.026	12,20	10	2.471,72
19-20	2.394	12,20	13	3.796,88
20-21	2.487	12,20	10	3.034,14
VOLUME DE BASE (MÉTODO RESIL.)				58.586,11

Fonte: Autor (2019)

Quadro 8 - Planilha orçamentária do dimensionamento pelo método da resiliência

PROJETO: Pavimentação Asfáltica							SICRO: 04/2019 N - DESONERADO	
LOCAL: Trecho da BR-153 (Oliveira de Fátima - Crixás do Tocantins)								
BDI: 23,38% ENCARGOS SOCIAIS SOBRE PREÇOS DA MÃO-DE-OBRA: 117,67%(HORA); 74,20%(MÊS)								
					SEM BDI		COM BDI	
Item	Código	Descrição	Unid	Qtde	R\$	TOTAL	R\$ c/ BDI	TOTAL
1		PAVIMENTAÇÃO						
1.1		PAVIMENTAÇÃO GRANULAR						
1.1.1	5502985	Limpeza mecanizada da camada vegetal - JAZIDA	m²	35.723,24	0,37	13.217,60	0,46	16.432,69
1.1.2	4016008	Escavação e carga de material de jazida com trator de 112 kW e carregadeira de 3,3 m³	m³	61.515,42	2,48	152.558,24	3,06	188.237,19
1.1.3	5914335	Transporte com caminhão basculante de 12m³ - rodovia em revestimento primário	tkm	221.492,40	0,46	101.886,50	0,57	126.250,67
1.1.4	4011219	Base de solo estabilizado granulometricamente sem mistura com material de jazida	m³	58.586,11	7,70	451.113,05	9,50	556.568,05
					SUBTOTAL	718.775,39		887.488,60
1.2		PAVIMENTAÇÃO REVESTIMENTO						
1.2.1	4011351	Imprimação com asfalto diluído	m²	554.246,00	0,24	133.019,04	0,30	166.273,80
1.2.2	4011463	Concreto asfáltico - faixa C - areia e brita comerciais	t	125.386,80	134,73	16.893.363,56	166,23	20.843.047,76
1.2.3	5914613	Transporte de mistura betuminosa em caminhão com caçamba térmica	tkm	11.391.390,78	0,54	6.151.351,02	0,67	7.632.231,82
					SUBTOTAL	23.177.733,62		28.641.553,38
TOTAL DE PAVIMENTAÇÃO						23.896.509,01	C/BDI	29.529.041,98

Fonte: Autor (2019)

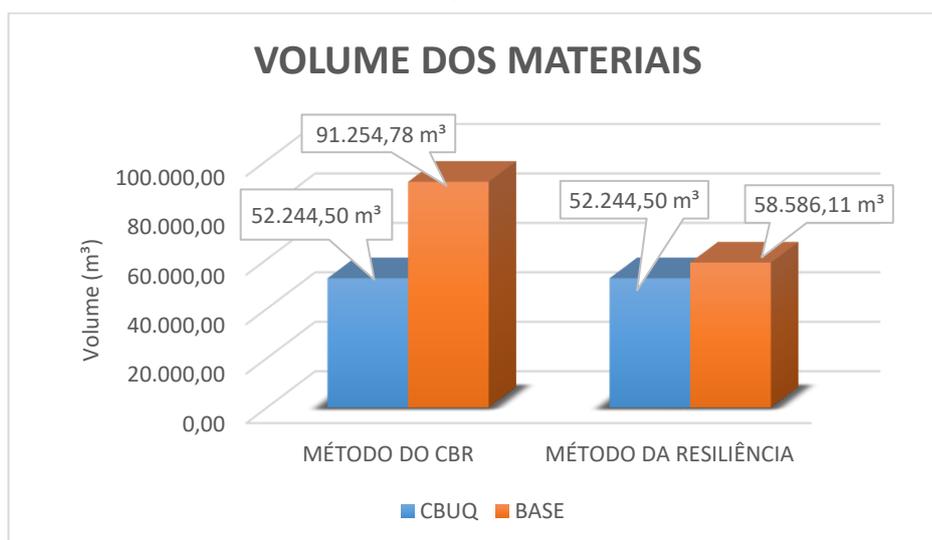
Como observado na planilha orçamentária acima, o custo total do projeto de pavimentação, dimensionado pelo método da resiliência, foi de R\$ 29.529.041,98 com o mesmo BDI do projeto anterior (23,38%).

Deste valor total, a execução do revestimento (CBUQ) também ficou responsável pela maior parcela do orçamento, cerca de 96,99%, possuindo o mesmo valor do projeto 01, devido as singularidades das dimensões da camada nos dois dimensionamentos, restando apenas 3,01% (887.488,60) do valor total para a execução da camada granular.

4.4.3 Análise dos resultados

Para ilustrar melhor o quantitativo de material calculado para cada método de dimensionamento, foi elaborado o Gráfico 4.

Gráfico 4 - Volume dos materiais para cada método de dimensionamento



Fonte: Autor (2019)

Se tratando de custo, os valores obtidos nas duas análises foram tecnicamente similares, sendo o método do CBR apresentando o custo apenas 1,68% mais elevado, calculado uma média de R\$ 54,17/m², enquanto que o dimensionamento pelo método da resiliência foi de R\$ 53,28/m².

Se levarmos em consideração que as dimensões da camada betuminosa (CBUQ) são idênticas, e que o custo representa mais de 95% do valor total em ambos os dimensionamentos, podemos então analisar somente a parte de pavimentação granular do projeto, o que apresentou as diferenças mais significativas.

Foi elaborada uma planilha comparativa contendo apenas a relação de custo da camada granular do projeto para ambos os dimensionamentos.

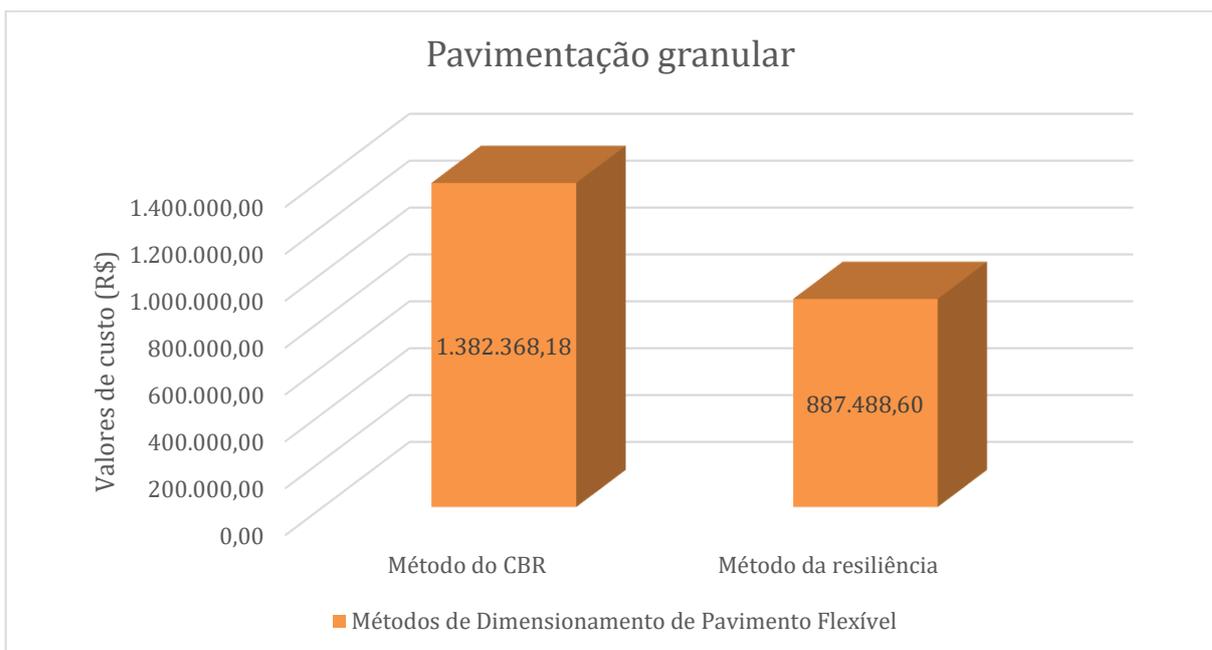
Quadro 9 - Planilha comparativa de custo de pavimentação granular

Item	Código	Descrição	Unid	R\$ c/BDI	Método do CBR		Método da resiliência	
					Quant	Total	Quant	Total
1.1 PAVIMENTAÇÃO GRANULAR								
1.1.1	5502985	Limpeza mecanizada da camada vegetal - JAZIDA	m ²	0,46	55.643,16	25.595,85	35.723,24	16.432,69
1.1.2	4016008	Escavação e carga de material de jazida com trator de 112 kW e carregadeira de 3,3 m ³	m ³	3,06	95.817,52	293.201,61	61.515,42	188.237,19
1.1.3	5914335	Transporte com caminhão basculante de 12m ³ - rodovia em revestimento primário	tkm	0,57	345.000,55	196.650,31	221.492,40	126.250,67
1.1.4	4011219	Base de solo estabilizado granulometricamente sem mistura com material de jazida	m ³	9,50	91.254,78	866.920,41	58.586,11	556.568,05
						1.382.368,18		887.488,60

Fonte: Autor (2019)

Neste caso, os resultados foram mais expressivos, com custo total da camada granular, dimensionada pelo método do CBR sendo de R\$ 1.382.368,18, enquanto que pelo método da resiliência foi de R\$ 887.488,60, sendo assim, 35,80% menor. O Gráfico 5 ilustra essa diferença.

Gráfico 5 - Custo da pavimentação granular dos dimensionamentos



Fonte: Autor (2019)

5 CONCLUSÃO

No âmbito da engenharia, é de grande importância o emprego de técnicas consagradas para dimensionamentos, nas quais se consiga elementos úteis e duráveis, mas que também possuam custos mais acessíveis. Nesse cenário, é possível otimizar o dimensionamento sem, teoricamente, perder suas propriedades projetuais, apenas alterando o método de como este é realizado.

O presente estudo realizou dois dimensionamentos de pavimentos flexíveis para um mesmo trecho, fazendo uso de métodos diferentes do DNIT, sendo um o método do CBR (largamente utilizado) e o outro, o da resiliência. Por conseguinte, foi elaborado um orçamento para as duas situações, sob as mesmas circunstâncias para um posterior comparativo de custo e determinação do método mais, tecnicamente, econômico.

Para tanto, foi necessário conhecer as características do solo, como: CBR de subleito e percentual de siltes, e o tráfego no local, assim também como estudos de jazidas próximas ao trecho. Logo, o DNIT subsidiou todos os dados necessários para que fosse possível a realização do estudo.

Nos dimensionamentos, verificou-se que as camadas de revestimento para os dois dimensionamentos apresentaram a espessura máxima recomendada pelo DNIT (12,50cm) nas faixas de rolamento e, adotada uma espessura de 5cm para os acostamentos. Vale ressaltar que o valor calculado da espessura da camada de revestimento pelo método da resiliência foi bem superior (18cm), o que poderia revelar resultados bem diferentes.

Nas camadas granulares, determinou-se apenas uma camada de base sobre o subleito, sendo as espessuras, calculadas para faixas de CBR, a fim de melhor exequibilidade numa presumível execução.

No método do CBR, foi adotado perfis diferentes para 3 faixas de CBR, apresentando espessuras de base de 23, 17 e 15 centímetros, sendo esta última, a espessura mínima admitida pelo método. No método da resiliência, a faixa de perfis foi menor ainda, apresentando apenas dois modelos com espessuras de base com 13 e 10 centímetros, sendo esta última, também a espessura mínima admitida para este método.

A definição dos subtrechos foi definida entre os pontos de coleta de corpo de prova para caracterização do solo, e a escolha dos perfis a compor estes foi feita a partir da média do CBR entre os mesmos, procurando estar na faixa de CBR indicada de cada dimensionamento.

Foi realizado então, o processo de orçamento para os dois dimensionamentos, sendo atribuído um valor de BDI para ambos, de forma a fidelizar o estudo. Se sucedeu então em elaboração de planilhas, de memorial de cálculo e orçamentária, com base de preços do SICRO de abril de 2019 para o melhor embasamento de custos rodoviários.

Finalmente, pôde-se observar que o custo total de ambos foi bem semelhante, com o custo do método do CBR sendo 1,68% maior em relação ao outro. Porém, saindo da visão geral, o custo da camada de CBUQ mascara a relação de custo entre as camadas granulares, abrangendo mais de 95% do valor bruto. Levando em consideração que foram adotadas as mesmas espessuras de revestimento para os dois dimensionamentos (12,50cm), foi concluído que seria mais significativo para a pesquisa se a avaliação do orçamento fosse feita contendo apenas os valores da camada granular.

Dessa forma, observou-se que, sob as mesmas condições, o custo total da execução de um projeto de pavimentação flexível pelo método da CBR foi de R\$ 1.382.368,18 enquanto que o método da resiliência foi de 887.488,60, sendo assim 35,80% menor em relação ao primeiro, o mais utilizado atualmente em projetos de pavimento no Brasil.

Contudo, observou-se que o método da resiliência tem uma melhor tolerância com relação a dimensão das camadas granulares, além de que possuir uma espessura mínima menor com relação ao outro método, o que faz uma grande diferença na questão financeira. Concluiu-se que, para o objeto de estudo em questão e levando em consideração que ambos os métodos apresentam a mesma eficácia em resistir aos esforços provenientes do tráfego, e adotando a mesma espessura de revestimento (recomendação de máximo pelo DNIT), o método da resiliência é a opção mais vantajosa em projetos de dimensionamento de pavimento flexível.

Em relevância ao tema, recomendo aos trabalhos futuros que façam o comparativo financeiro entre dimensionamentos de pavimento flexível e pavimentos rígidos, entre dimensionamentos com solo comum e solo-cimento ou então, realizar o mesmo estudo, mas em um local diferente, buscando parâmetros distintos, como volume de tráfego baixo e um subleito de menor qualidade, ou até mesmo adotar a espessura de revestimento encontrada em cálculo pelo método da resiliência, cogitando a hipótese de uma aplicação de CBUQ com mais de 12,50cm de espessura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALBO, Jose Tadeu. **Pavimentação Asfáltica:** materiais, projetos e restaurações. São Paulo,sp: Oficina de Textos, 2007. 555 p.

BBC NEWS. **Por que o Brasil depende tanto do transporte rodoviário?.** 75% das mercadorias no país têm seu escoamento feito pela malha rodoviária; consultores dizem que prioridade política sempre foi pelo transporte rodoviário. 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/por-que-o-brasil-depende-tanto-do-transporte-rodoviario.ghtml>>. Acesso em: 25 abr. 2019.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica:** formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/ABEDA, 2006.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADA E RODAGEM. **Manual de Pavimentação.** 2. ed. Rio de Janeiro: Dner / Abnt, 1996. 320 p.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação.** 3. ed. Rio de Janeiro: Dnit / Abnt, 2006a. 274 p.

_____. **Manual de Custos Rodoviários.** 3. ed. Rio de Janeiro: Dnit / Abnt, 2003. 99 p.

_____. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Dnit / Abnt, 2006b. 310 p.

_____. **Manual de Estudos de Tráfego.** 3. ed. Rio de Janeiro: Dnit / Abnt, 2006c. 384 p.

_____. **Quadro de Fabricantes dos Veículos.** 3. ed. Rio de Janeiro: Dnit / Abnt, 2012.

BRITO, Lélío Antônio Teixeira; GRAEFF, Ângela Gaio. **Métodos de Dimensionamento de Pavimentos:** Metodologias e seus impactos nos projetos de pavimentos Novos e Restaurações. Porto Alegre: Prime Engenharia e Consultoria Ltda., 2009. 93 p.

CAPUTO, Homero Brito. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações.** 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc Editora S.a., 1988.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES (CNT). **Por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?:** Veja os resultados do estudo inédito da Confederação Nacional do Transporte. 2017. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Imprensa/Noticia/cnt-divulga-estudo-por-que-pavimento-rodovias-brasil-nao-duram-resultados>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

_____. **Somente 12,4% da malha rodoviária brasileira é pavimentada:** Dados do Anuário CNT do Transporte mostram baixa oferta de infraestrutura para o transporte rodoviário e crescimento acelerado da frota. 2018. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/imprensa/noticia/somente-12-da-malha-rodoviaria-brasileira-pavimentada>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

DIAS, Paulo Roberto Vilela. **Engenharia de custos:** Uma metodologia de orçamentação para obras civis. 9. ed. Rio de Janeiro: Vx Comunicação, 2011. 219 p.

MATTOS, Aldo Dórea. **Como preparar orçamento de obras:** Dicas para orçamentistas - Estudos de caso - Exemplos. São Paulo: Pini Ltda., 2006. 281 p.

SANTOS, C.R.G. (2011). **Dimensionamento e análise do ciclo de vida de pavimentos rodoviários: uma análise probabilística.** Tese (Doutorado). Escola Politécnica de São Paulo da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação.** 2. ed. São Paulo: Pini Ltda., 2007.

TISAKA, Maçahiko. **Orçamento na construção civil:** Consultoria, projeto e execução. São Paulo: Pini Ltda., 2006. 367 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Quadro de cargas por eixo das classes veiculares

Planilha elaborada com o auxílio do Anexo B, para verificação das tipologias das cargas e dos eixos dos veículos.

CLASSE	TIPOS DE EIXO			Fci		
	ES (tf)	ETD (tf)	ETT (tf)	ES	ETD	ETT
2CB	6,00			0,2779		
	10,80			5,3231		
3CB	6,00	14,48		0,2779	3,55	
2C	6,00			0,2779		
	10,80			5,3231		
3C	6,00	18,15		0,2779	12,24	
4C	6,00	27,08		0,2779	109,84	
2S1	6,00			0,2779		
	10,30			3,9574		
	11,00			5,9704		
2S2	6,00	18,65		0,2779	14,21	
	10,00			3,2895		
2S3	6,00		27,58	0,2779		14,40
	10,00			3,2895		
3S1	6,00	17,65		0,2779	10,50	
	6,00			0,2779		
3S2	6,00	17,30		0,2779	9,41	
		18,70			14,42	
3S3	6,00	17,00	27,75	0,2779	8,55	14,91
3D4	6,00	17,00		0,2779	8,55	
		18,15			12,24	
		18,70			14,42	
2I2	6,00			0,2779		
	10,00			3,2895		
	10,80			5,3231		
	11,00			5,9704		
2I3	6,00			0,2779		
	10,00			3,2895		
	10,25			3,8388		
	11,00			5,9704		
	11,00			5,9704		

CLASSE	TIPOS DE EIXO			Fci		
	ES (tf)	ETD (tf)	ETT (tf)	ES	ETD	ETT
3I2	6,00	17,15		0,2779	8,97	
	11,00			5,9704		
	11,00			5,9704		
3I3	6,00	17,00		0,2779	8,55	
	10,25			3,8388		
	11,00			5,9704		
	11,00			5,9704		
3C2	6,00	17,15		0,2779	8,97	
	11,00			5,9704		
	11,00			5,9704		
3T6	6,00	17,00		0,2779	8,55	
		17,03			8,63	
		18,70			14,42	
		18,70			14,42	
4CB	6,00	14,78		0,2779	3,97	
	6,00			0,2779		
2C2	6,00			0,2779		
	10,00			3,2895		
	10,80			5,3231		
	11,00			5,9704		
2J3	6,00	18,70		0,2779	14,42	
	10,00			3,2895		
	10,45			4,3319		
3S4	6,00	17,00		0,2779	8,55	
		18,15			12,24	
		18,70			14,42	

APÊNDICE B – Memorial de Cálculo do dimensionamento pelo método do CBR

PROJETO: Pavimentação Asfáltica			
LOCAL: Trecho da BR-153 (Oliveira de Fátima - Crixás do Tocantins)			
Item	Descrição	Unid	Qtde
1	PAVIMENTAÇÃO		
1.1	PAVIMENTAÇÃO GRANULAR		
1.1.1	Limpeza mecanizada da camada vegetal - JAZIDA	m ²	55.643,16
A=Volume(m ³) /1,64m =		55.643,16	m ³
1.1.2	Escavação e carga de material de jazida com trator de 112 kW e carregadeira de 3,3 m ³	m ³	95.817,52
Volume de esc. = (volume de base * 1,05) =		95.817,52	m ³
1.1.3	Transporte com caminhão basculante de 12m ³ - rodovia em revestimento primário	tkm	345.000,55
Transporte = DMT * Massa da base =		345.000,55	tkm
DMT =		1,785	km
Massa = volume * 2,118 t/m ³ =		193.277,62	t
1.1.4	Base de solo estabilizado granulometricamente sem mistura com material de jazida	m ³	91.254,78
Volume de estab. Granulométrica = Volume de Base =		91.254,78	m ³
1.2	PAVIMENTAÇÃO REVESTIMENTO		
1.2.1	Imprimação com asfalto diluído	m ²	554.246
Largura =		12,20	m
Comprimento =		45.430	m
Área de revestimento = Larg. * Comp. =		554.246	m ²
1.2.2	Concreto asfáltico - faixa C - areia e brita comerciais	t	125.386,80
Massa de CBUQ = Vol. * 2,40 t/m ³		125.386,80	t
Espessura 01 =		0,125	m
Largura 01 =		7,20	m
Área 01 =		0,90	
Espessura 02 =		0,05	m
Largura 02 =		5,00	m
Área 02 =		0,25	
Comprimento =		45.430	m
Volume total = (Área 01 + Área 02) * Comprimento =		52.244,50	m ³
1.2.3	Transporte de mistura betuminosa em caminhão com caçamba térmica	tkm	11.391.390,78
Transporte = DMT * Massa da base =		11.391.390,78	tkm
DMT =		90,85	km
Massa =		125.386,80	t

APÊNDICE C – Memorial de Cálculo do dimensionamento pelo método da resiliência

PROJETO: Pavimentação Asfáltica			
LOCAL: Trecho da BR-153 (Oliveira de Fátima - Crixás do Tocantins)			
Item	Descrição	Unid	Qtde
1	PAVIMENTAÇÃO		
1.1	PAVIMENTAÇÃO GRANULAR		
1.1.1	Limpeza mecanizada da camada vegetal - JAZIDA	m ²	35.723,24
	A=Volume(m ³) /1,64m =	35.723,24	m ²
	Volume =	58.586,11	m ³
1.1.2	Escavação e carga de material de jazida com trator de 112 kW e carregadeira de 3,3 m ³	m ³	61.515,42
	Volume de esc. = (volume de base * 1,05) =	61.515,42	m ³
1.1.3	Transporte com caminhão basculante de 12m ³ - rodovia em revestimento primário	tkm	221.492,40
	Transporte = DMT * Massa da base =	221.492,40	tkm
	DMT =	1,785	km
	Massa = volume * 2,118 t/m ³ =	124.085,38	t
1.1.4	Base de solo estabilizado granulometricamente sem mistura com material de jazida	m ³	58.586,11
	Volume de estab. Granulométrica = Volume de Base =	58.586,11	m ³
1.2	PAVIMENTAÇÃO REVESTIMENTO		
1.2.1	Imprimação com asfalto diluído	m ²	554.246,00
	Largura =	12,20	m
	Comprimento =	45.430	m
	Área de revestimento = Larg. * Comp. =	554.246	m ²
1.2.2	Concreto asfáltico - faixa C - areia e brita comerciais	t	125.386,80
	Espessura 01 =	0,125	m
	Largura 01 =	7,20	m
	Área 01 =	0,90	m ²
	Espessura 02 =	0,05	m
	Largura 02 =	5,00	m
	Área 02 =	0,25	m ²
	Comprimento =	45.430	m
	Volume total = (Área 01 + Área 02) * Comprimento =	52.244,50	m ³
	Massa de CBUQ = Vol. * 2,40 t/m ³	125.386,80	t
1.2.3	Transporte de mistura betuminosa em caminhão com caçamba térmica	tkm	11.391.390,78
	Transporte = DMT * Massa da base =	11.391.390,78	tkm
	DMT =	90,85	km
	Massa =	125.386,80	t

ANEXOS

ANEXO A – Calculo de BDI segundo recomendações do TCU (Acórdão 2622/2013)

COMPOSIÇÃO ANALÍTICA DO BDI CONFORME ACÓRDÃO 2622/2013 TCU PLENÁRIO

CONTRATO:

PROponente:

TIPOLOGIA DE OBRA:

Construção de Rodovias e Ferrovias

Para o tipo de obra “Construção de Rodovias e Ferrovias” enquadram-se: a construção e recuperação de: auto-estradas, rodovias e outras vias não-urbanas para passagem de veículos, vias férreas de superfície ou subterrâneas (inclusive para metropolitanos), pistas de aeroportos. Esta classe compreende também: a pavimentação de auto-estradas, rodovias e outras vias não-urbanas; construção de pontes, viadutos e túneis; a instalação de barreiras acústicas; a construção de praças de pedágio; a sinalização com pintura em rodovias e aeroportos; a instalação de placas de sinalização de tráfego e semelhantes, conforme classificação 4211-1 do CNAE 2.0. Também enquadram-se a construção, pavimentação e sinalização de vias urbanas, ruas e locais para estacionamento de veículos; a construção de praças, pista de atletismo, campos de futebol e calçadas para pedestres; elevados, passarelas e ciclovias; metrô e VLT.

ITEM	DESCRIÇÃO	VALORES DE REFERENCIA - %			ADOTADO - %
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	
1	Administração Central	3,80	4,67	4,01	3,80
2	Lucro	6,64	8,69	7,30	6,64
3	Despesas Financeiras	1,02	1,21	1,11	1,02
4	Seguro e Garantia	0,32	0,74	0,40	0,32
5	Risco	0,50	0,97	0,56	0,50
6	TRIBUTOS				8,65
6.1	ISS (**) (***)	Conforme legislação específica			5,00
6.2	PIS	Conforme legislação específica			0,65
6.3	COFINS	Conforme legislação específica			3,00
7	BDI SEM DESONERAÇÃO	19,60	24,23	20,97	23,38
7.1	Desoneração	SEM DESONERAÇÃO			0,00
7.2	BDI DA OBRA				23,38

Os valores de BDI acima foram calculados com emprego da fórmula prevista no acórdão 2622/2013 - TCU - Plenário:

$$BDI = \frac{(1 + AC + S + R + G)(1 + DF)(1 + L)}{(1 - I)} - 1$$

Onde:

AC = taxa de rateio da Administração Central;

S = taxa de seguros;

R = taxa de risco e imprevistos;

G = garantias exigidas em edital;

DF = taxa das despesas financeiras;

L = taxa de lucro bruto;

I = taxa de tributos (PIS, CONFINS e ISS);

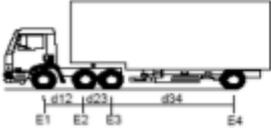
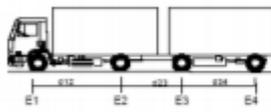
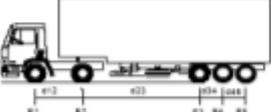
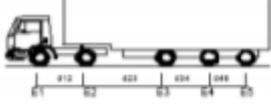
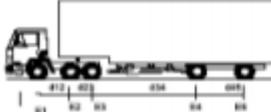
Fonte: Adaptado do TCU (2019)

ANEXO B – Classe dos veículos e suas silhuetas

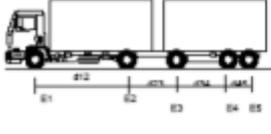
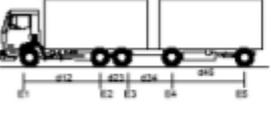
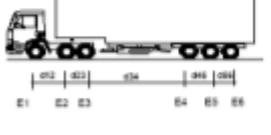
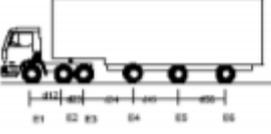
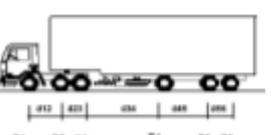
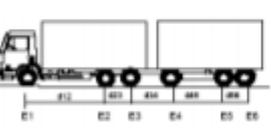
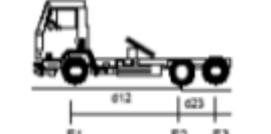
Nas silhuetas abaixo a ilustração de um eixo em destaque totalmente na cor preta representa que o mesmo possui rodagem simples (dois pneumáticos) e a ilustração de um eixo com o centro de roda na cor branca representa que esse possui rodagem dupla (quatro pneumáticos) (DNIT, 2012, p. 15).

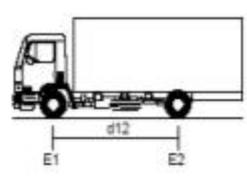
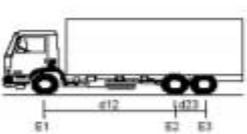
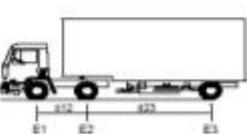
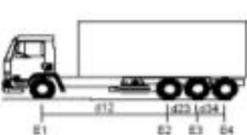
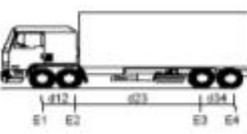
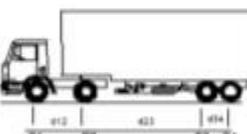
SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	4	50(52,5)	ROMEU E JULIETA(caminhão trucado + reboque) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = T0, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3D3
	4	57(59,9)	ROMEU E JULIETA(caminhão trucado + reboque) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = T0, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t d12, d34, d56 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67 ≤ 2,40m	3D4
	4	57(59,9)	BI TREM ARTICULADO(caminhão trator trucado + dois semi reboques) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = T0, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t d12, d34, d56 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67 ≤ 2,40m	3D4
	6	63(66,2)	TREM INHAO(caminhão trucado + dois reboques) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t E6 = ED, RD, CM 10t E7 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d56, d67 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3Q4
	5	74(77,7)	TRI TREM(caminhão trator trucado + três semi reboques) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t E8E9 = TD, CM 17t d12, d34, d56, d78 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67, d89 ≤ 2,40m	3T6

Fonte: Adaptado de DNIT, 2006c, pag. 51

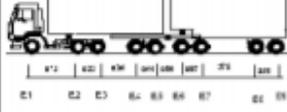
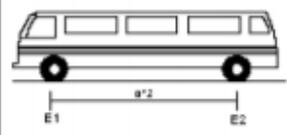
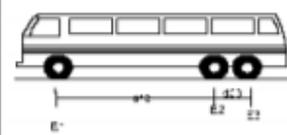
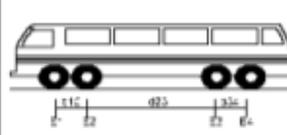
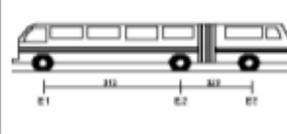
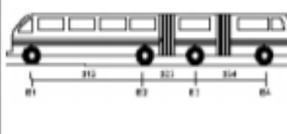
SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	3	33(34,7)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t d12, d34 > 2,40m 1,20 < d23 ≤ 2,40	3S1
	4	36(37,8)	CAMINHÃO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10m d12, d23, d34 > 2,40m	2C2
	3	41,5(43,6)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD CM10t E3E4E5 = TT, CM 25,5t d12, d23 > 2,40m 1,20m d34, d45 ≤ 2,40m	2S3
	3	40(42)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM17t E4E5 = TD, CM 17t d12, d34 > 2,40m 1,20m < d23, d45 ≤ 2,40m	3S2
	5	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t d12, d23, d34, d45 > 2,40m	2I3
	4	43(45,2)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4E5 = TD, CM 17t d12, d23, d34 > 2,40m 1,20m < d45 ≤ 2,40m	2J3
	4	43(45,2)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3I2

Fonte: Adaptado de DNIT, 2006c, pag. 52

SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	4	43(45,2)	CAMINHÃO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4E5 = TD, CM 17t d12, d23, d34 > 2,40m 1,20m < d45 ≤ 2,40m	2C3
	4	43(45,2)	CAMINHÃO TRUCADO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3C2
	3	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5E6 = TT, CM 25,5t d12, d34, > 2,40m 1,20m < d23, d45, d56 ≤ 2,40m	3S3
	5	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t E6 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d45, d56 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3I3
	4	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3J3
	4	45(47,3)	CAMINHÃO TRUCADO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3C3
	2	19,5(20,5)	CAMINHÃO TRATOR E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD(6 pneus), CM 13,5t 1,20m < d23 ≤ 2,40m A CMT do conjunto vai variar conforme a capacidade do semi-reboque, no mínimo 10 ton até, no máximo o limite legal de 4r ton.	X

SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	2	16(16,8)	CAMINHÃO E1 = eixo simples (ES), rodagem simples (RS), carga máxima (CM) = 6t ou capacidade declarada pelo fabricante do pneumático E2 = ES, rodagem dupla (RD), CM = 10t $d12 \leq 3,50m$	2C
	2	23(24,2)	CAMINHÃO TRUCADO E1 = ES, RS, CM = 6t E2E3 = ES, conjunto de eixos em tandem duplo TD, CM = 17t $d12 > 2,40m$ $1,20m < d23 \leq 2,40m$	3C
	3	26(27,3)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM = 6t E2 = ED, RD, CM = 10t E3 = ED, RD, CM = 10t $d12, d23 > 2,40m$	2S1
	2	31,5(33,1)	CAMINHÃO SIMPLES E1 = ES, RS, CM 6t E2E3E4 = conjunto de eixos em tandem triplo TT; CM = 25,5t $d12 > 2,40$ $1,20m < d23, d34 \leq 2,40m$	4C
	2	29(30,5)	CAMINHÃO DUPLO DIRECIONAL TRUCADO E1E2 = conjunto de eixos direcionais CED, CM = 12t E3E4 = TD, CM = 17t $1,20m < d34 \leq 2,40m$	4CD
	3	33(34,7)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3E4 = TD, CM = 17t $d12, d23 > 2,40m$ $1,20m < d34 \leq 2,40m$	2S2
	4	36(37,8)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10t $d12, d23, d34 > 2,40m$	2I2

Fonte: Adaptado de DNIT, 2006c, pag. 54

SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	5	74(77,7)	RODOTREM (caminhão trator trucado + dois semi reboques dom dolly) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t E8E9 = TD, CM 17t d12, d34, d56, d78 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67, d89 ≤ 2,40m	3T6
	2	16(16,8)	ÔNIBUS E1 = ES, RS, CM 6t ou a capacidade declarada pelo fabricante do pneumático E2 = ED, RD, CM 10t d12 ≤ 3,50m	2CB
	2	19,5(20,5)	ÔNIBUS TRUCADO E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos, carga máxima 13,5t d12 > 2,40m 1,20 < d23 ≤ 2,40m	3CB
	2	25,5(26,8)	ÔNIBUS DUPLO DIRECIONAL TRUCADO E1E2 = conjunto de eixos direcionais, carga máxima 12 ton E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos, carga máxima 13,5t 1,20 < d34 ≤ 2,40m	4CB
	3	26(27,3)	ÔNIBUS URBANO ARTICULADO E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t d12, d23 > 2,40m	2SB1
	4	36(37,8)	ÔNIBUS URBANO BI-ARTICULADO E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10t d12, d23, d34 > 2,40m	2IB2

Fonte: Adaptado de DNIT, 2006c, pag. 55

