



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

IRAN MILHOMEM LIMA JÚNIOR

**SOFTWARE DE ENGENHARIA PARA DIMENSIONAMENTO DE CAMADAS DO
PAVIMENTO FLEXÍVEL**

PALMAS - TO

2016



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

Iran Milhomem Lima Júnior

SOFTWARE DE ENGENHARIA PARA DIMENSIONAMENTO DE CAMADAS DO PAVIMENTO FLEXÍVEL

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II), do curso de Engenharia Civil, orientado pelo o Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Junior.

Palmas - TO

2016



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

IRAN MILHOMEM LIMA JÚNIOR

Software de Engenharia para Dimensionamento de Camadas do Pavimento Flexível

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II), do curso de Engenharia Civil, orientado pelo o Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Junior.

Aprovada em 11 de 06 de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Junior
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. M.Sc. Edivaldo Alves dos Santos
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas - TO

2016

AGRADECIMENTO

À Deus por ter me dado sabedoria, determinação e força, sobretudo nas dificuldades encontradas durante esta jornada.

A vocês meus amigos que em meio às dificuldades e a correria, sempre estiveram presentes com palavras de estímulos.

Aos educandos que com muita sabedoria transmitiram seus conhecimentos, que foram primordiais não apenas para a formação profissional, mas sim também leva-los para a vida.

Ao meu pai Iran, minha mãe Sandra e minha irmã Camila por sempre terem me incentivado a seguir lutando, olhando sempre à frente e não medindo esforços para que eu pudesse atingir meus objetivos. Incontáveis foram às vezes que meu cansaço e preocupação foram compartilhados com vocês, procurando amenizar minha ansiedade, mantendo-me firme diante dos obstáculos. O momento que vivo é fascinante e só existe porque vocês se doaram em silêncio e aceitaram viver comigo o meu sonho. Sou fruto dos seus esforços e exemplos, busco forças, apoio e coragem para continuar crescendo sempre. Obrigado por ser a minha família!

RESUMO

LIMA JÚNIOR, Iran Milhomem. **Software de engenharia para dimensionamento de camadas do pavimento flexível**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA.

O trabalho trata-se de desenvolvimento de software que dimensiona as camadas de estrutura do pavimento flexível, o mesmo foi desenvolvido em parceria com o Tecnólogo em Sistema para Internet, Tulio Gaio, o mesmo utilizou a plataforma PHP (Programação Hypertext Preprocessador) onde conforme o Manual de Pavimentação DNIT (2006), foi inserido todas as formulas e normas pertinentes para o dimensionamento das camadas. No teste do programa foi realizado um dimensionamento experimental, onde teve como alvo recalculas as camadas da TO-050, no trecho de Palmas a Porto Nacional, onde foi necessário coletar os dados do projeto original DERTINS (1990), referente ao levantamento do trafego de veículos, período do projeto, taxa de crescimento anual e os ensaios de solo. Para fazer a analogia do resultado obtido no programa foi necessário recalculas as camadas da TO-050 pelo o calculo manual, desta forma pode-se comparar os resultados obtidos nos dois métodos. Desta forma observou-se que os resultados obtidos foram satisfatórios, tendo em vista que ambos os métodos atingiram os mesmos valores. Desta forma o software desenvolvido estar apto para dimensionar as camadas do pavimento flexível, sendo assim, esta é mais uma ferramenta tecnológica que apresenta de forma positiva, sobretudo, otimizando tempo, segurança, agilidade no auxílio dos profissionais de engenharia civil.

Palavras-chave: Software, dimensionamento, pavimento flexível.

ABSTRACT

LIMA JÚNIOR, Iran Milhomem. Engineering software for flexible pavement layers sizing. 2016. Work Completion of course in Civil Engineering, University Center of Lutheran Palmas - CEULP / ULBRA.

The work it is developing software that scales the layer structure of the flexible pavement, it was developed in partnership with the Technologist Internet System, Tulio Gaius, I used the PHP platform (Programming Hypertext Preprocessor) where as DNIT Paving manual (2006), was inserted all the formulas and other standards for the design of the layers. The test program was carried out an experimental design, which has targeted recalculate the TO-050 layers in Palmas stretch of Porto Nacional, where it was necessary to collect the original project data DERTINS (1990), for the lifting of the transition from vehicles, project period, annual growth rate and soil tests. To make the analogy of the result in the program was necessary to recalculate the layers of the TO-050 by the manual calculation, this way you can compare the results obtained with both methods. Thus it was observed that the results were satisfactory, considering that both methods achieved the same values. In this way the software developed to be able to scale the layers of flexible pavement, so this is more a technological tool that presents a positive, above all, optimizing time, safety, agility in aid of the civil engineering professionals.

Keywords: Software, design, flexible pavement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perfil do pavimento flexível.	19
Figura 2: Perfil da distribuição de carga do pavimento flexível.....	19
Figura 3: Perfil do pavimento rígido.....	20
Figura 4: Perfil da distribuição de carga do pavimento rígido.....	20
Figura 5: Estrutura do pavimento flexível.	21
Figura 6: Classificação do revestimento flexível.....	22
Figura 7: Divisão do estudo geotécnico de uma pavimentação.	32
Figura 8: Aparelho Casagrande.	33
Figura 9: Prensa para Índice de Suporte Califórnia, mostra com qual aparelho o ensaio é realizado.	34
Figura 10: Mapa do trecho a ser estudado.....	38
Figura 11: Representação esquemática da seção do pavimento.....	45
Figura 12: Perfil do pavimento.....	49

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1: Perfil – Projeto Executado (estacas 1010 a 1080).....	47
Imagem 2: Códigos abertos.	50
Imagem 3: Padrões utilizados (View).	51
Imagem 4: Software Tela 1.	52
Imagem 5: Software Tela 2.	52
Imagem 6: Software Tela 3.	53
Imagem 7: Software Tela 4.	53
Imagem 8: Software Tela 5.	54
Imagem 9: Seleção de veículos.	55
Imagem 10: Preenchimento do número de passagens dos veículos.	56
Imagem 11: Período do projeto e taxa de crescimento.	56
Imagem 12: Seleção das camadas, preenchimento de CBR´s e coeficientes.	57
Imagem 13: Memorial de cálculo do software.	58
Imagem 14: Perfil do pavimento, cálculo no software (com tráfego TO-050 2015)..	59
Imagem 15: Seleção de veículos.	60
Imagem 16: Preenchimento do número de passagens dos veículos.	61
Imagem 17: Período do projeto e taxa de crescimento.	61
Imagem 18: Seleção das camadas, preenchimento de CBR´s e coeficientes.	62
Imagem 19: Memorial de cálculo do software.	63
Imagem 20: Perfil do pavimento, cálculo no software (com tráfego da BR-153 de 1990).	64
Imagem 21: Perfil do pavimento, cálculo manual (com tráfego da TO-050 2015).....	67
Imagem 22: Perfil do pavimento, cálculo manual (com tráfego BR 153 ano 1990)..	70
Imagem 23: Perfil do Projeto Executado TO-050 no trecho entre as estacas 1010 a 1080.	71
Imagem 24: Perfil do pavimento, cálculo no software (com o tráfego da TO-050 2015).	72
Imagem 25: Perfil do pavimento, cálculo manual (com o tráfego da TO-050 2015)..	72
Imagem 26: Perfil do pavimento, cálculo no software (com o tráfego da BR-153 1990)	73
Imagem 27: Perfil do pavimento, cálculo manual (com o tráfego da BR-153 1990)..	73

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Fases de atividades preliminares.	24
Tabela 2: As atividades a serem desenvolvidas nesta fase deverão atender ao disposto nas Instruções de Serviço.	26
Tabela 3: Escolha do material de base (Método do CBR).	27
Tabela 4: Determinar a espessura do revestimento (Método do CBR).	27
Tabela 5: Classificação funcional das rodovias e relação com parâmetros operacionais.	28
Tabela 6: Largura da faixa de rolamento em tangente em função do relevo.	31
Tabela 7: Malhas de peneiras.	33
Tabela 8: Tipos de Veículos.	39
Tabela 9: Tipos de eixos – Equação FC.	42
Tabela 10: Determinação do fator de carga.	42
Tabela 11: Número "N"	43
Tabela 12: Espessura do Revestimento.	43
Tabela 13: Coeficiente de equivalência estrutural do revestimento.	44
Tabela 14: Classificação de veículos da BR-153.	46
Tabela 15: Contagem classificatória	47
Tabela 16: Resumo de ensaio de CBR de base e sub-base.	48
Tabela 17: Resumo de ensaio de CBR do subleito no trecho entre as estacas 1010 a 1080.	48
Tabela 18: Quadro de origem de volume da camada de sub-base.	49
Tabela 19: Fator de carga da TO-050 ano 2015.	65
Tabela 20: Determinar o fator de carga com tráfego da BR-153 1990.	68
Tabela 21: Tipos de eixos – Equação FC.	74

LISTA DE APÊNDICE

APÊNDICE A - Programa Pavimentando.....	81
-----------------------------------------	----

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A – Códigos Abertos	88
ANEXO B – Códigos Abertos	89
ANEXO C - Códigos Abertos.....	90
ANEXO D - Códigos Abertos.....	91

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	16
1.1.1 Objetivo Geral	16
1.1.2 Objetivos Específicos.....	16
1.2 Justificativa e Importância do Trabalho	17
1.3 Estruturas do Trabalho.....	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1. Classificação do Pavimento	19
2.1.1 Flexível.....	19
2.1.2 Rígido.....	20
2.2 Camadas do Pavimento Flexível.....	21
2.2.1 Definição da Estrutura do Pavimento.....	21
2.2.2 Revestimento	21
2.2.3 Base.....	22
2.2.4 Sub-base.....	23
2.2.5 Reforço	23
2.2.6 Subleito	23
2.3 Projeto.....	23
2.3.1 Definição	23
2.3.2 Estudo Preliminar.....	24
2.3.3 Projeto Básico	24
2.3.4 Projeto Executivo	25
2.4 Critérios de Projeto	26
2.4.1 Método de Dimensionamento	26
2.4.2 Classificação da Via Rodoviária.....	28
2.4.3 Classificação dos Veículos	29
2.4.4 Classificação das Larguras de Vias	31
2.5. Estudos Geotécnicos	31
2.5.1. Classificação Granulométrica	32
2.5.2. Ensaio de Limite de Liquidez	33

2.5.3 Ensaio de Limite de Plasticidade	34
2.5.4 Ensaio do Índice de Suporte Califórnia	34
2.6. Software	35
2.6.1 Conceito.....	35
2.6.2 Aplicação da Engenharia Civil	35
2.7. Orçamento	35
2.7.1 Levantamento de Quantitativos	35
2.7.2 Analítico	36
2.7.3 Sintético	36
3. METODOLOGIA.....	37
3.1 Estudo de Caso.....	37
3.2 Desenvolver o Software	38
3.3 Dimensionamento de Camadas com o Software	39
3.3.1 Tipos de Veículos	39
3.3.2 Preencher os Campos	40
3.3.3 Selecionar as Camadas que Compõem a Estrutura do Pavimento	41
3.4 Dimensionamentos de Camadas Manualmente.....	41
3.4.1 Determinação do Volume Médio Diário (VMD)	41
3.4.2 Determinar o Fator de Carga (FC)	42
3.4.3 Determinar o Fator de Veículo (FV)	43
3.4.4 Determinar o Número N de Operação de Fator de Eixo	43
3.4.5 Determinar a Espessura do Revestimento do Pavimento.....	43
3.4.6 Determinação das Camadas de Terraplenagem	43
3.4 Estudos Comparativos dos Resultados Obtidos	45
4. RESULTADOS	46
4.1. Coleta de Dados	46
4.2. Software	50
4.2.1. Elaboração.....	50
4.2.2. Tutorial de utilização	51
4.2.3. Dimensionamento com o Software	54
4.2.3.1. Software (Tráfego da TO-050 2015).....	54
4.2.3.2. Software (Tráfego da BR-153 de 1990).....	59
4.3. Dimensionamento Manual.....	64
4.3.1. Dimensionamento com tráfego da TO-050 (2015).....	64

4.3.2. Dimensionamento com tráfego BR 153 (1990).....	68
4.4. Estudo Comparativo do Cálculo no Software e Manual	71
4.4.1. Comparativo de resultados numérico	71
4.4.2. Benefícios da utilização do software	74
4.4.2.1. Segurança	74
4.4.2.2. Tempo	74
4.4.2.3. Agilidade	75
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
APÊNDICE	80
ANEXOS	87

1. INTRODUÇÃO

O trabalho em estudo abordará o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que permitirá recalcular as camadas de estrutura do trecho da TO-050 entre as cidades de Palmas e Porto Nacional, o mesmo também será recalculado manualmente através do método do DNER (1981). Por observar um crescente aumento do tráfego de volume de veículos, buscou-se um instrumento que não só atenda às necessidades do mercado atual, mas que possa fornecer aos profissionais da área um recurso que venha a dar suporte no quesito agilidade e precisão de cálculo para elaborar o projeto.

O pavimento é composto por estruturas de camadas sobrepostas de materiais distintos, nos quais são compactados e adaptados para admitir a estrutura de terraplenagem, uma resistência de qualidade que permitirá o tráfego de veículos com conforto e segurança de forma econômica com máxima vida útil possível.

À medida que os anos se passaram, as rodovias em pavimento flexível continuam sendo o elemento mais utilizado no Brasil, na qual hoje faz parte do principal modal do país.

Para elaborar o software e fazer o cálculo manualmente, foi necessário estudar as diretrizes e procedimentos para dimensionar camadas do pavimento flexível através das normas pertinentes do DNIT, dessa forma possibilitou recalculá-lo com segurança o pavimento da TO-050.

Com o aprofundamento dos estudos será possível desenvolver o software de engenharia que tem o intuito de determinar as espessuras das camadas da estrutura do pavimento flexível no trecho da TO-050. O sistema definirá o volume médio diário (VMD), o fator de carga (FC), o número "N", espessura do revestimento do pavimento e suas respectivas camadas do pavimento.

A estrutura do pavimento da TO-050 também foi recalculada manualmente através do método do DNER (1981). Com aplicação de fórmulas e análises de tabelas será possível determinar o volume médio diário (VMD), o fator de carga (FC), o número "N", espessura do revestimento do pavimento e suas respectivas camadas do pavimento.

Desta forma, o estudo tem como objetivo analisar os resultados de cálculo manual através do método do DNER (1981) com o resultado obtido pelo software

que será desenvolvido. Assim, essa analogia provará se o sistema está apto a realizar esse tipo de cálculo, possibilitando a substituição do cálculo manual pelo software.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um software com a finalidade de realizar o dimensionamento de camadas de estrutura do pavimento flexível através do método do DNIT.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estudar as diretrizes e procedimentos para dimensionar camadas do pavimento flexível;
- Desenvolver o software;
- Recalcular as camadas de estrutura do pavimento da rodovia TO-050 utilizando o software;
- Recalcular manualmente as camadas de estrutura do pavimento da rodovia TO-050, de acordo com o método utilizado no Manual de Pavimentação DNIT (2006);
- Realizar um estudo comparativo do resultado obtido no software e manualmente.

1.2 Justificativa e Importância do Trabalho

O Software de dimensionamento de camadas do pavimento flexível foi desenvolvido com o intuito de incluir uma ferramenta a mais na engenharia e servir de auxílio para acadêmicos e profissionais da área. Esse suporte permite não apenas o ganho de tempo para desenvolver o projeto, mas também alcança melhor precisão nos resultados, atende os critérios do DNIT, proporciona a análise de diversas alternativas e permite que alterações sejam realizadas com agilidade, segurança, economia, impedindo possíveis erros na execução dos cálculos de projeto.

O uso de software é crescente em todo o mundo e inúmeros profissionais já buscam ferramentas de trabalho acoplada a sua área, portanto o conhecimento em alternativas tecnológicas proporciona uma vantagem no mercado de trabalho.

1.3 Estruturas do Trabalho

No capítulo 1, a introdução do trabalho foi abordada descrevendo o objetivo geral do presente trabalho, o qual se refere em desenvolver um flexível através do método do DNIT. Os objetivos específicos que compõem o trabalho são estudar as diretrizes e procedimentos para dimensionar camadas do pavimento flexível; desenvolver o software; recalculas as camadas de estrutura do pavimento da rodovia TO-050 utilizando o software; recalculas as camadas de estrutura do pavimento da rodovia TO-050 manualmente através do método do DNER e; realizar um estudo comparativo do resultado obtido utilizando o software e manualmente. E para finalizar o primeiro capítulo, abordou-se a justificativa e importância do trabalho.

O capítulo 2, trata-se do referencial teórico em que foi abordado as principais literaturas utilizadas: Técnica de Pavimentação, Murilo Lopes (1981) em Método de Projeto de Pavimentação Flexível.

O capítulo 3, refere-se à metodologia na qual o trabalho inicia com estudo de caso e onde alcançou informações do local, em seguida, desenvolveu o software com a plataforma php de programação, logo após, o procedimento de cálculo das camadas da estrutura do pavimento flexível através do software. Depois foi realizado o cálculo manual seguindo o método do Murilo Lopes e as normas do DNIT e, por último, o estudo comparativo dos resultados obtidos tanto pelo software como pelo o cálculo manual.

Por fim, o capítulo 4, aborda todos os resultados que fundamentam o trabalho, desde a coleta de dados, o desenvolvimento do software, os dados obtidos pelo software e manualmente, como também o estudo comparativo de ambos os resultados.

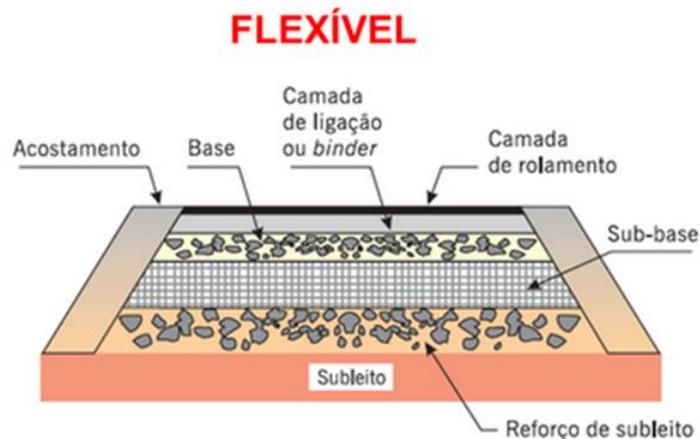
2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Classificação do Pavimento

2.1.1 Flexível

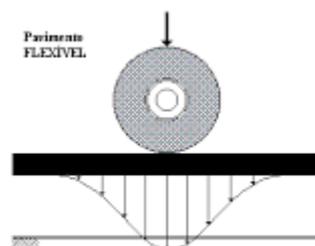
De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), o pavimento flexível é composto por várias camadas e cada uma tem como função distribuir as cargas de forma mais suave até alcançar a última camada. Portanto, todas as camadas que compõem o pavimento flexível lidam de alguma forma com a deformação elástica expressiva sob a força aplicada. Dessa forma, as forças são disseminadas em quantidades mais suaves para cada camada. Conforme visto nas figuras 1 e 2.

Figura 1: Perfil do pavimento flexível.



Fonte: Pavimentação Asfáltica (Bernucci, 2008)

Figura 2: Perfil da distribuição de carga do pavimento flexível.

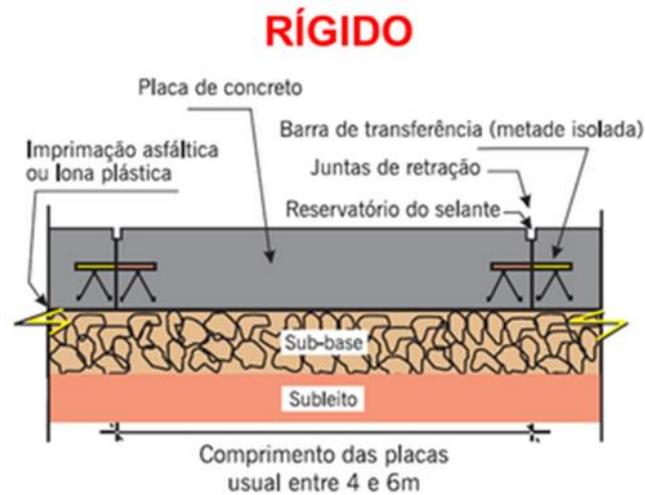


Fonte: UFPR (2009).

2.1.2 Rígido

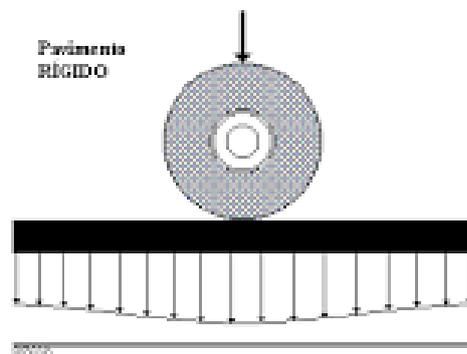
Conforme o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), pavimento rígido é responsável por apresentar uma rigidez abrangente, essa analogia é vista em relação às camadas inferiores. Dessa forma, quase todas as tensões originadas dos carregamentos são absorvidas e minimizando a força na fundação. O pavimento rígido é similar a uma laje de concreto, embora seja totalmente apoiada à base. As figuras 3 e 4 abaixo exemplificam o pavimento e sua distribuição de carga.

Figura 3: Perfil do pavimento rígido.



Fonte: Pavimentação Asfáltica (BERNUCCI, 2008)

Figura 4: Perfil da distribuição de carga do pavimento rígido.



Fonte: UFPR (2009).

2.2 Camadas do Pavimento Flexível

2.2.1 Definição da Estrutura do Pavimento

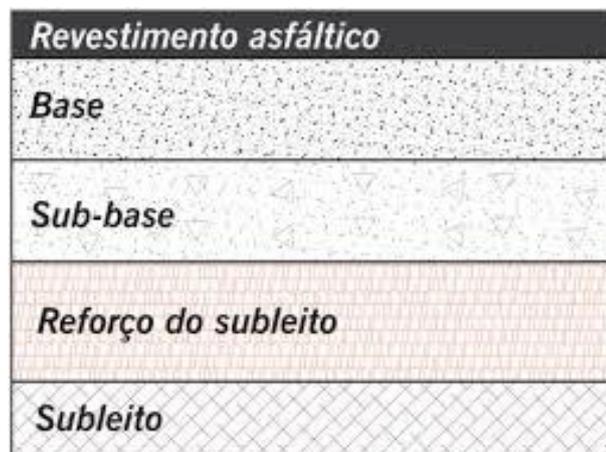
De acordo com Balbo (2007), pavimento é uma composição estrutural de camadas sobrepostas de materiais distintos, esses são compactados e adaptados para admitir a estrutura uma resistência de qualidade e permitir o tráfego de veículos de forma econômica e com máxima vida útil.

Segundo Liedi Bariani Bernucci (2006), pavimento é:

[...] uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finita, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto economia e segurança. (BERNUCCI, 2006, p.09)

A figura 5 abaixo mostra como é formada a estrutura do pavimento flexível.

Figura 5: Estrutura do pavimento flexível.



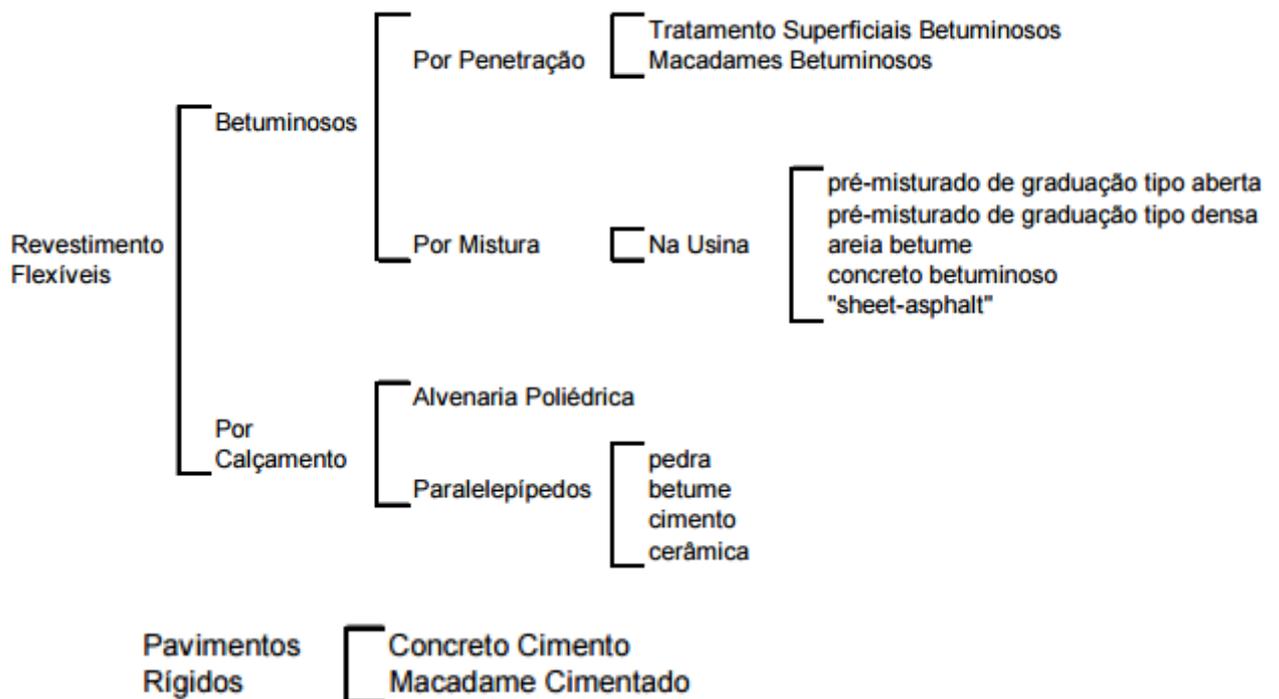
Fonte: Pavimentação Asfáltica (Bernucci, 2006)

2.2.2 Revestimento

Camada destinada a absorver em primeira mão a ação de rolamento dos veículos. O manual do DNIT (2006) afirma que o revestimento deve ser econômico e ao mesmo tempo permitir boa condição de rolamento, em relação a conforto, segurança e a resistir aos esforços originários do tráfego de veículos que nele

operam, assim, aumentando a vida útil da superfície de rolamento. Essa camada pode ou não ser impermeável, garante sempre uma boa aderência pneu-pavimento. Existem vários tipos de revestimentos e esses podem ser classificados de várias formas. A figura 6 apresenta como o sistema de revestimento do pavimento flexível se classifica.

Figura 6: Classificação do revestimento flexível.



Fonte: (DNIT, 2006, p.98)

2.2.3 Base

O manual do DNIT (2006) considera que a camada de base é a mais importante das demais camadas e está destinada a receber e resistir aos primeiros esforços verticais originários do tráfego de veículos, além de distribuí-los de forma mais suave para as camadas abaixo subsequentes. Nela ocorre a tensão máxima de cisalhamento, deste modo, exige *California Bearing Ratio* ou Índice de Suporte Califórnia (CBR) de qualidade sendo $\geq 60\%$ ou $\geq 80\%$. O pavimento pode ser composto apenas por camada de base, revestimento e subleito e, dependendo do tráfego de veículos, podem-se dispensar as camadas de reforço e sub-base.

2.2.4 Sub-base

Segundo Silva (2008), o agregado recomendado na aplicação da camada de sub-base é o cascalho, essa camada está destinada a corrigir o subleito, ou seja, podendo ser integrada à base e contribuir na absorção dos esforços oriundos dos veículos. A sub-base nem sempre necessita fazer parte do projeto, isso ocorre quando a construção do pavimento sobre o terreno natural não é trivial.

2.2.5 Reforço

Conforme o DNIT (2009), a camada de reforço do subleito é utilizada quando se faz necessário diminuir a altura da camada de sub-base, acarretada pela baixa habilidade de suporte do subleito.

2.2.6 Subleito

De acordo com o DNIT (2006), o subleito é o terreno natural do pavimento com espessura finita, apenas é considerado subleito a camada mais associada à superfície, pois na medida em que se aprofunda do maciço, as pressões exercidas pelos veículos vão se amortizando. Portanto, se aproxima tanto de zero que pode ser considerada nula, ou seja, desprezíveis. O subleito também é considerado como a estrutura de fundação do pavimento reduzida.

2.3 Projeto

2.3.1 Definição

Projeto é uma ideia para a execução de um futuro ato, ou seja, de uma futura construção, reforma, limpeza, pavimentação, entre outras coisas. Segundo Bernucci (2006), projeto pode ser definido como um alcance qualquer que será realizado no futuro, esse também pode ser um plano originado de uma determinada obra, entretanto, essa é composta por um conjunto de documentos, instruções e

determinações necessárias para a execução do projeto, ou obra. O projeto consta uma série de documentos, o próprio desenho, memorial de cálculo, medições, orçamento, entre outras.

2.3.2 Estudo Preliminar

Na fase de estudo preliminar serão desenvolvidas algumas etapas de acordo com o DNIT (2006), são elas:

Coleta e análise dos dados existentes, estudos de tráfego, estudos geológicos, estudos hidrológicos, estudos topográficos (Modelo Topográfico Digital do Terreno) por processos convencionais e processos aerofotogramétricos, estudos de traçado e componente e ambiental de projeto. (DNIT, 2006)

Tabela 1: Fases de atividades preliminares.

Instrução de Serviço	Atividade
IS-201	Estudos de Tráfego em Rodovias - Fase Preliminar
IS-202	Estudos Geológicos - Fase Preliminar
IS-203	Estudos Hidrológicos - Fase Preliminar
IS-204	Estudos Topográficos para Projetos Básicos de Engenharia para Construção de Rodovias Rurais – Fase Preliminar
IS-207	Estudos Preliminares de Engenharia para Rodovias (estudos de traçado) - Fase Preliminar
IS-214	Projeto de Obras-de-arte Especiais - Fase Preliminar
IS-226	Levantamento Aerofotogramétrico para Projetos Básicos de Rodovias
IS-246	Componente Ambiental dos Projetos de Engenharia Rodoviária - Fase Preliminar

Fonte: DNIT (2006)

2.3.3 Projeto Básico

Conforme Senço (2001), o projeto básico é o grupo de informações necessário e satisfatório, com condição para diferenciar a obra ou serviço. Portanto, é crucial na efetivação da licitação da obra, pois o mesmo faz parte da exigência mínima necessária para participar do processo licitatório, porém não é o único necessário na execução da obra.

O DNIT (2006), afirma que é comum ao projeto básico:

Caracterizar pelo levantamento de dados e realização de estudos específicos com a finalidade do estabelecimento dos parâmetros e diretrizes para a elaboração dos itens de Projeto Básico, sendo, portanto uma fase de diagnósticos e recomendações. (DNIT, 2006, p.104)

Em relação ao projeto básico, o DNIT (2006) diz que deverá compor os seguintes estudos e projeto:

Estudos de tráfego, estudos geológicos, estudos hidrológicos, estudos de traçado, estudos topográficos por processo convencional ou aerofotogramétrico, estudos geotécnicos, projeto geométrico básico, projeto básico de terraplenagem, projeto básico de drenagem, projeto básico de pavimentação, projeto básico de obras-de-arte especiais, projeto básico de interseções, retornos e acessos, projeto básico de sinalização, projeto básico de obras complementares, projeto básico de desapropriação, projeto básico de paisagismo, projeto básico do canteiro de obras e acampamento do pessoal, componente ambiental do projeto e orçamento básico da obra. (DNIT, 2006, p.104)

2.3.4 Projeto Executivo

Com o fim da fase de estudo preliminar e projeto básico, será iniciada a fase de projeto executivo. Conforme o DNIT (2006), essa fase tem o intuito de abranger detalhes ao que foi requisitado nos projetos anteriores, portanto, é aqui que se inicia o fornecimento de plantas, desenhos, além de notas de serviço que admitam a construção da rodovia. Segundo o DNIT (2006), é nessa fase que devem compor os seguintes elementos:

Informações que possibilitem o estudo e a dedução de métodos construtivos, instalações provisórias e condições organizacionais para a obra, subsídios para montagem do plano de licitação e gestão da obra, orçamento detalhado do custo global da obra, fundamentado em quantitativos de serviços, fornecimentos dos materiais e transportes propriamente avaliados, informações para a instrução dos processos desapropriatórios. (DNIT, 2006, p.104)

Segundo o DNIT (2006), os elementos que fazem parte do serviço no projeto executivo estão na tabela 2 a seguir.

Tabela 2: As atividades a serem desenvolvidas nesta fase deverão atender ao disposto nas Instruções de Serviço.

Instrução de Serviço	Atividade
IS-205	Estudos Topográficos para Projetos Executivos para Construção de Rodovias Rurais – Fase de Projeto Executivo (Fase única)
IS-206	Estudos Geotécnicos - Fase de Projeto Executivo
IS-208	Projeto Geométrico - Fase de Projeto Executivo
IS-209	Projeto de Terraplenagem - Fase de Projeto Executivo
IS-210	Projeto de Drenagem - Fase de Projeto Executivo
IS-211	Projeto de Pavimentos Flexíveis - Fase de Projeto Executivo
IS-213	Projeto de Interseções, Retornos e Acessos - Fase de Projeto Executivo
IS-214	Projeto de Obras-de-Arte Especiais - Fase de Projeto Executivo
IS-215	Projeto de Sinalização - Fase de Projeto Executivo
IS-216	Projeto de Paisagismo - Fase de Projeto Executivo
IS-217	Projeto de Dispositivos de Proteção (Defensas e Barreiras) - Fase de Projeto Executivo
IS-218	Projeto de Cercas - Fase de Projeto Executivo
IS-219	Projeto de Desapropriação - Fase de Projeto Executivo
IS-220	Orçamento da Obra - Fase de Projeto Executivo
IS-222	Apresentação do Plano de Execução da Obra - Fase de Projeto Executivo (Fase única)
IS-224	Projeto de Sinalização da Rodovia durante a Execução de Obras e Serviços - Fase de Projeto Executivo (Fase única)
IS-225	Projeto de Pavimentos Rígidos - Fase de Projeto Executivo
IS-227	Levantamento Aerofotogramétrico para Projeto Executivo de Rodovias
IS-246	Componente Ambiental dos Projetos de Engenharia Rodoviária - Fase de Projeto Executivo

Fonte: DNIT (2006)

2.4 Critérios de Projeto

2.4.1 Método de Dimensionamento

No dimensionamento da estrutura do pavimento é necessário levantar informação a partir do estudo do tráfego. Conforme Souza (1981), essa informação é determinada por volume médio diário anual, distribuição do tráfego por classes de veículos, distribuição das cargas por tipo de eixo, obtenção da dimensão das cargas

reais, obtenção de dados relacionados ao nível histórico do tráfego, cálculo de tráfego de projeto pelo número N, estudo de capacidade e nível de serviço.

Segundo Souza (1981), o dimensionamento é realizado da seguinte forma:

- Volume Médio Diário no Primeiro Ano de Abertura
- Volume Médio Diário (considerando que o tráfego cresce segundo P.A t% ao ano).
- Fator de carga, indica a carga por eixo de equivalente do tráfego de projeto. A tabela
- Fator de Veículo
- Fator de Eixo
- Número N – número de operação eixo padrão rodoviário, que consiste num eixo simples com rodas duplas, com carga de 8,2 toneladas. O número (N) encontra-se aplicando a fórmula abaixo.
- Após encontrar o número N, o resultado obtido do mesmo será utilizado para determinar o tipo de CBR que será admitido na camada de base. A tabela 3 mostra os limites determinado pelo número N. (SOUZA, 1981)

Tabela 3: Escolha do material de base (Método do CBR).

Número “N”	CBR (%)
$N \leq 10^6$	$CBR \geq 60$
$N > 10^6$	$CBR \geq 80$

Fonte: Aula de pavimentação (Fernando, 2015)

- Após encontrar o número N, determina-se a espessura do revestimento do pavimento. A tabela 4 ilustra como encontrar. (SOUZA, 1981)

Tabela 4: Determinar a espessura do revestimento (Método do CBR).

Número “N”	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamento superficial betuminoso
$10^6 < N \leq 5.10^6$	Revestimento betuminoso com 5,0cm de espessura
$5.10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5cm de espessura
$10^7 < N \leq 5.10^7$	Concreto betuminoso com 10,0cm de espessura
$N > 5.10^7$	Concreto betuminoso com 12,5cm de espessura

Fonte: DNIT (2006)

2.4.2 Classificação da Via Rodoviária

Conforme Glauco (1998), a classificação das rodovias pode ser oferecida de acordo com a sua posição geográfica, quanto à função, a jurisdição e condições técnicas que a via apresenta.

Com relação à posição geográfica, Pontes Filho Glauco (1998) afirma:

As estradas federais do Brasil recebem o prefixo BR, acrescido de três algarismos. O primeiro algarismo tem os seguintes significados. O número 0 para rodovia radial, o 1 para longitudinal, o 2 para transversal, 3 para diagonal e 4 para rodovia de ligação. Os dois outros algarismos indicam a posição da rodovia com relação a capital federal e aos limites extremos do país. (GLAUCO, 1998, p.20)

De acordo com o DNER (1981), a classificação funcional da rodovia pode ser dada conforme o modo de serviço que adequam e também o tipo de cargas que a desempenham. As classes funcionais podem ser divididas em três tipos: função arterial, coletora e local. Conforme visto na tabela 5.

Tabela 5: Classificação funcional das rodovias e relação com parâmetros operacionais.

Sistema	Sub-divisão	% da rede	% de veículos-quilômetros	Extensão média	Velocidade de oper.
Sistema arterial	Principal	2,0 a 3,5%	30 a 35%	120km	60 a 120km/h
	Primário	1,5 a 3,5%	15 a 20%	80km	50 a 100km/h
	Secundário	2,5 a 5,0%	10 a 20%	60km	40 a 80km/h
Sistema coletor	Primário	4,0 a 8,0%	8 a 10%	50km	30 a 70km/h
	Secundário	10 a 15%	7 a 10%	35km	30 a 60km/h
Sistema local	-	65 a 80%	5 a 30%	20km	20 a 50km/h

Fonte: DNER (1999).

Já em relação à jurisdição, as rodovias são definidas como federais, estaduais, municipais e vicinais. Conforme Pontes Filho Glauco (1998), os principais elementos que a diferenciam:

Geralmente consideradas quanto as condições técnicas são aquelas que estão diretamente com a operação do tráfego (velocidade, rampas, raios, larguras de pistas e acostamentos, distância de visibilidade, níveis de serviço entre outros. (GLAUCO, 1998, p.24)

De acordo com DNIT (2007), as rodovias submetidas à jurisdição municipal, são aquelas as quais são administradas diretamente pela Prefeitura Municipal. Já as rodovias submetidas a jurisdição estadual, são aquelas que são administradas diretamente pelo Estado ou por alguma empresa contratada, portanto pode ser controlada pela assessoria competente do Estado ou alguma prestadora de serviço. A última é a rodovia federal, na qual o sistema de operação, manutenção, conservação, restauração e até mesmo a sua execução, ou seja, a construção da rodovia é de responsabilidade do órgão competente DNIT.

Por último e não menos crucial, Pontes Filho Glauco (1998), em relação à condição técnica que a via apresenta, aduz que essa classificação se dá diretamente em virtude:

[...] da intervenção do tráfego (velocidade, rampas, raios, largura de pista e acostamento, distância de visibilidade, níveis de serviço, etc.). Essas por sua vez são restringidas por considerações de custos, condicionados especialmente pelo o relevo. (GLAUCO, 1998, p.25)

2.4.3 Classificação dos Veículos

Segundo Senço (2008), tanto no projeto básico ou executivo, é necessário que sejam aferidos, além das informações referentes às classes de veículos que irão usar a via, o crescimento do tráfego de veículos que compõe a via, tanto por hora ou por dia difuso por todo o período de projeto.

Os dados obtidos a partir do tráfego de veículos e a projeção do mesmo para o tempo de projeto são denominados veículos de reboques e semirreboques, caminhões pesados, médios e leves, utilitário, automóveis, motocicletas, bicicletas e tração animal. (SENÇO 2008, p.113)

De acordo Senço (2008), os veículos classificados de carga, como caminhões e semirreboques, por suas cargas serem bastante variadas nas rodovias, podem existir em diversas formas, tanto nas alterações de cargas, ou até mesmo nos diferentes pesos, configuração e o volume da carga. Ao projetar uma rodovia é crucial que se estime os tipos de veículos que nela irá compor. Logo, é necessário que os veículos de projeto tenham características de motor e dimensão idênticas com as funções geométricas das vias, ou seja, se a via recebe os veículos determinados em projeto, principalmente os que estão numa classe limite, estas

vias, evidentemente, irão atender aos demais que estão em uma classe mais favorável.

Conforme o CONATRAN (2006), este tem o dever de situar os limites de cargas e dimensões para os tipos de veículos.

As dimensões permitidas de veículos com ou sem carga afirmada pelo o CONATRAN (2006) são as seguintes:

- I – largura máxima: 2,60m;
- II – altura máxima: 4,40m;
- III – comprimento total:
 - a) veículos não-articulados: máximo de 14,00 metros;
 - b) veículos não-articulados de transporte coletivo urbano de passageiros que possuam 3º eixo de apoio direcional: máximo de 15 metros;
 - c) veículos articulados de transporte coletivo de passageiros: máximo 18,60 metros;
 - d) veículos articulados com duas unidades, do tipo caminhão-trator e semirreboque: máximo de 18,60 metros;
 - e) veículos articulados com duas unidades do tipo caminhão ou ônibus e reboque: máximo de 19,80;
 - f) veículos articulados com mais de duas unidades: máximo de 19,80 metros.
- O peso bruto total ou peso bruto total combinado, respeitando os limites da capacidade máxima de tração - CMT da unidade tratora determinada pelo fabricante:
 - a) peso bruto total para veículo não articulado: 29 t
 - b) veículos com reboque ou semirreboque, exceto caminhões: 39,5 t;
 - c) duas unidades, do tipo caminhão-trator e semirreboque, e comprimento total inferior a 16 m: 45 t;
 - d) peso bruto total combinado para combinações de veículos articulados com duas unidades, do tipo caminhão-trator e semirreboque com eixos em tandem triplo e comprimento total superior a 16 m: 48,5 t;
 - e) peso bruto total combinado para combinações de veículos articulados com duas unidades, do tipo caminhão-trator e semirreboque com eixos distanciados, e comprimento total igual ou superior a 16 m: 53 t;
 - f) peso bruto total combinado para combinações de veículos com duas unidades, do tipo caminhão e reboque, e comprimento inferior a 17,50 m: 45 t;
 - g) peso bruto total combinado para combinações de veículos articulados com duas unidades, do tipo caminhão e reboque, e comprimento igual ou superior a 17,50 m: 57 t;
 - h) peso bruto total combinado para combinações de veículos articulados com mais de duas unidades e comprimento inferior a 17,50 m: 45 t;
 - i) para a combinação de veículos de carga – CVC, com mais de duas unidades, incluída a unidade tratora, o peso bruto total poderá ser de até 57 toneladas, desde que cumpridos os seguintes requisitos:
 - 1 – máximo de 7 (sete) eixos;
 - 2 – comprimento máximo de 19,80 metros e mínimo de 17,50 metros;
 - 3 – unidade tratora do tipo caminhão trator;
 - 4 – estar equipadas com sistema de freios conjugados entre si e com a unidade tratora atendendo ao estabelecido pelo CONTRAN;
 - 5 – o acoplamento dos veículos rebocados deverá ser do tipo automático;

2.4.4 Classificação das Larguras de Vias

A largura da via é adquirida conforme o critério da largura do veículo de projeto, da largura de uma distância de segurança, ou seja, um espaço entre o veículo e a extremidade da faixa e o emprego da velocidade. Segundo Glauco (1998), tanto rurais ou pavimentadas, as vias terão que possuir acostamento, esses quando pavimentados, também serão utilizados para conter e aguentar a estrutura do pavimento. As larguras indicadas para as vias estão na tabela a seguir.

Tabela 6: Largura da faixa de rolamento em tangente em função do relevo.

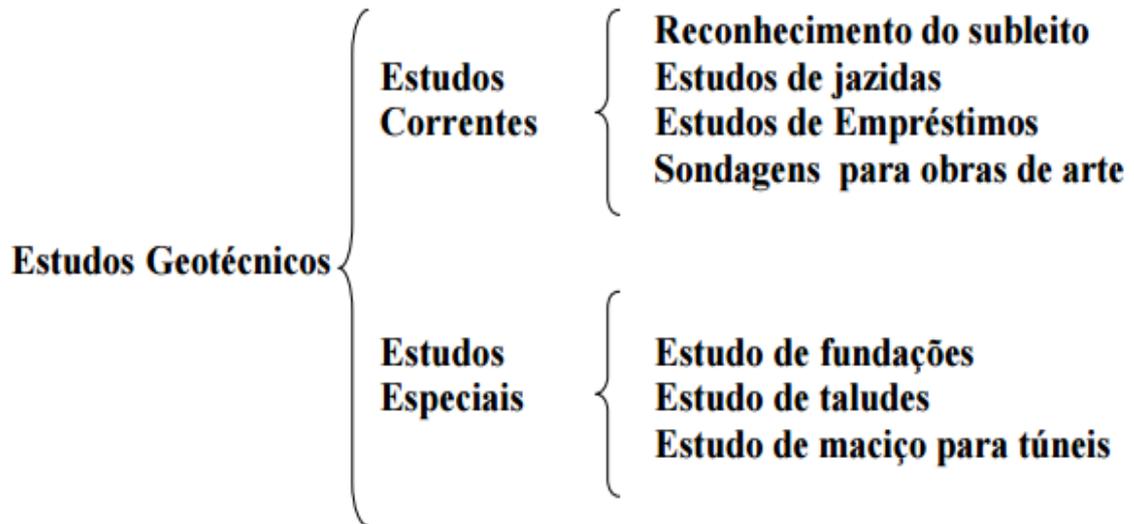
CLASSES DE PROJETO	RELEVO		
	PLANO	ONDULADO	MONTANHOSO
0	3,60	3,60	3,60
I	3,60	3,60	3,50
II	3,60	3,50	3,30
III	3,50	3,30	3,30
IV-A	3,00	3,00	3,00
IV-B	2,50	2,50	2,50

Fonte: GLAUCO (1998)

2.5. Estudos Geotécnicos

O DNIT (2006), afirma que o componente do projeto na qual verifica o desempenho dos dados do solo no que tange diretamente a obra. Os estudos geotécnicos, de maneira geral, podem ser divididos conforme a figura 7.

Figura 7: Divisão do estudo geotécnico de uma pavimentação.



Fonte: UFJF (2009)

2.5.1. Classificação Granulométrica

A realização da avaliação granulométrica, nada mais é que a obtenção das porcentagens, portanto, é determinada a partir da massa e das diferentes frações representadas da etapa do solo sólido. Para o DNIT (2006), os fragmentos de sólidos:

Maiores do que 0,075 mm (peneira n° 200 da ASTM) o ensaio é feito passando uma amostra do solo por uma serie de peneiras de malhas quadradas de dimensões padronizadas. Pesam-se a quantidade retirada de cada peneira e calculam-se as porcentagem que passam em cada peneira. (DNIT, 2006, p.31)

A tabela 7, abaixo, indica as malhas de peneiras mais utilizadas nos ensaios referentes à rodovia.

Tabela 7: Malhas de peneiras.

Nº	Abertura mm
200	0,075
100	0,15
40	0,42
10	2,09
4	4,8

Fonte: DNIT (2006)

2.5.2. Ensaio de Limite de Liquidez

Para determinação do ensaio de limite de liquidez, conforme DNIT (2006), Atterberg baseou-se em colocar um material no recipiente em forma de concha, fazer uma ranhura no material e averiguar se o mesmo iria fechar em tempo maior ou menor, em caso de um material mais liquido esse tempo diminui. No ensaio Casagrande, são necessários 25 golpes para fechar a ranhura, é o limite de liquidez. O aparelho é chamado Casagrande e tem o formato conforme a figura 8.

Figura 8: Aparelho Casagrande.



Fonte: Autor (2015)

2.5.3 Ensaio de Limite de Plasticidade

Ensaio de Limite de Plasticidade, de acordo o DNER-ME (1994) o ensaio é executado com a fração do material que passa pela peneira nº 40. O DNIT (2006) deixa explícito que a amostra é colocada em uma cápsula:

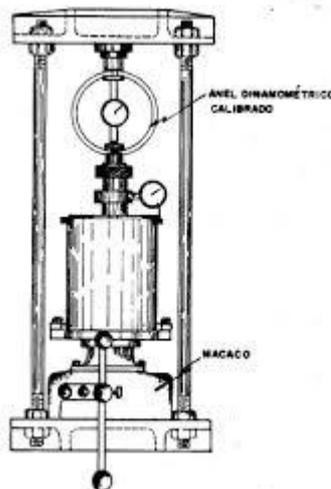
É homogeneizada com adição de água aos poucos, até resultar massa plástica. Com a quantidade de massa plástica obtida, forma-se uma pequena bola, que será pressionada sobre uma placa de vidro esmerilhada com pressão suficiente da mão, de modo a resultar a forma de cilindro, quando este atingir 3 mm (verificado com o cilindro de comparação) sem se fragmentar, amassa-se o material e procede-se como anteriormente. Repete-se a operação até que, por perda de umidade, o cilindro se fragmenta quando atingir 3 mm de diâmetro. (DNIT, 2006, p.36)

2.5.4 Ensaio do Índice de Suporte Califórnia

Ensaio do índice de Suporte Califórnia, conforme o DNIT (2006), determina que o ensaio do CBR consiste:

Na relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo de prova de solo, e a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa brita padronizada. O valor dessa relação, expressa em porcentagem, permite determinar, por meio de equações empíricas, a espessura do pavimento flexível necessária em função do tráfego. (DNIT, 2006, p.37)

Figura 9: Prensa para Índice de Suporte Califórnia, mostra com qual aparelho o ensaio é realizado.



Fonte: DNIT (2006)

2.6. Software

2.6.1 Conceito

Segundo (Gimenes & Huzita, 2005), software é um seguimento de instruções a serem seguidas ou executadas, na manipulação, redirecionamento, alteração de uma dada informação. Software, também é o nome dado ao comportamento exibido por essa sequência de instruções quando executada em um computador ou máquina semelhante.

2.6.2 Aplicação da Engenharia Civil

De acordo com (Gimenes & Huzita, 2005), o século XXI é cada vez mais diversificado o uso de tecnologia e a todo tempo vários tipos de softwares surgem, esses programas são utilizados em inúmeras áreas, inclusive na engenharia civil. A procura pelo manuseio do software vai além dos engenheiros em exercício da profissão, como também dos alunos do curso de engenharia. Os programas são desenvolvidos e a medida que passa tornam-se mais eficientes, ou seja, ganhando qualidade, tempo e praticidade.

2.7. Orçamento

2.7.1 Levantamento de Quantitativos

De acordo com a Caixa (2015), o levantamento é obtido a partir da quantificação dos serviços e sua quantidade a ser atingida, que unificarão ao orçamento, logo, os critérios que as fundamentarão será: método construtivo, projeto básico ou executivo, especificações técnicas, memoriais descritivos, caderno de encargos, dentre outros. Também faz parte do levantamento quantitativo, os

elementos de composição de um serviço, que são: materiais, mão-de-obra, equipamentos, subempreiteiros e outros.

2.7.2 Analítico

Conforme a Caixa (2015), ao contrário do orçamento sintético, o analítico deixa mais implícito as informações e detalhes nas planilhas, ou seja, deixa mais rico de dados o orçamento. Portanto, entende-se a avaliação do custo de acordo com a composição de custos unitários, sobretudo, tendo como intenção de permitir a avaliação e também ser possível a localização dos impactos de custo que se deseja modificar, ou até mesmo impedir. Desse modo, poder alterar as particularidades ou projetos de acordo a conveniências.

Tisaka (2009), afirma que o orçamento analítico ou detalhado:

Avaliação do preço, com o nível de precisão adequado, obtida através do levantamento de quantidades e de materiais, serviços e equipamentos e composição de preços unitários, realizada na etapa de projeto e/ou projeto executivo – inclui o BDI. (TISAKA, 2009)

2.7.3 Sintético

Segundo a Caixa (2015), o orçamento sintético é aquele no qual as planilhas exibem informações breves, ou seja, não promovendo consistência para avaliações profundas que são determinadas pelo custo e preço. Entretanto, são apontadas basicamente por constituir apenas o resumo total do orçamento, mostrando também através de fases com custo parcial ou alianças de serviços a serem alcançados.

Para Tisaka (2009), o orçamento sintético ou resumido deverá corresponder “a um resumo do orçamento analítico, expresso através das etapas ou grupos de serviços, com seus respectivos totais e o preço total do orçamento da obra”.

3. METODOLOGIA

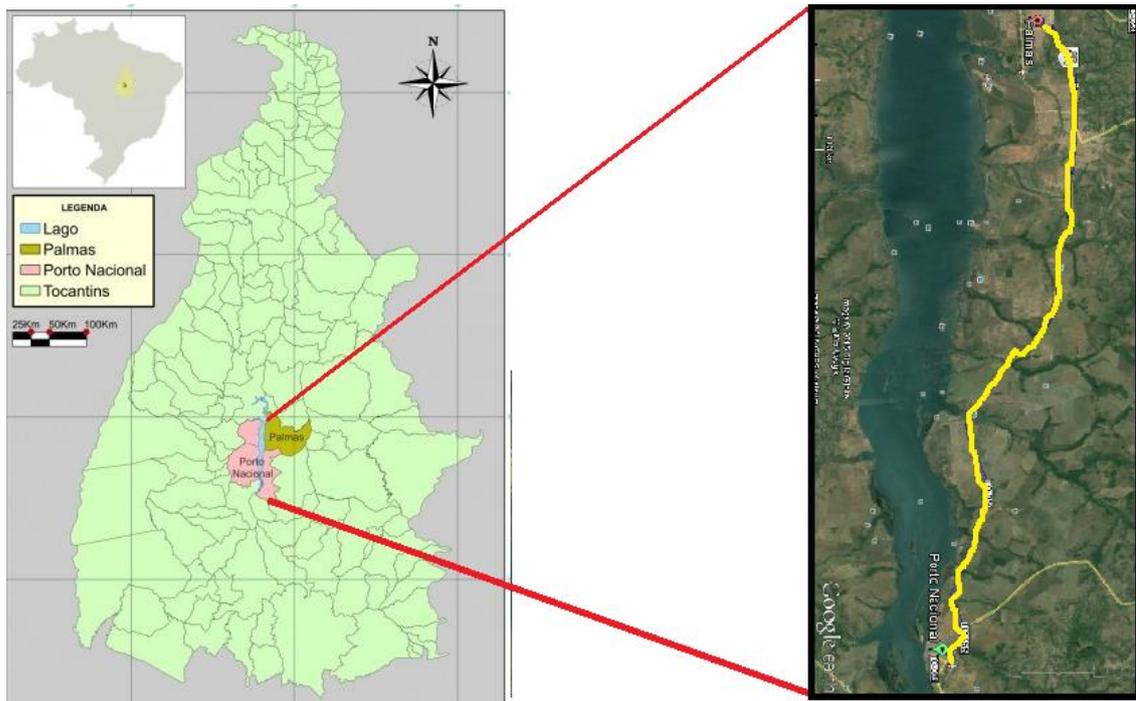
3.1 Estudo de Caso

O trabalho consistiu em um estudo de caso, o qual alcançou informações através do estudo dos procedimentos e diretrizes das camadas do pavimento flexível da TO-050. Dessa forma, obtive o CBR existente nas camadas através do projeto da TO-050 adquirido no DERTINS (1990). Foi utilizado dois levantamentos de contagem da via, o primeiro obtido no projeto da TO-050 DERTINS (1990), onde esse dado foi realizado no tráfego de veículos da BR-153, no trecho entre as cidades de Gurupi a Alvorado, tendo em vista a rodovia pavimentada mais próxima da época. O Segundo, a contagem da via obtida no trabalho de conclusão de curso da Carolina Zacche (2015), onde a autora realizou um levantamento do tráfego mais recente. Dessa forma, foi possível realizar o cálculo de dimensionamento das camadas utilizando os dois levantamentos, o tráfego da via no ano de 1990 e outro de 2015. É importante ressaltar que o objetivo do trabalho é dimensionar e testar o software e não realizar estudos geotécnicos e contagem da via.

A rodovia estudada, TO-050, situada entre as cidades de Palmas e Porto Nacional do Tocantins, com 64 km de extensão, foi escolhida para ser recalculada através do software e manualmente pelo método do DNER-1981, haja vista ser uma área que vem se destacando pelo grande volume de tráfego em função do desenvolvimento agroindustrial da região, sobretudo, por serem uma das rodovias que liga o leste, sul e sudeste do Tocantins à sua capital Palmas.

Esse tipo de estudo considerou um elemento de pesquisa reservado, ou seja, restrito, almejando que suas características sejam mais conhecidas e que permitiu o esclarecimento a respeito do caso estudado. Dessa forma, analisou os componentes do caso em estudo e logo identificou os elementos que mais são acentuados.

Figura 10: Mapa do trecho a ser estudado.



Fonte: Google Earth (2015)

3.2 Desenvolver o Software

O projeto em questão foi desenvolvido em parceria com o Tecnólogo em Sistema para Internet, Tulio Gaio, o mesmo utilizou à plataforma PHP (Programação Hypertext Preprocessador), tais tecnologias são distribuídas nos formatos códigos abertas. O Framework (arcabouço) relativo a um dos bancos de dados, compreende um conjunto de classes implementadas em uma linguagem de programação específica, empregadas para auxiliar no desenvolvimento do software possibilitando uma abstração de código e a utilização de padrões de projeto favoráveis ao ciclo de vida de um sistema de informação. Assim, dentre os padrões utilizados, destaca-se o MVC (Model-View-Controller), no qual permitiu separar o código em diferentes camadas, que possibilitou tarefas distintas. Os Modelos (Model) são responsáveis por acessar e retornar os dados solicitados, as visões (View) apresentam o resultado no formato desejado e os controladores (Controller) são responsáveis por tratar as requisições e processá-las. Não é foco deste trabalho descrever o tipo de linguagem

de programação, roteiro de linguagem, dentre outros, tendo em vista que esse projeto foi desenvolvido em parceria com tecnólogo de sistema para internet.

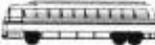
3.3 Dimensionamento de Camadas com o Software

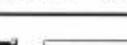
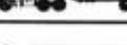
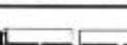
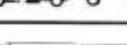
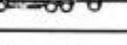
O procedimento de cálculo foi realizado através do software desenvolvido é em função dos veículos. O programa é composto pela tabela de classificação de veículos do CONTRAN (1998), que define sua carga legal.

3.3.1 Tipos de Veículos

De acordo a tabela de carga legal CONTRAN (1998), selecionar os tipos de veículos que trafegam na TO-050, conforme seus respectivos eixos.

Tabela 8: Tipos de Veículos.

TIPOS DE VEÍCULOS									
CLASSE / TIPO		CONFIGURAÇÃO	TIPOS DE EIXOS				Nº EIXOS	Nº PNEUS	Nº UNIDADES
			1º	2º	3º	4º			
VEÍCULOS LEVES	CARROS DE PASSEIO		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS SIMPLES			02	04	01
	UTILITÁRIOS (PICK-UPS E FURGÕES)	 	SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS SIMPLES			02	04	01
ÔNIBUS	ÔNIBUS ≅ 2C		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS			02	06	01
	TRIBUS		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO ESPECIAL			03	08	01

VEÍCULOS COMERCIAIS	CAMINHÕES	CAMINHÃO LEVE (608 e F4000)	2C LEVE		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS				02	06	01	
		CAMINHÕES MÉDIOS E PESADOS	2C		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS					02	06	01
			3C		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO TANDEM					03	10	01
			4C		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	TRIPLO TANDEM					04	14	01
		CAMINHÕES COM SEMI-REBOQUE (CARRETAS)	2S1		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS				03	10	01
			2S2		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	DUPLO TANDEM				04	14	01
			2S3		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	TRIPLO TANDEM				05	18	01
			3S2		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO	DUPLO TANDEM				05	18	01
			3S3		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO	TRIPLO TANDEM				06	22	01
		CAMINHÕES COM REBOQUE (ROMEU E JULIETA)	2C2		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS			04	14	02
			2C3		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	DUPLO			05	18	02
			3C2		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS			05	18	02
			3C3		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	DUPLO			06	22	02
		"TREMINHÃO"	3C4		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO	DUPLO	DUPLO			07	26	02

3.3.2 Preencher os Campos

O dimensionamento consistiu em preencher o(s) campo(s) com o número de passagem da respectiva classe de veículo a qual foi selecionado. Em seguida, dois novos campos podem-se ser preenchidos: o que se referiu ao período de projeto dado em (anos) e a taxa de crescimento anual da via dada em (porcentagem).

Apenas com o preenchimento dos campos relatados acima, o software foi capaz de determinar o resultado referente ao:

- Volume médio diário (VMD);
- Fator de carga (FC);
- Fator de eixo (FE);
- Número "N" operação de fator de eixo;

- Porcentagem ideal do CBR para a camada de base.

3.3.3 Selecionar as Camadas que Compõem a Estrutura do Pavimento

Surgiu um novo campo contendo as camadas de (base, sub-base, reforço e subleito). A escolha das camadas da estrutura do pavimento foi selecionada conforme as que compõem o projeto e ao lado preencheu o campo com o valor do CBR (%) conforme os dados coletados no projeto da TO-050, obtidos no DERTINS. Os campos referentes aos coeficientes das respectivas camadas, também foram preenchidos e assim o software determinou o resultado final referente à espessura de cada camada selecionada pelo calculista, as quais são:

- Espessura do revestimento (cm)
- Espessura da base (cm)
- Espessura da sub-base (cm)

3.4 Dimensionamentos de Camadas Manualmente

3.4.1 Determinação do Volume Médio Diário (VMD)

O procedimento de cálculo foi realizado manualmente é determinado segundo o Manual de Pavimentação DNIT (2006), conforme a seguir:

Levantamento do tráfego de veículos no local de estudo através de contagem visual, tendo em vista, o número de passagem do veículo e seu respectivo modelo, conforme a tabela do DNIT, determinar a taxa de crescimento da via e determinar o período da via ou da sua vida útil.

Encontrar o volume de tráfego no ano de abertura da via (VMD1) através da equação abaixo:

$$\text{VMD1} = \text{passagem A} + \text{passagem B} + \text{passagem N}$$

Determinar o (VMD) volume médio diário, considerando o tráfego crescendo segundo progressão aritmética t% ao ano através da equação.

$$\text{VMD} = \frac{\text{VMD1} \cdot (2 + (P - 1) \cdot t \div 100)}{2}$$

3.4.2 Determinar o Fator de Carga (FC)

O fator de carga foi obtido através do tipo de veículo em função da faixa de carga, essa relação permitiu encontrar a equação do FC através da tabela abaixo.

Tabela 9: Tipos de eixos – Equação FC.

Tipos 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	$FC = 8,0359 \cdot 10^{-5} \cdot P^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \cdot 10^{-7} \cdot P^{5,5789}$

Fonte: DNIT (2006)

O fator de carga foi obtido através do preenchimento da tabela ilustrado abaixo.

Tabela 10: Determinação do fator de carga.

Tipos de Eixos

ORDEM	EIXOS			F _{ci}	FREQUENCIA ABSOLUTA (fi)	FREQUENCIA RELATIVA (fi)	F _{ci} x fi
	ES	ED	ET				
				1	2	3	4

Eixos → (aponta para a coluna EIXOS)

Cargas (tf) de cada eixo (observar o tipo do eixo) → (aponta para a coluna ES)

FC → (aponta para a coluna F_{ci} x fi)

Fonte: Aula de pavimentação (Fernando, 2015)

3.4.3 Determinar o Fator de Veículo (FV)

O fator de veículo foi obtido através da equação:

$$FV = FC \cdot FE$$

3.4.4 Determinar o Número N de Operação de Fator de Eixo

$$N = 365 \cdot VMD \cdot P \cdot FV$$

Determinou o material de base do pavimento se deu através do resultado do número N, conforme o critério da tabela abaixo.

Tabela 11: Número "N".

Número "N"	CBR (%)
$N \leq 10^6$	CBR ≥ 60
$N > 10^6$	CBR ≥ 80

Fonte: DNIT (2006)

3.4.5 Determinar a Espessura do Revestimento do Pavimento

Tabela 12: Espessura do Revestimento.

Número "N"	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamento superficial betuminoso
$10^6 < N \leq 5 \cdot 10^6$	Revestimento betuminoso com 5,0cm de espessura
$5 \cdot 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \cdot 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0cm de espessura
$N > 5 \cdot 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5cm de espessura

Fonte: DNIT (2006)

3.4.6 Determinação das Camadas de Terraplenagem

Determinou o (H20), que consistiu a espessura do revestimento mais a camada de base, encontrada através da equação abaixo:

$$H20 = 77,67 \cdot (N)^{0,0482} \cdot (CBR)^{-0,598}$$

Determinou (B) espessura da base, através da equação:

$$(R \cdot Kr) + (B \cdot Kb) \geq H20$$

Determinou o (Hn), espessura de sub-base + base + revestimento dado através da equação:

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

Determinou o h20, espessura da sub-base através da equação:

$$(R \cdot Kr) + (B \cdot Kb) + (h20 \cdot Ksb) \geq Hn$$

Segundo o DNIT (2006), as camadas que compõe a estrutura do pavimento flexível devem ser maior ou igual a 15 centímetros para todas elas. A camada de base deve ser menor que 40 cm.

- Coeficiente de equivalência estrutural da base $K_b=1$
- Coeficiente de equivalência estrutural da sub-base $K_{sb}=1$
- Coeficiente de equivalência estrutural do reforço do subleito $K_{ref}=1$

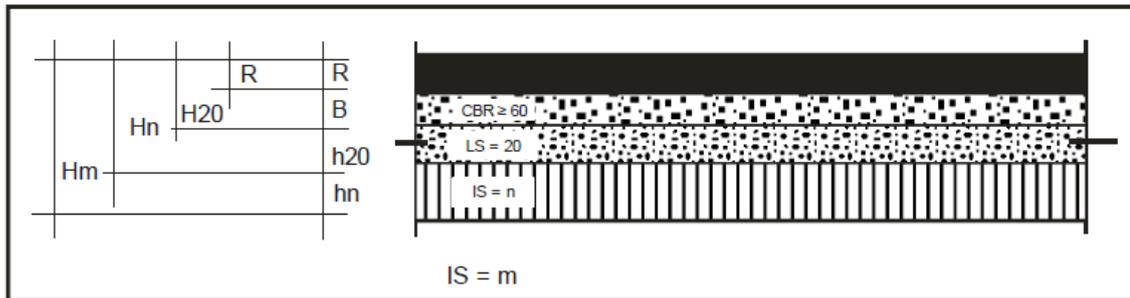
Para os diferentes tipos de matérias empregados na execução do pavimento, há um coeficiente de equivalência estrutural k, como exemplifica a tabela

Tabela 13: Coeficiente de equivalência estrutural do revestimento.

Componentes do pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa.	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa.	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20

Fonte: DNER (1981)

Figura 11: Representação esquemática da seção do pavimento.



Fonte: Manual de pavimentação (DNIT, 2006)

- R = Espessura de revestimento
- B = Espessura de base
- h20 = Espessura de sub-base
- hn = Espessura de reforço
- H20 = Espessura de: (revestimento + base)
- Hn = Espessura de: (revestimento + base + sub-base)
- Hm = Espessura de: (revestimento + base + sub-base + reforço)

3.4 Estudos Comparativos dos Resultados Obtidos

No estudo foram analisados os resultados de cálculo manualmente obtido através do método do DNER (1981) com o resultado adquirido pelo software desenvolvido. Foi realizada uma analogia de ambos os métodos e compararam, os resultados numéricos, o tempo de execução, analisou o mais vulnerável a erros, dessa forma, provou que o sistema desenvolvido estar apto a ser usado pelos profissionais da área.

4. RESULTADOS

4.1. Coleta de Dados

Para o dimensionamento das camadas de estrutura do pavimento entre as estacas 1010 a 1080, totalizando um trecho de 1400 metros, foi realizada a coleta de dados no projeto original da rodovia, DERTINS (1990), na qual obteve-se os dados necessários para os cálculos das camadas.

Na obtenção do volume do tráfego da via, foi utilizado dois levantamentos, o primeiro foi obtido na BR-153, no trecho entre a cidade de Gurupi a Alvorada, esse dado foi obtido no DERTINS (1990) tendo em vista a única rodovia pavimentada da época. A classificação dos veículos na via está na tabela abaixo.

Tabela 14: Classificação de veículos da BR-153.

VEÍCULOS	MÉDIA DIÁRIA
Veículos leves	340
Ônibus 2C	46
2C	91
3C	291
3S3	137

Fonte: DERTINS, adaptado pelo autor (2016).

Já o segundo levantamento obtido, foi através do trabalho de conclusão de curso da Carolina Zacche (2015), onde a autora fez um levantamento manual do tráfego da TO-050 conforme as categorias de veículos consideradas pelo o DNIT, segundo a tabela a abaixo.

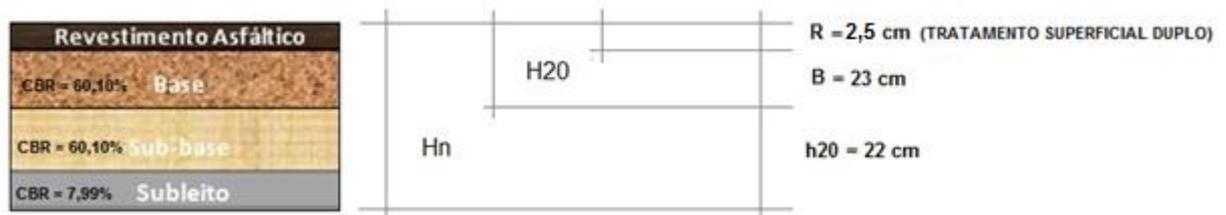
Tabela 15: Contagem classificatória

VEÍCULO	TOTAL SEMANA	MÉDIA DIÁRIA
AUTO	24462	3495
ONIBUS 2C	1142	163
2C	910	130
3C	730	104
2S1	21	3
2S2	144	21
2S3	300	43
3S3	385	55
3C3	355	51

Fonte: Carolina Zacche (2015)

- Dados do projeto executado na TO-050 no trecho das estacas 1010 a 1080.
Período do projeto: 10 anos
Taxa de crescimento: 3 %
Revestimento: Tratamento Superficial Duplo (TSD), espessura = 2,5 cm
CBR da Base: 60,10%
CBR da Sub-base: 60,10%
CBR do Subleito: 7,99%

Imagem 1: Perfil – Projeto Executado (estacas 1010 a 1080)



Fonte: DERTINS, adaptado pelo autor (2016).

O levantamento dos CBR's das camadas de estrutura do pavimento flexível da TO-050 foi obtido a partir do acesso ao projeto, no qual foi disponível pelo DERTINS através de imagens. A média dos CBR's utilizados entre as estacas 1010

a 1080 foram de 60,10% para camada de base e sub-base. O CBR médio do subleito foi de 7,99% para o respectivo trecho, podendo ser visto nas tabelas abaixo.

Tabela 16: Resumo de ensaio de CBR de base e sub-base.

CÁLCULO DO IS DE PROJETO (Isp)		
	MÉDIA	DESVIO
I.S.C	60.10	8.96
EXPANSÃO	0.00	...

Fonte: DERTINS (1990), adaptado pelo AUTOR (2016).

Tabela 17: Resumo de ensaio de CBR do subleito no trecho entre as estacas 1010 a 1080.

CÁLCULO DO IS DE PROJETO (Isp)		
	MÉDIA	DESVIO
I.S.C	7.99	6.57
EXPANSÃO	9.00	...

Fonte: DERTINS (1990), adaptado pelo AUTOR (2016).

O projeto da TO-050, no trecho entre as estacas 1010 a 1080 foi determinado uma camada de sub-base igual a 22 cm e a sua jazida de origem foi a J3, conforme pode ser visto na tabela a seguir.

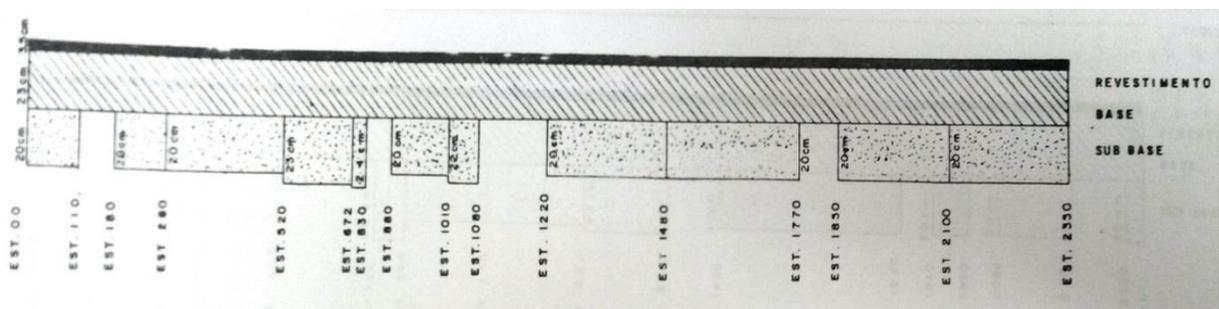
Tabela 18:Quadro de origem de volume da camada de sub-base.

ESTACAS	SUB-BASE (cm)	VOLUME NA PISTA (m ³)	JAZIDA DE ORIGEM
00 - 110	20	5491	J1
110-180
180-280	20	4992	J1
280-520	20	11981	J2
520-672	23	8726	J3A
809-830	24	1258	J3A
830-880
880-1010	20	6490	J3A
1010-1080	22	3844	J3

Fonte: DERTINS (1990), adaptado pelo AUTOR (2016).

O perfil das camadas que compõem a estrutura do pavimento flexível da TO-050 e suas respectivas alturas pode ser visto na figura abaixo.

Figura 12: Perfil do pavimento.



Fonte: DERTINS (1990).

Os valores utilizados como base de cálculos do período de projeto da TO-050, foi o da BR-153 no trecho de Gurupi a Alvorada, que na época era a rodovia pavimentada mais próxima, dessa forma encontrou-se um período de projeto de 10 anos, taxa de crescimento de veículos de 3%.

4.2. Software

4.2.1. Elaboração

O programa que calcula as camadas de estrutura do pavimento flexível foi desenvolvido em parceria com o Tecnólogo em Sistema para Internet, Tulio Gaio, onde para a criação do software, foi utilizada a plataforma de programação PHP, na qual essa tecnologia permite trabalhar em forma de códigos abertos, conforme a imagem a seguir.

Imagem 2: Códigos abertos.

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
  <head>
    @include('layouts.head')
    <script type="text/javascript" src="/libs/bootstrap/js/jquery.mask.js"></scr
  </head>
  <body>
    @include('layouts.top')
    <div class="container-fluid">
      <div class="row">
        <div class="col-sm-12">
          <div class="panel panel-default">
            <div class="panel-heading">PREENCHA O CBR DOS PAVIMENTOS QUE DESEJA
            UTILIZAR.</div>
            <div class="panel-body">
              {!! Form::open(array('action'=>'SemiRigida@calculate')) !!}
              <div class='form-group'>
                <div class="row">
                  <div class="col-sm-3">
                    <label>N: </label>
                    {{ $data['n'] }}
                  </div>
                </div>
              </div>
              <div class='form-group'>
                <div class="row">
                  <div class="col-sm-3">
                    <label>CBR: </label>
                    {{ $data['cbrString'] }}
                  </div>
                </div>
              </div>
              <div class='form-group'>
                <div class="row">
                  <div class="col-sm-5">
                    <label>Tipo de Revestimento: </label>
                    {{ $data['tiporevestimento'] }}
                  </div>
                </div>
              </div>
            </div>
          </div>
        </div>
      </div>
    </div>
  </body>
</html>
```

Fonte: Tulio Gaio (2016)

Dentre os padrões que foram utilizados, destaca-se o MVC (Model-View-Controller), no qual permitiu separar o código em diferentes camadas que possibilitou tarefas distintas. Os Modelos (Model) foram responsáveis por acessar e retornar os dados solicitados, as visões (View) apresentam o resultado no formato desejado e os controladores (Controller) são responsáveis por tratar as requisições e processá-las, como (View) a imagem abaixo no formato desejado.

Imagem 3: Padrões utilizados (View).

PAVIMENTANDO Pavimentação ▾

CALCULANDO O VMD

Período de Projeto Taxa de Crescimento Anual

Período em anos Taxa de Crescimento Anu:

Próximo ➡

Fonte: Autor (2016)

No software foram inseridas todas as fórmulas, tabelas e critérios de normas pertinentes determinadas pelo DNIT para o dimensionamento das camadas de estrutura do pavimento.

4.2.2. Tutorial de utilização

A tela 1 (tela inicial do software), é composta pela tabela de classificação de veículos do DNIT, onde a mesma contém para cada tipo de veículo um quadrado ao lado, dessa forma é possível selecionar através de um clique os veículos que trafegam na via, como mostra a seta na imagem abaixo.

Imagem 4: Software Tela 1.

PAVIMENTANDO Pavimentação ▾

PAVIMENTANDO **CLIQUE NO QUADRADO PARA SELECIONAR OS VEÍCULOS QUE TRÁFEGAM NA VIA**

	Classe / Tipo	Eixo	Configuração
<input type="checkbox"/>	Veículos Leves / Carro de Passeio	2C Leve	
<input type="checkbox"/>	Veículos Leves / Utilitários (Pick-Ups e Furgões)	2C Leve	
<input type="checkbox"/>	Ônibus / Ônibus	2C	
<input type="checkbox"/>	Ônibus / Tribus	3C	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhão Leve (608 e F4000)	2C	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Médios e Pesados	2C	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Médios e Pesados	3C	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Médios e Pesados	4C	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	2S1	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	2S2	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	2S3	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	3S2	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	3S3	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Rboque (Romeu e Julietta)	2C2	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Rboque (Romeu e Julietta)	2C3	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Rboque (Romeu e Julietta)	3C2	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Rboque (Romeu e Julietta)	3C3	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Treminhão	3C4	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Treminhão	3C5	

Póximo ►►

Fonte: Autor (2016)

Na tela 2, irá aparecer todos os veículos que foram selecionados na tela anterior (tela 1). Na frente de cada veículo aparecerá um campo para preenchimento do número de passagem do respectivo veículo, conforme a imagem abaixo.

Imagem 5: Software Tela 2.

PAVIMENTANDO Pavimentação ▾

PAVIMENTANDO **INSERIR A QUANTIDADE DE PASSAGEM POR DIA DO RESPECTIVO VEÍCULO SELECIONADO**

Classe / Tipo	Eixo	Configuração	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Passagem
							<input type="text"/>

Póximo ►►

Fonte: Autor (2016)

Na tela 3, irá aparecer dois campos para preenchimento: o primeiro o período de projeto dado em anos e o segundo a taxa de crescimento da via no primeiro ano de abertura, dado em porcentagem. Os campos para inserirem os dados estão em vermelho, como mostra a imagem abaixo.

Imagem 6: Software Tela 3.

PAVIMENTANDO Pavimentação ▾

CALCULANDO O VMD

Período de Projeto **Taxa de Crescimento Anual**

Período em anos Taxa de Crescimento Anu.

INSERIR A TAXA DE CRESCIMENTO DO PRIMEIRO ANO DE ABERTURA DA VIA

INSERIR O NÚMERO EM ANOS DO PERÍODO DE PROJETO DA VIA A SER CALCULADA

Próximo ➡

Fonte: Autor (2016)

Na tela 4, haverá dois campos para possível seleção das camadas de estrutura, sendo elas a sub-base e reforço, dessa forma, serão selecionadas conforme a necessidade do projeto. Ainda nessa tela, para a respectiva camada selecionada, há um campo para inserir o CBR que irá compor a camada. Por último, o preenchimento dos coeficientes das camadas selecionadas de acordo com o tipo do tratamento que será utilizado no solo (K_b , K_{sb} e K_{ref}) e o coeficiente, conforme o tipo de revestimento que será utilizado (k_r). A imagem abaixo exemplifica o local de cada preenchimento.

Imagem 7: Software Tela 4.

PAVIMENTANDO Pavimentação ▾

PREENCHA O CBR DOS PAVIMENTOS QUE DESEJA UTILIZAR.

CLIQUE PARA SELECIONAR O(S) TIPO(S) DE CAMADA(S) CONFORME A NECESSIDADE DO PROJETO

PREENCHER O(S) CAMPO(S) DO CBR DA(S) RESPECTIVA(S) CAMADA(S) SELECIONADA(S) CONFORME O ENSAIO DE I.S.C. REALIZADO DA JAZIDA QUE SERÁ USADA

PREENCHER OS CAMPOS DOS COEFICIENTES DO SOLO E DO REVESTIMENTO CONFORME O PROJETO

CAMADAS	CBR	Coeficientes	
<input checked="" type="checkbox"/> BASE	<input type="text"/>	K_B	K_R
<input type="checkbox"/> SUB-BASE	<input type="text"/>	K_{SB}	
<input type="checkbox"/> REFORÇO	<input type="text"/>	K_{REF}	
<input checked="" type="checkbox"/> SUBLEITO	<input type="text"/>		

Calcular

Fonte: Autor (2016)

A tela 5, refere-se ao memorial de cálculos, onde compõe algumas tabelas do DNIT, necessárias para os cálculos do dimensionamento, as formulas e os respectivos resultados. A imagem abaixo exemplifica o memorial de cálculo.

Imagem 8: Software Tela 5.

PAVIMENTANDO Pavimentação ▾

MEMORIAL DE CALCULO

Volume médio diário (VMD1)
 $VMD1 = \text{passagem A} + \text{passagem B} + \text{passagem N}$

Volume médio diário (VMD)
 $VMD = VMD1 \times (2 + (P - 1) \times t / 100) / 2$

Fator de Carga (FC)
 $FC =$

Fator de Eixo (FE)
 $FE = ((FEa \times PSa) + (FEb \times PSb) + (FEn \times PSn)) / (PSa + PSb + PSn)$

Fator de Veículo (FV)
 $FV = FC \times FE$

Operação de Fator de Eixo (Número N)
 $N = 365 \times VMD \times P \times FV$

Espessura do Revestimento

Número "N"	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamento superficial betuminoso
$10^6 < N \leq 5.10^6$	Revestimento betuminoso com 5,0cm de espessura
$5.10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5cm de espessura
$10^7 < N \leq 5.10^7$	Concreto betuminoso com 10,0cm de espessura
$N > 5.10^7$	Concreto betuminoso com 12,5cm de espessura

Tipo de Revestimento: Tratamento Superficial Betuminoso

CBR utilizado nas camadas
 BASE CBR =
 SUB-BASE CBR =
 REFORÇO CBR =
 SUBLEITO CBR =

Espessura da Base + Revestimento (H20)
 $H20 = 77,67 \times (N)^{0,0482} \times (CBR)^{-0,598}$

Espessura da Base (B)

- Se $N \leq 10^6$ e $CBRsb \geq 40\%$, substituir H20 por $0,80 \times H20$.
- Se $N \geq 10^7$, substituir H20 por 1,20.

$(R \times Kr) + (B \times Kb) \geq H20$
 BASE = cm

Espessura da sub-base + base + revestimento (Hn)
 $Hn = 77,67 \times (N)^{0,0482} \times (CBR)^{-0,598}$

Espessura da sub-base (h20)
 $(R \times Kr) + (B \times Kb) + (h20 \times Ksb) \geq Hn$
 SUB-BASE = cm

Espessura do reforço + sub-base + base + revestimento (Hm)
 $Hm = 77,67 \times (N)^{0,0482} \times (CBR)^{-0,598}$

Espessura do reforço (hn)
 $(R \times Kr) + (B \times Kb) + (h20 \times Ksb) + (hn \times Kref) \geq Hm$
 REFORÇO = cm

Perfil do Pavimento

R=0
 B = cm
 h20 = cm
 hn = cm
 Hm

Fonte: Autor (2016)

4.2.3. Dimensionamento com o Software

4.2.3.1. Software (Tráfego da TO-050 2015)

O software é composto pela tabela de classificação de veículos do DNIT, que define sua carga legal, dessa forma foram selecionados todos os veículos de

acordo com o levantamento do trafego realizado na TO-050, no trecho de Palmas a Porto Nacional no ano de 2015, de acordo com a imagem a seguir.

Imagem 9: Seleção de veículos.

PAVIMENTANDO Pavimentação ▾

PAVIMENTANDO

	Classe / Tipo	Eixo	Configuração
<input type="checkbox"/>	Veículos Leves / Carro de Passeio	2C Leve	
<input type="checkbox"/>	Veículos Leves / Utilitários (Pick-Ups e Furgões)	2C Leve	 
<input checked="" type="checkbox"/>	Ônibus / Ônibus	2C	
<input type="checkbox"/>	Ônibus / Tribus	3C	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhão Leve (608 e F4000)	2C	
<input checked="" type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Médios e Pesados	2C	
<input checked="" type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Médios e Pesados	3C	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Médios e Pesados	4C	
<input checked="" type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	2S1	
<input checked="" type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	2S2	
<input checked="" type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	2S3	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	3S2	
<input checked="" type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	3S3	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Rboque (Romeu e Julieta)	2C2	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Rboque (Romeu e Julieta)	2C3	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Rboque (Romeu e Julieta)	3C2	
<input checked="" type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Rboque (Romeu e Julieta)	3C3	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Treminhão	3C4	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Treminhão	3C5	 Caminhões / Treminhão / 3C5

Póximo ➡

Fonte Autor (2016)

Preenchimento do número de passageiros diário dos respectivos veículos que trafegam na TO-050, conforme a imagem abaixo.

Imagem 10: Preenchimento do número de passagens dos veículos.

PAVIMENTANDO Pavimentação ▾

PAVIMENTANDO

Classe / Tipo	Eixo	Configuração	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Passagem
Ônibus / Ônibus	2C		4.00	7.50			<input type="text" value="163"/>
Caminhões / Caminhões Médios e Pesados	2C		6.00	10.00			<input type="text" value="130"/>
Caminhões / Caminhões Médios e Pesados	3C		6.00	17.00			<input type="text" value="104"/>
Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	2S1		6.00	10.00	10.00		<input type="text" value="3"/>
Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	2S2		6.00	10.00	17.00		<input type="text" value="21"/>
Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	2S3		6.00	10.00	25.50		<input type="text" value="43"/>
Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	3S3		6.00	15.00	25.50		<input type="text" value="55"/>
Caminhões / Caminhões Com Reboque (Romeu e Julieta)	3C3		6.00	15.00	10.00	15.00	<input type="text" value="51"/>

[Póximo ►►](#)

Fonte Autor (2016)

Preenchimento da vida útil (anos) determinada no projeto e a taxa de crescimento anual, de acordo a imagem a seguir.

Imagem 11: Período do projeto e taxa de crescimento.

PAVIMENTANDO Pavimentação ▾

CALCULANDO O VMD

Período de Projeto

Taxa de Crescimento Anual

[Póximo ►►](#)

Fonte Autor (2016)

Seleção das camadas que compõe a estrutura do pavimento de acordo com a necessidade do projeto, os respectivos CBR's e os coeficientes de equivalência estrutural, conforme a imagem abaixo.

Imagem 12: Seleção das camadas, preenchimento de CBR's e coeficientes.

RESULTADO

N = 15386906

CBR DA BASE >= 80%

Tipo de Revestimento: Concreto Betuminoso com 10cm de espessura

localhost:8000 diz:

Conforme o número N encontrado, o CBR da base deve ser maior ou igual a 80%.

Impedir que esta página crie caixas de diálogo adicionais.

OK

PREENCHA O CBR E OS COEFICIENTES DAS CAMADAS

	CAMADAS	CBR	Coeficientes ?	
<input checked="" type="checkbox"/>	BASE	<input type="text" value="60.10"/>	KB <input type="text" value="1"/>	KR <input type="text" value="1.70"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	SUB-BASE	<input type="text" value="60.10"/>	KSB <input type="text" value="1"/>	
<input type="checkbox"/>	REFORÇO	<input type="text" value="%"/>	KREF <input type="text"/>	
<input checked="" type="checkbox"/>	SUBLEITO	<input type="text" value="7.99"/>		

Calcular

Fonte Autor (2016)

Memorial de cálculo do software (com tráfego da TO-050 2015).

Imagem 13: Memorial de cálculo do software.

PAVIMENTANDO Pavimentação ▾

MEMORIAL DE CALCULO

Volume médio diário (VMD1)
VMD1 = passagem A + passagem B + passagem N
VMD1 = 163 + 130 + 104 + 3 + 21 + 43 + 55 + 51
VMD1 = 570 passagens

Volume médio diário (VMD)
 $VMD = VMD1 \times (2 + (P - 1) \times t / 100) / 2$
 $VMD = (570 \times (2 + (10 - 1) \times 3 / 100)) / 2$
VMD = 646.95 passagens

Fator de Carga (FC)
 $FC = 0.0895 + 1.5426 \times 0.93 + 0.1609$
FC = 2.723 tf

Fator de Eixo (FE)
 $FE = ((FEa \times PSa) + (FEb \times PSb) + (FEn \times PSn)) / (PSa + PSb + PSn)$
 $FE = (2 \times 1632 \times 1302 \times 1043 \times 33 \times 213 \times 433 \times 554 \times 51) / 570$
FE = 2.393 eixos

Fator de Veículo (FV)
FV = FC x FE
FV = 2.723 * 2.3929824561404
FV = 6.5161 tf.eixos

Operação de Fator de Eixo (Número N)
 $N = 365 \times VMD \times P \times FV$
 $N = 365 \times 646.95 \times 10 \times 6.5161$
N = 15386906

Espessura do Revestimento

Número "N"	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamento superficial betuminoso
$10^6 < N \leq 5.10^6$	Revestimento betuminoso com 5,0cm de espessura
$5.10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5cm de espessura
$10^7 < N \leq 5.10^7$	Concreto betuminoso com 10,0cm de espessura
$N > 5.10^7$	Concreto betuminoso com 12,5cm de espessura

Tipo de Revestimento: Concreto Betuminoso com 10cm de espessura

CBR utilizado nas camadas
BASE CBR = 60.10%
SUB-BASE CBR = 60.10%
REFORÇO CBR = %
SUBLEITO CBR = 7.99%

Espessura da Base + Revestimento (H20)
 $H20 = 77.67 \times (N)^{0.0482} \times (CBR)^{-0.598}$
 $H20 = 77.67 \times \text{pow}(15386906, 0.0482) \times \text{pow}(20, -0.598)$
H20 = 28.751 cm

Espessura da Base (B)

- Se $N \leq 10^6$ e CBRsb $\geq 40\%$, substituir H20 por $0,80 \times H20$.
- Se $N \geq 10^7$, substituir H20 por 1,20.

$(R \times Kr) + (B \times Kb) \geq H20$
 $B \geq (28.751 \times 1.2 - (10 \times 1.70)) / 1$
 $B \geq 17.5012$
BASE = 18 cm

Espessura da sub-base + base + revestimento (Hn)
 $Hn = 77.67 \times (N)^{0.0482} \times (CBR)^{-0.598}$
 $Hn = 77.67 \times \text{pow}(15386906, 0.0482) \times \text{pow}(7.99, -0.598)$
Hn = 49.768 cm

Espessura da sub-base (h20)
 $(R \times Kr) + (B \times Kb) + (h20 \times Ksb) \geq Hn$
 $h20 \geq (49.768 - (10 \times 1.70) + (18 \times 1)) / 1$
 $h20 \geq 14.768$
SUB-BASE = 15 cm (a norma define que a espessura mínima das camadas sejam ≥ 15 cm)

Perfil do Pavimento

REVESTIMENTO R = 10 cm
BASE B = 18 cm
SUB-BASE h20 = 15 cm
SUBLEITO

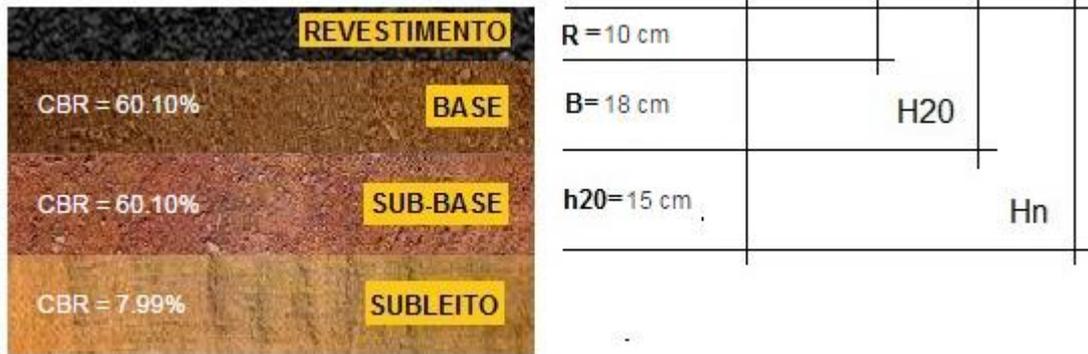
CBR = 60.10%
CBR = 60.10%
CBR = 60.10%
CBR = 7.99%

H20
Hn

Fonte: Autor (2016)

Perfil das camadas do pavimento (com tráfego TO-050 2015).

Imagem 14: Perfil do pavimento, cálculo no software (com tráfego TO-050 2015).



Fonte: Autor (2016)

4.2.3.2. Software (Trafego da BR-153 de 1990)

O software é composto pela tabela de classificação de veículos do CONTRAN (1998), que define sua carga legal, dessa forma foram selecionados todos os veículos de acordo com o levantamento do tráfego realizado na BR-153 no trecho de Gurupi a Alvorada no ano de 1990, de acordo com a imagem:

Imagem 15: Seleção de veículos.

PAVIMENTANDO Pavimentação ▾

PAVIMENTANDO

	Classe / Tipo	Eixo	Configuração
<input type="checkbox"/>	Veículos Leves / Carro de Passeio	2C Leve	
<input type="checkbox"/>	Veículos Leves / Utilitários (Pick-Ups e Furgões)	2C Leve	 
<input checked="" type="checkbox"/>	Ônibus / Ônibus	2C	
<input type="checkbox"/>	Ônibus / Tribus	3C	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhão Leve (608 e F4000)	2C	
<input checked="" type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Médios e Pesados	2C	
<input checked="" type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Médios e Pesados	3C	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Médios e Pesados	4C	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	2S1	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	2S2	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	2S3	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	3S2	
<input checked="" type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	3S3	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Rboque (Romeu e Julieta)	2C2	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Rboque (Romeu e Julieta)	2C3	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Rboque (Romeu e Julieta)	3C2	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Rboque (Romeu e Julieta)	3C3	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Treminhão	3C4	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Treminhão	3C5	

Póximo ►

Fonte Autor (2016)

Preenchimento do número de passageiros diário dos respectivos veículos que trafegam na TO-050, conforme a imagem abaixo.

Imagem 16: Preenchimento do número de passageiros dos veículos.

PAVIMENTANDO Pavimentação ▾

PAVIMENTANDO

Classe / Tipo	Eixo	Configuração	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Passagem
Ônibus / Ônibus	2C		4.00	7.50			<input type="text" value="46"/>
Caminhões / Caminhões Médios e Pesados	2C		6.00	10.00			<input type="text" value="91"/>
Caminhões / Caminhões Médios e Pesados	3C		6.00	17.00			<input type="text" value="291"/>
Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	3S3		6.00	15.00	25.50		<input type="text" value="137"/>

Fonte: Autor (2016)

Preenchimento da vida útil (anos) determinada no projeto e a taxa de crescimento anual, de acordo a imagem a seguir.

Imagem 17: Período do projeto e taxa de crescimento.

PAVIMENTANDO Pavimentação ▾

CALCULANDO O VMD

Período de Projeto

Taxa de Crescimento Anual

Fonte: Autor (2016)

Seleção das camadas que compõe a estrutura do pavimento de acordo com a necessidade do projeto, os respectivos CBR's e os coeficientes de equivalência estrutural, conforme a imagem abaixo.

Imagem 18: Seleção das camadas, preenchimento de CBR's e coeficientes.

PAVIMENTANDO Pavimentação ▾

localhost:8000 diz:
Conforme o número N encontrado, o CBR da base deve ser maior ou igual a 80%.
 Impedir que esta página crie caixas de diálogo adicionais.
OK

RESULTADO

N = 20004397

CBR DA BASE >= 80%

Tipo de Revestimento: Concreto Betuminoso com 10cm de espessura

PREENCHA O CBR E OS COEFICIENTES DAS CAMADAS

	CAMADAS	CBR	Coeficientes ⓘ	
<input checked="" type="checkbox"/>	BASE	<input type="text" value="60.10"/>	KB <input type="text" value="1"/>	KR <input type="text" value="1.70"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	SUB-BASE	<input type="text" value="60.10"/>	KSB <input type="text" value="1"/>	
<input type="checkbox"/>	REFORÇO	<input type="text" value="%"/>	KREF <input type="text"/>	
<input checked="" type="checkbox"/>	SUBLEITO	<input type="text" value="7.99"/>		

Fonte: Autor (2016)

Memorial de cálculo do software (com tráfego da BR-153 1990).

Imagem 19: Memorial de cálculo do software.

PAVIMENTANDO Pavimentação ▾

MEMORIAL DE CALCULO

Volume médio diário (VMD1)
VMD1 = passagem A + passagem B + passagem N
VMD1 = 46 + 91 + 291 + 137
VMD1 = 565 passagens

Volume médio diário (VMD)
 $VMD = VMD1 \times (2 + (P - 1) \times t / 100) / 2$
 $VMD = (565 \times (2 + (10 - 1) \times 3 / 100)) / 2$
VMD = 641.275 passagens

Fator de Carga (FC)
 $FC = 0.1158 + 2.6898 + 1.0056 + 0$
FC = 3.8112 tf

Fator de Eixo (FE)
 $FE = ((FEa \times PSa) + (FEb \times PSb) + (FEn \times PSn)) / (PSa + PSb + PSn)$
 $FE = (2 \times 462 \times 912 \times 2913 \times 137) / 565$
FE = 2.242 eixos

Fator de Veículo (FV)
FV: FC x FE
 $FV = 3.8112 \times 2.2424778761062$
FV = 8.5465 tf.eixos

Operação de Fator de Eixo (Número N)
 $N = 365 \times VMD \times P \times FV$
 $N = 365 \times 641.275 \times 10 \times 8.5465$
N = 20004397

Espessura do Revestimento

Número "N"	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamento superficial betuminoso
$10^6 < N \leq 5.10^6$	Revestimento betuminoso com 5,0cm de espessura
$5.10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5cm de espessura
$10^7 < N \leq 5.10^7$	Concreto betuminoso com 10,0cm de espessura
$N > 5.10^7$	Concreto betuminoso com 12,5cm de espessura

Tipo de Revestimento: Concreto Betuminoso com 10cm de espessura

CBR utilizado nas camadas
BASE CBR = 60.10%
SUB-BASE CBR = 60.10%
REFORÇO CBR = %
SUBLEITO CBR = 7.99%

Espessura da Base + Revestimento (H20)
 $H20 = 77.67 \times (N)^{0.0482} \times (CBR)^{-0.598}$
 $H20 = 77.67 \times \text{pow}(20004397, 0.0482) \times \text{pow}(20, -0.598)$
H20 = 29.117 cm

Espessura da Base (B)

- Se $N \leq 10^6$ e CBRsb $\geq 40\%$, substituir H20 por $0,80 \times H20$.
- Se $N \geq 10^7$, substituir H20 por 1,20.

$(R \times Kr) + (B \times Kb) \geq H20$
 $B \geq (29.117 \times 1.2 - (10 \times 1.70)) / 1$
B ≥ 17.9404
BASE = 18 cm

Espessura da sub-base + base + revestimento (Hn)
 $Hn = 77.67 \times (N)^{0.0482} \times (CBR)^{-0.598}$
 $Hn = 77.67 \times \text{pow}(20004397, 0.0482) \times \text{pow}(7.99, -0.598)$
Hn = 50.402 cm

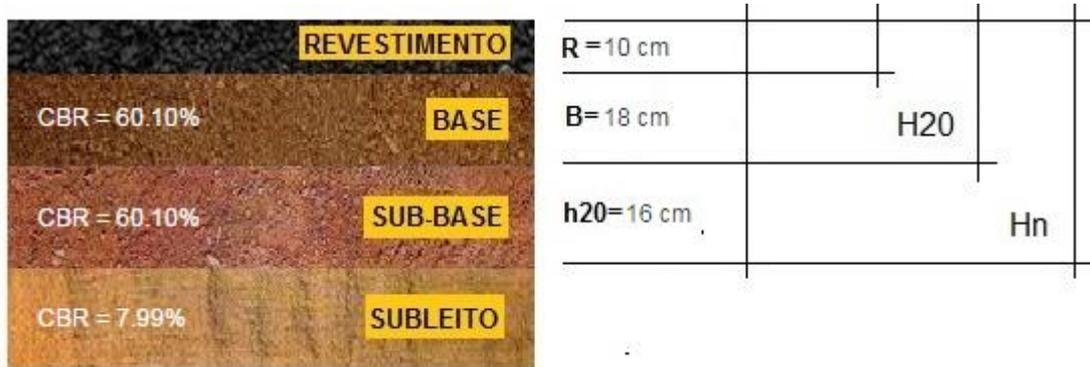
Espessura da sub-base (h20)
 $(R \times Kr) + (B \times Kb) + (h20 \times Ksb) \geq Hn$
 $h20 \geq (50.402 - (10 \times 1.70) + (18 \times 1)) / 1$
h20 ≥ 15.402
SUB-BASE = 16 cm

Perfil do Pavimento

R = 10 cm
B = 18 cm
h20 = 16 cm
Hn

Perfil das camadas do pavimento. Calculo no software (com tráfego BR-153 de 1990)

Imagem 20: Perfil do pavimento, cálculo no software (com tráfego da BR-153 de 1990).



Fonte: Autor (2016)

4.3. Dimensionamento Manual

4.3.1. Dimensionamento com tráfego da TO-050 (2015)

- Dados do projeto da TO-050:
Período do projeto: 10 anos
Taxa de crescimento: 3 %
CBR da Base: 60,10%
CBR da Sub-base: 60,10%
CBR do Subleito: 7,99%
- Encontrar o volume de tráfego no ano de abertura da via (VMD1) através da equação abaixo:

VMD1 = passagem A + passagem B + passagem

VMD1 = 163 + 130 + 104 + 3 + 21 + 43 + 55 + 51

VMD1 = 570 passagens

Os veículos leves foram desconsiderados para o cálculo do VMD1 tendo em vista que na tabela carga legal do (DNIT) não apresentam cargas para nenhum dos

eixos dos veículos de classe leve. Dessa forma é considerada insignificante a contagem classificatória dos veículos leves no cálculo do VMD1.

- Determinar o (VMD) volume médio diário, considerando o tráfego crescendo segundo progressão aritmética t% ao ano através da equação.

$$\text{VMD} = \frac{\text{VMD1} \cdot (2 + (P - 1) \cdot t \div 100)}{2}$$

$$\text{VMD} = \frac{570 \cdot (2 + (10 - 1) \cdot 3 \div 100)}{2}$$

$$\text{VMD} = 646,95 \text{ passagens}$$

- Determinar o fator de carga (FC) com tráfego da TO-050 2015.

Tabela 19: Fator de carga da TO-050 ano 2015.

ORDEM	NOMENCLATURA	EIXO (tf)			Fci	FI	fi	Fci x fi
		ES	EF	ET				
Ônibus 2C	B-1	4	-----	-----	0,0545	163	0,11950	0,0065
	B-2	7,5	-----	-----	0,6812	163	0,11950	0,0814
2C	C-1	6	-----	-----	0,2779	130	0,09531	0,0265
	C-2	10	-----	-----	3,2895	130	0,09531	0,3135
3C	D-1	6	-----	-----	0,2779	104	0,07625	0,0212
	D-2	-----	17	-----	8,5488	104	0,07625	0,6518
2S1	E-1	6	-----	-----	0,2779	3	0,00220	0,0006
	E-2	10	-----	-----	3,2895	3	0,00220	0,0072
	E-3	10	-----	-----	3,2895	3	0,00220	0,0072
2S2	F-1	6	-----	-----	0,2779	21	0,01540	0,0043
	F-2	10		-----	3,2895	21	0,01540	0,0506
	F-3	-----	17	-----	8,5488	21	0,01540	0,1316
2S3	G-1	6	-----	-----	0,2779	43	0,03152	0,0088
	G-2	10	-----	-----	3,2895	43	0,03152	0,1037
	G-3	-----	-----	25,5	9,2998	43	0,03152	0,2932
3S3	H-1	6	-----	-----	0,2779	55	0,04032	0,0112
	H-2	-----	15	-----	4,3034	55	0,04032	0,1735
	H-3	-----	-----	25,5	9,2998	55	0,04032	0,3750
3C3	I-1	8	-----	-----	0,2779	51	0,03739	0,0104
	I-2	-----	15	-----	4,3034	51	0,03739	0,1609
	I-3	10	---	-----	3,2895	51	0,03739	0,1230
	I-4	-----	15	-----	4,3034	51	0,03739	0,1609
TOTAL						1364	FC =	2,7231

Fonte: Autor (2016)

- Determinar o fator de eixo (FE)

$$FE = \frac{(FEa \cdot PSa) + (FEb \cdot PSb) + (FE \cdot PSn)}{(PSa + PSb + PSn)}$$

- FEa = Fator de Eixo do Veículo “a”
- FEb = Fator de Eixo do Veículo “b”
- PSa = Passagem do Veículo “a”
- PSb = Passagem do Veículo “b”

$$FE = \frac{(2.163) + (2.130) + (2.104) + (3.3) + (3.21) + (3.43) + (3.55) + (4.51)}{(163 + 130 + 104 + 3 + 21 + 43 + 55 + 51)}$$

$$FE = 2,393$$

- Determinar o Fator de Veículo (FV)

$$FV = FC \cdot FE$$

$$FV = 2,723 \cdot 2,393$$

$$FV = 6,516 \text{ tf} \cdot \text{eixo}$$

- Determinar o Número N de Operação de Fator de Eixo

$$N = 365 \cdot VMD \cdot P \cdot FV$$

$$N = 365 \cdot 646,95 \cdot 10 \cdot 6,516$$

$$N = 1,539 \cdot 10^7 \text{ ou } 15.386.670,63$$

- Determinar a Espessura do Revestimento do Pavimento
Concreto Betuminoso com 10 cm de espessura.

O Kr = 1,7 foi o coeficiente de revestimento utilizado no cálculo abaixo, o mesmo refere-se para base ou revestimento pré - misturado a quente, de graduação densa.

- Determinação das Camadas de estrutura do pavimento flexível

Determinar o (H20), o qual consiste na espessura do revestimento mais a camada de base, encontrada através da equação abaixo:

$$H20 = 77,67 \cdot (N)^{0,0482} \cdot (CBR)^{-0598}$$

$$H20 = 77,67 \cdot (1.539 \cdot 10^7)^{0,0482} \cdot (20)^{-0598}$$

$$H20 = 28,75 \text{ cm}$$

- Se $N \leq 10^6$ e $CBRsb \geq 40\%$, substituir H20 por $0,80 \times H20$.
- Se $N \geq 10^7$, substituir H20 por $1,20 \times H20$

- Determinar (B) espessura da base, através da equação:

$$(R \cdot Kr) + (B \cdot Kb) \geq H20 \times 1,20$$

$$(10 \cdot 1,7) + (B \cdot 1) \geq 28,75 \times 1,20$$

$$17 + B \geq 34,50$$

$$B \geq 17,50$$

$$\text{Base} = 18 \text{ cm}$$

Determinar o (Hn), espessura de sub-base + base + revestimento dado através da equação:

$$H_n = 77,67 \cdot (N)^{0,0482} \cdot (\text{CBR})^{-0,598}$$

$$H_n = 77,67 \cdot (1.539 \cdot 10^7)^{0,0482} \cdot (7,99)^{-0,598}$$

$$H_n = 49,77 \text{ cm}$$

- Determinar o h20, espessura da sub-base através da equação:

$$(R \cdot K_r) + (B \cdot K_b) + (h_{20} \cdot K_{sb}) \geq H_n$$

$$(10 \cdot 1,7) + (18 \cdot 1) + (h_{20} \cdot 1) \geq 49,77$$

$$17 + 18 + h_{20} \geq 49,77$$

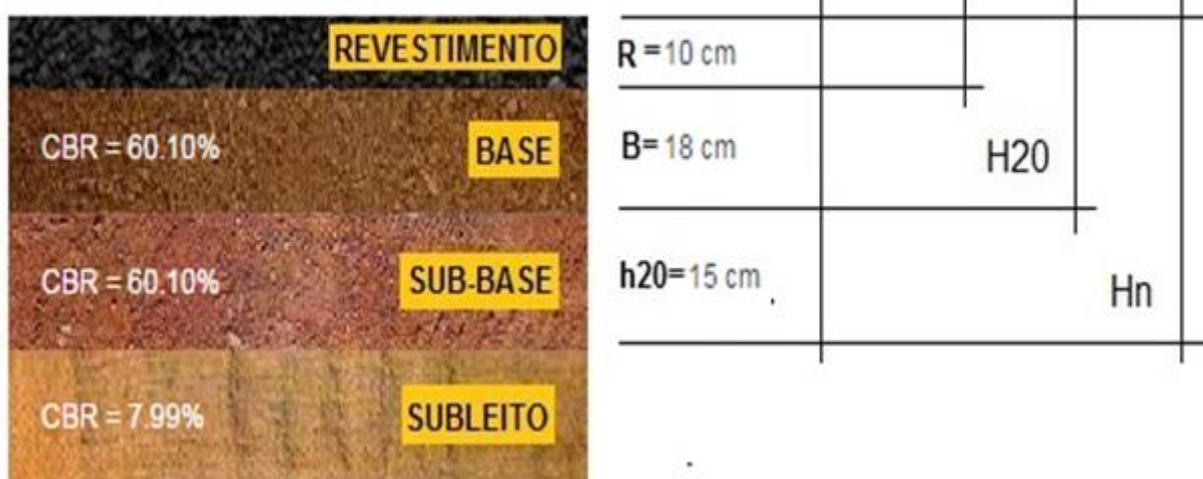
$$h_{20} \geq 49,77 - 35$$

$$h_{20} \geq 14,77$$

Sub – base = 15 cm (a norma define que a espessura mínima das camadas sejam ≥ 15 cm).

Perfil do pavimento, cálculo manual (com tráfego da TO-050 2015)

Imagem 21: Perfil do pavimento. Cálculo manual (com tráfego da TO-050 2015).



Fonte: Autor (2016)

4.3.2. Dimensionamento com tráfego BR 153 (1990)

- Dados do projeto:

Período do projeto: 10 anos

Taxa de crescimento: 3 %

CBR da Base: 60,10%

CBR da Sub-base: 60,10%

CBR do Subleito: 7,99%

- Encontrar o volume de tráfego no ano de abertura da via (VMD1) através da equação abaixo:

$$\mathbf{VMD1 = passagem A + passagem B + passagem}$$

$$VMD1 = 46 + 91 + 291 + 137$$

$$VMD1 = 565 \text{ passagens}$$

Os veículos leves foram desconsiderados para o cálculo do VMD1 tendo em vista que na tabela carga legal do (DNIT) não apresentam cargas para nenhum dos eixos dos veículos de classe leve. Dessa forma é considerada insignificante a contagem classificatória dos veículos leves no cálculo do VMD1.

- Determinar o (VMD) volume médio diário, considerando o tráfego crescendo segundo progressão aritmética t% ao ano através da equação.

$$\mathbf{VMD = \frac{VMD1 \cdot (2 + (P - 1) \cdot t \div 100)}{2}}$$

$$VMD = \frac{565 \cdot (2 + (10 - 1) \cdot 3 \div 100)}{2}$$

$$VMD = 641,275 \text{ passagens}$$

- Determinar o fator de carga (FC) com tráfego da BR-153 1990

Tabela 20: Determinar o fator de carga com tráfego da BR-153 1990.

ORDEM	NOMENCLATURA	EIXO (tf)			Fci	FI	Fi	Fci x fi
		ES	EF	ET				
Ônibus 2C	B-1	4			0,0545	46	0,03630	0,002
	B-2	7,5			0,6812	46	0,03630	0,025
2C	C-1	6			0,2779	91	0,07180	0,020
	C-2	10			3,2895	91	0,07180	0,236
3C	D-1	6			0,2779	291	0,23020	0,064
	D-2		17		8,5488	291	0,23020	1,968

3S3	F-1	6			0,2779	137	0,10810	0,030
	F-2		15		4,3034	137	0,10810	0,465
	F-3			25,5	9,2998	137	0,10810	1,005
	TOTAL					1267	FC =	3,815

Fonte: Autor (2016)

- Determinar o fator de eixo (FE)

$$FE = \frac{(FEa \cdot PSa) + (FEb \cdot PSb) + (FE \cdot PSn)}{(PSa + PSb + PSn)}$$

- FEa = Fator de Eixo do Veículo "a"
- FEb = Fator de Eixo do Veículo "b"
- PSa = Passagem do Veículo "a"
- PSb = Passagem do Veículo "b"

$$FE = \frac{(2.46) + (2.91) + (2.291) + (3.137)}{(46 + 91 + 291 + 137)}$$

$$FE = 2,242 \text{ eixos}$$

- Determinar o Fator de Veículo (FV)

$$FV = FC \cdot FE$$

$$FV = 3,815 \cdot 2,242$$

$$FV = 8,553 \text{ tf} \cdot \text{eixo}$$

- Determinar o Número N de Operação de Fator de Eixo

$$N = 365 \cdot VMD \cdot P \cdot FV$$

$$N = 365 \cdot 641,275 \cdot 10 \cdot 8,553$$

$$N = 2,00 \cdot 10^7 \text{ ou } 20.019.611,52$$

- Determinar a Espessura do Revestimento do Pavimento

Concreto Betuminoso com 10 cm de espessura.

O Kr = 1,7 foi o coeficiente de revestimento utilizado no cálculo abaixo, o mesmo refere-se para base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa.

- Determinação das Camadas de estrutura do pavimento flexível

Determinar o (H20), o qual consiste na espessura do revestimento mais a camada de base, encontrada através da equação abaixo:

$$H20 = 77,67 \cdot (N)^{0,0482} \cdot (CBR)^{-0598}$$

$$H20 = 77,67 \cdot (2,00 \cdot 10^7)^{0,0482} \cdot (20)^{-0598}$$

$$H20 = 29,12 \text{ cm}$$

- Se $N \leq 10^6$ e $CBR_{sb} \geq 40\%$, substituir H_{20} por $0,80 \times H_{20}$.
- Se $N \geq 10^7$, substituir H_{20} por $1,20 \times H_{20}$

- Determinar (B) espessura da base, através da equação:

$$(R \cdot Kr) + (B \cdot Kb) \geq 1,20 \times H_{20}$$

$$(10 \cdot 1,7) + (B \cdot 1) \geq 1,20 \times 29,12$$

$$17 + B \geq 34,94$$

$$B \geq 17,94 \text{ cm}$$

Base = 18 cm (arredondou-se para 18 cm por ser inviável trabalhar terraplenagem com milímetros).

Determinar o (H_n), espessura de sub-base + base + revestimento dado através da equação:

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

$$H_n = 77,67 \cdot (2,00 \cdot 10^7)^{0,0482} \cdot (8)^{-0,598}$$

$$H_n = 50,36 \text{ cm}$$

- Determinar o h_{20} , espessura da sub-base através da equação:

$$(R \cdot Kr) + (B \cdot Kb) + (h_{20} \cdot K_{sb}) \geq H_n$$

$$(10 \cdot 1,7) + (18 \cdot 1) + (h_{20} \cdot 1) \geq 50,36$$

$$17 + 18 + h_{20} \geq 50,36$$

$$h_{20} \geq 50,36 - 35$$

$$h_{20} \geq 15,36$$

$$h_{20} = 16 \text{ cm}$$

Observação: O valor do h_{20} arredondou-se para 16 cm por ser inviável trabalhar terraplenagem com milímetros.

Perfil do Estudo de Projeto Manual (com tráfego BR 153, ano 1990)

Imagem 22: Perfil do pavimento, cálculo manual (com tráfego BR 153 ano 1990).



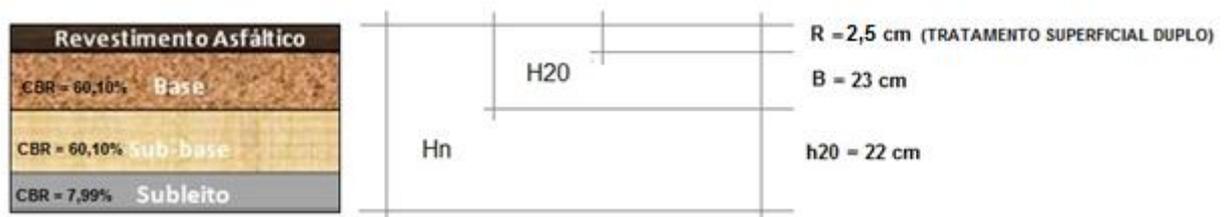
Fonte: Autor (2016)

4.4. Estudo Comparativo do Cálculo no Software e Manual

4.4.1. Comparativo de resultados numérico

Os dimensionamentos realizados pelo software foram relevantes, pois os mesmos cumpriram todas as normas pertinentes do DNIT no que diz respeito ao dimensionamento de camadas de estrutura do pavimento flexível. No comparativo entre os cálculos realizados no software e manualmente, ambos bateram os resultados de todas as camadas, porém os dois métodos encontraram divergência com o projeto executado na TO-050, pois de acordo com o DNIT no número N encontrado deveria ter sido utilizado um revestimento do tipo concreto betuminoso com espessura de 10 cm. O revestimento empregado de fato, foi um Tratamento Superficial Duplo (TSD) com espessura de 3,5 cm, base de 23 cm e sub-base de 22 cm, como pode ser visto no perfil abaixo.

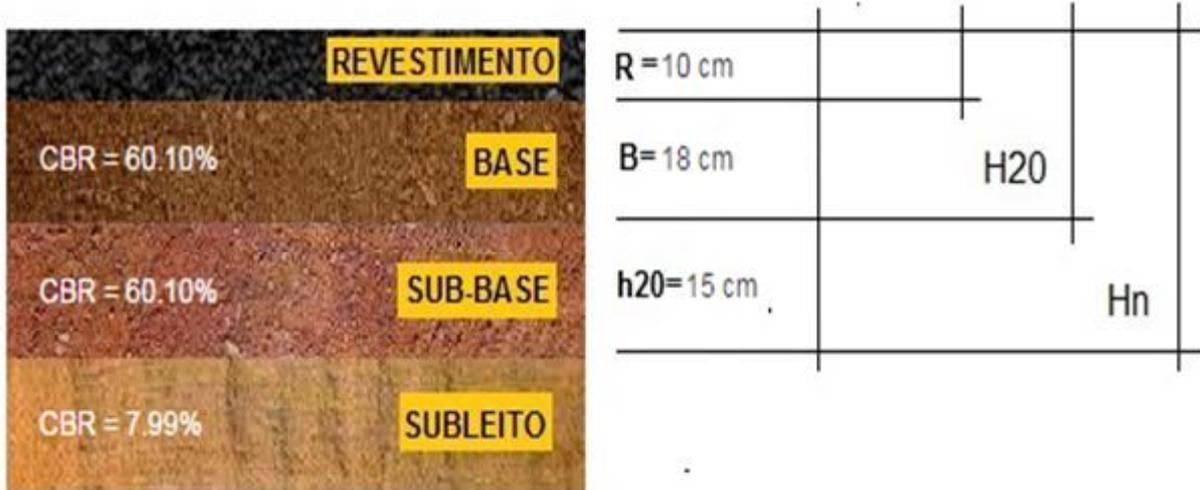
Imagem 23: Perfil do Projeto Executado TO-050 no trecho entre as estacas 1010 a 1080.



Fonte: DERTINS, adaptado pelo autor (2016)

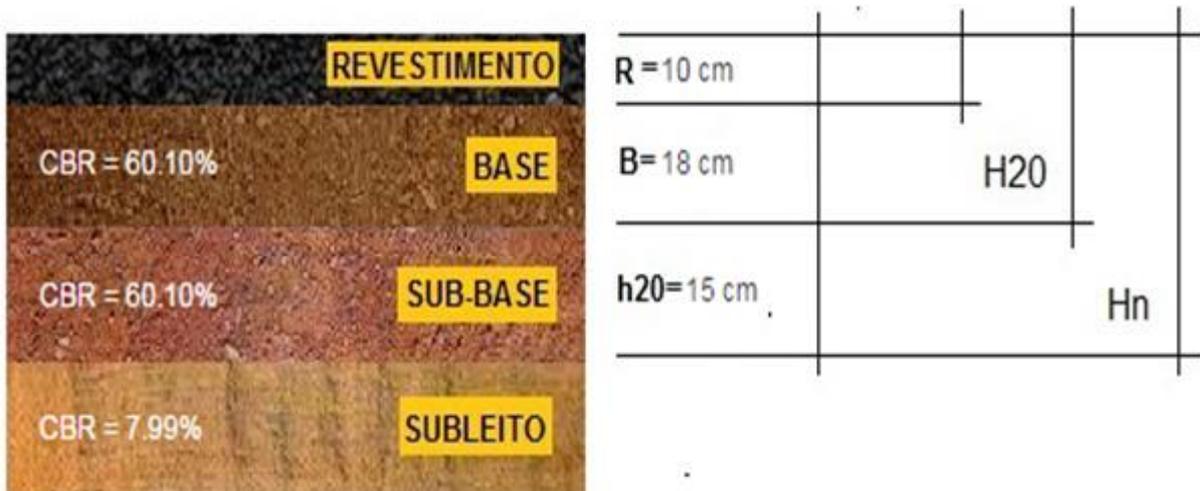
Tendo em vista o levantamento do tráfego da TO-050 do ano de 2015 e a aplicação desse dado para o cálculo realizado tanto com o software como manualmente, ambos obtiveram os mesmos resultados para todas as camadas de estrutura, conforme os perfis a seguir.

Imagem 24: Perfil do pavimento. Cálculo no software (com o tráfego da TO-050 2015).



Fonte: Autor (2016)

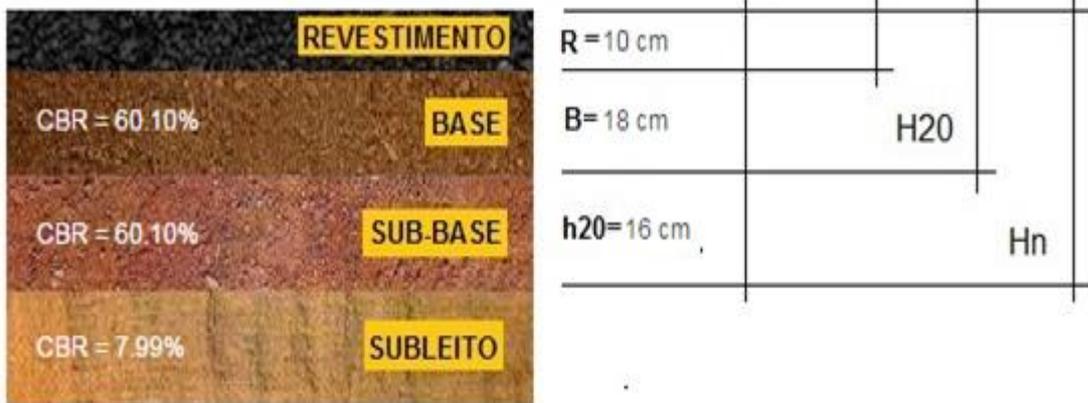
Imagem 25: Perfil do pavimento. Cálculo manual (com o tráfego da TO-050 2015)



Fonte: Autor (2016)

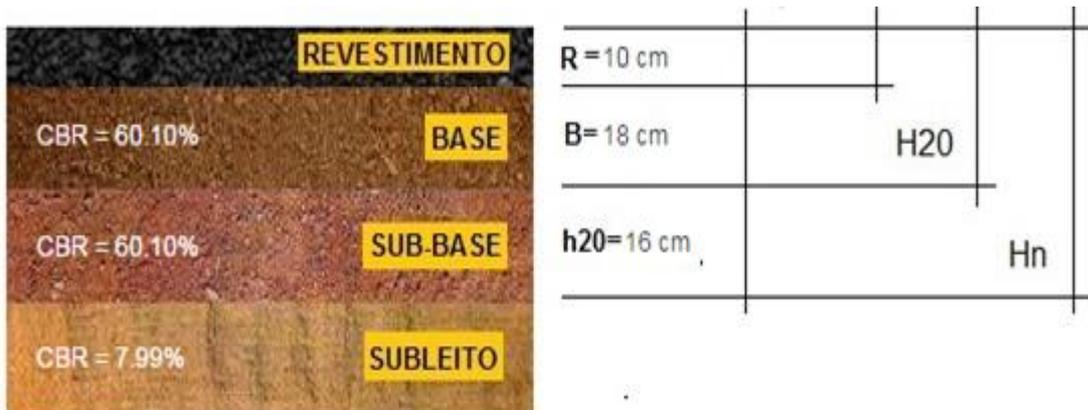
Os cálculos a seguir consideraram o levantamento de tráfego da BR-153 no trecho de Gurupi a Alvorada do ano 1990, onde para o projeto da TO-050 foi utilizado esses dados por ser a rodovia pavimentada mais próxima do projeto. Tendo em vista essa classificação de veículos, foram realizados o cálculo no software e os cálculos manualmente e ambos obtiveram os mesmos resultados para todas as camadas, podendo ser visto nos perfis abaixo.

Imagem 26: Perfil do pavimento. Cálculo no software (com o tráfego da BR-153 1990)



Fonte: Autor (2016).

Imagem 27: Perfil do pavimento. Cálculo manual (com o tráfego da BR-153 1990)



Fonte: Autor (2016).

Fazendo um comparativo dos cálculos realizados a partir do levantamento de veículos obtidos da TO-050, do ano de 2015 no trecho de Palmas a Porto Nacional, com o levantamento de veículos realizado na BR-153, do ano de 1990 no trecho de Gurupi a Alvorada, onde o último foi fundamental para definir o projeto da TO-050. Assim, a camada de sub-base que utilizou o dado da BR-153 consegue ser 1 cm maior do que a camada de sub-base que empregou os levantamentos de veículos da TO-050 do ano de 2015. Portanto, a intensidade de veículos que circulam atualmente está dentro do limite considerado para o projeto do pavimento.

4.4.2. Benefícios da utilização do software

4.4.2.1. Segurança

O dimensionamento realizado tanto com o software como manualmente obtiveram os mesmos resultados, porém o programa traz maior segurança, evitando assim possíveis erros nas aplicações de fórmulas, sobretudo na hora de calcular o fator de carga que se deve levar em consideração para cada tipo de eixo e sua respectiva carga, uma fórmula a ser aplicada, como a tabela abaixo.

Tabela 21: Tipos de eixos – Equação FC.

Tipos 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	$FC = 8,0359 \cdot 10^{-5} \cdot P^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \cdot 10^{-7} \cdot P^{5,5789}$

Fonte: DNIT (2006)

O cálculo convencional deixa vulnerável aos erros, ao não cumprimento das normas pertinentes e às falhas nas devidas aplicações das fórmulas.

4.4.2.2. Tempo

Analisando o fator tempo, o software pode levar no máximo 1 minuto na obtenção das espessuras das camadas, enquanto o método tradicional pode levar de 38 a 52 minutos, ou seja, no mínimo 38 vezes mais tempo, dependendo da quantidade de veículos que trafegam na via, esse número pode ser maior. Outro ponto positivo é que no software se pode fazer vários comparativos das supostas camadas que irão compor a estrutura do pavimento, assim, chegar a um perfil economicamente mais viável.

4.4.2.3. Agilidade

O programa engloba vários requisitos de maneira positiva como agilidade na obtenção dos resultados, bem como o memorial de cálculo, tudo isso atingindo todas as normas do DNIT pertinentes a dimensionamento de camadas do pavimento. Assim, pode-se realizar o dimensionamento de vários projetos e com diferentes tipos de camadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como alvo desenvolver um software de engenharia para dimensionamento de camadas do pavimento flexível e recalculá-lo o pavimento da TO-050 no trecho de Palmas a Porto Nacional, tanto utilizando o programa quanto o cálculo manual.

Para realizar este trabalho foi necessário recalculá-lo o pavimento da TO-050, tanto pelo o método manual como pelo o software, sendo primordial a obtenção dos dados utilizados no projeto original DERTINS (1990), no qual foram adquiridos no projeto os dados da contagem classificatória dos veículos, os resultados dos ensaios dos solos, ou seja, o CBR utilizado, o período de projeto em anos e a taxa de crescimento.

Utilizando o dado do levantamento de veículos da BR-153, o mesmo aplicado no cálculo do projeto original da TO-050, foi obtido o resultado satisfatório no programa, tendo em vista, que foram os mesmos valores encontrados no cálculo manual, ou seja, camada de sub-base de 16 cm, base de 18 cm e revestimento com 10 cm. Porém, é importante ressaltar que o revestimento adotado na TO-050 foi tratamento superficial duplo de 2,5 cm.

Empregando o levantamento do tráfego de veículos da Zacche (2015), o resultado foi aceitável, tendo em vista, a obtenção dos mesmos valores tanto no cálculo no programa quanto no cálculo manual terem sido iguais, com espessura de sub-base de 15 cm, base de 18 cm e revestimento com 10 cm. Portanto, o perfil da época estar condizente com o perfil atribuído a partir do levantamento de veículos do ano de 2015, dessa forma as camadas continuam desempenhando a sua função de resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos, sem necessidade de reforço estrutural.

Dessa forma, o software desenvolvido atende todos os critérios de norma do DNIT necessários para o cálculo do dimensionamento do pavimento flexível. O mesmo apresentou eficiência, sobretudo em relação ao tempo, onde o cálculo no programa foi realizado em um minuto com resultados precisos, tendo em vista que o cálculo manual levou uma hora para obter os mesmos resultados, além de estar suscetíveis a possíveis erros na execução do cálculo, levando a acarretar falhas no dimensionamento do projeto.

O software é mais ágil, podendo realizar a simulação com vários tipos de perfis, dessa forma encontrar o que atende as necessidades técnicas e que seja economicamente mais viável. Observou-se que este instrumento trás maior segurança, tanto na aplicação das formulas como no seguimento das normas do DNIT, possibilitando ao calculista mais simplicidade na obtenção das alturas das camadas.

Desta forma, observou a legitima necessidade de criar novas ferramentas tecnológicas como esta que apresenta de forma positiva, contribuindo aos profissionais de engenharia civil, otimizando tempo, obtendo resultados precisos e eficientes.

A sugestão para possíveis trabalhos futuros, tendo como base este estudo são, Continuar o software para calculo de projeto, Aplicar o software para dimensionar uma rodovia real e observar a vida útil definida em projeto. Desenvolver um software para volume de corte e aterro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7207 (TB-7) – **Terminologia e classificação de pavimentação**, 1982.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L., et al. **Pavimentação Asfáltica**: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, 2006. 504 f. Incluindo Bibliografia. Patrocínio Petrobrás.

BRASIL. CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>> Acesso em: 10 set. 2015.

_____. CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Limites para dimensões, peso bruto total e peso por eixo**. Disponível em: <<http://www1.dnit.gov.br/Pesagem/qfv%20pdf.pdf>> Acesso em: 01 out. 2015.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. IPR- 714: **Manual de pavimento rígido**, Rio de Janeiro, 2005.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação**. IPR – 719, 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis**. Rio de Janeiro, 1981.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Método de ensaio - DNER-ME 049. **Determinação do índice de suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas**, Rio de Janeiro, 1994.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ES 299/97. **Pavimentação – Regularização do subleito**. Rio de Janeiro, 1997.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 707/20 - **Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários**, Rio de Janeiro, 2006.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. IPR 726: **Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários – escopos básicos/instruções de serviço**, Rio de Janeiro, 2006.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT – ES 138/210. **Reforço do subleito – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2010. Revisão da norma DNER – ES 300/97.

CASTELHANO, Artur Quintão. **Projeto de pavimentação**: estudos geotécnicos 2015. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/4870553/#>> Acesso em: 24 ago. 2015.

GIMENES, I. M. S., HUZITA, E. H. M. **Desenvolvimento Baseado em Componentes**: Conceitos e Técnicas, Ciência Moderna, 1ª Ed., 2006. Disponível em: <<http://www.inf.ufes.br/~falbo/files/DissertacaoSegriniBruno.pdf>> Acesso em: 20 set. 2015.

GLAUCO, Pontes Filho. **Estradas de rodagem projeto geométrico**, São Carlos-SP: 1998.

MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos**. 1ª edição, Rio de Janeiro. Editora UFRJ, 1997.

SEGRINI, Bruno Marques. **Definição de processos baseada em componentes**, 2009. Tese (Dissertação de Mestrado em Informática. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009. Disponível em: <<http://www.inf.ufes.br/~falbo/files/DissertacaoSegriniBruno.pdf>> Acesso em: 20 set. 2015.

SENÇO, Wlastermiler. **Manual de técnicas de pavimentação**, volume I. São Paulo: Ed. Pini, 2001.

SENÇO, Wlastermiler. **Manual de técnicas de pavimentação**, volume II. São Paulo: Ed. Pini, 1997.

SILVA, Paulo Fernando Araújo. **Manual de patologia e manutenção de pavimentos**. 2. Ed. - São Paulo: Ed. Pini, 2008.

SOUZA, Murillo Lopes. **Pavimentação rodoviária**. 2ª Ed. Rio de Janeiro, Livros técnicos e científicos: DNER - Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1980.

SOUZA, Murillo Lopes de. **Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis**. 3 ed. Ver. e atual. Rio de Janeiro, IPR, 1981 (IPR. Publ. 667).

TISAKA, Maçahico. **Como Orçar** – Custos Diretos e Indiretos. Guia da Construção 95 – Editora PINI. Junho de 2009.

ZACCHÉ, Carolina Pessoa. **Análise da estrutura da rodovia TO-050 trecho Palmas - Porto Nacional**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2015.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Programa Pavimentando

PROGRAMA



DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURA DO PAVIMENTO FLEXÍVEL

Programa: Engenharia Civil

Desenvolvido por:

Acadêmico de Engenharia Civil, **IRAN MILHOMEM LIMA JÚNIOR**

Parceria:

Tecnólogo em Sistema para Internet, **TÚLIO GAIO**

1. CÁLCULO DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO

Para conduzir este Guia Rápido, optou-se por um projeto exemplo desenvolvido desde o lançamento dos dados até a obtenção das alturas das camadas de estrutura do pavimento flexível.

1º PASSO: Seleção dos Veículos.

No passo 1, o operador do programa deve-se selecionar os veículos conforme o levantamento realizado na via. A partir da tabela de classificação de veículos conforme o CONATRAN, os veículos serão selecionados a partir de um clique, conforme a ilustração abaixo.

PAVIMENTANDO Pavimentação ▾

PAVIMENTANDO (CLIQUE) PARA SELEÇÃO DOS VEÍCULOS

	Classe / Tipo	Eixo	Configuração
<input type="checkbox"/>	Veículos Leves / Carro de Passado	2C Leve	
<input type="checkbox"/>	Veículos Leves / Utilitários (Pick-Ups e Furgões)	2C Leve	
<input checked="" type="checkbox"/>	Ônibus / Ônibus	2C	
<input type="checkbox"/>	Ônibus / Tribus	3C	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhão Leve (608 e F4000)	2C	
<input checked="" type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Médios e Pesados	2C	
<input checked="" type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Médios e Pesados	3C	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Médios e Pesados	4C	
<input checked="" type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	2S1	
<input checked="" type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	2S2	
<input checked="" type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	2S3	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	3S2	
<input checked="" type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	3S3	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Rboque (Romeu e Julietta)	2C2	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Rboque (Romeu e Julietta)	2C3	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Rboque (Romeu e Julietta)	3C2	
<input checked="" type="checkbox"/>	Caminhões / Caminhões Com Rboque (Romeu e Julietta)	3C3	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Treminhão	3C4	
<input type="checkbox"/>	Caminhões / Treminhão	3C5	

PAVIMENTANDO / Treminhão / 3C5

Póximo ➡

2º PASSO: Inserir o (Número de Passagem) dos Veículos Selecionados.

No passo 2, surgirá uma tela apenas dos veículos que foram selecionados, ou seja, somente os veículos que trafegam na via em estudo. Na frente desses veículos vai ter um campo para o preenchimento do número de passagem dia, aonde o operador do programa irá inserir o número de passagem do respectivo veículo, conforme a ilustração abaixo.

PAVIMENTANDO Pavimentação ▾

PAVIMENTANDO **INSERIR O NÚMERO DE PASSAGEM DO VEÍCULO**

Classe / Tipo	Eixo	Configuração	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Passagem
Ônibus / Ônibus	2C		4.00	7.50			<input type="text" value="163"/>
Caminhões / Caminhões Médios e Pesados	2C		6.00	10.00			<input type="text" value="130"/>
Caminhões / Caminhões Médios e Pesados	3C		6.00	17.00			<input type="text" value="104"/>
Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	2S1		6.00	10.00	10.00		<input type="text" value="3"/>
Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	2S2		6.00	10.00	17.00		<input type="text" value="21"/>
Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	2S3		6.00	10.00	25.50		<input type="text" value="43"/>
Caminhões / Caminhões Com Semi-Reboque (Carretas)	3S3		6.00	15.00	25.50		<input type="text" value="55"/>
Caminhões / Caminhões Com Rboque (Romeu e Julieta)	3C3		6.00	15.00	10.00	15.00	<input type="text" value="51"/>

(Clica) EM PRÓXIMO APÓS O PREENCHIMENTO DE PASSAGEM →

3º PASSO: Inserir o (Período do Projeto) e a (Taxa de Crescimento).

No passo 3, o operador do programa irá preencher o campo de **Período de Projeto** com a quantidade de anos, conforme definido no projeto. O campo de **Taxa de Crescimento** deve-se inserir o crescimento anual da via, numeral dado em porcentagem, conforme a ilustração abaixo.

PAVIMENTANDO Pavimentação ▾

CALCULANDO O VMD

Período de Projeto Taxa de Crescimento Anual

(Clique EM PRÓXIMO) APÓS O PREENCHIMENTO DOS CAMPOS ACIMA →

4° PASSO: Selecionar as camadas de estrutura do pavimento conforme a necessidade do projeto, inserir os CBR's e os coeficientes das respectivas camadas selecionadas.

- **Seleção das Camadas:** as camadas deverão ser selecionadas de modo a resistir os esforços oriundos do trafego e que seja economicamente viável. As camadas de base e subleito são automaticamente selecionadas pelo o programa, tendo em vista que todo pavimento flexível é composto no mínimo por essas camadas.
- **Preencher os Campos com os CBR's:** os CBR's são inseridos o numeral dado em porcentagem (%) no respectivo campo da camada selecionada. O programa diz de acordo com a norma qual o CBR deve ser utilizado na camada de base, porém o programa deixa livre ao operador a inserção de qualquer valor. O programa deixa livre inserir o CBR do subleito abaixo de 2%, onde para este caso a norma recomenda que faça um reforço do subleito.

Tabela: Critério de norma para a camada de base

Número "N"	CBR (%)
$N \leq 10^6$	CBR ≥ 60
$N > 10^6$	CBR ≥ 80

Tabela: Espessura do Revestimento Conforme o Número "N"

Número "N"	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamento superficial betuminoso
$10^6 < N \leq 5.10^6$	Revestimento betuminoso com 5,0cm de espessura
$5.10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5cm de espessura
$10^7 < N \leq 5.10^7$	Concreto betuminoso com 10,0cm de espessura
$N > 5.10^7$	Concreto betuminoso com 12,5cm de espessura

- **Preencher os Campos dos Coeficientes:** São preenchidos primeiro os coeficientes, de acordo o tratamento utilizado na terraplenagem (Kb, Ksb e

Kref), e por último, preencher o (KR), coeficiente de equivalência estrutural do revestimento, onde, para cada componente utilizado no revestimento, um coeficiente a ser utilizado. Conforme a tabela abaixo.

Coeficiente de equivalência estrutural do revestimento

Componentes do pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa.	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa.	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20

PAVIMENTANDO Pavimentação ▾

PREENCHA O CBR DOS PAVIMENTOS QUE DESEJA UTILIZAR.

N: 15386906

CBR: CBR >= 80

Tipo de Revestimento: Concreto Betuminoso com 10cm de espessura

Espessura do Revestimento: 10

CAMADAS	CBR	Coeficientes	
<input checked="" type="checkbox"/> BASE	<input type="text" value="60.10"/>	KB <input type="text" value="1"/>	KR <input type="text" value="1.70"/>
<input checked="" type="checkbox"/> SUB-BASE	<input type="text" value="60.10"/>	KSB <input type="text" value="1"/>	
<input type="checkbox"/> REFORÇO	<input type="text"/>	KREF <input type="text" value="1"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> SUBLEITO	<input type="text" value="7.99"/>		

5° PASSO: Memorial de Cálculo.

No passo 5, é composto pelo o memorial de cálculo onde será obtido todas as formulas e os respectivos resultados de cada uma dela, sobretudo o número "N" e as espessuras dada em (cm) das camadas de estrutura do pavimento flexível, conforme a ilustração abaixo.

RESULTADO

Fórmula do VMD1: passagem A + passagem B + passagem N **Calculando o VMD1** = + 163 + 130 + 104 + 3 + 21 + 43 + 55 + **Resultado VMD1** = 570 passagens
 51 passagens **Fórmula do VMD:** VMD1 x (2 + (P - 1) x t / 100) / 2

Calculando o VMD = (570 * (2 + (10-1) * 3 / 100)) / 2 **Resultado VMD** = 646.95 passagens

Equação FC:

Tipos 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	$FC = 1,5920 \cdot 10^{-8} \cdot P^{3,472}$
	≥ 11	$FC = 1,528 \cdot 10^{-6} \cdot P^{3,484}$
Tandem triplo	0 - 18	$FC = 8,0359 \cdot 10^{-9} \cdot P^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \cdot 10^{-7} \cdot P^{5,5789}$

Determinando o FC:

Tipos de Eixos

ORDEM	EIXO SIMPLES			Fd	FREQUENCIA ABSOLUTA (fi)	FREQUENCIA RELATIVA (fi)	Fd x fi
	ES	ED	ET				
				1	2	3	4

Eixos **Cargas (tf) de cada eixo (observar o tipo do eixo)** **FC**

Calculando o FC = 0.0895 + 1.5426 + 0.93 + 0.1609

FC = 2.723 tf

Calculando o FE:

FE = 2.3929824561404 eixos

Passo 1: 2 * 2 * 1632 * 1302 * 1043 * 33 * 213 * 433 * 554 * 51
Passo 2: 2.3929824561404 / 570

Fórmula do Fv: FC x FE

Calculando o Fv = 2.723 * 2.3929824561404

Resultado Fv = 6.5161 tf eixos

Fórmula do N: 365 x VMD x P x FV

Calculando o N = 365 * 646.95 * 10 * 6.5161

N = 15386906

Encontrando o CBR:

Calculando o CBR = 1.5386906 * pow(10, (8-1))

Resultado CBR = CBR >= 80

Número "N"	CBR (%)
$N \leq 10^6$	CBR ≥ 60
$N > 10^6$	CBR ≥ 80

Encontrando a espessura do revestimento:

Tipo de Revestimento: Concreto Betuminoso com 10cm de espessura

Número "N"	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamento superficial betuminoso
$10^6 < N \leq 5 \cdot 10^6$	Revestimento betuminoso com 5,0cm de espessura
$5 \cdot 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \cdot 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0cm de espessura
$N > 5 \cdot 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5cm de espessura

BASE CBR: 60.10%

SUB-BASE CBR: 60.10%

REFORÇO CBR: %

SUBLEITO CBR: 7.99%

Fórmula do H20: 77.67 x (N)^{0.0482} x (CBR)^{-0.598}

Calculando o H20: 77.67 * pow(15386906, 0.0482) * pow(20, -0.598)

Resultado H20: 29 cm

Fórmula da Base: (R x Kr) + (B x Kb) ≥ H20

Calculando a Base:

Resultado da Base = 15 cm

Passo 1: (29 - (10 * 1.70)) / 1
Passo 2: Espessura da camada igual a 15 cm

Calculando o Hn:

Hn = 50 cm

77.67 * pow(15386906, 0.0482) * pow(7.99, -0.598)

Fórmula do h20: (R x Kr) + (B x Kb) + (h20 x Ksb) ≥ Hn

Calculando o h20:

SUB-BASE = 18 cm

Passo 1: (50 - (10 * 1.70) + (15 * 1)) / 1
Passo 2: Espessura da camada igual a 18 cm

ANEXOS

ANEXO A – Códigos Abertos

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
  <head>
    @include('layouts.head')
    <script type="text/javascript" src="/libs/bootstrap/js/jquery.mask.js"></scr
  </head>
  <body>
    @include('layouts.top')
    <div class="container-fluid">
      <div class="row">
        <div class="col-sm-12">
          <div class="panel panel-default">
<div class="panel-heading">PREENCHA O CBR DOS PAVIMENTOS QUE DESEJA
UTILIZAR.</div>
<div class="panel-body">
  {!! Form::open(array('action'=>'SemiRigida@calculate')) !!}
  <div class='form-group'>
    <div class="row">
      <div class="col-sm-3">
        <label>N: </label>
        {{ $data['n'] }}
      </div>
    </div>
  </div>
  <div class='form-group'>
    <div class="row">
      <div class="col-sm-3">
        <label>CBR: </label>
        {{ $data['cbrString'] }}

```

Fonte: Tulio Gaio (2016)

ANEXO B – Códigos Abertos

```

<table class="table table-bordered table-condensed">
  <thead>
    <tr>
      <th>&nbsp;</th>
      <th class="text-center">CAMADAS</th>
      <th class="text-center">CBR</th>
      <th>Coeficientes</th>
    </tr>
  </thead>
  <tbody>
    <tr>
      <td><input type="checkbox" checked disabled /></td>
      <td>BASE</td>
      <td>
        <div class="col-sm-4">
          <input type="text" class="form-control
            fracao" name="cbrbase" />
        </div>
      </td>
      <td>
        <div class="col-sm-2">
          <label>
            KB
          </label>
          <input type="text" class="form-control
            fracao" name="kb" />
        </div>
        <div class="col-sm-2">
          <label>
            KR
          </label>
          <input type="text" class="form-control
            fracao" name="kr" />
        </div>
      </td>
    </tr>
    <tr>
      <td><input type="checkbox" name="subbase" value="1"
        /></td>
      <td>SUB-BASE</td>
      <td>
        <div class="col-sm-4">
          <input type="text" class="form-control
            fracao" name="cbrsubbase" />
        </div>
      </td>
      <td>
        <div class="col-sm-2">
          <label>
            KSB
          </label>
          <input type="text" class="form-control
            fracao" name="ksb" />
        </div>
      </td>
    </tr>
    <tr>
      <td><input type="checkbox" name="reforc" value="1"
        /></td>

```

Fonte: Tulio Gaio (2016)

ANEXO C - Códigos Abertos

```

<td>REFOR&Ccedil;O</td>
<td>
  <div class="col-sm-4">
    <input type="text" class="form-control
      fracao" name="cbrreforco" />
  </div>
</td>
<td>
  <div class="col-sm-2">
    <label>
      KREF
    </label>
    <input type="text" class="form-control
      fracao" name="kref" />
  </div>
</td>
</tr>
<tr>
  <td><input type="checkbox" checked disabled /></td>
  <td><input type="checkbox" checked disabled /></td>
  <td>SUBLEITO</td>
  <td>
    <div class="col-sm-4">
      <input type="text" class="form-control
        fracao" name="cbrsubleito" />
    </div>
  </td>
  <td>&nbsp;</td>
</tr>
</tbody>
</table>
<div class="pull-right">
  <button type="submit" class="btn btn-sm
    btn-default">Calcular</button>
</div>
<div class="clearfix"></div>
<input type="hidden" name="base" value="1" />
<input type="hidden" name="subleito" value="1" />
<input type="hidden" name="vmdl" value="{{ $data['vmdl'] }}" />
<input type="hidden" name="vmdlString" value="{{
  $data['vmdlString'] }}" />
<input type="hidden" name="vmdString" value="{{
  $data['vmdString'] }}" />
<input type="hidden" name="vmd" value="{{ $data['vmd'] }}" />
<input type="hidden" name="fcString" value="{{ $data['fcString']
  }}" />
<input type="hidden" name="fc" value="{{ $data['fc'] }}" />
<input type="hidden" name="feArrayString" value="{{
  $data['feArrayString'] }}" />
<input type="hidden" name="feString" value="{{ $data['feString']
  }}" />

```

Fonte: Tulio Gaio (2016)

ANEXO D - Códigos Abertos

```

<input type="hidden" name="fe" value="{{ $data['fe'] }}" />
<input type="hidden" name="fvString" value="{{ $data['fvString']
}}" />
<input type="hidden" name="fv" value="{{ $data['fv'] }}" />
<input type="hidden" name="nString" value="{{ $data['nString']
}}" />
<input type="hidden" name="nString2" value="{{ $data['nString2']
}}" />
<input type="hidden" name="n" value="{{ $data['n'] }}" />
<input type="hidden" name="cbrString" value="{{
$data['cbrString'] }}" />
<input type="hidden" name="tiporevestimento" value="{{
$data['tiporevestimento'] }}" />
<input type="hidden" name="esprevestimento" value="{{
$data['esprevestimento'] }}" />
{!! Form::close() !!}

        </div>
    </div>
</div>
</div>
</div>
</body>
<script type="text/javascript">
    $('.numero').mask('####', {reverse: true});
    $('.fracao').mask('##.##', {reverse: true});
</script>
</html>

```

Fonte: Tulio Gaio (2016)