

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

MARINA MYSZAK BIEDACHA

**DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO PELO
MÉTODO DNER E COMPARATIVO COM O ATUAL MÉTODO
MECANÍSTICO-EMPÍRICO MEDINA.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PATO BRANCO
2020**

MARINA MYSZAK BIEDACHA

**DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO PELO
MÉTODO DNER E COMPARATIVO COM O ATUAL MÉTODO
MECANÍSTICO-EMPÍRICO MEDINA.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação, apresentado a disciplina de TCC 2, do curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Pato Branco.

Orientador: Prof^o. Msc. Jairo Trombetta.

PATO BRANCO

2020

TERMO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO PELO MÉTODO DNER E COMPARATIVO COM O ATUAL MÉTODO MECANÍSTICO-EMPÍRICO MEDINA

Por

Marina Myszak Biedacha

Monografia apresentada às 16:00 horas do dia 14 de agosto de 2020 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO. Banca examinadora:

Prof. Dr. Danilo Rinaldi Bisconsini	Membro
Prof. Dr. Ney Lyzandro Tabalipa	Membro
Prof. Msc Jairo Trombetta	Orientador
Prof. Dra. Elizângela Marcelo Siliprandi	Professora responsável TCCII

Documento assinado eletronicamente por **JAIRO TROMBETTA, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 14/08/2020, às 19:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por **DANILO RINALDI BISCONSINI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/08/2020, às 10:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por **NEY LYZANDRO TABALIPA, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 17/08/2020, às 16:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por **ELIZANGELA MARCELO SILIPRANDI, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 21/08/2020, às 10:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1571419** e o código CRC **B3B0A461**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares, em especial meu esposo Renan Biedacha e minha irmã Mariana Myszak, figuras insubstituíveis nesse processo, por cada palavra de amor, de incentivo, por toda a dedicação e ajuda, por suportar comigo os dias ruins e comemorar os dias bons e sonharem comigo os meus sonhos.

Agradeço aos amigos, estes que estão sempre comigo, que compartilham os desafios em especial a Jaqueline Parise, Keila Stedile, Liandra Trentin e Gustavo Nascimento companheiros ao longo desses anos de graduação bem como todos os envolvidos no projeto de extensão.

Imensamente ao orientador deste trabalho, Prof^o. Msc. Jairo Trombetta, por sua dedicação, pelo conhecimento transmitido e pela confiança depositada. A universidade UTFPR – Câmpus Pato Branco e a Prefeitura Municipal de Itapejara D' Oeste por disponibilizar prontamente os equipamentos necessários para a realização do estudo.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que esse trabalho fosse concluído com zelo e dedicação.

ÈPIGRAFE

“A persistência é o caminho do êxito “

Charles Chaplin

RESUMO

BIEDACHA, Marina Myszak. **DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO PELO MÉTODO DNER E COMPARATIVO COM O ATUAL MÉTODO MECANÍSTICO-EMPÍRICO MEDINA, 2020.** 132 pág. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2020.

O cenário da pavimentação asfáltica brasileira prevê mudanças. Em desenvolvimento o novo método de dimensionamento de estruturas rodoviárias considera uma rotina mecanística-empírica, que busca substituir o método vigente considerando o desenvolvimento de métodos mais racionais de dimensionamento. O presente estudo tem como objetivo apresentar uma alternativa para o dimensionamento de um contorno para o tráfego de cargas que traspõe a cidade de Itapejara D' Oeste - PR através da rodovia PR-493, comparando as alternativas para o local. Foram realizados levantamento topográfico por georreferenciamento, levantamento de tráfego, definição do traçado, ensaios laboratoriais para definir características do solo do subleito, caracterização dos resultados encontrados e o dimensionamento da estrutura do pavimento flexível pelo método do extinto Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER), sendo este comparado as estruturas dimensionadas no software MeDiNa de acordo com as condições adotadas frente à falta de parâmetros dos materiais utilizados no dimensionamento. Pode-se perceber a significativa diferença na utilização dos dois métodos, enquanto o DNER visa, a princípio, proteger o subleito de deformações plásticas excessivas, o MeDiNa possibilita a análise e dimensionamento de pavimentos por meio do estudo das múltiplas camadas dos materiais que compõe o pavimento. Neste estudo, o comparativo entre os métodos de dimensionamento mostrou que estruturas dimensionadas pelo método de dimensionamento, ainda vigente, de pavimentos flexíveis do extinto DNER, quando submetidas a uma análise detalhada pelo MeDiNa pode apontar deficiências no pavimento, inclusive antes de atingir o período de projeto estimado. O método mecanístico- empírico utilizado no software MeDiNa possibilita ao projetista antever possíveis cenários do desempenho do pavimento ao longo do tempo, garantindo a utilização racional de materiais e construção de pavimentos com melhor serventia ao usuário durante todo o período de projeto.

Palavras-chave: Pavimentação, Contorno Rodoviário, MeDiNa.

ABSTRACT

BIEDACHA, Marina Myszak. **DIMENSIONING ASPHALTIC PAVING THE DNER METHOD AND COMPARATIVE WITH THE CURRENT MECHANISTIC-EMPIRICAL METHOD MEDINA, 2020.** 132 pag. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2020.

The scenario of the Brazilian asphalt pavement previsions changes. The new method for dimensioning road structures in development, considering a mechanistic-empirical routine, which seeks to replace the current method considering the development of more rational methods of sizing. The present study aims to present an alternative for dimensioning a contour for cargo traffic that crosses the city of Itapejara D'Oeste through the PR-493 highway, comparing the alternatives for the location. For then were done topographic surveys were carried out by georeferencing, traffic survey, route definition, laboratory tests to define subgrade soil characteristics, characterization of the results found and the dimensioning of the flexible pavement structure by the method of the Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER), this being compared and simulations in the MeDiNa software according to the conditions adopted in view of the due to de lack of parameters of the materials used in the dimensioning. It can be seen the significant difference in the use of the two methods, while the DNER aims only to protect the subgrade from excessive plastic deformations, the MeDiNa performs the analysis and dimension of pavements through by studying the multiple layers of materials that make up the pavement. In this study, comparison between the sizing, showed that structures dimensioned by the dimensioning method, still in force, of flexible pavements of the extinct DNER, when submitted to a detailed analysis by MeDiNa can point out deficiencies in the pavement, even before reaching the estimated design period. The mechanistic-empirical method used in the MeDiNa software allows the designer to foresee possible scenarios of the pavement performance over time, ensuring the rational use of materials and building floors with better use for the user throughout the project period.

Key words: Paving, road outline, MeDiNa.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Danos na zona central cidade de Itapejara D'Oeste-PR.....	19
Figura 2- Camadas constituintes de um pavimento flexível	22
Figura 3 - Distribuição de tensões em pavimentos flexíveis e rígidos	24
Figura 4 -Configurações de pavimento semirrígido.....	25
Figura 5 - Limites de consistência de Atterberg	28
Figura 6 - Parâmetros de análise em métodos mecanístico-empírico.....	37
Figura 7 - Fluxograma das etapas do estudo.....	40
Figura 8 - Localização do trecho em estudo.	42
Figura 9 - Índice de Desenvolvimento Humano do Município de Itapejara D 'Oeste.	49
Figura 10 - Produto Interno Bruto per capita do município de Itapejara D 'Oeste.	49
Figura 11 - Gabarito do veículo de projeto – Semi Reboque.....	54
Figura 12 - Seção típica de projeto.	55
Figura 13 - Retirada da amostra na estaca 0	57
Figura 14 - Retirada das Amostras 2 e 3.....	57
Figura 15 - Ábaco de dimensionamento de pavimento flexível	61
Figura 16 - Espessura das camadas do pavimento	63
Figura 17 - Modelos de comportamento a deformações permanentes de solos – Análise do Acomodamento (shakedown)	67
Figura 18 - Variação da deformação resiliente com o número de ciclos e aplicação de cargas na argila de Ribeirão Preto – SP.	72
Figura 19 - Amostras de Solo (3 – 2 – 1)	74
Figura 20 - Material para Ensaio	75
Figura 21 - Ensaio de Proctor.....	76
Figura 22 - Compactação em umidade ótima.....	77
Figura 23 - Corpos de Prova após a realização do ensaio de penetração.....	79
Figura 24 - Características de tráfego adotada para o dimensionamento pelo software MeDiNa.	84
Figura 25 - Dimensionamento do Hm e H20 pelo ábaco.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de IS_{IG} em função de IG.....	30
Tabela 2 - Fator climático regional	34
Tabela 3 - Resumo de dados da contagem volumétrica realizada.....	47
Tabela 4 -Tipos de terrenos ou regiões.....	51
Tabela 5 - Coeficientes de equivalência estrutural - k.....	60
Tabela 6 - Espessura de acordo com N	62
Tabela 7 - Classificação resiliente de solos finos – Método Indireto	66
Tabela 8 - Limites de aceitabilidade do Flow Number (FN).....	68
Tabela 9 - Resultados de ensaios de caracterização do solo	74
Tabela 10 - Classificação do solo.....	75
Tabela 11 - Ensaio de Proctor Normal	77
Tabela 12 - Valores de expansão.....	78
Tabela 13 - Valores de Índice de Suporte	79
Tabela 14 - Valores Equivalência de Operações	83
Tabela 15 - Valores para cálculo de FE	83
Tabela 16 - Área trincada e Afundamento de trilha de roda em simulações no MeDiNa.	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Termos aplicáveis a camadas de revestimento asfáltico	23
Quadro 2 - Velocidades de projeto ou velocidade diretriz (km/h)	52
Quadro 3 - Raios mínimos (m)	53
Quadro 4 - Resumo das características operacionais adotadas:	56
Quadro 5 - Tentativa de classificação de acordo com as características resilientes.	70
Quadro 6 - Características dos materiais utilizados no dimensionamento	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO Association of State Highway and Transportation Officials
ABCP Associação Brasileira de Cimento Portland
AEMC
ATR Afundamento de Trilha de Roda
ASTM *American Society for Testing and Materials*
CBR California Bearing Ratio
CBUQ Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CONTRAN Conselho Nacional de Trânsito
CTB Código de Trânsito Brasileiro
DER Departamento de Estradas de Rodagem
DNER Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FEC Fatores de equivalência de cargas
HRB Highway Research Board
IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBPT Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação
IG Índice de Grupo
IPARDES Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
IPR Instituto de Pesquisas Rodoviárias
IP Índice de Plasticidade
ISC Índice Suporte California
ITCG Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná
LL Limite de Liquidez
LP Limite de Plasticidade
MEDINA método nacional para dimensionamento
N_F Vida de fratura
NBR Norma Brasileira Regulamentadora
SRTM *Topographic Mission Radar Shuttle*
TSCE Teoria de Sistema de Camadas Elásticas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo Geral.....	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
1.2	JUSTIFICATIVA	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	PAVIMENTOS.....	21
2.1.1	Definição e Conceitos Gerais.....	21
2.1.1.1	Pavimento Flexível	23
2.1.1.2	Pavimento Rígido	24
2.1.1.3	Pavimento Semirrígido	25
2.1.2	Fadiga	26
2.2	SOLO DE FUNDAÇÃO DOS PAVIMENTOS	27
2.2.1.1	Granulometria.....	27
2.2.1.2	Limites de Atterberg	27
2.2.1.2.1	Limite de Liquidez (LL)	28
2.2.1.2.2	Limite de Plasticidade (LP)	28
2.2.1.3	Índice de Grupo (IG).....	29
2.2.2	Umidade	30
2.2.3	Califórnia Bearing Ratio (C.B.R.).....	31
2.3	DEFINIÇÃO DO TRÁFEGO	31
2.3.1	Número N	32
2.3.1.1	Fator de Carga (FC)	33
2.3.1.2	Fator de Eixo (FE)	34
2.3.1.3	Fator Climático Regional (FR)	34
2.4	MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO.....	35
2.4.1	Método do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER (1981). 35	
2.4.2	Método Mecânico-Empírico	36
2.4.2.1	O Novo Método de Dimensionamento Nacional – MeDiNa.....	39
3	METODOLOGIA.....	40

3.1	DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	40
3.2	OBJETO DE ESTUDO	41
3.3	ESTUDO TOPOGRÁFICO	42
3.3.1	Estudo do Traçado	43
3.4	TRÁFEGO PREVISTO	44
3.4.1	Levantamento de Dados	44
3.4.2	Tráfego Previsto (Número N).....	50
3.5	PROJETO GEOMÉTRICO	50
3.5.1	Definição da Região da Rodovia	50
3.5.2	Definição da Classe da Rodovia.....	51
3.5.3	Velocidade de Projeto ou Velocidade Diretriz.....	52
3.5.4	Características Geométricas	53
3.5.4.1	Raio Horizontal Mínimo	53
3.5.5	Veículo de Projeto	53
3.5.6	Seção Típica.....	55
3.5.7	Resumo Características Operacionais	56
3.6	ENSAIOS DE SOLO.....	56
3.6.1	Coleta de Amostras	56
3.7	DIMENSIONAMENTO.....	58
3.7.1	Dimensionamento do Pavimento Flexível Método do DNER	58
3.7.2	Método mecanístico-empírico (MeDiNa)	63
3.7.2.1	Modulo de Resiliência	64
3.7.2.2	Deformação Permanente.....	66
3.7.2.3	Fadiga	67
3.7.2.4	Nível de Confiabilidade.....	68
3.7.2.5	Parametrização dos Materiais	69
4	RESULTADOS	74
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	74
4.1.1	Classificação H.R.B.....	74
4.1.2	Ensaio de Proctor	76
4.1.3	Índice de Suporte California (C.B.R.)	77
4.1.4	Índice Suporte (IS).....	78
4.2	DIMENSIONAMENTO.....	80
4.2.1	Dimensionamento do Pavimento pelo Método DNER.....	80

4.2.1.1	Tráfego no Pavimento	80
4.2.1.2	Camadas	85
4.2.2	Dimensionamento do Pavimento pelo MeDiNa.	87
4.3	Comparação	89
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	90
6	REFERÊNCIAS	92
7	APÊNDICES.....	97
8	ANEXOS.....	129

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas de infraestrutura do Brasil é a deficiência da malha rodoviária. Com esse problema, surge a ineficiência do pavimento em cumprir com seu principal objetivo: proporcionar ao usuário condições de trafegabilidade de forma confortável, econômica e segura. Muitas vezes, os sucessos e insucessos dos pavimentos estão relacionados ao desempenho mecânico da camada de fundação ou subleito. Sabe-se que o comportamento mecânico dos solos de subleito é de difícil previsão, pois depende da característica física do solo, da qualidade da construção do subleito, do estado de tensões, das condições climáticas, entre outros.

O atual método de dimensionamento conhecido como método do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), desenvolvido por professor Murilo Lopes de Souza do Instituto Militar de Engenharia, utilizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT) está vigente no Brasil desde 1966 e foi atualizado no ano de 1981 (SOUZA, 1981). Este utiliza uma metodologia semi-empírica: base empírica, com extrapolação realizada a partir da teoria de Boussinesq, que considera a resistência de suporte do solo empregado no subleito da estrutura e os coeficientes estruturais dos materiais como condicionante de projeto.

Os veículos apresentam diferentes tipos de eixos que provocam diferentes ações em relação a estrutura do pavimento. Dessa forma, para o dimensionamento dos pavimentos é realizada a introdução de um conceito chamado de equivalência de cargas, o qual surge da observação de que para uma mesma estrutura do pavimento os efeitos destrutivos ocasionados ao longo do tempo, por veículos diferentes, também são desiguais.

A equivalência de carga define o dano causado pela passagem de um veículo qualquer em relação ao veículo considerado como o padrão. Os fatores de equivalência de cargas (FEC) permitem a conversão de aplicações de diferentes solicitações em um número equivalente de solicitações do eixo padrão. Isto possibilita o dimensionamento e a previsão do desempenho de pavimentos para o tráfego, considerando toda a gama de veículos que o compõe.

A estrutura construída sobre o leito de terra pode variar tanto no que se refere à espessura, como no que se refere aos materiais utilizados, não só de acordo com

as solicitações, mas também com a própria função que a estrada está exercendo ou irá exercer (SENÇO, 2007).

Devido ao interesse de aproximar ainda mais as condições de projeto à realidade de campo, estudos tem buscado representar as condições de carregamentos dos veículos e seus efeitos no pavimento, para que sejam determinadas estruturas eficientes às solicitações do tráfego e que apresentem um comportamento adequado e previsível durante o período de projeto.

As demandas de segurança, desempenho e eficiência estrutural, considerando condições ambientais e de tráfego, exigem um método de dimensionamento coerente com as patologias apresentadas nos pavimentos. O atual método DNER prevê as ações causadas pelos diversos tipos de eixo, no entanto casos em todo país tem demonstrado que o pavimento não atinge a sua vida útil projetada com qualidade necessária. Para cumprir com esta carência nas rotinas de projetos rodoviários, está em fase de teste um novo método nacional para dimensionamento de pavimentos flexíveis (MeDiNa) desenvolvido a partir de uma parceria do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR/DNIT) com a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), considerando uma abordagem mecanística-empírica.

Desta forma, tem-se uma tendência da substituição dos métodos empíricos por empíricos-mecanísticos, que relacionam o empirismo com ensaios experimentais de campo ou laboratório, levando em consideração as respostas estruturais do pavimento. A análise empírico-mecanística parte de uma estrutura pré-dimensionada empiricamente, para a qual, com auxílio de recursos computacionais, são determinadas as respostas estruturais e através delas são calculados os danos acumulados durante a vida útil da via. Isso permite estimar e comparar o comportamento do pavimento com os critérios de desempenho estabelecidos para o projeto. Caso estes não sejam satisfeitos, faz-se a variação dos parâmetros de projeto definidos, como as espessuras das camadas e as propriedades dos materiais até que a condição ideal seja obtida (FERNANDES JÚNIOR, PAIS E PEREIRA, 2007; FONTENELE, 2011).

O software do novo Método de Dimensionamento Nacional - MeDiNa realiza a análise e dimensionamento de pavimentos por meio da Análise elástica de múltiplas camadas (AEMC). Este leva em consideração o módulo de resiliência e o coeficiente de Poisson para interpretar a rigidez das camadas, e os coeficientes para modelagem

matemática dos parâmetros de danificação: fadiga para revestimentos asfálticos e deformação permanente para as camadas granulares e solos. Em contraponto, o método do DNER (1981) semi-empírico considera apenas o Índice de Suporte California (ISC) e o coeficiente estrutural para determinar as características de cada camada.

Dentro desse contexto, o presente trabalho pretende avaliar, comparativamente os resultados obtidos no dimensionamento do um método semi-empírico (DNER) e um empírico-mecanístico (MeDiNa) para a análise do efeito das sobrecargas de veículos comerciais no desempenho de um pavimento flexível, em um trecho de contorno rodoviário, o qual destinar-se a retirada do tráfego de cargas do perímetro urbano da cidade de Itapejara D'Oeste-PR.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Elaborar o projeto básico da estrutura do pavimento do contorno rodoviário destinado ao tráfego de cargas pesadas no município de Itapejara D' Oeste – PR, comparando a estrutura dimensionada por meio do método DNER com os resultados de alternativas de estruturas dimensionadas por meio do método mecanístico-empírico MeDiNa.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o trecho em estudo e definir o tráfego futuro previsto;
- Elaborar o projeto geométrico base para o estudo;
- Caracterizar o solo de subleito;
- Dimensionar o trecho rodoviário para os modelos propostos;
- Comparar estruturas dimensionadas pelo método DNER e o software MeDiNa.

1.2 JUSTIFICATIVA

A distribuição urbana da cidade de Itapejara D'Oeste-PR apresenta ocupação ao longo da rodovia PR-493 no sentido longitudinal a partir da interseção com a PR-566. A produção agropecuária na região provoca viagens de veículos com cargas de grande volume e peso. O trecho da rodovia PR-493, ramo Norte da interseção, que transpõe a área urbana, possui uma extensão de aproximadamente 4,0 km, passando pela zona central. Neste intervalo ocorre a interferência do tráfego urbano com o tráfego rodoviário, os pedestres e ciclistas são expostos a situações de risco constantes, ruído elevado de caminhões, sobretudo no período noturno, traz perturbação aos moradores lindeiros à via que são afetados também pela emissão de gases e poeira.

O Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), usando da competência que lhe confere o inciso I, do art. 12, da Lei 9.503, de 23 de setembro de 1997, que instituiu o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), estabelece limites de dimensões e peso para veículos em trânsito livre. No entanto, a configuração geométrica da rodovia no trecho urbano não atende as características do tráfego rodoviário provocando redução de velocidade, dificuldade de manobras e acomodação dos veículos na via gerando aumento no tempo das viagens. Observa-se também, neste local defeitos no pavimento com origem no grande número de solicitações, cargas elevadas ou associadas a estrutura do pavimento, talvez construído sem a previsão das solicitações a que está exposto (Figura 1). Deste modo, observa-se o surgimento de pontos críticos, dadas condições geométricas e o tráfego intenso de veículos e pedestres.

Cabe ressaltar que a Prefeitura de Itapejara D' Oeste dispõe-se em colaborar com a elaboração deste projeto tendo interesse na resolução do problema, fornecendo dados e acesso aos projetos e estudos municipais já realizados, sendo que houve sondagens por parte da prefeitura, junto a órgãos competentes na esfera estadual, manifestado a necessidade de serem tomadas providências.

Figura 1 - Danos na zona central cidade de Itapejara D'Oeste-PR



Fonte: Autoria própria (agosto de 2019).

O município de Itapejara D' Oeste, nas últimas décadas se encontra entre os 10 municípios que apresentaram ganho absoluto de população. Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) encontrados no caderno estatístico do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES, 2019), apontam que as taxas de crescimento anual da população se mantiveram iguais a média do estado do Paraná (1,39% a.a.) entre os anos de 1991/2000 e superaram a média estadual (1,10% a.a.) entre os anos de 2000/2007. Neste período o crescimento de 2,12% a.a. foi considerado destaque na região pois mais de 70% dos municípios da região apresentaram taxas negativas de crescimento populacional.

Segundo IPARDES (2019) aproximadamente 75% da economia do município baseia-se na agropecuária, sendo os três principais produtos em ordem de importância econômica a produção de aves de corte, soja e suínos. Historicamente a estrutura produtiva industrial do Sudoeste do estado está assentada na indústria de alimentos e mais recentemente ao desenvolvimento de indústrias do complexo eletroeletrônico de forma menos significativa.

O número de empregos gerados por indústrias do ramo alimentício, segundo atividades econômicas de 2017, representa aproximadamente 50% do total de 3180 empregos diretos no município (IPARDES, 2020). Esse perfil industrial guarda estreita relação com a base agropecuária do espaço, tendo na produção de grãos e proteína animal seus principais produtos.

De acordo com o censo realizado pelo IBGE entre os anos 2000 a 2010, a frota de veículos nacional cresceu em torno de 119% (IBGE, 2010), sendo 65,8 milhões de veículos registrados no início de 2018 de acordo com o Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação (IBPT, 2018).

O volume de tráfego local levantado por projeto de extensão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) entre os anos de 2018 e 2019, aponta a classe da rodovia (classe IB), classificação esta que definirá os elementos de projeto e as características geométricas da rodovia embasadas no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias. Além disso, o traçado proposto levou em conta aspectos topográficos, hidrológicos e ocorrências de benfeitorias de forma que o tráfego de cargas pesadas seja desviado de dentro da cidade mitigando os impactos negativos apresentados atualmente que interferem no dia-a-dia de usuários.

Os dados já levantados pelo projeto de extensão da UTFPR- PB (Análise da viabilidade de implantação de contorno na PR-493 com desvio do tráfego da área urbana na cidade de Itapejara D'Oeste-PR) e pelo departamento de urbanismo da Prefeitura Municipal de Itapejara D'Oeste servirá de subsídio para o desenvolvimento do projeto. assim como os softwares Auto Cad METRIC, QGIS, Medina e planilhas de dados, que possuem versões livres ou para estudante.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PAVIMENTOS

2.1.1 Definição e Conceitos Gerais

Bernucci et al. (p. 9, 2006) definem pavimento desta maneira:

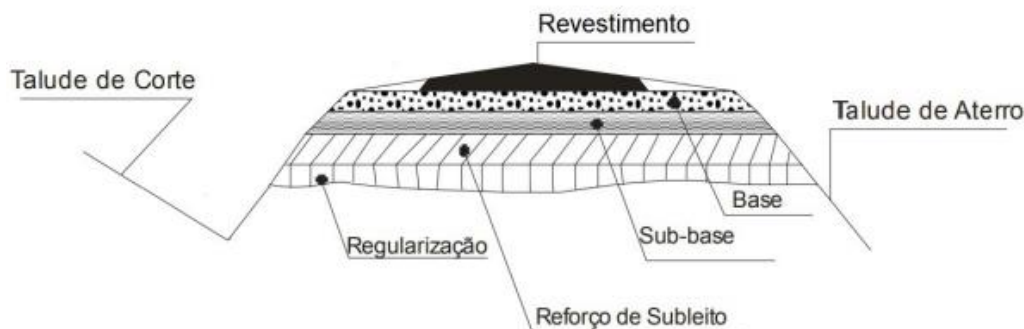
Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

O pavimento é concebido com a finalidade de que sua estrutura receba as solicitações e as transmita de maneira aliviada para as camadas subjacentes, impedindo que ocorram deformações incompatíveis com as quais a estrutura foi projetada. Todas as camadas do pavimento possuem funções específicas com o objetivo de fornecer aos usuários as condições de utilização ideais sob qualquer circunstância. De maneira geral, as solicitações externas geram esforços verticais, que podem ser reduzidos à compressão e cisalhamento, e horizontais, que dependendo do material podem gerar esforços de tração ou confinar outros materiais (BALBO, 2007).

De acordo com Balbo (2007), as camadas de um pavimento podem ser nomeadas, da maneira mais completa possível, em: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito.

De acordo com Balbo (2007), cada camada do pavimento possui uma ou mais funções específicas, que devem proporcionar aos veículos condições adequadas de rolamento e suporte, em qualquer ação climática. A Figura 2 ilustra um corte na seção transversal de um pavimento, evidenciando as camadas constituintes da estrutura.

Figura 2- Camadas constituintes de um pavimento flexível



Fonte: Adaptado do Manual de Pavimentação (BRASIL, 2006)

A camadas de base tem como finalidade aliviar as pressões nas camadas subjacentes de solo, além de possuir uma função importante na drenagem subsuperficial do pavimento. A função de distribuir esforços para camadas inferiores pode fazer com que a espessura da base seja elevada, então, por razões construtivas e de custo, é preferível que esta camada seja dividida em duas, surgindo assim, a camada de sub-base que normalmente é mais econômica (BALBO, 2007). Em pavimentos rígidos é comum nomear a subcamada como sub-base, pois o material utilizado nessa camada é semelhante à sub-base de pavimentos asfálticos (BERNUCCI et al. 2006).

No subleito, os esforços serão absorvidos ao longo de sua profundidade, se dispersando geralmente em seu primeiro metro, portanto deve-se atentar principalmente em sua parte superior. Constitui-se de material natural consolidado e compactado. Em solos que apresentam pequena resistência a esforços verticais, pode-se construir uma camada acima do subleito com solo de melhor qualidade. Esta camada é chamada de reforço do subleito, cuja função é tolerar maiores pressões. O uso do reforço do subleito não é obrigatório, porém o mesmo surge como uma alternativa mais econômica em relação à utilização de maiores espessuras em camadas como a de base e sub-base (BALBO, 2007).

De acordo com Balbo (2007), entre todas as camadas de pavimento citadas, é necessária a aplicação de um filme asfáltico. Esta aplicação pode possuir a finalidade de prover aderência, sendo denominada 'pintura de ligação' ou impermeabilização, sendo denominada 'imprimação impermeabilizante'.

O revestimento será o responsável por receber cargas dinâmicas e estáticas sem que sofra grandes deformações, desagregação ou perda de compactação. Normalmente, a camada de revestimento asfáltico é subdividida em demais camadas, seja por razões econômicas, técnicas ou construtivas (BALBO, 2007).

O Quadro 1 resume as diferenças entre as possíveis camadas de revestimento asfáltico:

Quadro 1 - Termos aplicáveis a camadas de revestimento asfáltico

DESIGNAÇÃO	DEFINIÇÃO
Camada de rolamento	Camada superficial a qual fica diretamente em contato com cargas e ações climáticas (Capa de rolamento).
Camada de ligação	Camada intermediária, situa-se entre a capa de rolamento e a base (Binder).
Camada de nivelamento	Geralmente é a primeira camada aplicada em reforços. Corrige desníveis e afundamentos da pista (Reperfilagem).
Camada de reforço	Nova camada de rolamento, executada após anos de uso da pista (Recape).

Fonte: Adaptado de Balbo (2007).

Para a *American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO* (1993), os pavimentos podem ser classificados basicamente em duas classes gerais: (i) pavimentos rígidos, com revestimento de concreto de cimento Portland e (ii) pavimentos flexíveis, com revestimento de concreto asfáltico. Uma estrutura de pavimento contendo uma camada de concreto de cimento Portland sobreposta por revestimento asfáltico é considerada uma estrutura composta.

Bernucci et al. (2006) e Senço (2008) afirmam que, de forma geral, os pavimentos podem ser classificados tradicionalmente em flexíveis e rígidos. O DNIT trata os casos em que há uma base com propriedades cimentícias como uma terceira classe, dos pavimentos semirrígidos (DNIT, 2006a).

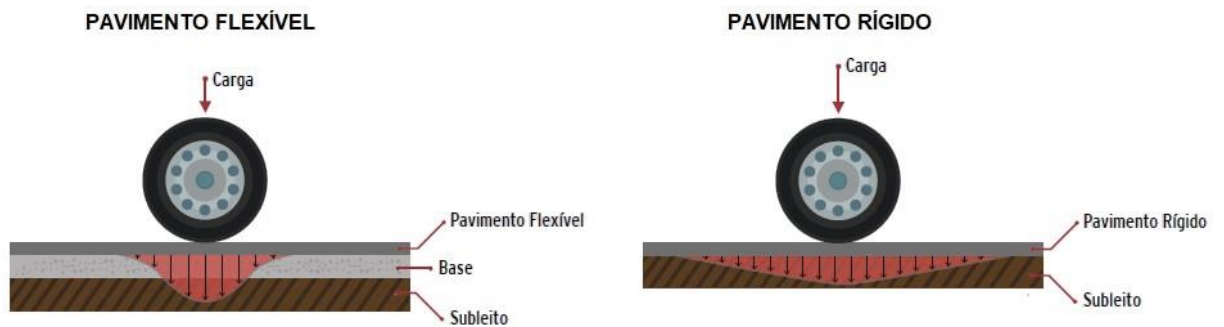
2.1.1.1 Pavimento Flexível

O pavimento flexível define-se como aquele em que as deformações, dentro de um limite, não causam o rompimento da estrutura. Geralmente, seu dimensionamento é feito para esforços de compressão e de tração na flexão. Esses esforços são provocados pelo surgimento de bacias de deformação por onde passam

as rodas dos veículos, causando na estrutura deformações permanentes e rompimento por fadiga (SENÇO, 2008). Neste tipo de pavimento, as cargas decorrentes do tráfego distribuem-se formando um campo de tensões concentrado próximo ao ponto de aplicação da carga (CNT, 2017).

2.1.1.2 Pavimento Rígido

O pavimento rígido define-se como uma estrutura pouco deformável, composta de concreto de cimento. Quando sujeita à deformação, a estrutura rompe por tração na flexão (SENÇO, 2008). Sendo assim, a espessura da mesma é calculada de acordo com a resistência à flexão das placas de concreto e das



resistências das camadas inferiores (BERNUCCI et al. 2006). As placas de concreto podem apresentar armadura de aço e são responsáveis por absorver praticamente todas as tensões oriundas do tráfego, distribuindo-as em uma grande área (CNT, 2017).

A Figura 3 ilustra a distribuição de tensões de acordo com a classificação de pavimento:

Figura 3 - Distribuição de tensões em pavimentos flexíveis e rígidos

Fonte: Adaptado de CNT (2017).

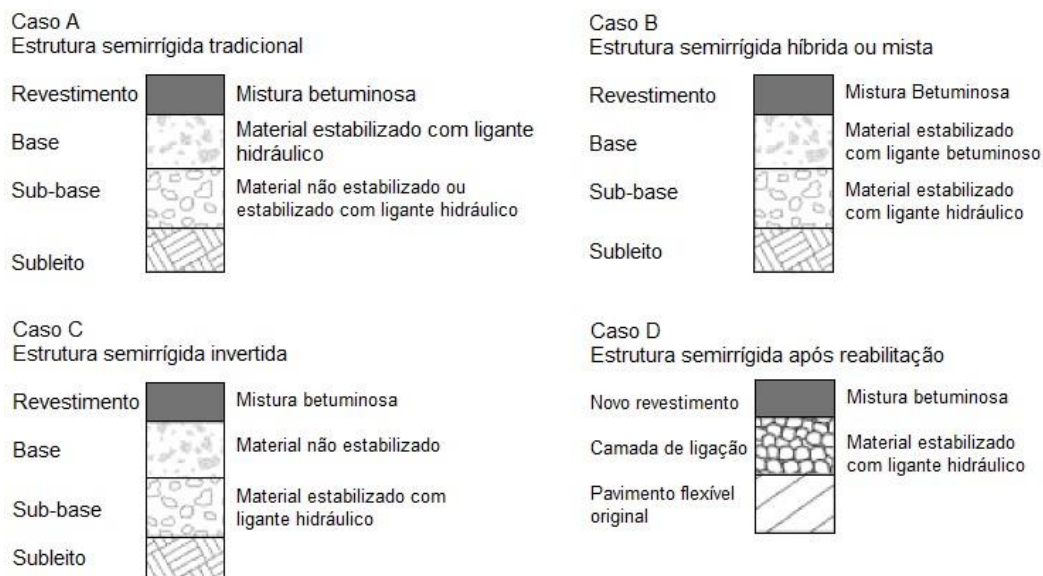
Senço (2008) afirma ainda que a maior dificuldade de adotar essa classificação é a possibilidade de utilizar camadas flexíveis e rígidas em uma única estrutura de pavimento.

2.1.1.3 Pavimento Semirrígido

Piarc (1991) define que o termo ‘pavimento semirrígido’ é utilizável para as estruturas que são constituídas por um revestimento betuminoso, apresentando pelo menos uma camada de material estabilizado ou tratado com ligante hidráulico.

Essa configuração faz com que a estrutura se comporte de maneira diferente com relação à distribuição de tensões no subleito. A estabilização do solo e brita com ligantes hidráulicos não fornece características de rigidez, embora produza módulos de elasticidade que podem ser semelhantes ao concreto de cimento e superiores em relação aos encontrados em concretos asfálticos, caracterizando assim um comportamento a meio termo entre as estruturas flexíveis e rígidas (BALBO, 2007). A Figura 4 traz as configurações normalmente encontradas em pavimentos semirrígidos:

Figura 4 -Configurações de pavimento semirrígido



Fonte: Balbo (2007).

Balbo (2005) afirma que, devido ao seu comportamento quase frágil e estando submetidas a ciclos repetidos de carregamento, as misturas estabilizadas com ligantes hidráulicos sofrem um intenso processo de fadiga. Conseqüentemente, apresentam uma acelerada fissuração fazendo com que a camada perca sua rigidez. Portanto, ao longo do tempo, um pavimento semirrígido se tornará um pavimento com características flexíveis.

2.1.2 Fadiga

Carregamentos cíclicos ocasionam danos em pavimentos para níveis de tensões menores que aqueles em que são obtidos na ruptura em ensaios estáticos, sendo este fenômeno chamado de fadiga.

Pinto (1991) descreve o fenômeno da fadiga como um processo de deterioração estrutural que um material sofre quando submetido a um estado sucessivo de tensões e deformações, resultando em trincas ou fratura completa após um número de repetições de carregamento. Ainda segundo a *American Society for Testing and Materials* (ASTM) (1979, pag. 33)

O processo de mudança estrutural permanente, progressiva e localizada que ocorre em um ponto do material sujeito a tensões de amplitudes variáveis que produzem as fissuras que conduzem para totalizar a falha após um determinado número de ciclos.

A vida de fadiga de uma mistura betuminosa pode ser definida em termos de vida de fratura (N_f). A vida de fratura refere-se ao número total de aplicações de uma certa carga necessária à fratura completa da amostra (PREUSSLER, 1983).

A origem de diversos defeitos nos pavimentos é decorrente da repetição de pequenas deformações elásticas (MEDINA e MOTTA, 2015), pois a deformação resiliente tem então uma ligação direta com o trincamento por fadiga, que é o principal defeito encontrado em pavimentos. O comportamento resiliente dos materiais deve ser, portanto, bem averiguado, dado que o carregamento cíclico é característico de pavimentos (BERNUCCI et al., 2006).

Segundo Motta (1991) a propagação de trincas no pavimento é o principal mecanismo de ruptura dos pavimentos brasileiros. Cita ainda, que é possível que se atinja o número 'N' de fratura de um pavimento em um período maior ou menor em relação ao determinado em projeto, devido imprecisões na elaboração do mesmo.

Assim, toda deformação resiliente apresenta microdeformações de natureza plástica (BALBO, 2007). Como pôde-se constatar a partir dos ensaios feitos por Hveem (1955).

2.2 SOLO DE FUNDAÇÃO DOS PAVIMENTOS

Para que seja possível a realização do dimensionamento é necessária a caracterização do solo do local de estudo. Para tal são realizadas sondagens nos locais onde há a previsão de passagem da rodovia e executados ensaios para a classificação *Highway Research Board* (H.R.B.) adotada pela *Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), onde os solos são reunidos em grupos e subgrupos de acordo com a sua granulometria, limites de consistência e índice de grupo. O quadro Anexo A indica o detalhamento da classificação H.R.B.

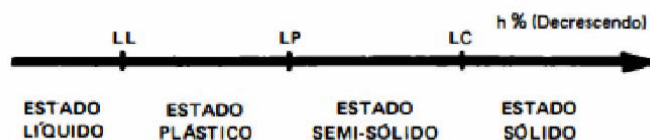
2.2.1.1 Granulometria

Granulometria é o estudo do tamanho das partículas do solo. Conforme o Manual de Pavimentação do DNIT (2006, p. 31), a granulometria “consiste na determinação das porcentagens, em peso, das diferentes frações constituintes da fase sólida do solo.” A execução desse ensaio permite a construção da curva granulométrica do solo. Para tal finalidade, o ensaio utilizado segue a NBR 7181 (1984).

2.2.1.2 Limites de Atterberg

Esses limites permitem avaliar a plasticidade dos solos. Quando a umidade de um solo é muito grande, ele se apresenta como um fluido denso e se diz no estado líquido. A seguir, à medida que a água evapora, o solo endurece, passando do estado líquido para o estado plástico. Ao continuar com a perda de umidade, o solo passa do estado plástico para o estado semissólido. Por fim, continuando a secagem, ocorre a passagem para o estado sólido (DNIT, 2006). A Figura 5 ilustra todos os estados e limites de consistência de acordo com a perda de umidade do solo.

Figura 5 - Limites de consistência de Atterberg



Fonte: Caputo, 1988.

Entre esses limites, tem-se o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP), e com a obtenção de seus respectivos valores, é possível determinar o índice de plasticidade (IP) pela Equação (1).

$$IP = -LP(\%) \quad (1)$$

O índice de plasticidade (IP) define a zona em que o terreno se encontra no estado plástico e assim, quanto maior o IP, mais plástico é o solo. Importante destacar que quando um material não possui plasticidade, como a areia por exemplo, considera-se o IP nulo, denominando-se então como não plástico (CAPUTO, 1988). Solos com IP elevado são considerados instáveis, pois podem absorver grande quantidade de água e quando há a retirada dessa água, ocorre grande contração e, conseqüentemente, elevado recalque (SENÇO, 2007).

2.2.1.2.1 Limite de Liquidez (LL)

O limite de liquidez (LL) é o ponto que marca a transição entre os estados plástico e líquido, sendo expresso em percentagem e a sua determinação feita pelo aparelho de Casagrande. O ensaio utilizado para sua determinação segue a NBR 6459 (1984).

2.2.1.2.2 Limite de Plasticidade (LP)

O limite de plasticidade (LP) é o ponto que marca a transição entre os estados plástico e semissólido, também é expresso em percentagem e é determinado pela

umidade para a qual o solo começará a se fraturar quando se tenta moldá-lo em um cilindro de 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento (CAPUTO, 1988). O ensaio utilizado para sua determinação segue a NBR 7180 (1984).

2.2.1.3 Índice de Grupo (IG)

O Índice de Grupo (IG) é um valor numérico que retrata o duplo aspecto de plasticidade e graduação das partículas do solo, é calculado através da equação (2), e varia de 0 a 20, então se $IG < 0$, adota-se $IG = 0$ e se $IG > 20$, adota-se $IG = 20$ (DNIT, 2006).

$$IG = (0,2 * a) + (0,005 * a * c) + (0,01 * b * d) \quad (2)$$

Sendo: P = a porcentagem do solo que passa na peneira 200:

a = P – 35 (se P > 75, adota-se P = 75; se P < 35, adota-se P = 35);

b = P – 15 (se P > 55, adota-se P = 55; se P < 15, adota-se P = 15);

c = LL – 40 (se LL > 60, adota-se LL = 60; se LL < 40, adota-se LL = 40);

d = IP – 10 (se IP > 30, adota-se IP = 30; se IP < 10, adota-se IP = 10).

Com o valor de IG calculado, pode-se encontrar o índice suporte derivado do índice de grupo (IS_{IG}), através da Tabela 1, que corresponde praticamente a uma inversão de escala, fazendo com que solos de boa qualidade tenham os maiores valores de IS_{IG} .

Tabela 1 - Valores de IS_{IG} em função de IG

Índice de Grupo (IG)	Índice de Suporte (IS_{IG})
0	20
1	18
2	15
3	13
4	12
5	10
6	9
7	8
8	7
9 a 10	6
11 a 12	5
13 a 14	4
15 a 17	3
18 a 20	2

Fonte: Senço, 2007, p. 467.

2.2.2 Umidade

A água que se encontra nos solos pode apresentar-se de três maneiras (BAPTISTA, 1978):

- Água gravimétrica (livre): circula livremente através dos poros do solo, sujeita à ação da gravidade, podendo ser eliminada por drenagem;
- Água higroscópica (adesiva): se encontra no solo seco ao ar livre;
- Água capilar: retida no solo por efeito de tensão superficial. Muitas vezes contraria a ação da gravidade e não pode ser retirada por drenagem simples.

Preussler (1983) afirma que a umidade é um fator que afeta o módulo resiliente dos solos granulares, diminuindo sua magnitude de acordo com o aumento da umidade de compactação. Motta (1991) destaca que a água afeta todas as obras que envolvem terra e, em particular, os pavimentos são muito afetados, seja pela chuva ou pelo lençol freático.

Uma das funções do pavimento é de se apresentar como uma estrutura relativamente impermeável, porém, por se apresentar como uma estrutura linear esbelta e estreita, sofrem trincamento e permitem a entrada de água. Além disso, a

estrutura do pavimento encontra-se em contato com os materiais laterais que não se encontram protegidos em relação à umidade (MOTTA, 1991).

2.2.3 Califórnia Bearing Ratio (C.B.R.)

Também conhecido como Índice Suporte Califórnia (ISC), desenvolvido pelo engenheiro O.J. Porter no final dos anos 30, o valor do C.B.R. retrata a capacidade de suporte, expresso em porcentagem, encontrado através da relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo de prova do solo estudado, e a pressão necessária para produzir a mesma penetração no material padrão referencial que possui um CBR = 100%. (DNIT, 2006).

Em 1966, introduzido no Brasil pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza, por ser um ensaio que melhor se adaptava à realidade brasileira na época, o ensaio de CBR rapidamente disseminou-se pelo país. Atualmente, o procedimento de ensaio CBR é conduzido pela NBR 9895 (1987) e DNIT 172 (2016). Bernucci et al. (2006) e Senço (2008) citam que a resistência no ensaio CBR é uma combinação indireta da coesão do material com seu ângulo de atrito.

Deve-se levar em conta a existência de uma observação que impõe que o valor do índice suporte (IS) pode ser no máximo igual ao valor do C.B.R., então, se IS for maior que o C.B.R., adota-se o valor do C.B.R. como índice suporte (SENÇO, 2007).

O ensaio CBR apresenta-se como um método empírico, porém com grande fundamento devido ao grande número de experiências já realizadas, tanto em campo como em laboratório, que comprovaram sua eficiência (BAPTISTA, 1978).

2.3 DEFINIÇÃO DO TRÁFEGO

O tráfego previsto durante a vida útil do projeto influi diretamente no dimensionamento, de modo que o pavimento é dimensionado em função do número previsto de operações de eixo padrão durante o período de projeto.

Para a obtenção desse número é necessário encontrar o volume médio diário de tráfego (VMD), levando em consideração ainda o fator de veículo (FV), sendo este

obtido a partir da multiplicação dos fatores de carga (FC) e de eixo (FE), e o fator climático regional (FR), (FRANCO; MOTTA, 2018).

De acordo com o manual de utilização do MeDiNa, que utiliza o conceito do Número Equivalente (N) para seus cálculos, uma boa estimativa do tráfego é fundamental para se conseguir um bom dimensionamento e fazer uma boa análise, pois os modelos utilizados no programa se mostram sensíveis a pequenas variações do número N.

2.3.1 Número N

A AASHTO *Road Test* estabelece que o veículo padrão é o eixo simples de rodas duplas (ESRD) com 80kN (8,2tf) sobre si. O dano total causado no pavimento é dado pelo número de passagens de um veículo padrão e a consequência do efeito cumulativo de danos unitários do veículo padrão.

Balbo (2007) define número 'N' como sendo a conversão de todas as solicitações de tráfego em um número de repetições equivalentes de um eixo-padrão com carregamento de 8,2 tf.

A obtenção do número 'N' se inicia por contagens volumétricas classificatórias realizadas no trecho em estudo, para vias já existentes, a fim de se obter o volume médio diário (VMD) anual. O tráfego atual, obtido através de pesquisas de campo, servirá como início para a estimativa do tráfego futuro. A projeção do tráfego futuro deverá se basear em taxas de crescimento do tráfego e na ciência de possíveis alterações previstas para o sistema de transporte regional. Além disso, fatores como o crescimento da renda per capita possui ligação direta com o aumento da frota de veículos ou como a produção agropecuária pode representar uma variação sazonal desse fluxo de veículos. Portanto, as taxas de crescimento do tráfego poderão basear-se em séries históricas existentes, como dados socioeconômicos regionais (BRASIL, 2006a).

A classificação da frota de veículos da forma mais detalhada possível, especialmente para veículos de carga, se mostrou necessária devido à grande diferença de efeitos gerados no pavimento pelos variados tipos de veículos que circulam nas rodovias. Além da classificação quanto ao tipo da frota, a classificação quanto ao carregamento da frota, surge de forma igualmente importante. É necessário

conhecer as cargas por eixo com os quais o pavimento é solicitado, para que a distribuição da carga por eixo seja corretamente considerada e não haja imprecisões na projeção futura de tráfego (BRASIL, 2006a).

A partir da composição e projeção do tráfego, dos pesos das cargas transportadas e da sua distribuição nos diversos tipos de eixos dos veículos é possível determinar o número N (BRASIL, 2006a). O valor de N é encontrado através da equação (3).

$$N = 365 * Vm * P * FC * FE * FR \quad (3)$$

Onde:

Vm = Volume diário médio de tráfego no sentido mais solicitado, no ano médio do período de projeto;

P = Período de projeto ou vida útil, em anos;

FC = Fator de carga;

FE = Fator de eixo;

FR = Fator climático regional.

A partir da composição e projeção do tráfego, dos pesos das cargas transportadas e da sua distribuição nos diversos tipos de eixos dos veículos é possível determinar o número N (BRASIL, 2006a).

2.3.1.1 Fator de Carga (FC)

O Fator de Equivalência de Carga (F_c) é um fator que converte o tráfego misto em um número equivalente de operações de um eixo padrão. Existem diversos conceitos utilizados para definir a equivalência de cargas e os métodos não dependem exclusivamente do eixo padrão utilizado. Os fatores de equivalência da AASHTO baseiam-se na perda de serventia e variam com o tipo do pavimento (flexível e rígido), índice de serventia terminal e resistência do pavimento. Já os fatores definidos pelo USACE, avaliam-se os efeitos do carregamento na deformação permanente (afundamento nas trilhas de roda) (BRASIL, 2006a).

2.3.1.2 Fator de Eixo (FE)

Turnbull et al. (1962 apud FRANCO, 2007) definem que para o cálculo do fator de veículos, é necessário que as cargas provenientes dos diferentes tipos de veículos sejam transformadas em cargas que sejam equivalentes, em poder destrutivo, à carga do eixo padrão. É um fator que transforma o tráfego de número de veículos padrão em número de passagens de eixos equivalentes. Dessa forma, multiplica-se por dois a porcentagem de veículos de dois eixos, multiplica-se por três a porcentagem de veículos de três eixos e assim por diante (SENÇO, 2007).

2.3.1.3 Fator Climático Regional (FR)

Esse fator existe para que seja levado em conta as variações de umidade dos materiais durante as diferentes estações do ano, pois isso leva a modificação da capacidade de suporte desses materiais. Esse fator varia de 0,2, quando o teor de umidade está baixo, até 5, quando os materiais se encontram praticamente saturados (SENÇO, 2007).

São sugeridos para o Brasil os seguintes fatores climáticos regionais, em função da altura anual de chuva em mm.

Tabela 2 - Fator climático regional

Altura média anual de Chuva (mm)	Fator Climático Regional (FR)
Até 800	0.7
De 800 a 1500	1.4
Mais de 1500	1.8

Fonte: Adaptado do Manual de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNIT (2006)

Segundo Franco (2007), o clima e o tráfego influenciam na variação de módulos de resiliência, da umidade, e na intemperização dos materiais do pavimento. A temperatura provoca um evidente envelhecimento do material ligante, e em pavimentos rígidos induz a dilatação térmica, empenamento e retração, devido à diferença térmica entre as placas de concreto e a fundação.

Por infiltração, a precipitação no pavimento ocasiona um crescimento da taxa de umidade nas camadas inferiores. O aumento dessa umidade dos materiais pode provocar uma alteração no módulo de resiliência (FRANCO, 2007).

No caso do Brasil, onde a predominância é de pavimentos flexíveis, na camada superficial é visível a influência da água na intemperização da mistura betuminosa (LEAL, 2015).

2.4 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO

Senço (2007) define dimensionamento de pavimento como a determinação de espessuras de camadas de forma que essa estrutura resista, transmita e distribua as pressões resultantes do tráfego de veículos ao subleito, de modo que o conjunto não sofra ruptura, deformações consideráveis ou desgaste superficial em excesso.

Balbo (2007) classifica os métodos de dimensionamento em três tipos:

- Método empírico: Resultado da modelagem estatística da evolução dos parâmetros físicos observados nos pavimentos em serviço;
- Método semi-empírico: Resultado da extrapolação e expansão de resultados empíricos com base em uma teoria analítica consistente. Um exemplo deste método são os critérios que utilizam como parâmetro os valores do critério do *California Bearing Ratio* (CBR);
- Método empírico-mecanicista: Resultado da calibração de modelos teóricos com dados experimentais obtidos em campo e em laboratório.

2.4.1 Método do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER (1981).

A metodologia de dimensionamento para pavimentos flexíveis atualmente empregado no Brasil é o método do DNER, introduzido no país pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza no fim da década de 50 e oficializado pelo DNER em 1961, posteriormente revisado em 1981. O método, com base no valor do CBR, é

fundamentado no trabalho '*Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume*', que foi apresentado em 1962 pelos autores W.J. Turnbull, C.R Foster e R. G. Ahlvin, do USACE (BAPTISTA, 1978).

O método é empírico, com base experimental nos ensaios realizados nas pistas da AASHTO, nos Estados Unidos, e visa proteger o subleito de deformações plásticas excessivas (DNIT, 2006a). Considerando-se uma combinação de fatores de equivalência de carga, o dimensionamento é feito em função do número repetições de eixo-padrão de 80kN, durante o período de projeto (BALBO, 2007).

O método do DNER (1981) avalia o potencial de ruptura do solo por meio do Índice de Suporte (IS) e relaciona seu resultado com o número N, dessa forma, através da composição estrutural do pavimento, visa proteger o subleito frente a ruptura por cisalhamento. Este método não contempla efeitos de fadiga na estrutura do pavimento flexível (FRANCO, 2007).

2.4.2 Método Mecanístico-Empírico

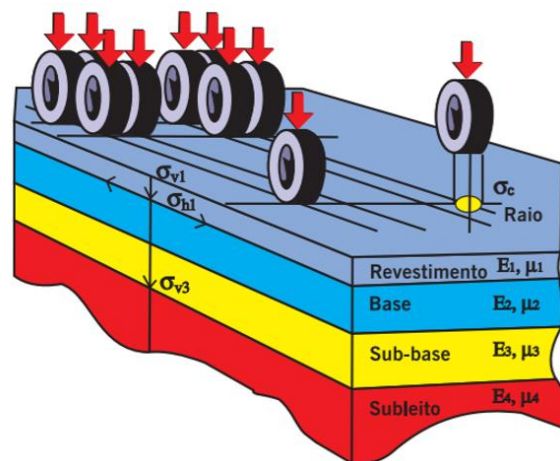
O método mecanístico-empírico procura avaliar analiticamente o comportamento estrutural do sistema de camadas de um pavimento, onde as características mecânicas dos materiais utilizados podem ser obtidas por meio empírico, teórico ou de pista (BALBO, 2007).

O princípio básico de funcionamento dos métodos mecanístico-empírico é a avaliação do estado de tensões e deformações que atua no pavimento através da Teoria de Sistema de Camadas Elásticas (TSCE), que segue o roteiro básico de qualquer análise estrutural, ao menos nas obras correntes de engenharia civil: comparar o estado de tensões e deformações com a resistência e a utilização do material (BALBO, 2007).

O processamento de rotinas por computadores aliados a criação de modelos matemáticos permitiu a banalização da análise de tensão-deformação de pavimentos (MOTTA, 1991). Além de dar agilidade ao processo, os softwares de dimensionamento permitiram maior precisão dos resultados. Também deu ao engenheiro a possibilidade de testar várias alternativas analisando o impacto da alteração feita no restante das variáveis (SENÇO, 2007).

As deformações sofridas pelas camadas por meio de um determinado carregamento são apresentadas pela TSCE por meio de formulações que foram sendo aprimoradas por diversos autores. O modelo final da TSCE considera um sistema de várias camadas e a interação entre elas quando submetidas a carregamentos externos, como ilustrado na Figura 6 (BALBO, 2007).

Figura 6 - Parâmetros de análise em métodos mecanístico-empírico



Fonte: BERNUCCI e al. (2006).

A Figura 6 apresenta os esforços geralmente analisados em métodos empírico-mecanísticos, quais sejam: tensão vertical no topo subleito; tensão de tração no fundo do revestimento e tensão vertical sobre as camadas de base e sub-base. Com essa teoria avaliam-se os esforços reais que atuam sobre as camadas do pavimento, por exemplo, a tração na flexão de camadas tratadas com ligante asfáltico ou hidráulico. Consideração que não é feita, ao menos de maneira explícita ou direta, nos métodos baseados no CBR ou na perda de serventia (BALBO, 2007).

Franco (2007) resume o procedimento para o dimensionamento empírico mecanicista:

- Reunir os dados referentes aos materiais de pavimentação, ao tráfego e às condições ambientais;
- Correlacionar os dados de resistência dos materiais e tráfego em função das épocas sazonais e o comportamento dos materiais em função do tipo de carregamento;

- Escolher as espessuras das camadas e calcular as tensões e deformações considerando as diversas correlações obtidas;
- Relacionar os valores críticos de tensões e deformações com os danos que a repetição das cargas pode causar ao pavimento por meio de modelos de previsão;
- Verificar se as espessuras escolhidas satisfazem as condições impostas no dimensionamento.

A utilização do método dos elementos finitos expandiu as fronteiras, permitindo que se considerasse o comportamento não linear das camadas, bem como a análise ponto a ponto do estado de tensões e deformações das camadas através da malha de elementos finitos e restrições de fronteira e carregamento (SENÇO, 2007).

Apesar de aproximar a análise mecânica da realidade, a análise não-linear das camadas tem algumas limitações, como a impossibilidade de se considerar todas as camadas não lineares (MOTTA, 1991).

Um fator muito relevante para o método de dimensionamento empírico mecanicista é o conhecimento das características de cada um dos materiais utilizados na estrutura do pavimento, especialmente o módulo de resiliência das camadas (SALVIANO, 2015).

Pela complexidade e heterogeneidade dos materiais usualmente empregados em pavimentação, os métodos teóricos não são passíveis de serem aplicados sem componentes empíricas relacionados ao comportamento resiliente dos materiais e aos diversos processos de fratura que os materiais de pavimentação são submetidos. Com base na Teoria de Sistemas de Camadas Elásticas (TSCE), proposta por Busmister em 1945, a mecânica dos pavimentos admite que os materiais possuem módulo de elasticidade linear, que o solo é um meio semi-infinito, entre outras considerações que são feitas para que se possa solucionar o equacionamento. Sendo uma análise matemática aplicada ao estudo de tensões e deformações, os métodos baseados na mecânica dos pavimentos são chamados também de método teóricos.

Com o desenvolvimento de computadores com processadores mais potentes, foram se criando modelos matemáticos mais sofisticados para parametrizar o comportamento mecânico dos materiais, como os obtidos através de métodos das diferenças finitas, método dos elementos finitos etc. O método dos elementos finitos

permite discretizar o comportamento mecânico das camadas, de forma avaliar ponto a ponto os estados de tensão e deformação. Assim, é possível utilizar parâmetros não lineares para representar a elasticidade do material, aproximando mais esses modelos da realidade.

Balbo (2007) afirma que entre as causas de rompimento de pavimentos associadas à repetição de cargas sobre as estruturas de pavimentos está o fenômeno de fadiga, responsável pelo trincamento de revestimentos betuminosos. Além disso encontra-se o acúmulo de deformações plásticas ocorridas pela ação das deformações cisalhantes que ocorrem em camadas de misturas asfálticas e nos solos de subleito.

Adicionalmente ao critério de dimensionamento do método do DNER (SOUZA,1981), foram empregados modelos mecanicistas para a análise de deformações e deslocamentos das camadas asfálticas e deformações no subleito.

Pela análise de tensão-deformação, que se faz conhecendo-se a elasticidade de cada camada, consegue-se avaliar as tensões, bem como as deformações sofridas, principalmente pelo revestimento devido seu comportamento a fadiga.

2.4.2.1 O Novo Método de Dimensionamento Nacional – MeDiNa

Este método foi desenvolvido por meio de uma parceria entre o DNIT, o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) Da UFRJ, e a Rede Temática de Asfaltos.

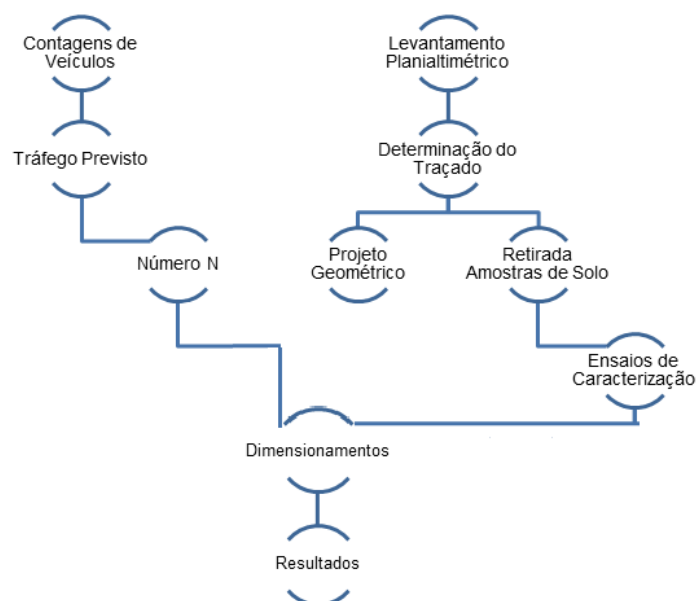
A Rede Temática de Asfaltos, formada por várias universidades e pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), iniciou o projeto em 2009 e pavimentou trechos entre 200 e 300 metros em rodovias do Brasil utilizando diferentes tipos de soluções para monitorar o desempenho de cada um deles em diversas situações. A partir desse monitoramento se desenvolveu o método – software MeDiNa – que pode ser utilizada tanto do dimensionamento de novos pavimentos por meio da Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC), quanto para retro análise de bacias deflectométricas em rodovias já existentes (BlackMeDiNa).

3 METODOLOGIA

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O presente estudo tem como propósito essencial comparar os resultados obtidos a partir dos métodos de dimensionamento de pavimento flexível em uma rodovia destinado ao tráfego de cargas pesadas no município de Itapejara D'Oeste – PR. Pode-se afirmar, que esta pesquisa apresenta uma classificação predominantemente quantitativa, pois, de acordo com CRESWLL (2010), nesse tipo de estudo os investigadores utilizam questões, hipóteses e objetivos que analisam as relações entre as variáveis que se procura conhecer, para moldar e focar especificamente o objetivo do estudo. Com a área de estudo e o tema do trabalho definidos, foram elencados os objetivos gerais e específicos e então realizou-se um levantamento de referências teóricas necessárias ao embasamento da pesquisa. O trabalho se dividirá em três partes, sendo: (i) Determinação das variáveis locais envolvidas; (ii) dimensionamento da estrutura de pavimentação pelos métodos propostos; (iii) realização da análise comparativa.

Figura 7 - Fluxograma das etapas do estudo



Fonte: Autoria própria (2020).

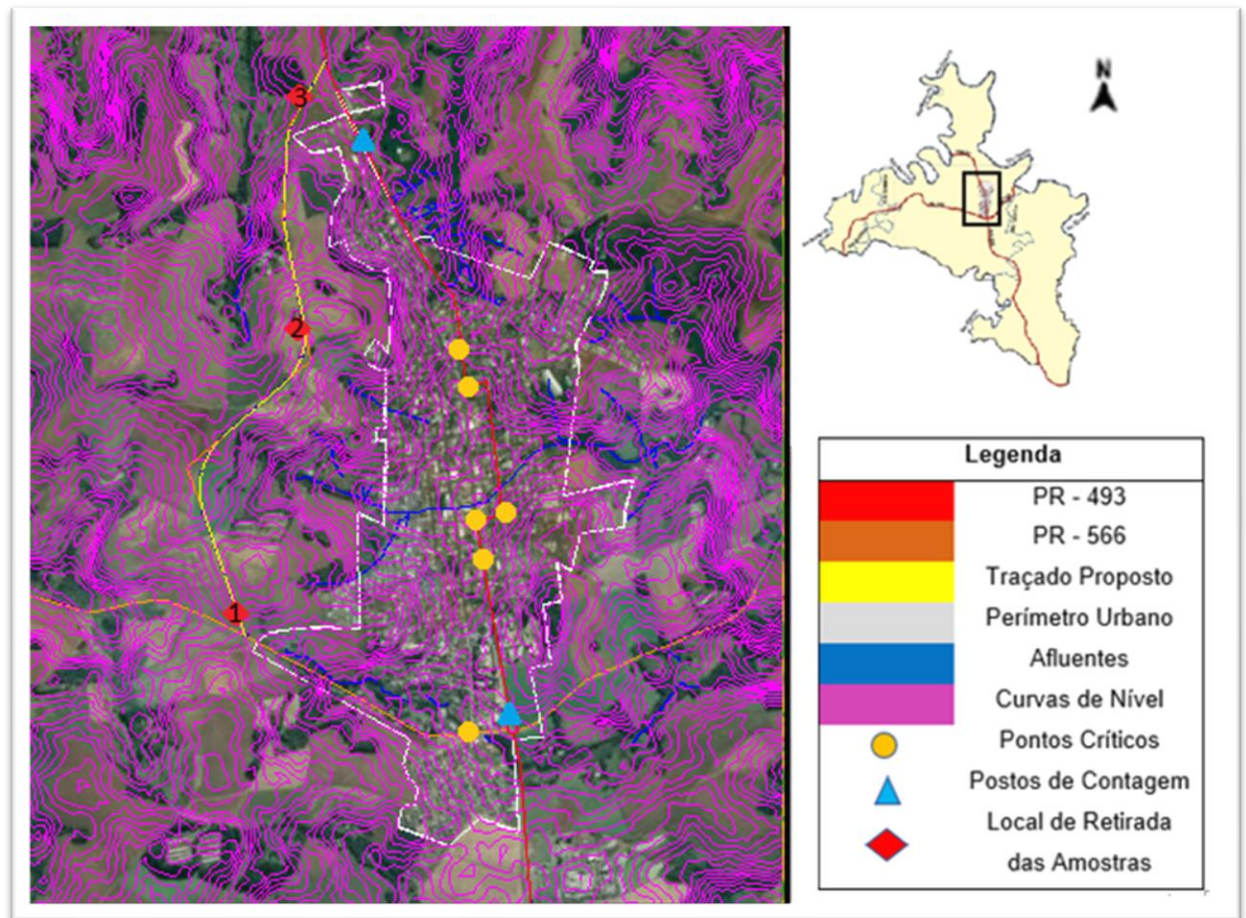
3.2 OBJETO DE ESTUDO

A distribuição urbana da cidade apresenta o desenvolvimento da sua ocupação ao longo da rodovia PR-493 no sentido longitudinal e ao lado da PR-566. Esta situação se configura por uma interseção com 4 ramos, em nível, tipo rotatória, entre as duas rodovias. Os ramos desta interseção estabelecem origem e destino das viagens; assim, o ramo Oeste estabelece conexão com a cidade de Francisco Beltrão, o ramo Sul com a cidade de Pato Branco, o ramo Leste com as cidades de São João/Coronel Vivida e o ramo Norte transpõe a zona urbana de Itapejara D'Oeste em direção às cidades de Verê/Dois Vizinhos.

A grande produção agropecuária na região provoca viagens de veículos com cargas de grande volume e peso; o trecho da rodovia PR-493, ramo Norte da interseção, que transpõe a área urbana, possui uma extensão de aproximadamente 4,0 km, passando pelo centro da cidade e desviando o traçado no ponto central. Neste intervalo ocorre a interferência do tráfego urbano com o tráfego rodoviário; os pedestres e ciclistas são expostos a situações de risco constantes; o ruído elevado de caminhões, sobretudo no período noturno traz perturbação aos moradores lindeiros à via que são afetados também pela emissão de gases e poeira.

O traçado proposto possui extensão de aproximadamente 3,3 km, e destina-se preferencialmente ao tráfego de veículos pesados que atualmente transpõe área central da cidade. Nos entroncamentos com a PR 493 e a PR 566 foram previstas intersecções em nível. A Figura 8 demarca a localização do traçado em relação ao perímetro urbano da cidade de Itapejara D` Oeste que possui latitude 25°57'55" S e longitude 52°48'59" W, altitude de 670manm e área da unidade territorial, em 2017, de 254,014 km² (IBGE, 2020).

Figura 8 - Localização do trecho em estudo.



Fonte: Autoria Própria (2020).

3.3 ESTUDO TOPOGRÁFICO

O levantamento planialtimétrico se deu por meio de georreferenciamento utilizando as imagens SRTM - *Topographic Mission Radar Shuttle*, cartas topográficas rasterizadas com resolução de 900m², obtidas através do Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná (ITCG). Com os dados de elevação do terreno utilizou-se o QGIS 3.8.3, software livre de sistema de informações geográficas (SIG), para a construção do perfil altimétrico e vetorizar o perímetro urbano, a incidência de nascentes, córregos e rios bem como áreas de preservação. Vale ressaltar que este levantamento possui precisão de 5 metros no que diz respeito ao plano altimétrico.

Em seguida, as coordenadas foram convertidas para a projeção UTM (SIRGAS 2000). Concomitantemente foram identificados os marcos existentes na

região sendo utilizadas duas torres da companhia Telepar Brasil Telecom, tendo como origem a altitude ortométricas de 581.280 e 573.630 e uma torre de transmissão de rádio com 540.030 de altitude ortométricas, dados estes obtidos com a prefeitura municipal para ajustar a conversão ao plano topográfico local e posteriormente exportar a região pertinente ao estudo para o software CAD Civil 3dMetric onde gerou-se a superfície a partir das curvas de nível georreferenciadas.

3.3.1 Estudo do Traçado

Para determinação do traçado foram observados os perfis topográficos nos entornos da região urbana. Observou-se uma predominante vantagem para o lado Oeste do perímetro urbano no que diz respeito a incidência de córregos, a variação altimétrica e a distância total.

O traçado tem início na PR 566, nas proximidades do entroncamento existente que dá acesso as futuras instalações da Cerealista Schmoller, onde está prevista interseção em nível de quatro ramos, dando acesso as estradas já existentes e possibilitando o acesso aos veículos ao novo percurso. Esse traçado conta com a utilização de 1,6 km da já existente PR-566 sentido a Francisco Beltrão a partir do trevo principal da cidade.

O alinhamento se desenvolve com deflexões à direita, passando ao lado da estação de tratamento de Água da SANEPAR. O alinhamento segue com uma deflexão à esquerda visando contornar o perímetro urbano e respeito à margens de nascentes de córregos e mata nativa do local. Por fim o traçado alcança a PR-493, cerca de 400 metros depois do fim do perímetro urbano.

O traçado vertical busca respeitar a hidrologia local, estabelecendo pontos onde serão implantados elementos de drenagem para prosseguimentos dos corpos d'água locais sem modificações. Os desníveis mais relevantes chegam a 27,5%, sendo estabelecida a rampa máxima de 6,00% nesta região devido a classe da rodovia.

Os levantamentos preliminares não apontaram desapropriações de benfeitorias e nem interferências ambientais relevantes. O traçado proposto não

abrange zonas de Terras Indígenas, Comunidades Quilombolas e Unidades de Conservação.

Os demais estudos hidrológicos e geológicos não foram contemplados em virtude da extensão do trabalho e de limitações devido a precisão encontradas no levantamento planialtimétrico.

3.4 TRÁFEGO PREVISTO

3.4.1 Levantamento de Dados

A determinação do volume de tráfego realizou-se de forma manual, com auxílio da ficha de contagem (ANEXO B), em dias úteis, nos períodos entre setembro de 2019 e janeiro de 2020. Foram realizadas 3 contagens em datas distintas, em dois postos de contagens localizados nas principais pontos de saída da cidade, visando a classificação dos veículos quanto ao tipo, movimento (entrada e saída da cidade), origem/destino, sendo possível estabelecer o sentido (Dois Vizinhos, Francisco Beltrão, Pato Branco ou Coronel Vivida) e horário. As contagens foram realizadas das 5:00 às 21:00 horas, sendo o restante do período de 24 horas prevista a realização de estimativa em função da curva característica do fluxo de veículos.

Em função das variações sazonais, foi utilizado a média entre os três dias de contagens para se chegar ao volume médio diário de veículos que transpõe o perímetro urbano oriundo destes movimentos. De posse destes dados foram necessárias as definições de algumas hipóteses simplificadoras para quantificar no estudo o tráfego futuro em cada pista do traçado.

- Foram contabilizados todos os veículos no período das 5 às 21 horas, desprezando a estimativa das horas faltantes, as quais representam horários menos significativos de tráfego, deste modo desprezou-se a parcela de veículos que fariam uso da nova via durante este período do dia.
- Se tratando de uma via ainda não implantada, que contornará uma região povoada e com um sistema viário já consolidado, deveria se considerar

estudos de origem e destino, relativos às viagens realizadas na sua área de influência, para que se possa inferir quando ao tráfego que hoje circula nas vias existentes e que se apresenta com potencial para ser transferido para a nova via. Devido às limitações de pesquisa não foi possível determinar com clareza, quantos destes veículos de fato transpõe o perímetro urbano, deste modo considerou-se que apenas uma porcentagem (%) deste fluxo faria uso da nova via.

- Pela inexistência de dados de balanças de pesagens na região do estudo, não foi possível estimar a influência da carga, sendo então considerado que todos os veículos estariam carregados de acordo com a sua capacidade estabelecida na classificação DNIT do Manual de Estudo de Tráfego (2006, pág. 51).

De posse destes dados, contabilizados os valores, foram estabelecidos alguns índices relevantes para o dimensionamento do pavimento.

VMD: Volume Médio Diário

O Volume Médio Diário é o tráfego no sentido mais solicitado dado conjunto de dias (período).

A Equação 4 mostra como obtê-lo.

$$VMD = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{t} \quad (4)$$

onde:

x_i : Veículos que trafegaram naquele trecho durante o período t ;

t : número de dias observado.

Contabilizados os veículos que trafegam no período considerado, o volume médio diário atual, que adentra o perímetro urbano no ano de 2020, é de 3376 veículos.

Para estimativa do volume médio diário que fará uso da nova via, considerou-se que todos os veículos pesados fariam uso do contorno, 70% dos caminhões leves, 50% dos ônibus e desconsiderados os veículos leves, de forma que o valor do volume médio diário para o ano de 2020 passou para 618 veículos.

Vale ressaltar que este valor representa apenas 18% do número total de veículos, no entanto o fator de veículo levará em consideração as características desse tráfego predominantemente pesado.

P: Período de projeto ou vida útil, em anos.

Para o período de projeto adotou-se 10 (dez) anos. Dois anos foram adicionados ao período total referentes a elaboração de estudos e demais projetos, sendo compreendido então o período de projeto de 2022 a 2032. Períodos maiores não são adequados devido à dificuldade de modelagem da configuração das cargas e dos eixos dos veículos.

FV: Fator de Veículos

O fator de veículos é determinado por amostragem do tráfego, considerando-se a classificação pelo número e pelo tipo de eixos.

FC: Fator de Carga

Para o Cálculo do fator de carga foram considerados que todos os veículos trafegam com 100% da sua capacidade, haja visto a indisponibilidade de se conseguir dados de pesagens no local de estudo.

FE: Fator de eixo;

Dada a classificação adotada no manual de estudos de tráfego, conforme Anexo C, para a contagem volumétrica, os veículos foram relacionados aos seus respectivos eixos correspondentes na classificação de veículos do DNIT (2006). Sendo o fator de veículos produto destes outros dois fatores conforme equação 5.

$$FV = FC * FE \quad (5)$$

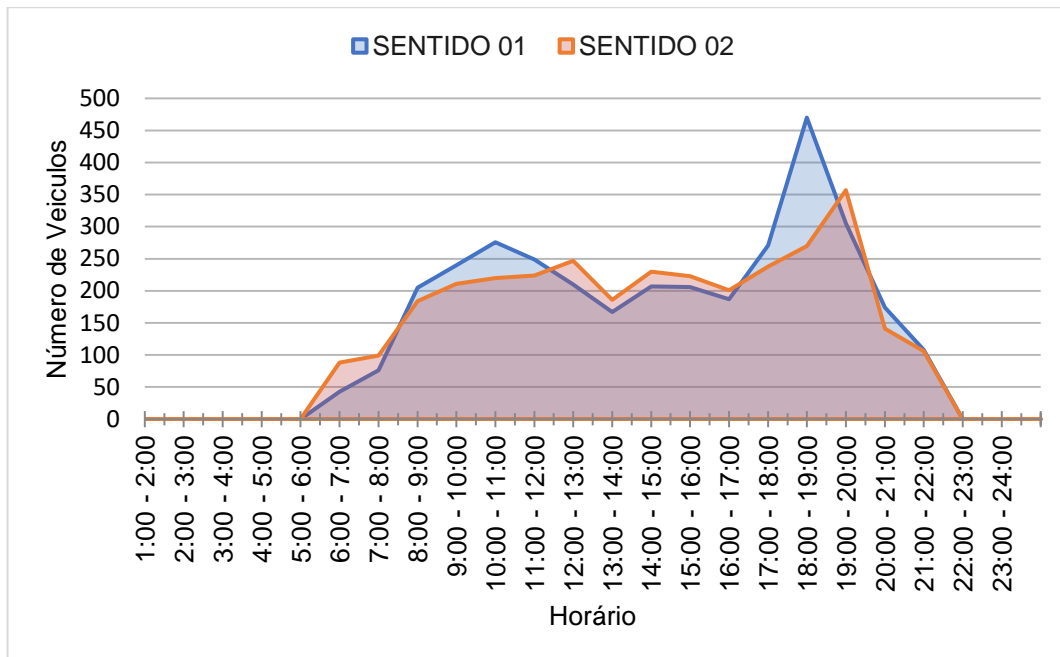
Tabela 3 - Resumo de dados da contagem volumétrica realizada

Classificação	Veículos (VMD)	Considerada Passante (%)	Quantidade Contorno	Com Veículos leves (%)	Sem Veículos leves (%)
Auto	2312	0	0	68,48	0
Moto	178	0	0	5,27	0
Camionete	56	0	0	3,11	0
Ônibus 2C	56	50	28	1,66	4,53
Ônibus 3C	24	50	12	4,53	1,94
Caminhões 2C	215	70	151	6,37	24,35
Caminhões 3C	195	70	137	5,78	22,09
Caminhões 4C	44	100	44	1,30	7,12
Caminhões 2S1	7	100	7	0,21	1,13
Caminhões 2S2	66	100	66	1,95	10,68
Caminhões 2S3	23	100	23	0,68	3,72
Caminhões 3S2	23	100	23	0,68	3,72
Caminhões 3S3	70	100	70	2,07	11,33
Caminhões 3S2S2	11	100	11	0,33	1,78
Caminhões 2C2	0	100	0	0	0
Caminhões 2C3	3	100	3	0,09	0,49
Caminhões 3C2	1	100	1	0,03	0,16
Caminhões 3C3	10	100	10	0,30	1,62
Cinco eixos ou +	33	100	33	0,98	5,34
Total	3376	18	618	100	100

Fonte: Aatoria Própria (2020).

O gráfico 01 apresenta os resultados apresentados acima em função do horário e do sentido do movimento, sendo o sentido 01 o que possui maior volume de tráfego e representa os veículos que entram na cidade no trevo da PR 493 e saem da cidade no sentido a cidade do Verê.

Gráfico 1 - Volume de tráfego horário em função do sentido



Fonte: Autoria Própria (2020)

FR: Fator Climático Regional.

Dados da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Instituto das Águas do Paraná Sistema de Informações Hidrológicas – levantados na estação meteorológica localizada na comunidade de Vista Alegre, no município de Coronel Vivida, a cerca de 14 km do local, aponta altura média dos últimos 20 anos de 1782.5mm/ano, sendo o desvio padrão de 319,3mm.

Deste modo do Fator Climático seria de 1.8 de acordo com Tabela 2 no entanto as pesquisas desenvolvidas pelo IPR/DNER têm adotado as recomendações bibliográficas. Souza (1981) recomenda ser mais apropriado a adoção de FR = 1,0, por já se adotar CBR saturado. Bernucci (1995) considera a utilização de FR = 1,00, por evitar, este valor, superdimensionamento das camadas dos pavimentos. Desse modo adotou-se 1.0.

Taxa de Crescimento de Tráfego

Calculada a partir de estimativas de demanda do tráfego local, baseadas em estudos socioeconômicos regionais para todo o período considerado para o projeto. Admitem-se, conforme Souza (1981), taxas de crescimento anual t (%), em progressão geométrica (não linear) ou progressão aritmética (linear).

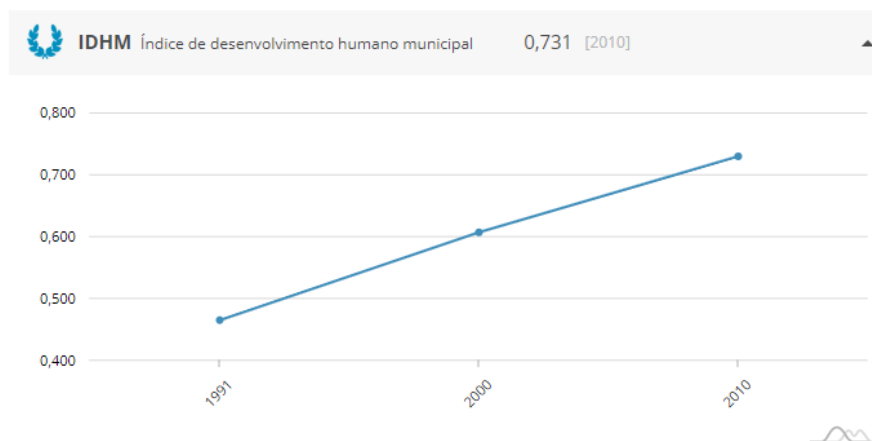
De acordo com os dados de IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), no ano de 2017 o município contava com 11.685 habitantes,

com uma densidade demográfica de 45,97 hab./km² sendo que a maior faixa na pirâmide etária da cidade compreende homens e mulheres de 10 a 29 anos.

O Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM), classificou o município de Itapejara d'Oeste (0,8336), sendo o quarto no ranking da região sudoeste que abrange 42 municípios. Caracterizado como índice de alto desenvolvimento. O IFDM avaliou três vertentes e atribuiu nota para cada um deles: emprego e renda, saúde e educação.

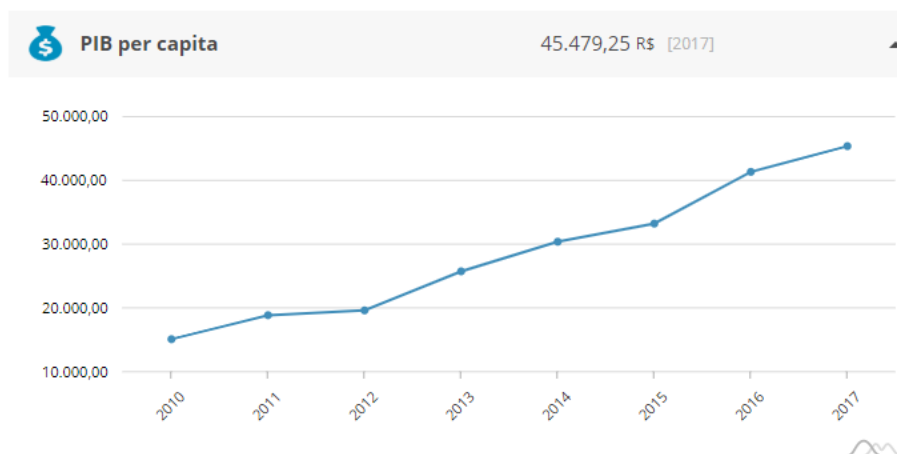
Complementando os dados já apresentados na justificativa, seguem índice de IDH e PIB per capita, demonstrando o crescente potencial do município.

Figura 9 - Índice de Desenvolvimento Humano do Município de Itapejara D'Oeste.



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2020).

Figura 10 - Produto Interno Bruto per capita do município de Itapejara D'Oeste.



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2020).

O cálculo do volume médio (V_m) depende da taxa de crescimento de tráfego para o período de projeto, taxa esta que deve considerar o crescimento histórico do tráfego na via a ser pavimentada (DNIT, 2006). Desse modo, tendo como base os dados apresentados e a estimativa utilizada para a projeção do dimensionamento do Contorno Noroeste da cidade vizinha de Pato Branco (3%), adotou-se uma taxa de crescimento anual linear de 3 % a.a.

3.4.2 Tráfego Previsto (Número N)

O tráfego potencial atual deve ser entendido como aquele que poderá vir a utilizar a via durante a abertura ao tráfego, que aqui será considerada como o ano de 2022. Ainda no escopo do presente estudo, serão feitas estimativas para o tráfego potencial futuro, entendido como aquele que utilizará a via ao longo de sua vida útil de projeto (10 anos).

Com base nas contagens realizadas e nas considerações feitas criou-se uma base de dados para este projeto de forma que represente a projeção da estimativa de tráfego com boa precisão. O número de operações do eixo padrão (N) é dado pela Equação 3 (pág. 36).

3.5 PROJETO GEOMÉTRICO

O projeto geométrico (Apêndice G) foi elaborado com base no levantamento topográfico feito por georreferenciamento, bem como visita em campo considerando questões relevantes para a definição da geometria, as características técnicas estabelecidas em função da classe e região onde está constituída.

3.5.1 Definição da Região da Rodovia

O enquadramento de uma região em relação ao relevo, se caracteriza de acordo com a Tabela 4 a seguir:

Tabela 4 -Tipos de terrenos ou regiões

Região	Critério (medida ao longo da diretriz ou linha de ensaio)
Plana	Declividade até 8 %
Ondulada	Declividade entre 8% e 20 %
Montanhosa	Declividades maiores que 20%
Escarpada	Declividades bem superiores a 20 %

Fonte: Manual de Projetos Geométricos - DNIT

No relevo georreferenciado, foram encontradas as inclinações no terreno onde se encontra o traçado proposto para o projeto. Pode-se verificar no mapa Apêndice B, gerado no software AutoCadCivil3D que a região se classifica como predominantemente ondulada.

3.5.2 Definição da Classe da Rodovia

A classificação das rodovias pode ser dada de várias formas, quanto a sua posição geográfica, quanto a sua função, a jurisdição e quanto a sua finalidade. A rodovia do estudo se caracteriza como uma rodovia de ligação, pois efetua a ligação entre dois pontos importantes das outras categorias, enquadrada na categoria de estradas estaduais e de caráter comercial.

Já quanto as condições técnicas, adota-se como critério para a classificação o volume de tráfego que deverá utilizar a rodovia no decimo ano após a sua abertura ao tráfego. O projeto geométrico também está condicionado pelo tráfego. Tal tráfego permite estabelecer a classe da estrada e o adequado dimensionamento de todos os elementos. As normas para o projeto das estradas de rodagem, portaria n°. 19 — de 10 de janeiro de 1949* classificam as estradas da seguinte forma:

Classe Especial: Acima de 2000 veículos/ dia;

Classe I: de 1000 a 2000 veículos/ dia;

Classe II: de 500 a 1000 veículos/ dia;

Classe III: até 500 veículos/ dia.

Ainda de cordo com o Art. 5º, parágrafo 4, em zonas urbanas, ou proximamente urbanas, os projetos poderão obedecer as características técnicas próprias.

A Classe I é subdividida em estradas de Classe IA (Pista Dupla) e Classe IB (Pista Simples) que destina a rodovias de alto padrão, suportando volumes de tráfego, conforme projetados para o 10º ano após abertura do tráfego com VMH > 200 veículos bidirecionais, ou VMD > 1400 veículos bidirecionais, sendo esta a classe que melhor representa o projeto.

3.5.3 Velocidade de Projeto ou Velocidade Diretriz

De acordo com a AASHTO define-se como a máxima velocidade que um veículo pode manter em determinado trecho em condições normais, com segurança, ou seja sob condições favoráveis de tempo e tráfego. Condiciona características do projeto como raios de curvatura e distância de visibilidade. A velocidade de projeto deve ser coerente com a topografia da região e a classe da rodovia.

Quadro 2 - Velocidades de projeto ou velocidade diretriz (km/h)

Classe de Projeto		Região		
		Plana	Ondulada	Montanhosa
0		100	100	80
I	A	100	80	60
	B	100	80	60
II		80	70	50
III		70	60	40
IV	A	60	40	30
	B	60	40	30

Fonte: Manual de Projetos Geométricos - DNIT

Circunstâncias locais podem exigir a fixação de uma velocidade operacional inferior à velocidade de Projeto.

3.5.4 Características Geométricas

3.5.4.1 Raio Horizontal Mínimo

O raio horizontal mínimo adotado, em m, dos eixos das estradas, devem seguir os seguintes valores (para a superelevação máxima), em função da classe da estrada e da região onde ela será construída.

Quadro 3 - Raios mínimos (m)

REGIÕES	CLASSE 0	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV A	CLASSE IV B
Planas	540	345	375	230	230	125
Onduladas	345	210	170	125	125	50
Montanhosas	210	115 IA 125 IB	80	50	50	25

Fonte: Manual de Projetos Geométricos – DNIT

A superelevação é medida pela inclinação transversal da pista em relação ao plano horizontal, sendo expressa em proporção (m/m) ou em porcentagem. O parâmetro estabelece condições para permitir aos usuários a manutenção da velocidade de percurso próxima à velocidade de projeto em condições de conforto e segurança mediante ação da força centrífuga.

Para o projeto da superelevação máxima permitida foram seguidos os parâmetros estabelecidos pelo software CADMetric que seguem a tabela AASHTO 2011 é Max = 8%.

3.5.5 Veículo de Projeto

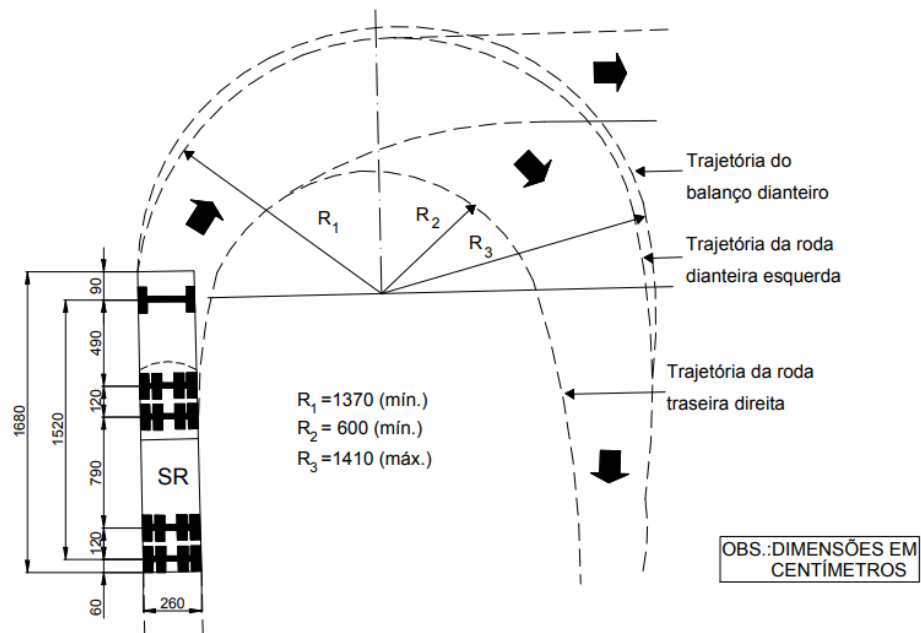
Veículos de projeto são os veículos teóricos de determinada categoria, que englobam todas as características físicas e operacionais que são representativas da maioria dos veículos existentes na categoria. A escolha do veículo de projeto levou em consideração a composição do tráfego e de projeções que consideram o futuro da região.

Esses veículos condicionam os diversos aspectos do dimensionamento geométrico e

estrutural, dentre os principais podemos citar a largura da pista de rolamento, dos acostamentos e dos ramos de interseções. Além disso, a distância entre os eixos influi no cálculo da superlargura e na determinação dos raios mínimos internos e externos das pistas. O comprimento total do veículo influencia a largura dos canteiros, a extensão das faixas de espera etc. A relação peso bruto total/potência influencia o valor da rampa máxima e participa na determinação da necessidade de faixa adicional de subida. O peso bruto admissível para os veículos, combinado com a configuração dos eixos, influi no dimensionamento do pavimento. A altura admissível para os veículos influi no gabarito vertical.

SR – Veículo comercial articulado, composto normalmente de unidades tratoras simples e semirreboque foi o considerado no projeto com dimensões básicas de largura total de 2,6 m, comprimento de 16,8 m, raio mínimo da roda dianteira de 13,7 m e raio mínimo da roda traseira de 6 m.

Figura 11 - Gabarito do veículo de projeto – Semi Reboque.



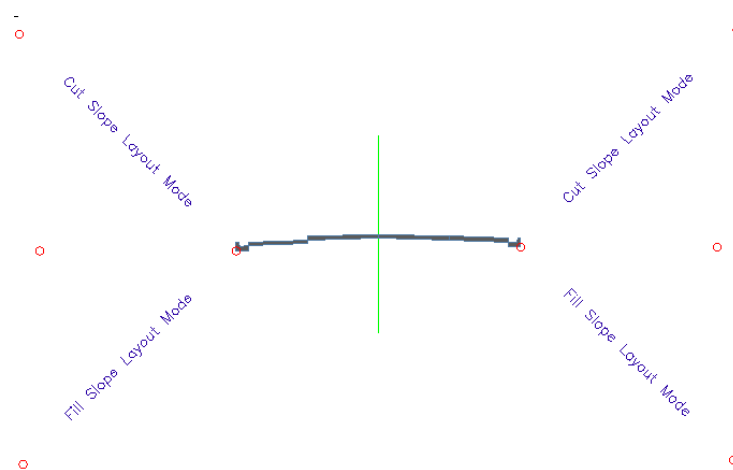
Fonte: Manual de Projeto Geométrico DNIT

3.5.6 Seção Típica

De acordo com as diretrizes de projeto, a seção para implantação da seção típica do traçado será de pista simples com duas faixas de rolamento de 3,60 m de largura com acostamentos de 3,00 m e faixa de drenagem de 0,5 m.

A inclinação dos taludes são variáveis com a natureza do terreno, por se tratar de uma região de solo predominantemente Argiloso, adotou-se em seções de corte taludes com 1:1(V:H), ou seja, para cada metro de avanço no plano horizontal teremos 1 metro de avanço no plano vertical, e em seção de aterro taludes com 2:1(V:H).

Figura 12 - Seção típica de projeto.



Fonte: Autoria própria (2020). AutocadCivil3DMetric.

Por se tratar de região ondulada, as rampas longitudinais mínimas e máximas adotadas possuem taxas de 0,2 % e 6%, respectivamente, gerando volume de terraplanagem compatível com o empreendimento desse porte.

3.5.7 Resumo Características Operacionais

Quadro 4 - Resumo das características operacionais adotadas:

Classe	I-B
Região	Ondulada
Faixa de Domínio (m)	70
Velocidade Diretriz (km/h)	80
Comprimento Virtual (m)	3330
Volume de Corte (m ³)	9860
Volume de Aterro (m ³)	3750
Tipo de revestimento	CBUQ
Fator de Eixo (%)	2.53
Fator de Carga	4.12
Número N – USACE	2.81e+07
Tráfego Médio Diário no Ano de Abertura (2022)	636
Tráfego Médio Diário ao Término da Vida útil (2032) *	840

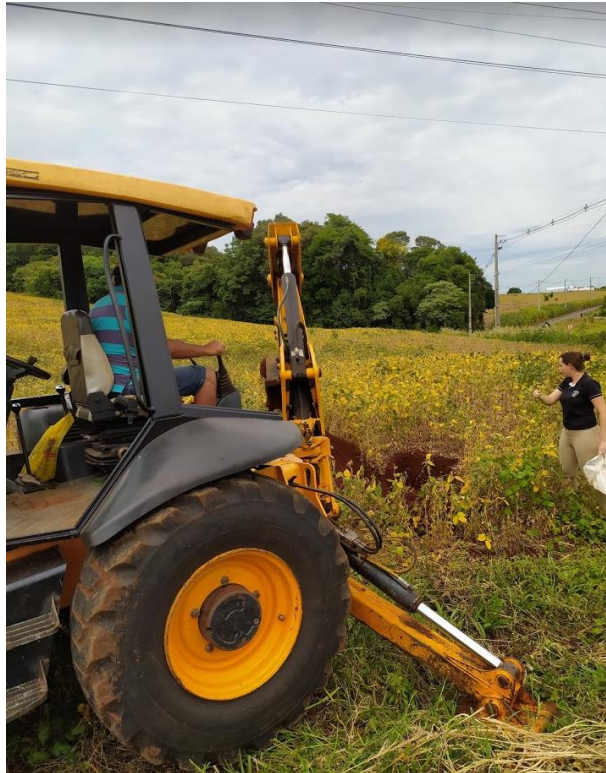
Fonte: Autoria Própria (2020).

3.6 ENSAIOS DE SOLO

3.6.1 Coleta de Amostras

As amostras foram coletadas no dia 21 do mês de janeiro de 2020, seguindo os procedimentos recomendados para a retirada de amostras deformadas. Os pontos de retirada foram escolhidos em função do acesso ao local, Figura 8, onde foi realizada a escavação de uma vala de aproximadamente 80 cm de profundidade, com o auxílio da retroescavadeira, com a finalidade de remover a camada superficial de vegetação e solo. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos em quantidade suficiente e identificadas para posterior transporte até ao laboratório da universidade.

Figura 13 - Retirada da amostra na estaca 0



Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 14 - Retirada das Amostras 2 e 3.



Fonte: Autoria Própria (2020).

3.7 DIMENSIONAMENTO

Para o dimensionamento são abordados os seguintes aspectos:

- Metodologia;
- Materiais de Construção;
- Dimensionamento, e
- Estrutura Adotada.

3.7.1 Dimensionamento do Pavimento Flexível Método do DNER

O Método do DNER (SOUZA, 1981) tem como premissa básica fundamentar-se no critério do CBR, apresentando como modo de ruptura, o acúmulo de deformações plásticas causadas pelos esforços cisalhantes que ocorrem no subleito e nas demais camadas granulares do pavimento (BALBO, 2007).

O Método do DNER define as espessuras de cada camada constituinte da estrutura através dos índices suporte do subleito, reforço do subleito (quando empregado) e da sub-base e do volume de tráfego. Na estrutura de pavimento flexível, as camadas e deveram obedecer aos seguintes limites:

Materiais constituintes do subleito

- Expansão $\leq 2\%$
- CBR ≥ 2

Materiais usados para reforço do subleito

- IS ou CBR necessariamente maior que o do subleito
- Expansão $\leq 2\%$

Materiais usados para sub-base

- IS ou CBR ≥ 20
- Índice de grupo = 0
- Expansão $\leq 1\%$

Materiais usados para base

- CBR ≥ 80
- Expansão $\leq 0,5\%$
- Limite de liquidez ≤ 25
- Índice de plasticidade ≤ 6

Vale lembrar que, se limite de liquidez for maior que 25 e/ou o índice de plasticidade for maior que 5, o material ainda pode ser usado na base desde que haja, na sua composição, pelo menos 30% de areia. Além disso, para um valor de N menor que 10^6 podemos utilizar materiais com CBR maiores ou iguais a 60 para a base.

Para que seja possível determinar a espessura de cada camada, é necessário conhecer o comportamento estrutural dos materiais. Para isso, adota-se um material padrão, a base granular, com $k=1$, para efeito de comparação com os materiais que serão utilizados. O número que relaciona a espessura equivalente da camada do material que será utilizado com a espessura da camada de material padrão, é chamado de coeficiente de equivalência estrutural.

A Equação 6 relaciona essas espessuras.

$$h_p = k_i * h_i \quad (6)$$

Onde:

h_p = espessura do material padrão;

k_i = coeficiente de equivalência estrutural;

h_i = espessura do material a ser utilizado.

Na Tabela 5, pode-se observar os componentes dos pavimentos e seus respectivos valores de coeficiente de equivalência estrutural (k) para materiais utilizados em revestimento, base, sub-base e reforço do subleito.

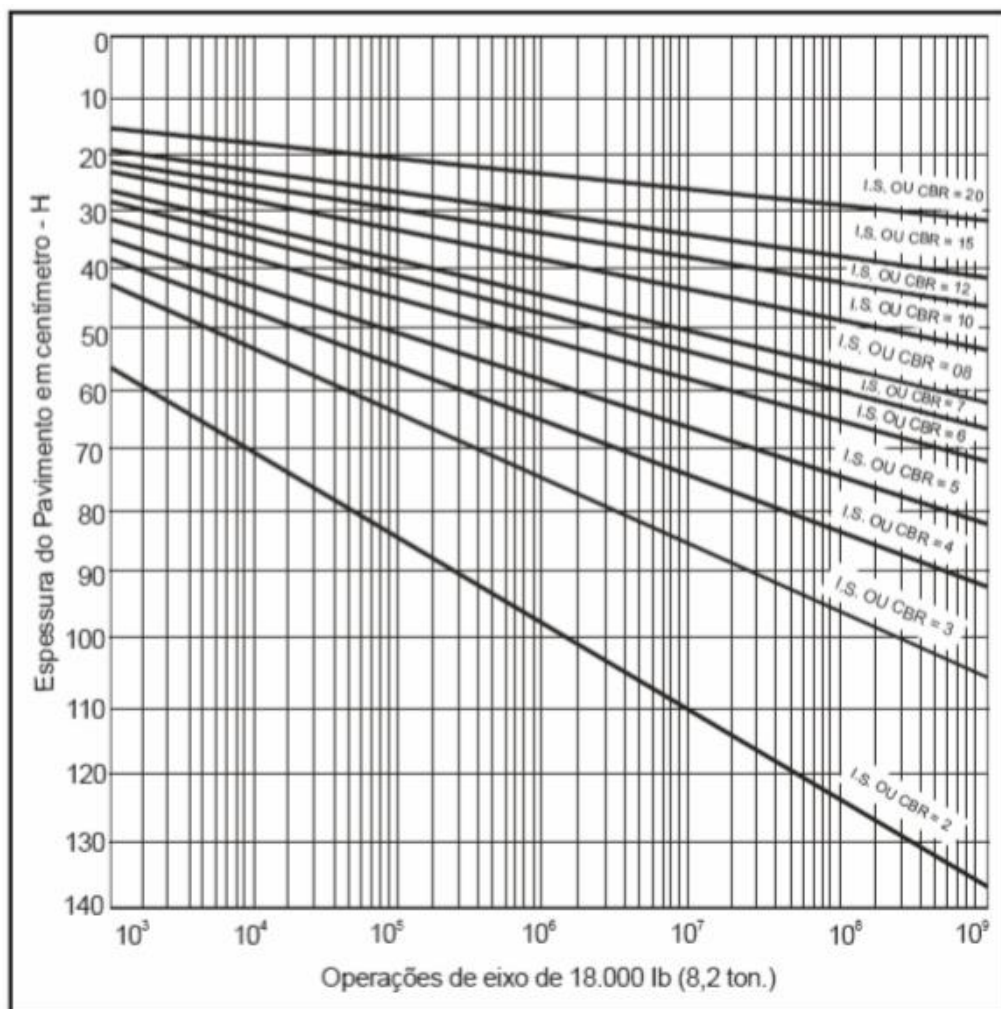
Tabela 5 - Coeficientes de equivalência estrutural - k

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

Fonte: DNIT, 2006, p. 146.

Após a obtenção dos valores de k de cada material a ser utilizado, define-se as espessuras necessárias total do pavimento (H_m), acima do reforço do subleito (H_n) e acima da sub base (H_{20}). Segundo Balbo (2007) as curvas de dimensionamento são apresentadas no ábaco de dimensionamento do Figura 15, em termos de material granular ($k=1$).

Figura 15 - Ábaco de dimensionamento de pavimento flexível



Fonte: DNIT 2006.

Para isso traça-se a vertical pelo valor encontrado de N (equivalência de operações) e no cruzamento com os segmentos inclinados correspondentes aos valores de IS ou C.B.R., determina-se: (i) Hm no cruzamento com IS = m; (ii) Hn no cruzamento com IS = n; e (iii) H20 no cruzamento com IS = 20. Com os coeficientes k e essas espessuras determinadas, é possível obter também as espessuras da base, sub-base e reforço do subleito pela resolução das inequações (7), (8) e (9).

$$(R * KB) + (B * KB) \geq H20 \quad (7)$$

$$(R * KR) + (B * KB) + (h20 * KSB) \geq Hn \quad (8)$$

$$(R * KR) + (B * KB) + (h_{20} * KSB) + (h_n * Kref) \geq H_m \quad (9)$$

Sendo:

R = revestimento;

KR = coeficiente de equivalência estrutural do revestimento;

B = base;

KB = coeficiente de equivalência estrutural da base;

H₂₀ = altura acima da sub-base;

h₂₀ = sub-base;

KSB = coeficiente de equivalência estrutural da sub-base;

H_n = altura acima do reforço do subleito;

h_n = reforço do subleito;

Kref = coeficiente de equivalência estrutural do subleito;

H_m = altura acima do subleito.

Para iniciar a resolução das inequações, adota-se R de acordo com o número de operações do eixo padrão (N), conforme a Tabela 6.

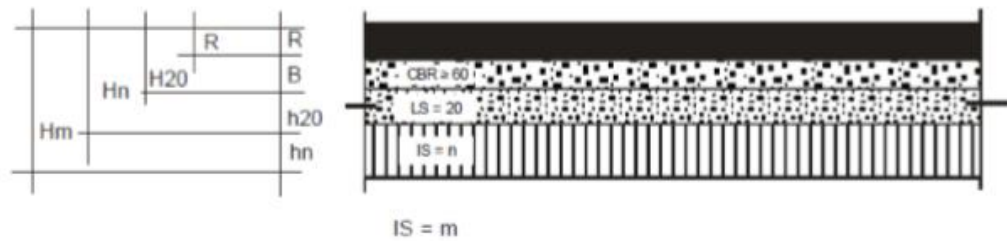
Tabela 6 - Espessura de acordo com N

N	R_{mín} (cm)	Tipo de revestimento
$N \leq 10^6$	2,5 -3,0	Tratamento superficial betuminoso
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	5,0	Revestimento betuminoso
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	7,5	Concreto betuminoso
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	10	Concreto betuminoso
$N > 5 \times 10^7$	12,5	Concreto betuminoso

Fonte: Adaptada de DNIT, 2006, p. 147.

A disposição de cada uma das camadas e suas respectivas espessuras são ilustradas na Figura 15.

Figura 16 - Espessura das camadas do pavimento



Fonte: DNIT, 2006, p. 149.

3.7.2 Método mecanístico-empírico (MeDiNa)

Dada a complexidade de se modelar o comportamento mecânico, ainda que cada material possua um comportamento resiliente peculiar, Franco (2007) propõe que esses estudos sejam divididos pelo tipo de material disponível: mistura asfáltica, granular, lateríticos, argilosos ou cimentados quimicamente.

O carregamento do tráfego possui componentes dinâmicas sendo mais apropriado a utilização do ensaio triaxial cíclico (MEDINA e MOTTA, 2015), para a obtenção do módulo de resiliência, que é definido como a razão entre a tensão desvio aplicada repetitivamente (σ_d) e a deformação resiliente axial correspondente (ϵ_a) (FRANCO, 2007).

O módulo de resiliência é um parâmetro de deformabilidade que afeta a capacidade de carga do pavimento, pois quanto maior a resiliência de uma camada, melhor se distribui os esforços para as camadas inferiores (BALBO, 2007).

A interação entre os módulos de cada camada também traz um novo panorama para o dimensionamento de pavimentos. Compatibilizar os módulos das camadas melhora a distribuição das cargas. Assim como apenas aumentar a espessura das camadas não é uma solução universal, aumentar o módulo de resiliência de uma camada ou mais não necessariamente melhora a capacidade de suporte do pavimento (BALBO, 2007).

Para determinar o limite de carregamento ao qual determinado pavimento pode ser submetido do ponto de vista estrutural se estabelece uma metodologia para avaliar o estado tensões e deformações no pavimento, com base em modelos de degradação que, convertidos para o carregamento real de tráfego, dão amparo para se estabelecer qual carregamento levaria à ruptura estrutural do pavimento. Essa

metodologia reafirma a importância de se conhecer apropriadamente os materiais que serão utilizados nas camadas do pavimento.

Para se dimensionar um pavimento novo, Medina e Motta (2015) sugerem atenção à previsão do efeito de todos os mecanismos de degradação, de forma que estes não venham a ocorrer antes mesmo do N de projeto ser alcançado. Sendo os principais:

- Fadiga das camadas de maior rigidez (revestimento de concreto asfáltico e camadas cimentadas);
- Afundamento de trilha de roda (deformação permanente acumulada);
- Ruptura plástica (área trincada a poucas repetições).

3.7.2.1 Modulo de Resiliência

O modelo constituinte adotado no MeDiNa para o comportamento resiliente dos materiais, quando elástico não-linear, é o modelo dito composto. Este modelo tende a possuir um R² alto e, apesar de não descrever bem todos os tipos de solos, é o modelo mais aceitável estatisticamente (ROZA, 2018). Descreve o comportamento resiliente do material estudado em função de todo o estado de tensões a que o solo é submetido no ensaio utilizando os parâmetros de tensão desvio, tensão confinante e do primeiro invariante de tensões. Assim, o MeDiNa suporta a adoção de modelos de resiliência com predominância ou combinação de qualquer destas três variáveis, bastando que se tome igual a zero qualquer parâmetro experimental que atue como expoente da variável que não se queira levar em conta, em busca de melhor descrever o comportamento do material. Os parâmetros de regressão são obtidos conforme DNIT 134/2018 - ME.

$$MR = k_1 * \sigma_3^{k_2} * \sigma_d^{k_3} * \theta^{k_4} \quad (10)$$

Sendo:

MR: módulo de resiliência;

σ_3 : tensão confinante;

σ_d : tensão desvio;

θ : primeiro invariante de tensões;

k_1, k_2, k_3 e k_4 : parâmetros de regressão.

Como os solos, a depender da textura, dependem mais das tensões desvio e confinante, geralmente descarta-se a invariante de tensões, adotando valor nulo para o seu expoente (k_4).

O módulo de Resiliência (MR) é semelhante ao módulo de elasticidade (E), parâmetro da Lei de Hooke, que expressa a relação entre deformações resilientes ou recuperáveis e tensões, efeito dos carregamentos dinâmicos que as causam. Entretanto o módulo de resiliência difere do módulo de elasticidade no tipo de aplicação das cargas, pois o MR é determinado após carregamentos repetidos, além de que o seu valor é calculado com base nas deformações elásticas ou resilientes de materiais.

Por representarem a causa primária do desconforto, as deformações plásticas na superfície de pavimentos asfálticos são mecanismos de ruptura importantes para pavimentos flexíveis devido ao comportamento viscoplástico do revestimento asfáltico. Porém, outra grande parcela dessas deformações é decorrente da plasticidade natural de camadas inferiores como as de solo ou de materiais granulares. Assim, o modelo constitutivo adotado para a análise do pavimento deve assumir que a deformação plástica na superfície do pavimento é a soma das contribuições individuais de cada camada do pavimento (BALBO, 2007).

A partir da classificação desenvolvida por Pinto e Preussler (2002), sob orientação de Medina, realizado na COPPE/UFRJ, foi desenvolvida uma classificação de solos baseada em suas propriedades resilientes, permitindo qualificá-los quanto ao comportamento mecânico em termos de deformabilidade elástica para Solos Granulares e Finos.

Na impossibilidade de se determinar o MR, pode se estimar a classificação de forma indireta para solos finos, a partir da percentagem de silte na fração que passa na peneira n 200 (S%) e do valor do CBR.

Entende-se como Solos finos aqueles que apresentam mais de 35% em peso de material passante na peneira n 200 (0,075mm), para este caso os solos são subdivididos entre os grupos dos tipos I, II e III, conforme a tabela a seguir.

Tabela 7 - Classificação resiliente de solos finos – Método Indireto

CBR	S (%)		
	≤35	35-65	≥65
≤5	III	III	III
6-9	II	II	III
≥10	I	II	III

Fonte: Manual de Pavimentação DNIT (2006)

3.7.2.2 Deformação Permanente

A deformação permanente é a componente residual de todas as deflexões que o pavimento sofreu durante sua vida de serviço. Dessas deflexões, parte foi de uma componente de comportamento resiliente (elástico) e outro de natureza plástica, ou seja, permanente. Por isso, muitas das vezes é usado o termo deformação plástica para se referir à deformação permanente no pavimento (BALBO, 2007). Estudos indicam que a camada que mais apresenta contribuição para a deformação permanente com afundamento de trilha de rodas é o revestimento asfáltico, como constatado pelo experimento AASHO Road Test. O que não pode levar a descartar a contribuição das outras camadas, pois é um defeito que se evidencia quando há baixa capacidade de suporte do subleito.

O MeDiNa usa o modelo elaborado por Guimarães (2009) para a deformação permanente. O ensaio é normatizado por DNIT 179/2018-IE, que também indica o critério para a verificação do acomodamento.

$$\varepsilon_p = \Psi_1 \left(\frac{\sigma_3}{\rho_0} \right)^{\Psi_2} \left(\frac{\sigma_0}{\rho_0} \right)^{\Psi_3} \cdot N^{\Psi_4} \quad (11)$$

Sendo:

ε_p (%): deformação permanente;

$\Psi_1, \Psi_2, \Psi_3, \Psi_4$: parâmetros de regressão;

σ_3 : tensão confinante;

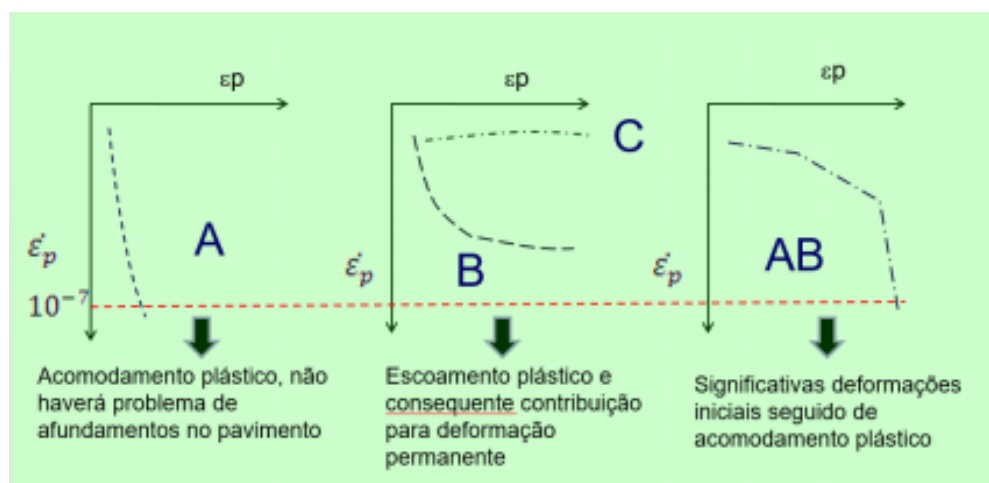
σ_d : tensão desvio;

N: número de repetições do eixo padrão;

ρ_0 : tensão de referência (tensão atmosférica);

Para avaliação do acomodamento, de forma matemática, faz-se a análise dos resultados dos ensaios utilizando um gráfico semelhante ao indicado na Figura 2 desta subseção, onde no eixo X se representa a deformação permanente acumulada e no eixo Y é plotada a taxa de acréscimo da deformação permanente acumulada, considerando-se que foi atingida a acomodação quando os resultados ficam paralelos ao eixo Y após certo número de ciclos.

Figura 17 - Modelos de comportamento a deformações permanentes de solos – Análise do Acomodamento (shakedown)



Fonte: NORMA DNIT 179/2018 – IE (2018)

3.7.2.3 Fadiga

Em relação à fadiga, este fenômeno é responsável pelo teor mais empírico do método, dada a complexidade do fenômeno. Necessita de calibração laboratório campo pela incapacidade de os modelos de laboratório representarem de maneira fidedigna o que ocorre em campo (BALBO, 2007). Esse critério é adotado principalmente para o dimensionamento do revestimento asfáltico. O modelo adotado pelo MeDiNa é obtido através do ensaio de fadiga por compressão diametral (DNIT 183/2018 – ME).

$$N_{fad} = k_1(\epsilon_r)^{k_2} \quad (12)$$

Em que:

N_{fad} : vida de fadiga

k_1, k_2 : parâmetros de regressão

ϵ_r : deformação resiliente

Como a deformação permanente do revestimento não é levada em conta no cálculo da deformação total, ela deve ser analisada de forma individual, pois não é uma análise dispensável. Esta análise é feita então utilizando o conceito do *Flow Number* (FN) ou Número de Fluxo que representa o ciclo que a taxa de deformação plástica é mínima e a partir do qual o corpo de prova passa a sofrer cisalhamento a volume constante (ROZA, 2018). Vale ressaltar que se trata um parâmetro de projeto que deve ser respeitado para que a mistura asfáltica possa ser executada. Essa avaliação é feita em função do N de tráfego como demonstrado na tabela abaixo.

Tabela 8 - Limites de aceitabilidade do Flow Number (FN)

Classe	Número de Fluxo (FN)	Número N recomendado	
		Condições normais	Condições severas
1	FN \geq 100 ciclos	$N < 1 \times 10^6$	Não recomendado
2	100 ciclos \leq FN < 300 ciclos	$1 \times 10^6 \leq N < 1 \times 10^7$	$N < 1 \times 10^6$
3	300 ciclos \leq FN < 750 ciclos	$1 \times 10^7 \leq N < 1 \times 10^8$	$1 \times 10^6 \leq N < 1 \times 10^7$
4	750 ciclos \leq FN < 2000 ciclos	$N \geq 1 \times 10^8$	$1 \times 10^7 \leq N < 1 \times 10^8$
5	FN \geq 2000 ciclos	-	$N \geq 1 \times 10^8$

Fonte: Manual de Utilização do MeDiNa (2018).

Em tratamento superficial, pela própria forma de execução e sua pequena espessura, não há como definir critérios de vida de fadiga e FN (ROZA, 2018)

3.7.2.4 Nível de Confiabilidade

No MeDiNa, a escolha do nível de confiabilidade se dá em função do tipo de via adotado, sendo maior conforme a importância da via. Assim, a escolha do grau de confiabilidade se dá em função do risco que se pode assumir para o grau de deterioração do pavimento atingir níveis não previstos no período de projeto. A confiabilidade é definida como a probabilidade de um sistema, um equipamento ou uma estrutura desempenhar com certo grau de satisfação a função a que se destinara dentro da expectativa de tempo definida (MEDINA e MOTTA, 2015).

Por exemplo, para um Sistema Local, com confiabilidade de 65%, as deflexões calculadas no MeDiNa só serão maiores que 65% das medidas feitas em

campo, enquanto num sistema arterial primário, com confiabilidade de 95%, será maior que 95% das medidas feitas em campo. As deformações plásticas na superfície do pavimento são adotadas como critério para ruptura funcional do pavimento. Assim, em função da importância da via, o programa limita a deformação permanente total na superfície do pavimento. O MeDiNa estabelece também um critério para a deformação permanente do subleito, limitando-a a 5 mm.

3.7.2.5 Parametrização dos Materiais

Os materiais granulares, solos finos, siltsosos ou argilosos, bem como o material do subleito são representados por seus parâmetros de Módulo de Resiliência, Coeficiente de Poisson e Deformação Permanente.

Para análise da vida útil e da estrutura do pavimento neste estudo, não foi possível obter todos os parâmetros para permitir o dimensionamento correto pelo Software. Devido às limitações de laboratório foram adotadas então algumas correlações bibliográficas a partir de outros parâmetros e modelos disponíveis na literatura para o subleito por se tratar de um estudo de caso, foi considerado para as camadas de material granular e revestimento asfáltico os materiais padrões que já estão inseridos na base de dados do Software MeDiNa.

Vale ressaltar que foram realizadas diversas tentativas de realização do ensaio do material do subleito em parceria com instituições públicas e privadas, não se obtendo êxito, principalmente devido à várias justificativas recebidas, sendo de que o laboratório não estava em atividade devido a pandemia ou que o equipamento não estava habilitado ou calibrado, impossibilitando a realização.

Durante as últimas décadas ao redor do mundo estudos buscaram definir alguma relação entre as características físicas e mecânicas dos solos.

Medina e Preussler (1980) apresentam uma tentativa de classificação de solos com base no módulo de resiliência para fins rodoviários conforme mostra o Quadro 4. Este estudo foi realizado em solos brasileiros, dos estados de PR, MT, MS, GO e SP, incluindo amostra de Reforço de Subleito em argila vermelha, de um trecho da BR 277, material geograficamente similar a região de estudo, no que diz respeito ao clima e vegetação caracterizada como pinheiral- zona temperada (Medina, pag. 46) com valores de $LL = 47$, $LP = 25$, $IP = 20$ e $CBR = 14$, sendo essa a estimativa utilizada para a elaboração do estudo do projeto.

Quadro 5 - Tentativa de classificação de acordo com as características resilientes

Porcentagem que passa na peneira n° 200: finos	Faixa Granul.	Classe T.R.B	Classe U.S.C.S	Equação de Resiliência	Propriedades Físicas	Forma da Relação $M_R = f(\sigma_3 \text{ ou } \sigma_d)$
Menos que 50% (solos arenosos)	A	A-1-b ou A-2	SM ou SC	(a) $M_R = 5100 \sigma_3^{0,90}$	LL < 45, IP ≤ 14 CBR > 20, exp. < 0,5%	
	B	A-3	SM	(b) $M_R = 17000 \sigma_3^{0,75}$	OBS.: hot entre 8 e 12 % (energia intermediária)	
		A-2-6	SC	(c) $M_R = 13000 \sigma_3^{0,34}$		
	B~	A-2-4	SM	(d) $M_R = 8000 \sigma_3^{0,52}$	CBR < 10, exp. ≥ 2%	
A-4 A-2-4	SM	(e) $M_R = 1000 \sigma_3^{0,52}$				
Mais que 50% (solos argilosos)	Menos que 50% de silte nos finos	$K_1 = 0,7 \text{ a } 1,1$ (f) $K_3 = 2282(\text{CBR}) - 7559$; $0 \leq K_3 \leq 28953$ $K_4 = -2000 \text{ a } -3000$, para CBR > 10; $K_4 = 0$ para CBR < 10 $K_2 = 326 + 67(\text{CBR}) - K_4 (2 - K_1)$			$M_R = K_2 + K_3[K_1 - (\sigma_1 - \sigma_3)]$; $K_1 > (\sigma_1 - \sigma_3)$ $M_R = K_2 + K_3[(\sigma_1 - \sigma_3) - K_1]$; $K_1 < (\sigma_1 - \sigma_3)$	
	Mais que 50% de silte nos finos	(g) $K_3 = K_4 = 0$ $M_R = K = 326 + 67(\text{CBR})$				

Notas: (1) Número de amostras ensaiadas: (a) 9; (b) 1; (c) 1; (d) 1; (e) 2; (f) 3; (g) 3
 (2) Em (f) há proporcionalidade entre K_1 e K_4 ; K_1 e K_2 , kgf/cm²; K_3 e K_4 , adimensionais
 (3) Equações das faixas A e B correspondente ao teor ótimo

Fonte: Medina e Preussler (1980).

Medina e Preussler (1980) propõem a relação abaixo para estimativa do MR de solos argilosos em MPa. Para o comparativo com os modelos utilizados seria necessário obter o valor de MR para o mesmo estado de tensões do modelo criado por Medina e Preussler (1980), que foi estabelecido com uma tensão desvio de 0,2 Mpa.

Sendo assim, foi possível ser estabelecida uma relação entre o MR e o CBR para um comportamento linear em solos argilosos e com resistência a seco característica para enquadramento no modelo (g) do Quadro 4, sendo adotados $IS_{CBR} = 6$ e $CBR = 14$ como suposição do MR.

$$MR = 326 + 67(\text{CBR}) \text{ [MPa]} \quad (13)$$

Dessa Forma:

$$IS_{CBR} = 6 \quad MR = 728 \text{ Mpa}$$

$$CBR = 14 \quad MR = 1264 \text{ Mpa}$$

A AASHTO usou durante bastante tempo também a relação de Heukelom e Klomp, pois, além de simples, apresentava resultados dentro de uma média razoável, segundo DNIT (2006).

$$MR = 10,4 * CBR [MPa] \quad (14)$$

Como o MeDiNa não realiza o dimensionamento apenas em função do MR, não necessariamente as bases com MR maiores terão o melhor desempenho ou as menores espessuras de revestimento. A maioria dos solos argilosos apresenta diminuição da sua resiliência quando aumentado o estado de tensões.

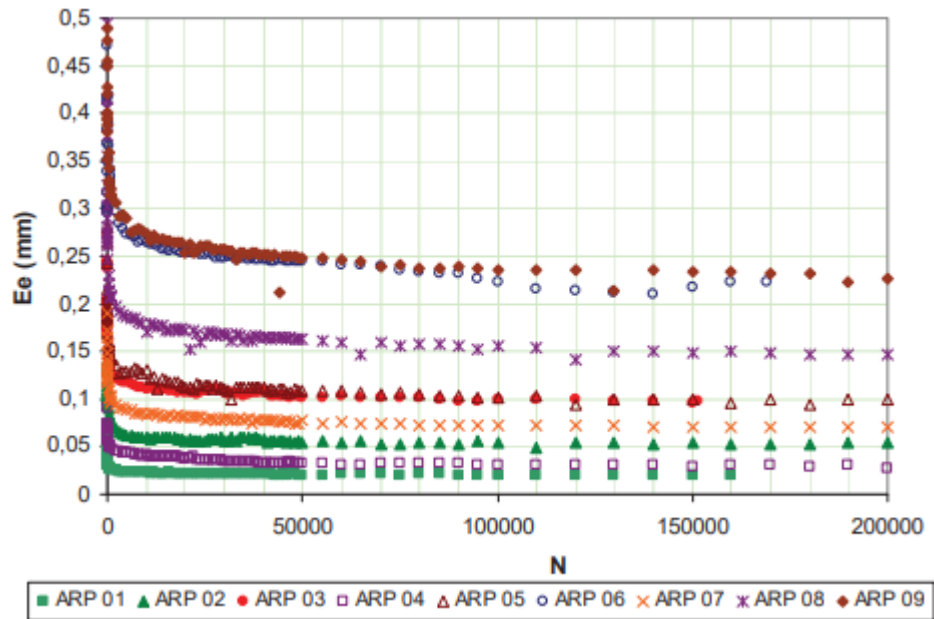
Ressalta-se que não é admissível a estimativa ou a utilização de dados da bibliografia para um projeto que se utilize de dimensionamento empírico-mecanísticos. O banco de dados de resultados de ensaios triaxiais dinâmicos da COPPE de Solos Brasileiros foi organizado por Ferreira(2002) e nele constam cerca de 400 amostras, mesmo sendo feitas inúmeras tentativas de obter a correlação entre os ensaios convencionais e o Módulo de Resiliência ou seus parâmetros K, não foi possível obter previsões que possam ser confiáveis a qualquer solo.

Estudos do IPR/DNIT mostraram que qualquer classificação de solo possui pouca correlação com o comportamento resiliente. Também se identificou que numa média, a estimativa de Heukelom e Foster é razoável, porém a dispersão é muito grande de forma a se tornar obrigatório a realização do ensaio de MR (DNIT, 2006).

Do mesmo modo, para obtenção da deformação permanente, foram utilizados os resultados obtidos no estudo de GUIMARÃES (2009) para o estudo do solo de Argila de Ribeirão Preto/SP, a qual consiste na famosa “terra roxa” de ampla ocorrência nos estados de São Paulo e Paraná, sendo amplamente empregados em pavimentos na região.

A expressão resultante dos cálculos realizados no estudo, tendo sido obtido um valor de coeficiente de determinação (R^2) de 0,986, indicando uma excelente acurácia para a modelagem utilizada. No caso, os parâmetros Ψ_i são, respectivamente: $\Psi_1 = 0,206$, $\Psi_2 = - 0,24$, $\Psi_3 = 1,34$, $\Psi_4 = 0,038$ (GUIMARÃES, 2009, Pag. 259).

Figura 18 - Variação da deformação resiliente com o número de ciclos e aplicação de cargas na argila de Ribeirão Preto – SP.



Fonte: Guimarães, pag. 256 (2009).

Os parâmetros do subleito foram adotados com base nos dados de Ceratti (1991), para proposta de solo cimento, misturados com cimento tipo CP-II-E, um cimento essencialmente tipo Portland. O Solo referência para o dimensionamento foi a Mistura 5 (CERATTI, pag. 72. 1991) a qual contém 8% de cimento correspondente ao peso do solo seco definido pelo método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland).

As características adotadas para cada material das estruturas proposta encontram-se no Quadro 6.

Quadro 6 - Características dos materiais utilizados no dimensionamento

Camada	Material	Módulo de Resiliência- MR (Mpa)	Módulo de elasticidade - Poisson	Classe de Fadiga
Revestimento	Concreto Asfáltico Classe 03	8000	0,3	3
Base	Material Granular Brita Graduada (BGS) Gnaisse C5	381	0,35	-
Sub-base	Material Granular Brita Graduada (BGS) Gnaisse C1	259	0,35	-
Sub-base	Solo Cimento Ceratti (1991) mistura 4	Sigmoide ¹	0.25	-
Subleito	Solo Natural Resiliente Linear	728 /1264	0,45	-

Fonte: Autoria própria (2020).

Dessa forma na primeira análise, foi verificada a estrutura encontrada no dimensionamento pelo método DNER e observado dentro do software MeDiNa se a mesma, com os parâmetros propostos acima, atendeu as características necessárias para o dimensionamento.

Em seguida, faz-se a comparação entre os resultados obtidos nos dimensionamentos do pavimento em termos de espessuras e desempenho.

¹ Para essas camadas estabilizadas é considerado que o seu módulo de resiliência decai ao longo do tempo com um comportamento do tipo sigmoideal.

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

4.1.1 Classificação H.R.B.

Através dos ensaios de limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e granulometria, e por meio do quadro do ANEXO A o solo foi classificado como pertencente ao grupo A5. Os resultados dos referidos ensaios são mostrados na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados de ensaios de caracterização do solo

Resultados / Amostra	Limite de Liquidez - LL (%)	Limite de Plasticidade - LP (%)	Índice de Plasticidade - IP (%)	Passante na peneira nº 200 - P (%)
Amostra 01	41,5	35,3	6,2	90,3
Amostra 02	43,5	30,3	13,2	87,6
Amostra 03	43,5	41,2	2,3	84,6

Fonte: Autoria própria (2020).

A figura 19 apresenta amostras de solo secas em estufa e a figura 20 apresenta os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios de caracterização do solo.

Figura 19 - Amostras de Solo (3 – 2 – 1)



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 20 - Material para Ensaio



Fonte: Autoria própria (2020).

Através desses resultados é possível encontrar o valor do índice de grupo (IG) utilizando a Equação 2 (pág. 31). Desse modo, através da Tabela 1 (pág. 31) de correlação entre IG e IS_{IG} , tem-se que o valor de IS_{IG} e a classificação H.B.R. de acordo com o quadro Anexo A:

Tabela 10 - Classificação do solo

Resultados / Amostra	IG	IS_{IG}	Classificação H.R.B do solo
Amostra 01	8,3	6,7	A5
Amostra 02	9,98	6	A5
Amostra 03	8,7	6,2	A5

Fonte: Autoria própria (2020).

Conforme o manual de pavimentação do DNIT (2006) o solo pertencente ao grupo A-5 é altamente elástico, conforme indica seu índice de liquidez elevado. Os valores dos índices de grupo vão de 1 a 12, esses valores crescentes revelam o efeito

combinado do aumento dos limites de liquidez e das percentagens decrescentes de material grosso.

4.1.2 Ensaio de Proctor

O ensaio foi realizado com crescentes teores de umidade e energia de compactação normal. Através dos dados obtidos no ensaio, elaborou-se as curvas de umidade ótima Apêndice C.

Figura 21 - Ensaio de Proctor



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 22 - Compactação em umidade ótima



Fonte: Autoria própria (2020).

Utilizando a equação da curva encontrada, definiu-se que a umidade ótima para cada solo. Esse valor será utilizado para a realização do ensaio do C.B.R.

Tabela 11 - Ensaio de Proctor Normal

Solo	Umidade Ótima (%)	Massa Específica Aparente Máxima (g/cm³)
Amostra 01	33,4	1,892
Amostra 02	34,2	1,895
Amostra 03	33,2	1,883

Fonte: Autoria própria (2020).

4.1.3 Índice de Suporte California (C.B.R.)

A preparação da amostra foi feita de acordo com a NBR 6457 (2016), e a moldagem dos corpos de prova de acordo com a NBR 7182 (2016), utilizando-se energia de compactação normal. Após a moldagem, os corpos de prova ficaram imersos em um tanque de água durante quatro dias e então realizou-se as leituras de expansão e penetração.

A tabela 12 apresenta os valores obtidos no ensaio de expansão.

Tabela 12 - Valores de expansão

Corpo de Prova		Leitura Do Extensômetro (mm)					E (%)
		Inicial 26/05	24 horas 27/05	48 horas 28/05	72 horas 29/05	96 horas 30/05	
Amostra 1	01	0	4	5	6	6,5	0,057
	02	0	4	5	5	5,2	0,046
	03	0	1,5	1,5	1,5	1,5	0,013
Amostra 2	01	0	3	2,8	4	4,2	0,037
	02	0	0,4	0,2	0,2	0,2	0,002
	03	0	1,2	1,2	1,5	2	0,018
Amostra 3	01	0	23	25	25	23	0,201
	02	0	25	30	32	38	0,333

Fonte: Autoria própria (2020).

Os resultados do ensaio foram obtidos com a utilização de 08 corpos de prova, a partir dos quais e através da Equação (15) calculou-se os valores de C.B.R. apresentados na Tabela 13.

$$CBR = \frac{\textit{press\~ao calculada}}{\textit{press\~ao padr\~ao}} * 100 \quad (15)$$

De acordo com Senço (2007, p. 224), se o C.B.R. correspondente à penetração de 5,08 mm for maior que o C.B.R. da penetração de 2,54 mm é necessário que o ensaio seja refeito.

4.1.4 Índice Suporte (IS)

Para o cálculo do IS, utiliza-se a Equação 15 para chegar aos valores de ISC. Foi realizado a média dos valores, desprezando o resultado mais discrepante da amostragem. Os valores utilizados serão apresentados na tabela 13 a seguir, lembrando que quando $IS_{IG} > C. B. R.$, adota-se $IS = C. B. R.$, então:

Tabela 13 - Valores de Índice de Suporte

Corpo de Prova		Pressão Padrão (Mpa)		ISC	IS_{IG}	IS_{CBR}
		6,9	10,35			
Amostra 1	01	10,40	8,00			
	02	11,02	9,97	10,44	6,7	8,57
	03	10,52	9,24			
Amostra 2	01	12,60	13,00			
	02	7,96	7,42	15,08	6,0	10,54
	03	17,20	16,02			
Amostra 3	01	17,10	18,60			
	02	14,97	14,16	16,78	6,2	11,49

Fonte: Autoria própria (2020).

Corpos de prova referentes aos ensaios a partir das amostras de solo (Figura 13).

Figura 23 - Corpos de Prova após a realização do ensaio de penetração.



Fonte: Autoria própria (2020).

Após determinar o IS_{CBR} dos corpos de prova, é necessário calcular o IS_{min} para o dimensionamento, utilizando estudos estatísticos. Como nesse caso o número de determinações é menor do que nove, o IS_{min} pode ser calculado de forma simplificada (Senço, 2007, p. 606). Sendo assim, calcula-se IS_{min} de acordo com a Equação 16.

$$IS_{min} = \left(\frac{2}{3}\right) * IS_{médio} \quad (16)$$

De modo que $IS_{\text{Médio}}$ é calculado através da Equação 17.

$$IS_{\text{Médio}} = \frac{\sum IS_i}{n} \quad (17)$$

Dessa forma:

$$IS_{\text{Médio}} = \frac{(8,57+10,54+11,49)}{3}$$

$$IS_{\text{Médio}} = 10,2$$

$$IS_{\text{min}} = \frac{2}{3} * 10,2$$

$$IS_{\text{min}} = 6,8$$

Adota-se $IS = 7\%$.

4.2 DIMENSIONAMENTO

No projeto deste estudo, o pavimento será composto pelas seguintes camadas acima do subleito: sub-base e base granular, e revestimento de CBUQ, com o valor de $IS = 7.0\%$ para o subleito.

4.2.1 Dimensionamento do Pavimento pelo Método DNER.

4.2.1.1 Tráfego no Pavimento

O volume de tráfego do pavimento flexível calculado obteve-se considerando os dados definidos conforme determinado no Item 3.4 deste estudo. Para a determinação do valor de N, primeiramente foi necessário calcular as variáveis que o compõe.

$$Vm = \frac{V1 + Vp}{2} \quad (18)$$

$$Vm = \frac{636 + 840}{2}$$

$$Vm = 738 \text{ veículos/dia}$$

Sendo:

V1: tráfego no sentido mais solicitado, no primeiro ano do período de projeto, determinado através da equação 19.

Vp: tráfego no mesmo sentido de V1, no último ano do período de projeto, determinado pela equação 20.

$$V1 = V0 \times \left(1 + \left(p \times \frac{1}{100} \right) \right) \quad (19)$$

$$V1 = 618 \times \left(1 + \left(2 \times \frac{1}{100} \right) \right)$$

$$V1 = 636 \text{ veículos}$$

$$Vp = V1 \left(1 + \frac{t}{100} \times P \right) \quad (20)$$

$$Vp = 618 \left(1 + \frac{3}{100} \times 10 \right)$$

$$Vp = 840 \text{ veículos}$$

Sendo:

V0: tráfego diário médio no período de estudos e de construção;

p: número de anos necessário à execução das obras;

t: taxa de crescimento linear do tráfego, em porcentagem ao ano;

P: Período de projeto, em anos.

$$V_0 = \sum_0^i \frac{VMD_i \times D_i}{100} \quad (21)$$

Sendo:

VMD: Volume de tráfego médio diário, obtido através da soma de todos os veículos que adentam o perímetro urbano no sentido mais solicitado;

D: porcentagem do tráfego no sentido mais solicitado, considerado para este caso de acordo com cada tipo de veículo conforme Tabela 3 (pág. 50)

Primeiramente se calcula o V_0 , considerando o tráfego que foi adotado no item 3.4.1. Dessa forma o VMD inicial do sentido 01 igual a 3376 é considerado para uso da nova rodovia V_0 igual a 618 referente ao tráfego considerado. Com o valor de V_0 é possível calcular o valor de V_1 , adotando p igual a 2 anos e t igual a 3,0%, dessa forma através da equação 19 é possível determinar V_1 igual a 636. Com estes valores e tendo o tempo de projeto considerado em 10 anos é possível calcular V_p através da equação 20, encontrando assim o valor de 840. Com os resultados das equações 19 e 20, é possível determinar o V_m através da equação 18, a qual resulta em 738 veículos/dia.

Para que seja possível se determinar o valor de N , ainda é necessário obter o valor do fator de veículo (FV), fator este que transforma o tráfego real que solicita o pavimento durante o período de projeto, em um tráfego equivalente de eixos padrão (DNIT, 2006). O cálculo do FV depende ainda do produto dos valores de FC (fator de carga) e FE (fator de eixo), como mostra a Equação 5.

É possível se determinar o valor de FC através do produto entre o Σ equivalência de operações e o Σ VMD (Veic. /dia).

Tabela 14 - Valores Equivalência de Operações

Composição	Capacidade de Carga (T)	N de Eixos (24 horas)	Percentual (%)	Fator de Equivalência	
Eixo Simples	6	618	40	0,4	15,8
Eixo Simples Roda Dupla	10	300	19	3	57,5
Eixo Duplo Tandem	17	509	33	8	260
Eixo Triplo Tandem	25,5	137	8,8	9	78,9
Σ VMD (Veic. /dia)		1563	100	Σ equiv. operações	412

Fonte: Autoria própria (2020).

Para a determinação do FE é necessário conhecer a quantidade de veículos com quantidades específicas de eixos (DNIT, 2006). Dessa forma, a partir da Tabela 3, montou-se a Tabela 15 para facilitar a obtenção de dados, que serão empregados na equação 22.

Tabela 15 - Valores para cálculo de FE

Nº DE EIXOS	VMD (Veículo /dia)	Porcentagem %
Veículos com 2 eixos	371	60,03%
veículos com 3 eixos	200	32,36%
Veículos com 4 eixos	14	2,27%
Veículos com 5 eixos ou +	33	5,34%

Fonte: Autoria própria (2020).

$$FE = \left(\frac{P2}{100}\right) \times 2 + \left(\frac{P3}{100}\right) \times 3 + \dots \left(\frac{Pn}{100}\right) \times n \quad (22)$$

Sendo:

P2: porcentagem de veículos de 2 eixos;

P3: porcentagem de veículos de 3 eixos;

Pn: porcentagem de veículos de n eixos.

Empregando-se os valores na equação 23, determina-se o valor de FE igual a 2.53 e os valores de FC de acordo com a fatores de equivalência temos FC igual a 4.12.

Por fim, aplicando os resultados das variáveis na Equação 3 é possível afirmar que o número de repetições de um eixo padrão durante o período de 10 anos é $2,81 \times 10^7$ operações.

Para o cálculo do fator de veículo, também se utilizou o software MeDiNa (Versão de Teste - 1.1.3 disponibilizado gratuitamente para que acadêmicos e profissionais do ramo possam fazer críticas e sugestões de melhorias antes que o método seja oficialmente normatizado). O mesmo conta com uma aba específica com os fatores de carga definidos de acordo com cada tipo de eixo. Para tal cálculo, faz-se necessário inserir os fatores de eixos para o primeiro ano, em percentual, com suas respectivas cargas, conforme a Tabela 3.

A Tabela detalhada de eixos encontra-se no relatório Apêndice A, contendo os dados lançadas de acordo com os resultados obtidos na composição de tráfego, O programa pode ser utilizado para calcular automaticamente o número equivalente de passagens do eixo padrão rodoviário, a Figura 23 apresenta as condições utilizadas no software. Obtido a partir do Volume Médio Diário (VMD) e demais condições adotadas. O valor do número N calculado utilizando o software Medina resultou em $2,80 \times 10^7$ operações.

Figura 24 - Características de tráfego adotada para o dimensionamento pelo software MeDiNa.

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO	
Carga de eixo (ton):	8,20
Pressão de pneus (MPa):	0,56
Sx (cm):	32,40
Área (cm ²):	366,07
Raio (cm):	10,79
DADOS DO TRÁFEGO	
Tipo de Via:	Sistema Arterial Primário
VMD (1º ano):	636
FV:	10.518
N anual (1º ano):	2,44e+06
% Veículos na faixa de projeto:	100
N Anual da faixa:	2,44e+06
Taxa de crescimento (%):	3.0
Período de projeto (anos):	10
N Total:	2,80e+07

Fonte: Autoria Própria (2020).

4.2.1.2 Camadas

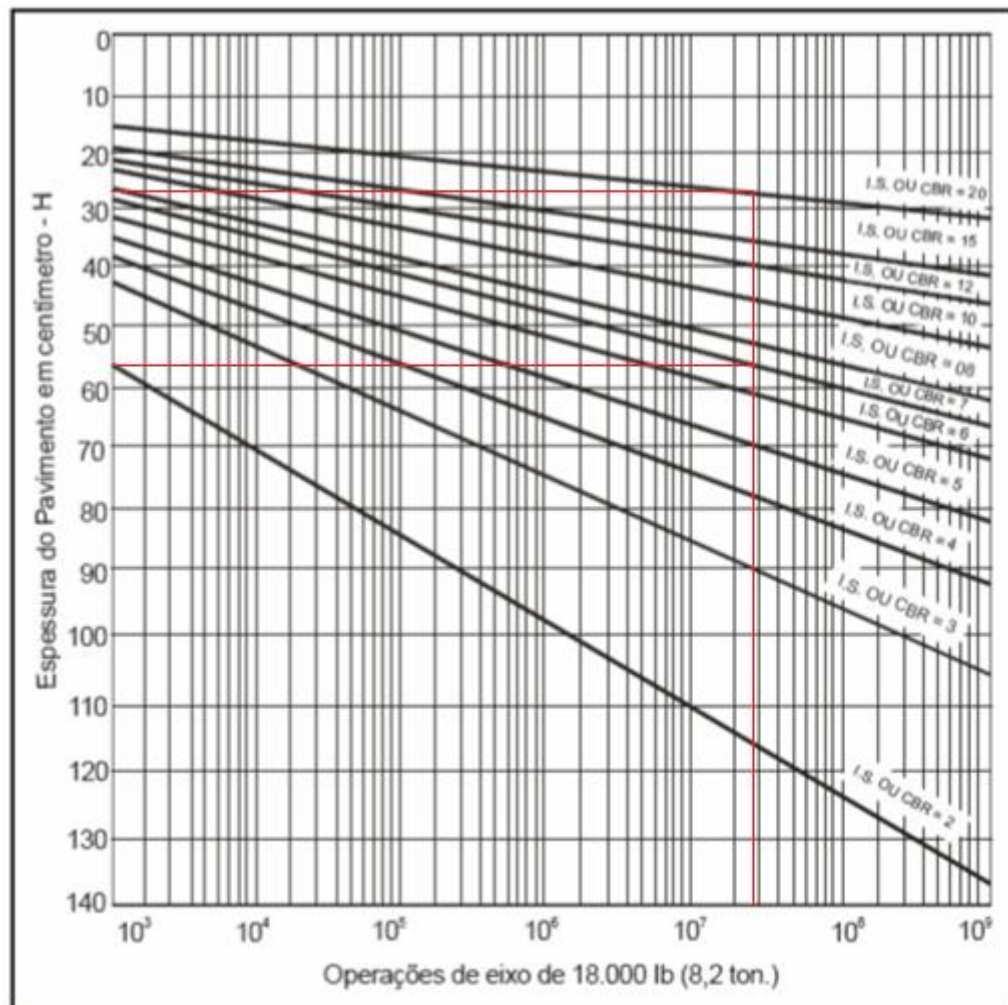
Com todas as variáveis pertinentes a determinação do N encontradas é possível afirmar que o número de repetições de um eixo padrão durante o período de 10 anos é 2.81×10^7 operações.

Através do ábaco do Figura 15 e de posse do Índice de Suporte do solo, pode-se então, dimensionar a espessura das camadas.

Toma-se como Índice de Suporte, o valores calculado conforme item 4.1.4 (pág. 80), assim traça-se a vertical pelo valor encontrado de N anteriormente, e no cruzamento com o IS, obtêm-se o valor do HM, que é a espessura total do pavimento, ou seja, o somatório da espessura do revestimento, base, sub-base e do reforço (DNIT, 2006).

Com N igual 2.81×10^7 , e IS igual a 7%, tem-se:

Figura 25 - Dimensionamento do Hm e H20 pelo ábaco.



Fonte: Autoria Própria (2020).

- (i) $H_7 = 58 \text{ cm}$
- (ii) $H_{20} = 27 \text{ cm}$.

Já os valores de k segundo a Tabela 6 (pág. 60), são:

- (i) $k \text{ revestimento} = 2$;
- (ii) $k \text{ base granular} = 1$;
- (iii) $k \text{ sub-base granular} = 1$;
- (iv) $k \text{ sub-base solo cimento} = 1.7$

A espessura utilizada para o revestimento será de 10 cm, de acordo com a Tabela 7 (pág. 64).

Desse modo:

$$\begin{aligned}(R * KR) + (B * KB) &\geq H_{20} \\ (10 * 2) + (B * 1) &\geq 27 \\ B &\geq 7 \text{ cm}\end{aligned}$$

De acordo com o Manual de Pavimentos Flexíveis do DNIT (2006, p. 147), a espessura mínima para materiais granulares é 15 cm, sendo assim: $B = 15 \text{ cm}$

Então, seguindo a resolução das inequações:

$$\begin{aligned}(R * KR) + (B * KB) + (h_{20} * KSB) &\geq H_7 \\ (10 * 2) + (15 * 1) + (h_{20} * 1) &\geq 58 \\ h_{20} &\geq 23 \quad h_{20} = 23 \text{ cm}\end{aligned}$$

Adota-se $h_{20} = 23 \text{ cm}$

Desse modo, têm-se o detalhamento do pavimento, com as dimensões em centímetros e o material a ser colocado:

Dimensionamento 01

- Revestimento de concreto betuminoso – 10 cm;
- Base granular – 15 cm;
- Sub-base granular – 23cm;
- Espessura total – 48 cm.

De acordo com o mesmo procedimento e os resultados obtidos foi realizado um novo dimensionamento considerando uma sub-base constituída de solo cimento. Como podemos perceber a espessura da camada de sub-base teve uma variação de 8 cm com a mudança do material.

Dimensionamento 02

- Revestimento de concreto betuminoso – 10 cm;
- Base granular – 15 cm;
- Sub-base solo cimento – 15 cm;
- Espessura total – 39 cm.

Vale ressaltar que a espessura mínima e máxima de compactação do material são respectivamente 15 e 20 cm, sendo necessário em alguns casos a execução em 2 camadas.

4.2.2 Dimensionamento do Pavimento pelo MeDiNa.

Realizado o lançamento da configuração de tráfego conforme já estabelecido para uma rodovia de sistema arterial principal, onde o nível de confiabilidade é de 95% e definida e estrutura composta pelas camadas de acordo com os materiais descritos no Quadro 6 e as espessuras encontradas no dimensionamento pelo método DNER.

Quando submetido a análise da estrutura, o software determina a área trincada e o afundamento de trilha de roda para a espessura de revestimento e estrutura definida. Quando submetido ao dimensionamento, o software simula

diversas espessuras de revestimento, para as camadas estabelecidas, até obter a melhor relação entre a espessura e os resultados de área trincada e afundamento de trilha de roda, observando os valores máximos preconizados pelo MeDiNa de 30% e 10mm, respectivamente.

O primeiro dimensionamento resultou em espessura de revestimento mínimo de 14,6 cm para as espessuras de camadas definidas nesta situação. Nesse caso os valores de área trincada e afundamento de trilha de roda foram respectivamente de 28,8 (%) e 5,7 mm ao fim do período de projeto, já considerando a espessura de 10 cm de revestimento, admitida pelo método DNER, a análise da estrutura resultou valores de área trincada atingindo 99% antes mesmo do fim do período, sendo o valor limite admitido (30%) atingido próximo do 3º ano de utilização. O relatório detalhado do resultado realizado no MeDiNa pode ser visto no Apêndice D.

Foram feitas algumas simulações observando a variação no Módulo de Resiliência e considerando a estrutura adotada no dimensionamento 01 e 02. Os resultados dos valores de ATR e área trincada para as estruturas encontram-se na Tabela 16 a seguir.

Tabela 16 - Área trincada e Afundamento de trilha de roda em simulações no MeDiNa.

Dimensionamento	Revestimento Betuminoso (cm)	Base (cm) BG – C5	Sub Base (cm)	Espessura Total (cm)	Subleito MR 728 (Mpa)	Subleito MR 1264(Mpa)	Área Trincada (%)	Afundamento Trilha de Roda - ATR (mm)
1	10	15	23 BG - C1	48	x		99	7,1
	15			53	x		29,1	5,4
	10			48		x	99	7,3
	14,6			52,6		x	28,8	5,7
2	10	15	15 Solo - Cimento	40	x		75,5	4,6
	12,4			42,4	x		28,6	4,1
	10			40		x	63,8	4,9
	11,9			41,9		x	28,3	4,5

Fonte: Autoria própria (2020).

4.3 COMPARAÇÃO

As espessuras obtidas no dimensionamento pelo método DNER resultam da tendência do método de dimensionar as camadas de base em função do critério de ruptura do método, que baseia-se na proteção do subleito contra a ruptura ao cisalhamento baseado em dados de pistas experimentais construídas com camadas de material granular, tomadas como referência aos coeficientes estruturais das camadas. Por meio da análise mecânica do método MeDiNa, nota-se que não é uma alternativa viável, pois aumentaria a deformação permanente com espessuras maiores das camadas de proteção.

Quanto a deformação permanente, todos os pavimentos dimensionados pelo DNER, quando submetidos a análise da estrutura no software mostraram na simulação valores de ATR maiores que os dimensionados pelo MeDiNa, no caso 1, esses valores chegaram a 7,1mm sendo o critério de ruptura funcional de 10 mm adotada no método MeDiNa.

Apresentaram trincamento generalizado em ambos os casos pelo método DNER, de forma que no final do período de projeto o pavimento estaria degradado, sua espessura de revestimento de 10 cm logo nos primeiros anos de utilização apresenta área trincada com valor superior a 30% que condicionaria ao surgimento de outras patologias.

No caso 1 a área trincada representa 99% da área do pavimento e quando analisada a evolução atinge o valor limite de 30% entre os 36 a 42 meses de uso, igualmente para o caso 2 atingiria esse limite próximo aos 60 meses de utilização.

A análise feita no MeDiNa nas simulações demonstra que o aumento gradual da espessura de base de brita graduada, resulta em um maior afundamento de trilha de roda e da área trincada prevista que levam a maiores deflexões e, portanto, mais desgaste do revestimento. O que indica que podem não ser apenas mais cara, como também mais suscetíveis a defeitos devido as grandes espessuras resultantes.

Analisando as simulações pode-se observar que o uso do solo cimento como sub-base pode ser mais eficiente, tanto no que diz respeito a estrutura necessária considerando o uso racional dos materiais, quanto no seu comportamento previsto ao longo do período. O relatório proveniente dessa simulação encontra-se no APÊNDICE F.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo deste trabalho foi desenvolver e determinar qual a estrutura necessária para um projeto preliminar, apresentando maiores vantagens técnicas e econômicas para a aplicação no contorno viário no perímetro urbano da Cidade de Itapejara D Oeste- PR.

Para alcançar esses objetivos foram necessários vários estudos em campo e ensaios em laboratórios, que foram desde a contabilização de tráfego, coleta de amostras de solo, caracterização do solo até a fase final de dimensionamento do pavimento.

Para o levantamento de tráfego foi encontrada dificuldade com relação à taxa de crescimento no tráfego na região estudada, devido à falta de estudos específicos e quanto à sazonalidade. Para tanto foram feitas considerações para ter o melhor tratamento de dados e o Número N calculado encontra-se dentro do padrão dos projetos similares vigentes.

O projeto geométrico buscou implantação em uma configuração topográfica adequada e com pouca interferência ambiental que atraísse o interesse os usuários pela facilidade de utilização e pela redução de distância.

Foi possível a determinação dos parâmetros do solo necessários ao dimensionamento pelo método DNER em laboratório da UTFPR, porém, ressalta-se que devido à dificuldade de obtenção dos parâmetros reais foram usados parâmetros estatísticos na simulação do software e a quantidade de amostras pode apresentar variação, situação que pode ser justificada pela extensão do trecho analisado. Contudo, seguindo das boas práticas da engenharia, foram considerados os valores sempre em função da segurança.

Na execução deste estudo, observou-se a importância da determinação das características e propriedades do solo de subleito e demais camadas constituintes responsáveis por absorver as cargas sem apresentar deformações que causem instabilidade e/ou ruptura na estrutura do pavimento, bem como a carga que solicitará o pavimento. Fatores estes que garantem um bom dimensionamento.

Foram feitos o dimensionamento padrão DNIT (DNER) utilizando o sub-base de material granular, apesar de satisfazer o método atual, quando submetido a uma análise pelo software MeDiNa, indica uma área de trincamento praticamente total de

99% no período de projeto (120 meses) e trincamento máximo preconizado pelo MeDiNa (30%), essa área seria atingida entre os 42 e 48 meses. Em vista disso, optou-se por simular outros tipos de estrutura, modificando a sub-base, neste caso o projeto padrão DNIT também apresentou área trincada elevada, sendo necessário o aumento da espessura do revestimento para satisfazer a especificação do software MeDiNa com relação a área trincada.

No entanto, o dimensionamento aqui realizado no método MeDiNa não pode ser utilizado como referência para projetos, pois nele não se considerou as condições exatas que seriam encontradas em ensaios laboratoriais com amostras locais. Além disso, fatores como as transgressões frequentes da carga máxima permitida para cada tipo de veículo transportar, variação no tipo de pneus, variações de velocidade e diferentes pressões de calibração não foram consideradas.

Quando comparamos os resultados encontrados podemos concluir que o método de dimensionamento usando o software MeDiNa pode ter resultados melhores no dimensionamento das camadas, o resultado pode apresentar uma redução no custo total da estrada, no seu tempo de execução e melhor utilização dos materiais disponíveis. De posse dos resultados em laboratório pode-se alcançar maior confiabilidade no projeto; possibilidade de prever defeitos específicos e consequências devido ao carregamento.

É válido ressaltar que não é recomendável a estimativa ou a utilização de dados da bibliografia para um projeto que se utilize de dimensionamento empírico-mecânico de pavimentos.

6 REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6457: Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9895: Solo – Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

BALBO, J. T. Pavimentos asfálticos híbridos-rígidos: perspectivas para baixos e elevados volumes de tráfego. In: 36ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 2005, Curitiba. Anais... Associação Brasileira de Pavimentação. 1 CD-ROM

BALBO, J. T. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BAPTISTA, Cyro N. Pavimentação: tomo 1. Ensaio fundamentais para a pavimentação – dimensionamentos dos pavimentos flexíveis. 3ª ed. Porto Alegre: Globo, 1978

BERNUCCI, Liedi Bariani. MOTTA, Laura Maria Goretti. CERATTI, Jorge Augusto Pereira. SOARES, Jorge Barbosa. Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS, ABEDA, 2006.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de de conservação rodoviária. 2. Ed. Rio de Janeiro, 2005.

_____. Manual de estudos de tráfego. Rio de Janeiro, 2006a.

_____. Manual de restauração de pavimentos. Rio de Janeiro, 2006b.

_____. Manual de Pavimentação. 3a ed. Rio de Janeiro, 2006c

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos solos e suas aplicações. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1988. 234 p.

CERATTI, J.A.P. Estudo do comportamento à fadiga de solos estabilizados com cimento para utilização em pavimentos. Tese (Doutorado), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1991.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram? Brasília, CNT, 2017.

CNT. Disponível em:
<[http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/BOLETIM%20ESTAT%C3%8DSTICO/BOL
ETIM%20ESTAT%C3%8DSTICO%202018/Boletim%20Estat%C3%ADstico%20%20
01%20-%202018.pdf](http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/BOLETIM%20ESTAT%C3%8DSTICO/BOL
ETIM%20ESTAT%C3%8DSTICO%202018/Boletim%20Estat%C3%ADstico%20%20
01%20-%202018.pdf)> Acesso em 05/04/2020.

CONTRAN. Resolução nº 210/06 de 13/11/2006. Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres e dá outras providências. Brasília, 2006. 7p.

CONTRAN. Resolução nº 439/14 de 05/06/2014. Altera os artigos 5º e 9º da Resolução nº 258, de 30 de novembro de 2007, do Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN. Brasília, 2006. 7p.

CRESWELL, John W.. Projeto de pesquisa: Métodos qualitativo, quantitativo e misto. Porto Alegre: Artmed, 2010. 296 p.

DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Norma rodoviária – DNER – ME 122/94 - Solos – determinação do limite de liquidez – método de referência e método expedito. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Norma rodoviária – DNER – ME 082/94 - Solos – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Norma rodoviária – DNER – ME 051/94 - Solos – análise granulométrica. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Norma rodoviária – DNER – ME 080/94 - Solos – análise granulométrica por peneiramento. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Norma rodoviária – DNER – ME 049/94 - Solos – determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de Pavimentação. 3. ed. Rio de Janeiro: Publicação Ipr - 719, 2006. 274 p.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de Pavimentos Rígidos. 2. ed. Rio de Janeiro: Publicação Ipr - 714, 2005. 234 p.

Fernandes Junior, J. L.; Paes, J. C.; Pereira, P. A. A. Avaliação dos efeitos das solicitações do tráfego sobre o desempenho de pavimentos flexíveis portugueses

e brasileiros. Revista Pavimentação, Ano II, n. 5, pp. 28-38. Associação Brasileira de Pavimentação – ABPV, Rio de Janeiro, 2007.

Fontenele, H. B.; Zanuncio, C. E. M.; Da Silva Junior, C. A. P.; O excesso de peso nos veículos rodoviários de carga e seu efeito. Teoria e Prática na Engenharia Civil. Novembro de 2011, n. 18, pp. 95-103. Editora, CIDADE, 2011.

FRANCO, F. A. C. de P. Método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos asfálticos – SISPAV. 2007. 294 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

GUIMARÃES, Antônio Carlos Rodrigues. UM MÉTODO MECANÍSTICO-EMPÍRICO PARA A PREVISÃO DA DEFORMAÇÃO PERMANENTE EM SOLOS TROPICAIS CONSTITUINTES DE PAVIMENTOS. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ. 2009.

IBGE. Itapejara d'Oeste. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/itapejara-doeste/panorama>> Acesso em: 29 de outubro de 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/itapejara-doeste.html>> Acesso em 05 de Julho de 2020.

Instituto das Aguas do Paraná. Sistemas de Informações hidrológicas. Disponível em <http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sih-web/gerarRelatorioAlturasAnuaisPrecipitacao.do?action=carregarInterfacelInicial>. Acesso em 26 de Fevereiro de 2020.

IPARDES (Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social). SUDOESTE PARANAENSE: especificidades e diversidades. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/Sudoeste%20Paranaense_especificidade_s%20e%20diversidades.pdf>. Acesso em: 10 Junho 2019, 18:15:00.

MEDINA, Jacques de; MOTTA, Laura Maria Goretti da. Mecânica dos pavimentos. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, v. 23, 1997.

MEDINA, Jaques de. MOTTA, Laura Maria Goretti da. Mecânica dos Pavimentos. 3ª ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência. 3ª ed. 2015.

MOTTA, Laura Maria Goretti da. Método de dimensionamento de pavimentos flexíveis: critério de confiabilidade e ensaios de carga repetidas. 1991. 366p. 1991. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) –Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PIARC. Semi-Rigid Pavements. Permanent International Association of Road Congresses (PIARC), Technical Committee on Flexible Roads, Paris, France (1991).

PINTO, S. - “Estudo do Comportamento à Fadiga de Misturas Betuminosas e Aplicação na Avaliação Estrutural de Pavimentos”, Tese DSc, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1991.

PREUSSLER, E. S. Estudo da deformação resiliente de pavimentos flexíveis e aplicação ao projeto de camadas de reforço. Rio de Janeiro, 1983.

SENÇO, Wlastermiler de. Manual de Técnicas de Pavimentação. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007. 761 p.

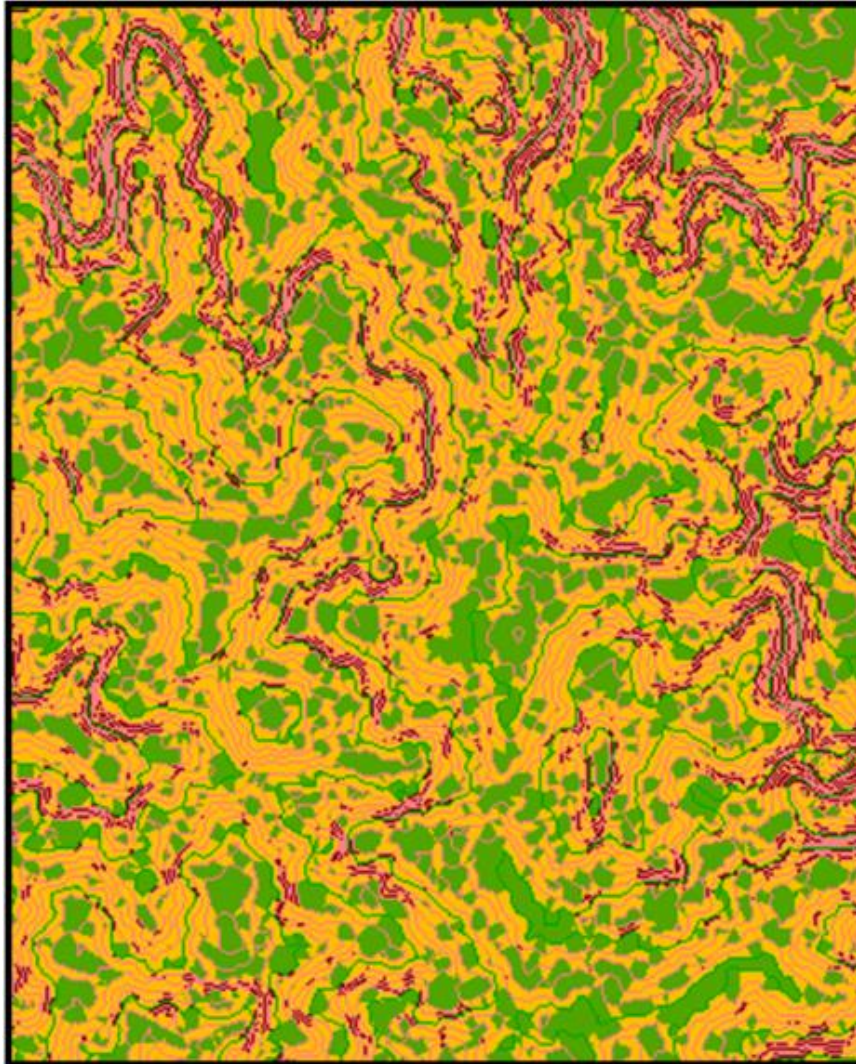
SOUZA, Murillo Lopes de. Método de projeto de pavimentos flexíveis. IPR Publ, v. 667, n. 3, 1981.

7 APÊNDICES

APÊNDICE A – TABELA COMPOSIÇÃO DE EIXOS - TONELADAS X COMPOSIÇÃO DO TRÁFEGO

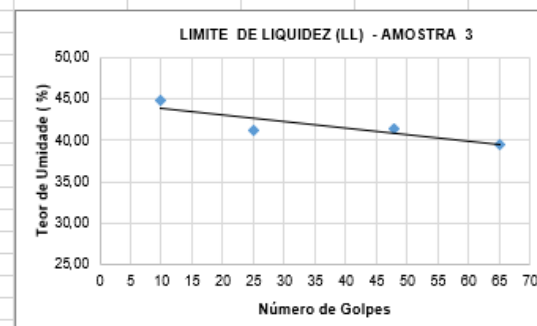
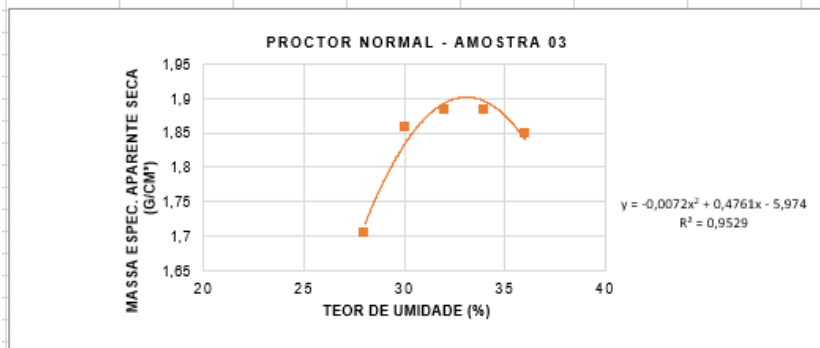
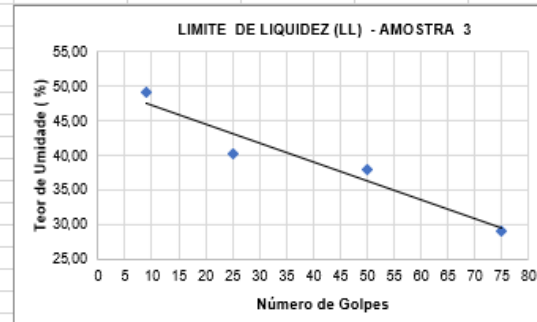
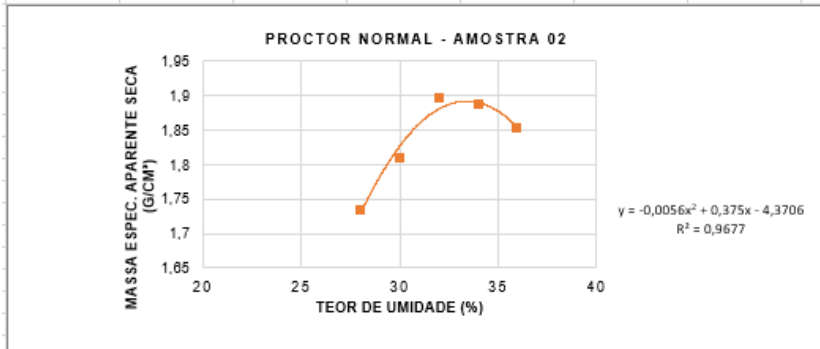
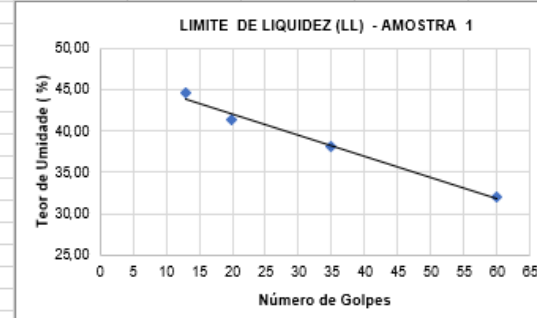
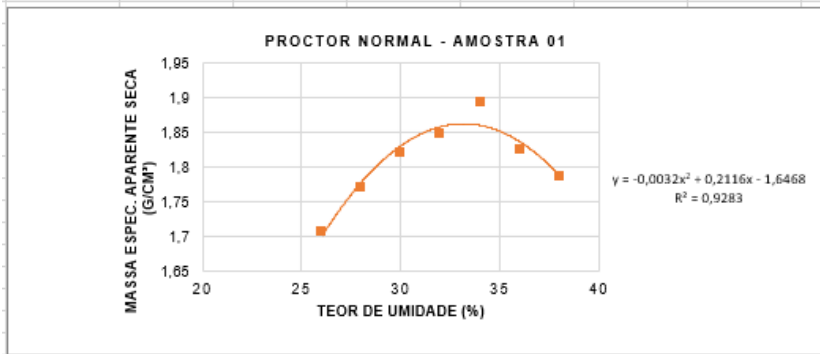
Tipos de EIXOS / tipo de veículos	Auto	Moto	Camioneta	Ônibus 2C	Ônibus 3C	Caminhões 2C	Caminhões 3C	Caminhões 4C	Caminhões 2S1	Caminhões 2S2	Caminhões 2S3	Caminhões 3S2	Caminhões 3S3	Caminhões 3S2S2	Caminhões 2C2	Caminhões 2C3	Caminhões 3C2	Caminhões 3C3	mais de seis eixos	TONELADAS
Eixo Simples	2		2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6
Dois eixos Simples																				
Eixo Simples de Roda Dupla				1		1			2	1	1				3	2	2	1		10
Dois eixos Duplos																				
Dois eixos duplos em tandem					1		1			1		2	1	2		1	1	2	4	17
Três eixos duplos em tandem								1			1		1							25.5
Eixo Especial																				
Dois eixos simples super. Single																				
Três eixos simples super Single																				
Quantidade (VMD)	2312	178	105	56	24	215	195	44	7	66	23	23	70	11	0	3	1	10	33	3376
Fator (%)	68,5	5,27	3,11	1,66	0,71	6,37	5,78	1,30	0,21	1,95	0,68	0,68	2,07	0,33	0,00	0,09	0,03	0,30	0,98	100,0

APÊNDICE B – MAPA DE DECLIVIDADE DA REGIÃO DE ESTUDO



Elevação Mínima (%)	Elevação Máxima (%)	Cor
0	8	Green
8	20	Yellow
20	80	Red

APÊNDICE C – GRÁFICOS DOS RESULTADOS DE ENSAIOS DE SOLO



APÊNDICE D – RELATÓRIO SOFTWARE MEDINA SIMULAÇÃO 1

Análise:

Programa MeDiNa

v.1.1.3.0 - set/2019

Cópia registrada para Marina Myszak (marinamyszak@gmail.com), da empresa UTFPR.

Análise do pavimento

Empresa: **UTFPR**
 Nome do Projeto:
 Responsável pelo projeto: **Marina Myszak**

Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**

Nível de confiabilidade: **95%**

Período de projeto: **10 anos**.

Análise realizada em **03/08/2020 às 11:29:57** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **99,0%**.

Fundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **7,1mm**

ALERTAS

- Esta análise não constitui o dimensionamento da estrutura do pavimento!
- Tráfego elevado para a estrutura proposta.

ATENÇÃO: O programa MeDiNa é apenas uma ferramenta de cálculo que auxilia o projetista na dimensionamento ou na avaliação de pavimentos, conforme descrito no Guia do Método Mecânico Empírico. O conhecimento das propriedades dos materiais a serem aplicadas na estrutura do pavimento, por meio de ensaios de laboratório, assim como o conhecimento detalhado do tráfego são imprescindíveis para a elaboração do projeto. O sucesso do projeto somente será alcançado se as propriedades dos materiais consideradas no dimensionamento sejam aplicadas no campo e verificadas a partir de ensaios geotécnicos com um controle de qualidade rigoroso.

Portanto, **a responsabilidade pelo projeto é exclusivamente do engenheiro projetista**, que deve entender e avaliar criteriosamente os resultados gerados pelo programa, antes de aprovar o projeto para a execução no campo.

Estrutura do pavimento

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
1	CONCRETO ASFÁLTICO Classe 3	10,0	Resiliente Linear MR = 8000 MPa	0,30
2	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaiss C5	15,0	Resiliente Linear MR = 381 MPa	0,35
3	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaiss C1	23,0	Resiliente Linear MR = 259 MPa	0,35
4	SUBLEITO Projeto Subleito	SL	Resiliente Linear MR = 728 MPa	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO: Classe 3

Propriedades	Modelos
Tipo de CAP = ... Massa específica (g/cm ³) = 2,4 Norma ou Especificação = DNIT ES 31 Comentários = Este material deve ser obtido em laboratório antes da obra e os resultados requerem uma nova análise no MeDiNA.	Ensaio de Fadiga - Modelo: $k1 \cdot (et \wedge k2)$ - Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 1e-12$ - Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -3,75$ - Classe de Fadiga: ≥ 3 - FFM (100µ a 250µ): $\geq 0,90$ Flow Number Mínimo - Condição de Tráfego Normal: ≥ 444 ciclos - Condição de Tráfego Severa: ≥ 1170 ciclos

2 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaíse C5

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Brita Graduada Massa específica (g/cm ³) = 2,223 Umidade Ótima (%) = 5,0 Energia Compactação = Modificada Abrasão Los Angeles (%) = 43,0 Norma ou Especificação = DNIT ES 141	Ensaio de Deformação Permanente Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$ Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,0868 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,2801 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 0,8929 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,0961

3 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaíse C1

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Brita Graduada Massa específica (g/cm ³) = 2,268 Umidade Ótima (%) = 5,8 Energia Compactação = Modificada Abrasão Los Angeles (%) = 41,0 Norma ou Especificação = DNIT ES 141	Ensaio de Deformação Permanente Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$ Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,1608 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,097 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 0,525 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,0752

4 - SUBLEITO: Projeto Subleito

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = ... Grupo MCT = ... MCT - Coeficiente c' = ... MCT - Índice ϵ' = ... Massa específica (g/cm ³) = 1,880 Umidade Ótima (%) = 32 Energia Compactação = ... Norma ou Especificação = DNIT ES 137	Ensaio de Deformação Permanente Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$ Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,206 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,24 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 1,34 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,038

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **636**

Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **10,52**

Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **2,44e+06**

% Veículos na faixa de projeto: **100%**

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,44e+06**

Taxa de crescimento do tráfego: **3,0%**

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **2,80e+07**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVI
1	Eixo Simples	5%	6,00	0,278	0,013
2	Eixo Simples	2%	6,00	0,278	0,005
3	Eixo Simples	24%	6,00	0,278	0,068
4	Eixo Simples	22%	6,00	0,278	0,061
5	Eixo Simples	7%	6,00	0,278	0,020
6	Eixo Simples	1%	6,00	0,278	0,003
7	Eixo Simples	11%	6,00	0,278	0,030
8	Eixo Simples	4%	6,00	0,278	0,010
9	Eixo Simples	4%	6,00	0,278	0,010
10	Eixo Simples	11%	6,00	0,278	0,031
11	Eixo Simples	2%	6,00	0,278	0,005
12	Eixo Simples	1%	6,00	0,278	0,001
13	Eixo Simples	0%	6,00	0,278	0,001
14	Eixo Simples	2%	6,00	0,278	0,004
15	Eixo Simples	5%	6,00	0,278	0,015
16	Eixo simples de roda dupla	5%	10,00	3,289	0,148
17	Eixo simples de roda dupla	24%	10,00	3,289	0,803
18	Eixo simples de roda dupla	1%	10,00	3,289	0,036
19	Eixo simples de roda dupla	1%	10,00	3,289	0,036
20	Eixo simples de roda dupla	11%	10,00	3,289	0,352
21	Eixo simples de roda dupla	4%	10,00	3,289	0,122
22	Eixo simples de roda dupla	1%	10,00	3,289	0,016
23	Eixo simples de roda dupla	1%	10,00	3,289	0,016
24	Eixo simples de roda dupla	0%	10,00	3,289	0,007
25	Eixo simples de roda dupla	0%	10,00	3,289	0,007
26	Eixo simples de roda dupla	2%	10,00	3,289	0,053
27	Dois eixos duplos em tandem	2%	17,00	8,549	0,162
28	Dois eixos duplos em tandem	22%	17,00	8,549	1,889
29	Dois eixos duplos em tandem	11%	17,00	8,549	0,940
30	Dois eixos duplos em tandem	4%	17,00	8,549	0,316
31	Dois eixos duplos em tandem	4%	17,00	8,549	0,316
32	Dois eixos duplos em tandem	11%	17,00	8,549	0,966
33	Dois eixos duplos em tandem	2%	17,00	8,549	0,154

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVI
34	Dois eixos duplos em tandem	2%	17,00	8,549	0,154
35	Dois eixos duplos em tandem	1%	17,00	8,549	0,043
36	Dois eixos duplos em tandem	0%	17,00	8,549	0,017
37	Dois eixos duplos em tandem	2%	17,00	8,549	0,137
38	Dois eixos duplos em tandem	2%	17,00	8,549	0,137
39	Dois eixos duplos em tandem	5%	17,00	8,549	0,453
40	Dois eixos duplos em tandem	5%	17,00	8,549	0,453
41	Dois eixos duplos em tandem	5%	17,00	8,549	0,453
42	Três eixos duplos em tandem	7%	25,50	9,300	0,660
43	Três eixos duplos em tandem	4%	25,50	9,300	0,344
44	Três eixos duplos em tandem	11%	25,50	9,300	1,051

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	2,007e+05	2,72%	5,1
6	1,212e+06	5,85%	5,7
12	2,442e+06	8,88%	6,0
18	3,690e+06	12,20%	6,2
24	4,957e+06	16,06%	6,3
30	6,242e+06	20,61%	6,4
36	7,547e+06	25,91%	6,5
42	8,871e+06	31,95%	6,6
48	1,021e+07	38,69%	6,6
54	1,158e+07	46,01%	6,7
60	1,296e+07	53,76%	6,7
66	1,437e+07	61,73%	6,8
72	1,579e+07	69,71%	6,8
78	1,724e+07	77,50%	6,9
84	1,871e+07	84,88%	6,9
90	2,020e+07	91,71%	6,9
96	2,171e+07	97,86%	7,0
102	2,325e+07	99,00%	7,0
108	2,480e+07	99,00%	7,0
114	2,639e+07	99,00%	7,1
120	2,799e+07	99,00%	7,1

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO	0,00
2	MATERIAL GRANULAR	2,04
3	MATERIAL GRANULAR	2,79
4	SUBLEITO	2,28
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		7,1

Deflexões

As bacias foram calculadas considerando as camadas aderidas e um fator de segurança, após avaliados dados de campo comparativos entre FWD e Viga Benkelman. Os resultados apresentados estão a favor do dimensionamento.

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO - Classe 3

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	22	16	12	8	5	3	3	2	2
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	15	10	7	4	3	1	1	1	1

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaíse C5

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	30	15	10	6	4	3	3	2	2
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	34	12	6	3	2	1	1	1	1

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaíse C1

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	26	11	7	5	4	3	3	2	2
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	37	10	5	3	2	1	1	1	1

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - Projeto Subleito

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	16	9	7	5	4	3	3	2	2
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	16	7	4	3	2	1	1	1	1

5 - 6

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	16	9	7	5	4	3	3	2	2
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	16	7	4	3	2	1	1	1	1

Dimensionamento:

Programa MeDiNa v.1.1.3.0 - set/2019

Cópia registrada para Marina Myszak (marina.myszak@gmail.com), da empresa UTFPR.

Dimensionamento do pavimento

Empresa: **UTFPR**
 Nome do Projeto:
 Responsável pelo projeto: **Marina Myszak**

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**
 Nível de confiabilidade: **95%**
 Período de projeto: **10 anos**.

Análise realizada em **03/08/2020 às 11:28:24** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**
 Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **29,1%**
 Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **5,4mm**

ATENÇÃO: O programa MeDiNa é apenas uma ferramenta de cálculo que auxilia o projetista no dimensionamento ou na avaliação de pavimentos, conforme descrito no Guia do Método Mecânico Empírico. O conhecimento das propriedades dos materiais a serem aplicadas na estrutura do pavimento, por meio de ensaios de laboratório, assim como o conhecimento detalhado do tráfego são imprescindíveis para a elaboração do projeto. O sucesso do projeto somente será alcançado se as propriedades dos materiais consideradas no dimensionamento sejam aplicadas no campo e verificadas a partir de ensaios geotécnicos com um controle de qualidade rigoroso.

Portanto, a responsabilidade pelo projeto é exclusivamente do engenheiro projetista, que deve entender e avaliar criteriosamente os resultados gerados pelo programa, antes de aprovar o projeto para a execução no campo.

Estrutura do pavimento

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
1	CONCRETO ASFÁLTICO Classe 3	15,0	Resiliência Linear MR = 8000 MPa	0,30
2	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C5	15,0	Resiliência Linear MR = 381 MPa	0,35
3	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gnaisse C1	23,0	Resiliência Linear MR = 259 MPa	0,35
4	SUBLEITO Projeto Subleito	SL	Resiliência Linear MR = 728 MPa	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO: Classe 3

Propriedades Modelos

Propriedades	Modelos
Tipo de CAP = ... Massa específica (g/cm ³) = 2,4 Norma ou Especificação = DNIT ES 31 Comentários = Este material deve ser obtido em laboratório antes da obra e os resultados requerem uma nova análise no MeDNA.	Ensaio de Fadiga - Modelo: $k1 \cdot t^{k2}$ - Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 1e-12$ - Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -3,75$ - Classe de Fadiga: ≥ 3 - FFM (100µ a 250µ): $\geq 0,90$ Flow Number Mínimo - Condição de Tráfego Normal: ≥ 444 ciclos - Condição de Tráfego Severa: ≥ 1170 ciclos
2 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaisse C5	
Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Brita Graduada Massa específica (g/cm ³) = 2,223 Umidade Ótima (%) = 5,0 Energia Compactação = Modificada Abrasão Los Angeles (%) = 43,0 Norma ou Especificação = DNIT ES 141	Ensaio de Deformação Permanente Modelo: $ep = psi1 \cdot (s^3 \cdot psi2) \cdot (sd \cdot psi3) \cdot (N \cdot psi4)$ Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,0668 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,2801 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 0,8929 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,0961
3 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaisse C1	
Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Brita Graduada Massa específica (g/cm ³) = 2,268 Umidade Ótima (%) = 5,8 Energia Compactação = Modificada Abrasão Los Angeles (%) = 41,0 Norma ou Especificação = DNIT ES 141	Ensaio de Deformação Permanente Modelo: $ep = psi1 \cdot (s^3 \cdot psi2) \cdot (sd \cdot psi3) \cdot (N \cdot psi4)$ Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,1608 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,097 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 0,525 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,0752
4 - SUBLEITO: Projeto Subleito	
Propriedades	Modelos
Descrição do Material = ... Grupo MCT = ... MCT - Coeficiente c' = ... MCT - Índice e' = ... Massa específica (g/cm ³) = 1,880 Umidade Ótima (%) = 32 Energia Compactação = ... Norma ou Especificação = DNIT ES 137	Ensaio de Deformação Permanente Modelo: $ep = psi1 \cdot (s^3 \cdot psi2) \cdot (sd \cdot psi3) \cdot (N \cdot psi4)$ Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,206 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,24 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 1,34 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,038

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **636**

Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **10,52**

Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **2,44e+06**

% Veículos na faixa de projeto: **100%**

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,44e+06**

Taxa de crescimento do tráfego: **3,0%**

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **2,80e+07**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVI
1	Eixo Simples	5%	6,00	0,278	0,013
2	Eixo Simples	2%	6,00	0,278	0,005
3	Eixo Simples	24%	6,00	0,278	0,068
4	Eixo Simples	22%	6,00	0,278	0,061
5	Eixo Simples	7%	6,00	0,278	0,020
6	Eixo Simples	1%	6,00	0,278	0,003
7	Eixo Simples	11%	6,00	0,278	0,030
8	Eixo Simples	4%	6,00	0,278	0,010
9	Eixo Simples	4%	6,00	0,278	0,010
10	Eixo Simples	11%	6,00	0,278	0,031
11	Eixo Simples	2%	6,00	0,278	0,005
12	Eixo Simples	1%	6,00	0,278	0,001
13	Eixo Simples	0%	6,00	0,278	0,001
14	Eixo Simples	2%	6,00	0,278	0,004
15	Eixo Simples	5%	6,00	0,278	0,015
16	Eixo simples de roda dupla	5%	10,00	3,289	0,148
17	Eixo simples de roda dupla	24%	10,00	3,289	0,803
18	Eixo simples de roda dupla	1%	10,00	3,289	0,036
19	Eixo simples de roda dupla	1%	10,00	3,289	0,036
20	Eixo simples de roda dupla	11%	10,00	3,289	0,352
21	Eixo simples de roda dupla	4%	10,00	3,289	0,122
22	Eixo simples de roda dupla	1%	10,00	3,289	0,016
23	Eixo simples de roda dupla	1%	10,00	3,289	0,016
24	Eixo simples de roda dupla	0%	10,00	3,289	0,007
25	Eixo simples de roda dupla	0%	10,00	3,289	0,007
26	Eixo simples de roda dupla	2%	10,00	3,289	0,053
27	Dois eixos duplos em tandem	2%	17,00	8,549	0,162
28	Dois eixos duplos em tandem	22%	17,00	8,549	1,889
29	Dois eixos duplos em tandem	11%	17,00	8,549	0,940
30	Dois eixos duplos em tandem	4%	17,00	8,549	0,316
31	Dois eixos duplos em tandem	4%	17,00	8,549	0,316
32	Dois eixos duplos em tandem	11%	17,00	8,549	0,966
33	Dois eixos duplos em tandem	2%	17,00	8,549	0,154
34	Dois eixos duplos em tandem	2%	17,00	8,549	0,154
35	Dois eixos duplos em tandem	1%	17,00	8,549	0,043
36	Dois eixos duplos em tandem	0%	17,00	8,549	0,017

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVI
37	Dois eixos duplos em tandem	2%	17,00	8,549	0,137
38	Dois eixos duplos em tandem	2%	17,00	8,549	0,137
39	Dois eixos duplos em tandem	5%	17,00	8,549	0,453
40	Dois eixos duplos em tandem	5%	17,00	8,549	0,453
41	Dois eixos duplos em tandem	5%	17,00	8,549	0,453
42	Três eixos duplos em tandem	7%	25,50	9,300	0,660
43	Três eixos duplos em tandem	4%	25,50	9,300	0,344
44	Três eixos duplos em tandem	11%	25,50	9,300	1,051

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	2,007e+05	1,77%	3,9
6	1,212e+06	3,40%	4,4
12	2,442e+06	4,56%	4,6
18	3,690e+06	5,54%	4,7
24	4,957e+06	6,48%	4,8
30	6,242e+06	7,40%	4,9
36	7,547e+06	8,35%	4,9
42	8,871e+06	9,33%	5,0
48	1,021e+07	10,36%	5,0
54	1,158e+07	11,44%	5,1
60	1,296e+07	12,59%	5,1
66	1,437e+07	13,82%	5,2
72	1,579e+07	15,12%	5,2
78	1,724e+07	16,52%	5,2
84	1,871e+07	18,00%	5,3
90	2,020e+07	19,59%	5,3
96	2,171e+07	21,27%	5,3
102	2,325e+07	23,07%	5,3
108	2,480e+07	24,97%	5,4
114	2,639e+07	26,99%	5,4
120	2,799e+07	29,12%	5,4

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
-----	----------	------------------------------------

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO	0,00
2	MATERIAL GRANULAR	1,48
3	MATERIAL GRANULAR	2,28
4	SUBLEITO	1,65
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		5,4

Controle por Deflexões

As bacias foram calculadas considerando as camadas aderidas e um fator de segurança, após avaliados dados de campo comparativos entre FWD e Viga Benkelman. Os resultados apresentados estão a favor da dimensionamento.

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO - Classe 3

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	17	13	11	8	6	4	3	2	2
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	11	8	6	4	3	2	1	1	1

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnoisse C5

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	30	15	10	6	4	3	3	2	2
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	34	12	6	3	2	1	1	1	1

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnoisse C1

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	26	11	7	5	4	3	3	2	2
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	37	10	5	3	2	1	1	1	1

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - Projeto Subleito

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	16	9	7	5	4	3	3	2	2
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	16	7	4	3	2	1	1	1	1

5 - 6

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	16	9	7	5	4	3	3	2	2
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	16	7	4	3	2	1	1	1	1

APÊNDICE F – RELATÓRIO SOFTWARE MEDINA SIMULAÇÃO 2

Análise:

Programa MeDiNa v.5.1.3.0 - set/2019
 Cópia registrada para Marina Myszak (marina.myszak@gmail.com), da empresa UTFPR.

Análise do pavimento

Empresa: **UTFPR**
 Nome do Projeto:
 Responsável pelo projeto: **Marina Myszak**

Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**
 Nível de confiabilidade: **95%**
 Período de projeto: **10 anos**

Análise realizada em **03/08/2020 às 11:37:23** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**
 Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **75,5%**.
 >>Atenção: o programa não calcula a Área Trincada proveniente da reflexão de trincas da base estabilizada.
 Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **4,6mm**

ALERTAS

- Esta análise não constitui o dimensionamento da estrutura do pavimento!
- Tráfego elevado para a estrutura proposta.

ATENÇÃO: O programa MeDiNa é apenas uma ferramenta de cálculo que auxilia o projetista no dimensionamento ou na avaliação de pavimentos, conforme descrito no Guia do Método Mecânico Empírico. O conhecimento das propriedades dos materiais a serem aplicadas na estrutura do pavimento, por meio de ensaios de laboratório, assim como o conhecimento detalhado do tráfego são imprescindíveis para a elaboração do projeto. O sucesso do projeto somente será alcançado se as propriedades dos materiais consideradas no dimensionamento sejam aplicadas no campo e verificadas a partir de ensaios geotécnicos com um controle de qualidade rigoroso. Portanto, a responsabilidade pelo projeto é exclusivamente do engenheiro projetista, que deve entender e avaliar criteriosamente os resultados gerados pelo programa, antes de aprovar o projeto para a execução no campo.

Estrutura do pavimento

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
1	CONCRETO ASFÁLTICO Classe 3	10,0	Resiliente Linear MR = 8000 MPa	0,30
2	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada - Gneisse CS	15,0	Resiliente Linear MR = 381 MPa	0,35
3	SOLO CIMENTO Ceratti, 1991 (mistura 4)	15,0	Sigmoidal Ei (MPa) = 9720 (1º mês) Ef (MPa) = 9717 (fim período)	0,25
4	SUBLEITO Projeto Subleito	SL	Resiliente Linear MR = 728 MPa	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO: Classe 3

Propriedades	Modelos
Tipo de CAP = .. Massa específica (g/cm ³) = 2,4 Norma ou Especificação = DNIT ES 31 Comentários = Este material deve ser obtido em laboratório antes da obra e os resultados requerem uma nova análise no MoDINA.	Ensaio de Fadiga - Modelo: $k1 \cdot t^{k2}$ - Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 1e-12$ - Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -3,75$ - Classe de Fadiga: ≥ 3 - FFM (100µ a 250µ): $\geq 0,90$ Flow Number Mínimo - Condição de Tráfego Normal: ≥ 444 ciclos - Condição de Tráfego Severa: ≥ 1170 ciclos

2 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaisse C5

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Brita Graduada Massa específica (g/cm ³) = 2,223 Umidade Ótima (%) = 5,0 Energia Compactação = Modificada Abrasão Los Angeles (%) = 43,0 Norma ou Especificação = DNIT ES 141	Ensaio de Deformação Permanente Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3^{psi2}) \cdot (s4^{psi3}) \cdot (N^{psi4})$ Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,0868 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,2801 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 0,8929 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,0961

3 - SOLO CIMENTO: Caratti, 1991 (mistura 4)

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Pântano Grande - RS Grupo MCT = NA Teor ótimo de cimento = 10% (em massa) Resistência à tração (MPa) = 1,30 Massa específica (g/cm ³) = 1,795 Umidade Ótima (%) = 14,1 Energia Compactação = - Norma ou Especificação = DNIT ES 143	

4 - SUBLEITO: Projeto Subleito

Propriedades	Modelos

Propriedades	Modelos
Descrição do Material = ...	Ensaio de Deformação Permanente
Grupo MCT = ...	Modelo: $ep = psi1.(s3^a psi2).(sd^b psi3).(N^c psi4)$
MCT - Coeficiente $c' = ...$	Coefficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,206
MCT - Índice $e' = ...$	Coefficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,24
Massa específica (g/cm ³) = 1.880	Coefficiente de Regressão (k3 ou psi3): 1,34
Umidade Ótima (%) = 32	Coefficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,038
Energia Compactação = ...	
Norma ou Especificação = DNIT ES 137	

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **636**

Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: **FV = 10,52**

Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **2,44e+06**

% Veículos na faixa do projeto: **100%**

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,44e+06**

Taxa de crescimento do tráfego: **3,0%**

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: **N Eq = 2,80e+07**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVI
1	Eixo Simples	5%	6,00	0,278	0,013
2	Eixo Simples	2%	6,00	0,278	0,005
3	Eixo Simples	24%	6,00	0,278	0,068
4	Eixo Simples	22%	6,00	0,278	0,061
5	Eixo Simples	7%	6,00	0,278	0,020
6	Eixo Simples	1%	6,00	0,278	0,003
7	Eixo Simples	11%	6,00	0,278	0,030
8	Eixo Simples	4%	6,00	0,278	0,010
9	Eixo Simples	4%	6,00	0,278	0,010
10	Eixo Simples	11%	6,00	0,278	0,031
11	Eixo Simples	2%	6,00	0,278	0,005
12	Eixo Simples	1%	6,00	0,278	0,001
13	Eixo Simples	0%	6,00	0,278	0,001
14	Eixo Simples	2%	6,00	0,278	0,004
15	Eixo Simples	5%	6,00	0,278	0,015
16	Eixo simples de roda dupla	5%	10,00	3,289	0,148
17	Eixo simples de roda dupla	24%	10,00	3,289	0,803
18	Eixo simples de roda dupla	1%	10,00	3,289	0,036
19	Eixo simples de roda dupla	1%	10,00	3,289	0,036
20	Eixo simples de roda dupla	11%	10,00	3,289	0,352
21	Eixo simples de roda dupla	4%	10,00	3,289	0,122
22	Eixo simples de roda dupla	1%	10,00	3,289	0,016
23	Eixo simples de roda dupla	1%	10,00	3,289	0,016

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVI
24	Eixo simples de roda dupla	0%	10,00	3,289	0,007
25	Eixo simples de roda dupla	0%	10,00	3,289	0,007
26	Eixo simples de roda dupla	2%	10,00	3,289	0,053
27	Dois eixos duplos em tandem	2%	17,00	8,549	0,162
28	Dois eixos duplos em tandem	22%	17,00	8,549	1,889
29	Dois eixos duplos em tandem	11%	17,00	8,549	0,940
30	Dois eixos duplos em tandem	4%	17,00	8,549	0,316
31	Dois eixos duplos em tandem	4%	17,00	8,549	0,316
32	Dois eixos duplos em tandem	11%	17,00	8,549	0,966
33	Dois eixos duplos em tandem	2%	17,00	8,549	0,154
34	Dois eixos duplos em tandem	2%	17,00	8,549	0,154
35	Dois eixos duplos em tandem	1%	17,00	8,549	0,043
36	Dois eixos duplos em tandem	0%	17,00	8,549	0,017
37	Dois eixos duplos em tandem	2%	17,00	8,549	0,137
38	Dois eixos duplos em tandem	2%	17,00	8,549	0,137
39	Dois eixos duplos em tandem	5%	17,00	8,549	0,453
40	Dois eixos duplos em tandem	5%	17,00	8,549	0,453
41	Dois eixos duplos em tandem	5%	17,00	8,549	0,453
42	Três eixos duplos em tandem	7%	25,50	9,300	0,660
43	Três eixos duplos em tandem	4%	25,50	9,300	0,344
44	Três eixos duplos em tandem	11%	25,50	9,300	1,051

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	2,007e+05	2,27%	3,3
6	1,212e+06	4,58%	3,7
12	2,442e+06	6,49%	3,9
18	3,690e+06	8,33%	4,0
24	4,957e+06	10,27%	4,1
30	6,242e+06	12,39%	4,1
36	7,547e+06	14,74%	4,2
42	8,871e+06	17,36%	4,2
48	1,021e+07	20,27%	4,3
54	1,158e+07	23,49%	4,3
60	1,296e+07	27,04%	4,3
66	1,437e+07	30,91%	4,4
72	1,579e+07	35,09%	4,4
78	1,724e+07	39,56%	4,4
84	1,871e+07	44,30%	4,5

Mês	N Equiv	Área Trincada	ATR (mm)
90	2,020e+07	49,26%	4,5
96	2,171e+07	54,39%	4,5
102	2,325e+07	59,63%	4,5
108	2,480e+07	64,94%	4,5
114	2,639e+07	70,24%	4,6
120	2,799e+07	75,47%	4,6

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO	0,00
2	MATERIAL GRANULAR	2,49
3	SOLO CIMENTO	0,00
4	SUBLEITO	2,08
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		4,6

Deflexões

As bacias foram calculadas considerando as camadas aderidas e um fator de segurança, após avaliados dados de campo comparativos entre FWD e Viga Benkelman. Os resultados apresentados estão a favor do dimensionamento.

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO - Classe 3

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	15	10	8	6	5	3	3	2	2
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	10	7	5	3	2	1	1	1	1

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnaiss C5

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	13	8	7	6	5	3	3	2	2
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	19	5	4	3	2	1	1	1	1

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SOLDO CIMENTO - Ceratti, 1991 (mistura 4)

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	12	9	8	6	5	3	3	2	2
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	7	5	4	3	2	1	1	1	1

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - Projeto Subleito

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	16	9	7	5	4	3	3	2	2
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	16	7	4	3	2	1	1	1	1

Dimensionamento:

Programa MeDiNa v.1.1.3.0 - set/2019

Cópia registrada para Marina Myszak (marinamyszak@gmail.com), da empresa UTFPR.

Dimensionamento do pavimento

Empresa: UTFPR

Nome do Projeto:

Responsável pelo projeto: **Marina Myszak**

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Tipo de via: **Sistema Arterial Principal**

Nível de confiabilidade: **95%**

Período de projeto: **10 anos**.

Análise realizada em **03/08/2020 às 11:39:15** no modo: **Pavimento Novo (Nível A)**

Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **28,6%**

>> Atenção: o programa não calcula a Área Trincada proveniente da reflexão de trincas da base estabilizada.

Afundamento de Trilha de Roda previsto no pavimento no fim do período: **4,1mm**

ATENÇÃO: O programa MeDiNa é apenas uma ferramenta de cálculo que auxilia o projetista no dimensionamento ou na avaliação de pavimentos, conforme descrito na Guia do Método Mecânico Empírico. O conhecimento das propriedades dos materiais a serem aplicadas na estrutura do pavimento, por meio de ensaios de laboratório, assim como o conhecimento detalhado do tráfego são imprescindíveis para a elaboração do projeto. O sucesso do projeto somente será alcançado se as propriedades dos materiais consideradas no dimensionamento sejam aplicadas no campo e verificadas a partir de ensaios geotécnicos com um controle de qualidade rigoroso.

Portanto, a responsabilidade pelo projeto é exclusivamente do engenheiro projetista, que deve entender e avaliar criteriosamente os resultados gerados pelo programa, antes de aprovar o projeto para a execução no campo.

Estrutura do pavimento

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência	Coef de Poisson
1	CONCRETO ASFÁLTICO Classe 3	12,4	Resiliente Linear MR = 8000 MPa	0,30
2	MATERIAL GRANULAR Brita Graduada + Gnaiss C5	15,0	Resiliente Linear MR = 381 MPa	0,35
3	SOLO CIMENTO Ceratti, 1991 (mistura 4)	15,0	Sigmoideal Ei (MPa) = 9720 (1 ^o mês) Ef (MPa) = 9717 (fim período)	0,25
4	SUBLEITO Projeto Subleito	SL	Resiliente Linear MR = 728 MPa	0,45

Materiais

1 - CONCRETO ASFÁLTICO: Classe 3

Propriedades	Modelos
Tipo de CAP = ... Massa específica (g/cm ³) = 2,4 Norma ou Especificação = DNIT ES 31 Comentários = Este material deve ser obtido em laboratório antes da obra e os resultados requerem uma nova análise no MeDINA.	Ensaio de Fadiga - Modelo: $k1 \cdot (et \wedge k2)$ - Coeficiente de Regressão (k1): $\geq 1e-12$ - Coeficiente de Regressão (k2): $\geq -3,75$ - Classe de Fadiga: ≥ 3 - FFM (100j a 250j): $\geq 0,90$ Flow Number Mínimo - Condição de Tráfego Normal: ≥ 444 ciclos - Condição de Tráfego Severa: ≥ 1170 ciclos
2 - MATERIAL GRANULAR: Brita Graduada - Gnaise CS	
Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Brita Graduada Massa específica (g/cm ³) = 2,223 Umidade Ótima (%) = 5,0 Energia Compactação = Modificada Abrasão Los Angeles (%) = 43,0 Norma ou Especificação = DNIT ES 141	Ensaio de Deformação Permanente Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$ Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,0868 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,2801 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 0,8929 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,0961
3 - SOLO CIMENTO: Ceratti, 1991 (mistura 4)	
Propriedades	Modelos
Descrição do Material = Pântano Grande - RS Grupo MCT = NA' Teor ótimo de cimento = 10% (em massa) Resistência à tração (MPa) = 1,30 Massa específica (g/cm ³) = 1,795 Umidade Ótima (%) = 14,1 Energia Compactação = - Norma ou Especificação = DNIT ES 143	
4 - SUBLEITO: Projeto Subleito	
Propriedades	Modelos
Descrição do Material = ... Grupo MCT = ... MCT - Coeficiente c' = ... MCT - Índice c'' = ... Massa específica (g/cm ³) = 1,880 Umidade Ótima (%) = 32 Energia Compactação = ... Norma ou Especificação = DNIT ES 137	Ensaio de Deformação Permanente Modelo: $ep = psi1 \cdot (s3 \wedge psi2) \cdot (sd \wedge psi3) \cdot (N \wedge psi4)$ Coeficiente de Regressão (k1 ou psi1): 0,206 Coeficiente de Regressão (k2 ou psi2): -0,24 Coeficiente de Regressão (k3 ou psi3): 1,34 Coeficiente de Regressão (k4 ou psi4): 0,038

Definição do tráfego

Volume Médio Diário no ano de abertura do tráfego: VMD (1º ano) = **636**

Fator de veículo no ano de abertura do tráfego: FV = **10,52**

Número de passagens anual do eixo padrão (1º ano): **2,44e+06**

% Veículos na faixa de projeto: **100%**

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto: **2,44e+06**

Taxa de crescimento do tráfego: **3,0%**

Número Equivalente total de passagens do eixo padrão na faixa de projeto: N Eq = **2,80e+07**

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVi
1	Eixo Simples	5%	6,00	0,278	0,013
2	Eixo Simples	2%	6,00	0,278	0,005
3	Eixo Simples	24%	6,00	0,278	0,068
4	Eixo Simples	22%	6,00	0,278	0,061
5	Eixo Simples	7%	6,00	0,278	0,020
6	Eixo Simples	1%	6,00	0,278	0,003
7	Eixo Simples	11%	6,00	0,278	0,030
8	Eixo Simples	4%	6,00	0,278	0,010
9	Eixo Simples	4%	6,00	0,278	0,010
10	Eixo Simples	11%	6,00	0,278	0,031
11	Eixo Simples	2%	6,00	0,278	0,005
12	Eixo Simples	1%	6,00	0,278	0,001
13	Eixo Simples	0%	6,00	0,278	0,001
14	Eixo Simples	2%	6,00	0,278	0,004
15	Eixo Simples	5%	6,00	0,278	0,015
16	Eixo simples de roda dupla	5%	10,00	3,289	0,148
17	Eixo simples de roda dupla	24%	10,00	3,289	0,803
18	Eixo simples de roda dupla	1%	10,00	3,289	0,036
19	Eixo simples de roda dupla	1%	10,00	3,289	0,036
20	Eixo simples de roda dupla	11%	10,00	3,289	0,352
21	Eixo simples de roda dupla	4%	10,00	3,289	0,122
22	Eixo simples de roda dupla	1%	10,00	3,289	0,016
23	Eixo simples de roda dupla	1%	10,00	3,289	0,016
24	Eixo simples de roda dupla	0%	10,00	3,289	0,007
25	Eixo simples de roda dupla	0%	10,00	3,289	0,007
26	Eixo simples de roda dupla	2%	10,00	3,289	0,053
27	Dois eixos duplos em tandem	2%	17,00	8,549	0,162
28	Dois eixos duplos em tandem	22%	17,00	8,549	1,889
29	Dois eixos duplos em tandem	11%	17,00	8,549	0,940
30	Dois eixos duplos em tandem	4%	17,00	8,549	0,316
31	Dois eixos duplos em tandem	4%	17,00	8,549	0,316
32	Dois eixos duplos em tandem	11%	17,00	8,549	0,966
33	Dois eixos duplos em tandem	2%	17,00	8,549	0,154
34	Dois eixos duplos em tandem	2%	17,00	8,549	0,154

Eixo	Tipo	FE	Carga (ton)	FC	FVI
35	Dois eixos duplos em tandem	1%	17,00	8,549	0,043
36	Dois eixos duplos em tandem	0%	17,00	8,549	0,017
37	Dois eixos duplos em tandem	2%	17,00	8,549	0,137
38	Dois eixos duplos em tandem	2%	17,00	8,549	0,137
39	Dois eixos duplos em tandem	5%	17,00	8,549	0,453
40	Dois eixos duplos em tandem	5%	17,00	8,549	0,453
41	Dois eixos duplos em tandem	5%	17,00	8,549	0,453
42	Três eixos duplos em tandem	7%	25,50	9,900	0,660
43	Três eixos duplos em tandem	4%	25,50	9,900	0,344
44	Três eixos duplos em tandem	11%	25,50	9,900	1,051

Evolução dos danos no pavimento

Mês	N Iquiv	Área Trincada	ATR (mm)
1	2,007e+05	1,76%	2,9
6	1,212e+06	3,38%	3,3
12	2,442e+06	4,53%	3,5
18	3,690e+06	5,51%	3,5
24	4,957e+06	6,43%	3,6
30	6,242e+06	7,34%	3,7
36	7,547e+06	8,27%	3,7
42	8,871e+06	9,24%	3,8
48	1,021e+07	10,25%	3,8
54	1,158e+07	11,31%	3,8
60	1,296e+07	12,44%	3,9
66	1,437e+07	13,64%	3,9
72	1,579e+07	14,92%	3,9
78	1,724e+07	16,28%	3,9
84	1,871e+07	17,74%	4,0
90	2,020e+07	19,28%	4,0
96	2,171e+07	20,93%	4,0
102	2,325e+07	22,69%	4,0
108	2,480e+07	24,55%	4,0
114	2,639e+07	26,52%	4,1
120	2,799e+07	28,60%	4,1

Análise de Afundamento de Trilha de Roda

Cam	Material	Afundamento de Trilha de Roda (mm)
1	CONCRETO ASFÁLTICO	0,00
2	MATERIAL GRANULAR	2,19
3	SOLO CIMENTO	0,00
4	SUBLEITO	1,89
Afundamento de Trilha de Roda (mm)		4,1

Controle por Deflexões

As bacias foram calculadas considerando as camadas aderidas e um fator de segurança, após avaliados dados de campo comparativos entre FWD e Viga Benkelman. Os resultados apresentados estão a favor do dimensionamento.

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: CONCRETO ASFÁLTICO - Classe 3

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	13	10	8	6	5	3	3	2	2
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	9	6	4	3	2	1	1	1	1

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: MATERIAL GRANULAR - Brita Graduada - Gnoisse CS

Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	13	8	7	6	5	3	3	2	2
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	19	5	4	3	2	1	1	1	1

Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SOLO CIMENTO - Ceratti, 1991 (mistura 4)

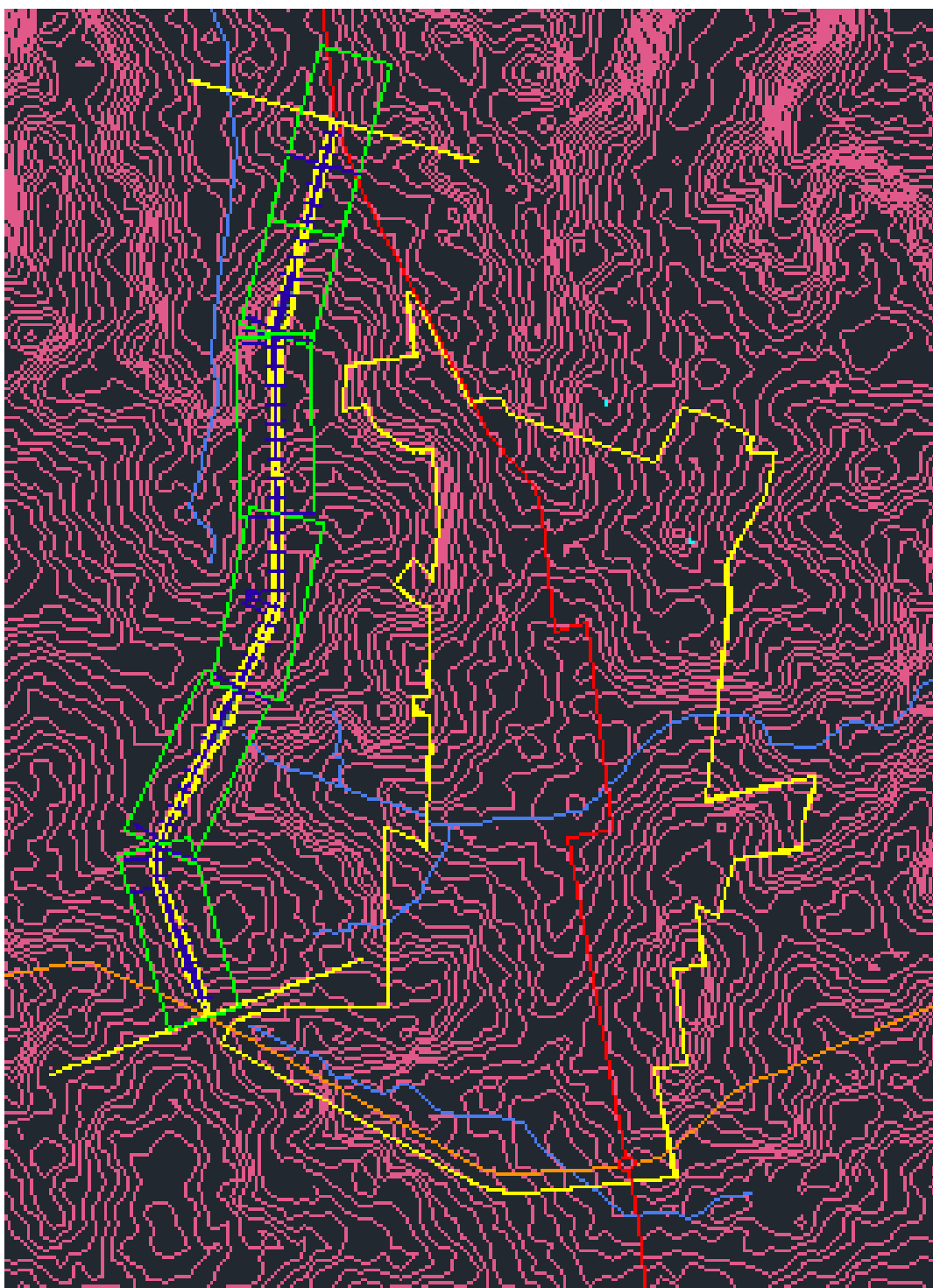
Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Benkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	12	9	8	6	5	3	3	2	2
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	7	5	4	3	2	1	1	1	1


Deflexões esperadas (0,01 mm) no topo da camada: SUBLEITO - Projeto Subleito

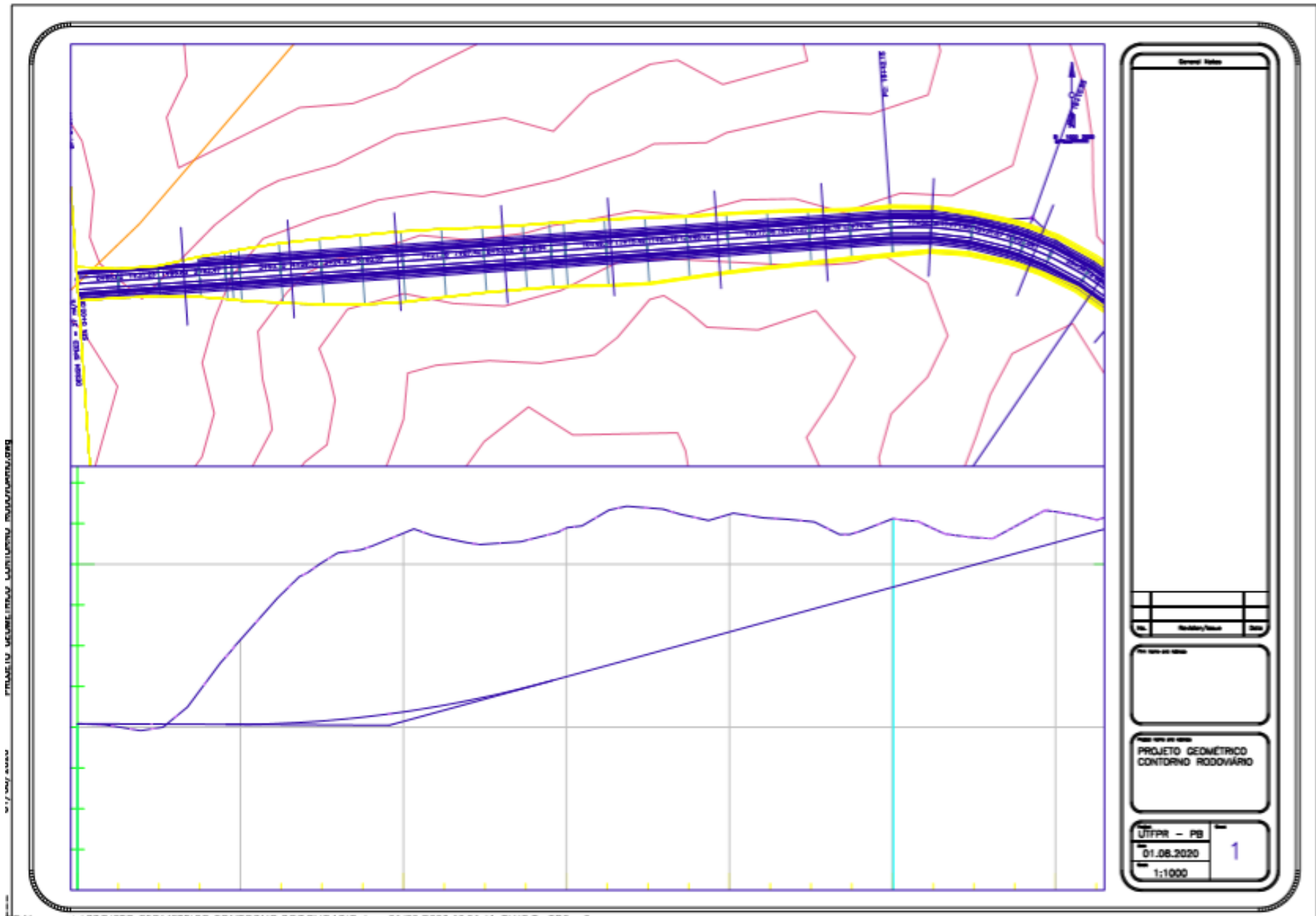
Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
-------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------

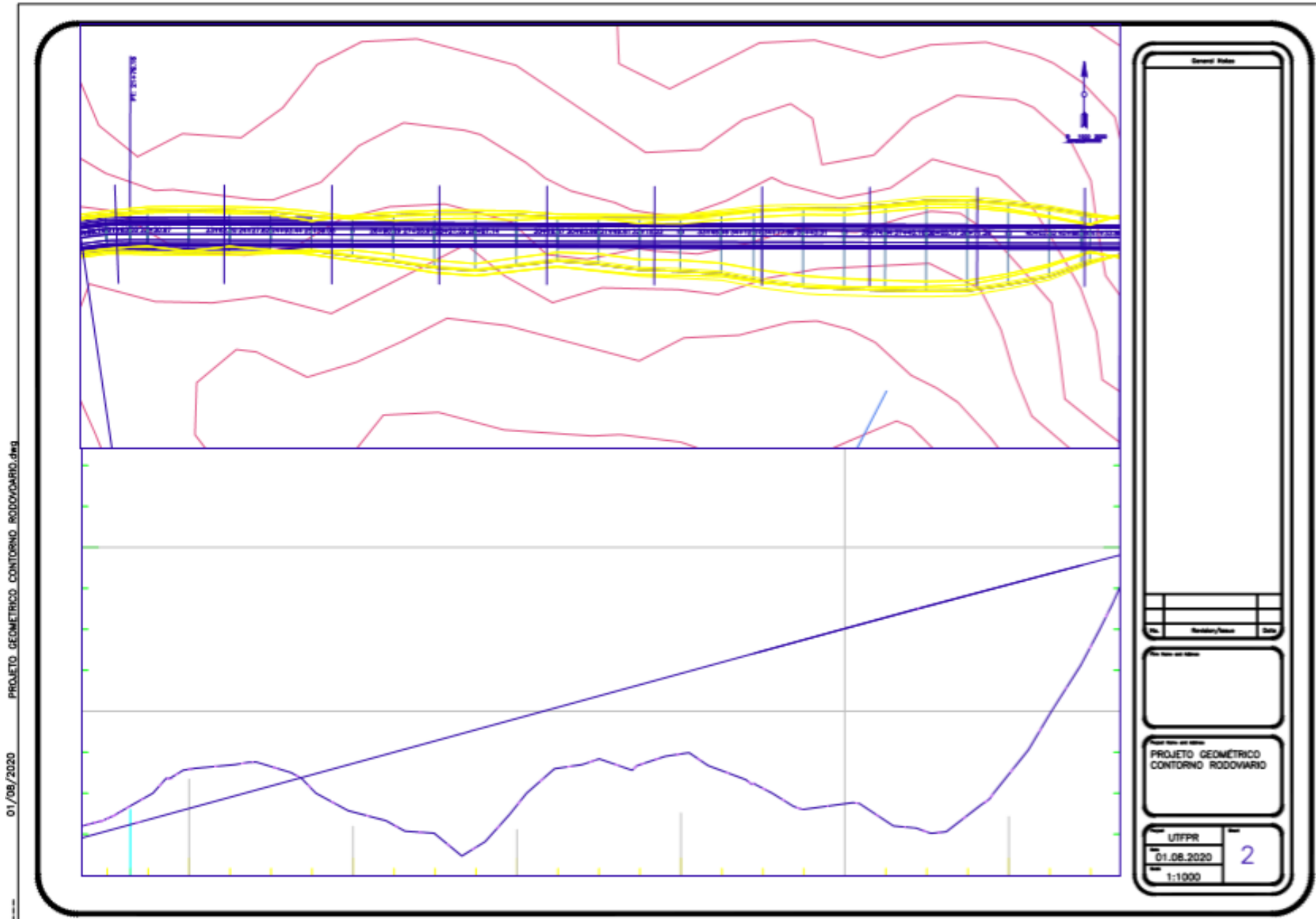
Equipamento	Sensor 1 0 cm	Sensor 2 20 cm	Sensor 3 30 cm	Sensor 4 45 cm	Sensor 5 60 cm	Sensor 6 90 cm	Sensor 7 120 cm	Sensor 8 150 cm	Sensor 9 180 cm
Viga Berkelman Raio = 10,8 cm Carga = 8,2 ton	16	9	7	5	4	3	3	2	2
FWD Raio = 15,0 cm Carga = 4,0 ton	16	7	4	3	2	1	1	1	1

APÊNDICE G – PROJETO GEOMÉTRICO

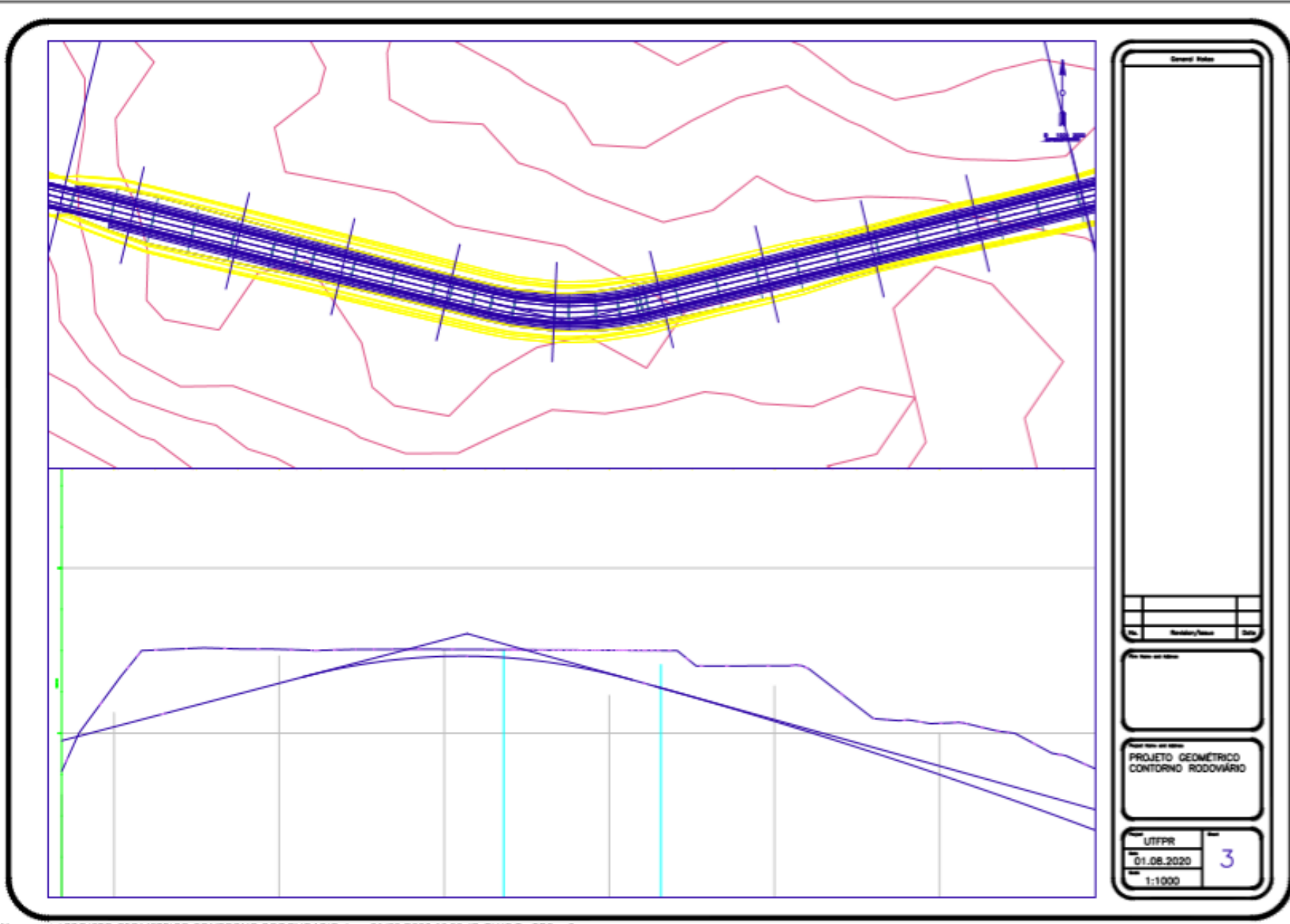


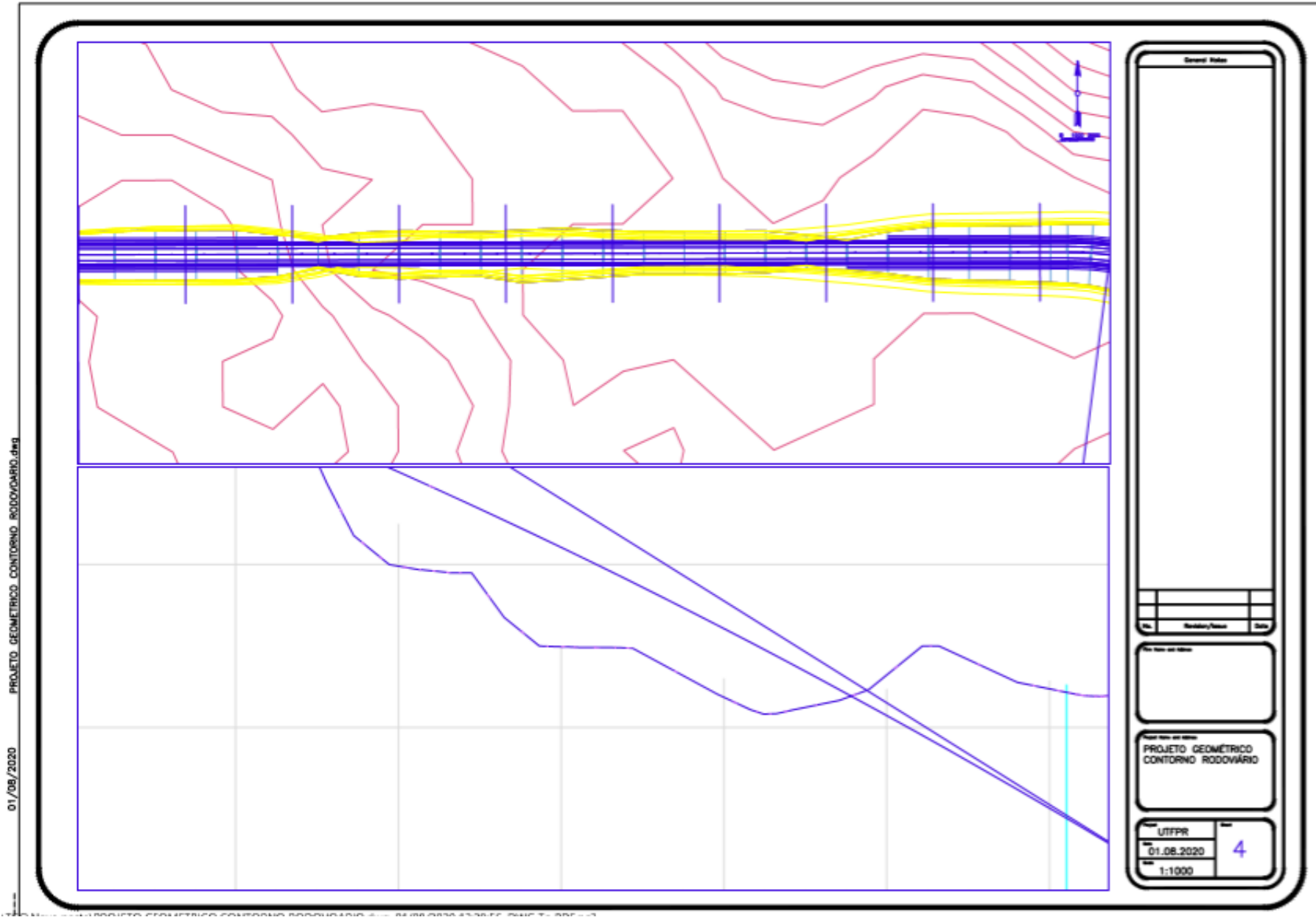
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ		DATA	/ /
		FOLHA	1/1
		ESCALA	INDICADA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - ENGENHARIA CIVIL		ALUNO:	
PROJETO GEOMETRICO CONTORNO RODOVIARIO ITAPEJARA D' OESTE - PR		MARINA MYSZAK BIEDACHA	

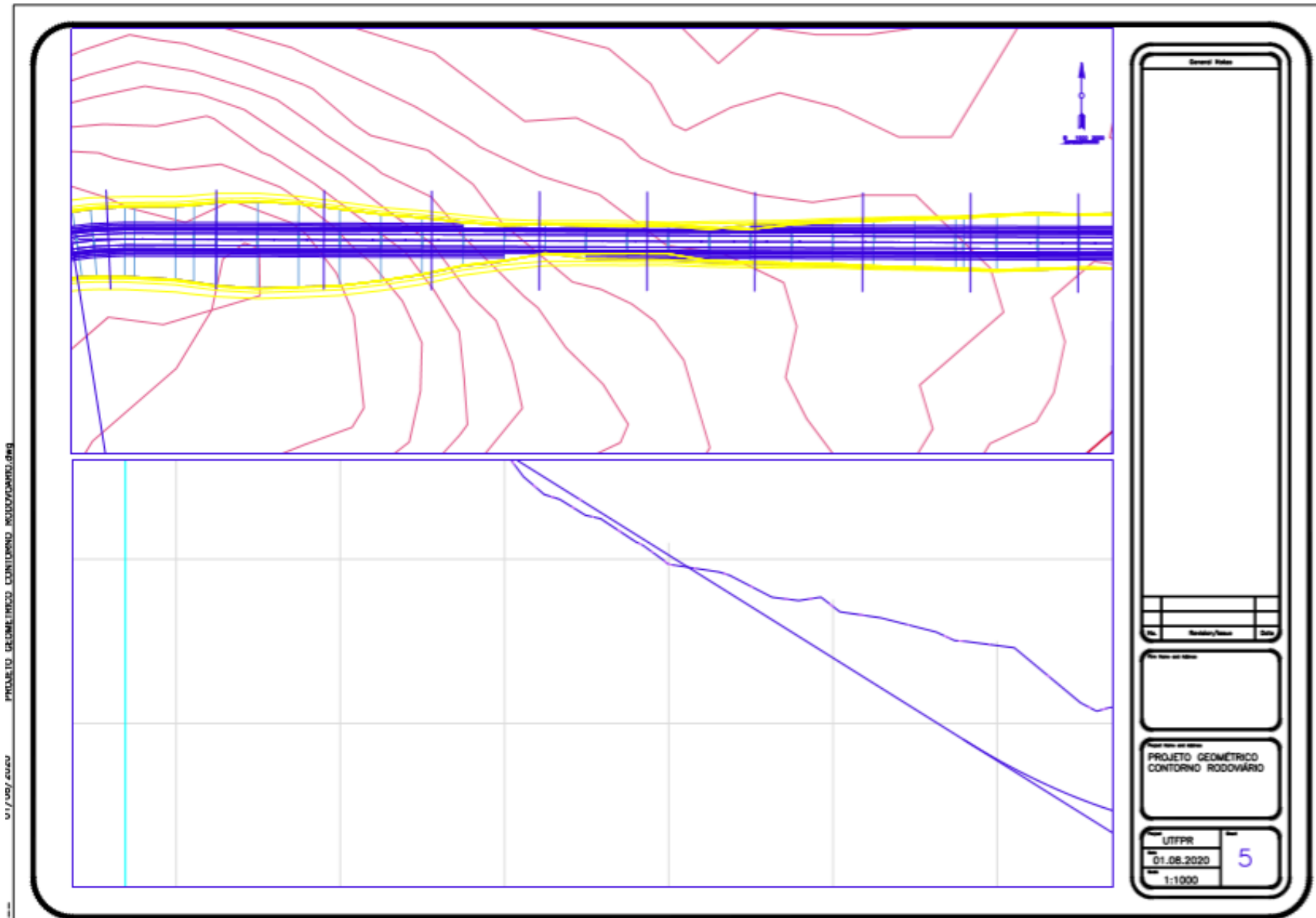




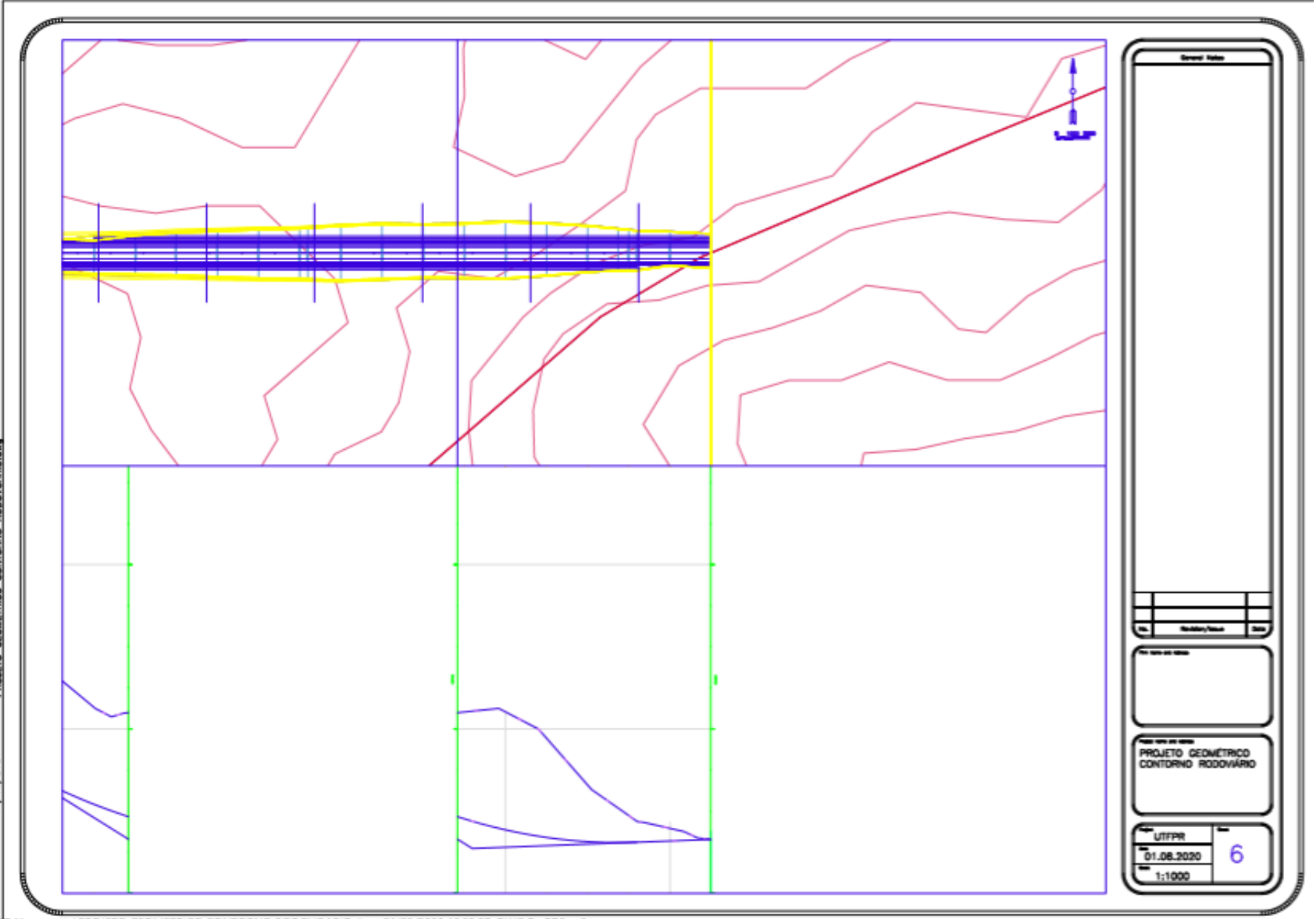
01/08/2020 PROJETO GEOMETRICO CONTORNO RODOVIARIO.dwg







01/08/2020 PROJETO GEOMÉTRICO CONTORNO RODOVIÁRIO.dwg



General Notes

No.	Descrição/Nota	Data

Projeto Geométrico

PROJETO GEOMÉTRICO
CONTORNO RODOVIÁRIO

Projeto	UT/PR	
Data	01.08.2020	6
Escala	1:1000	

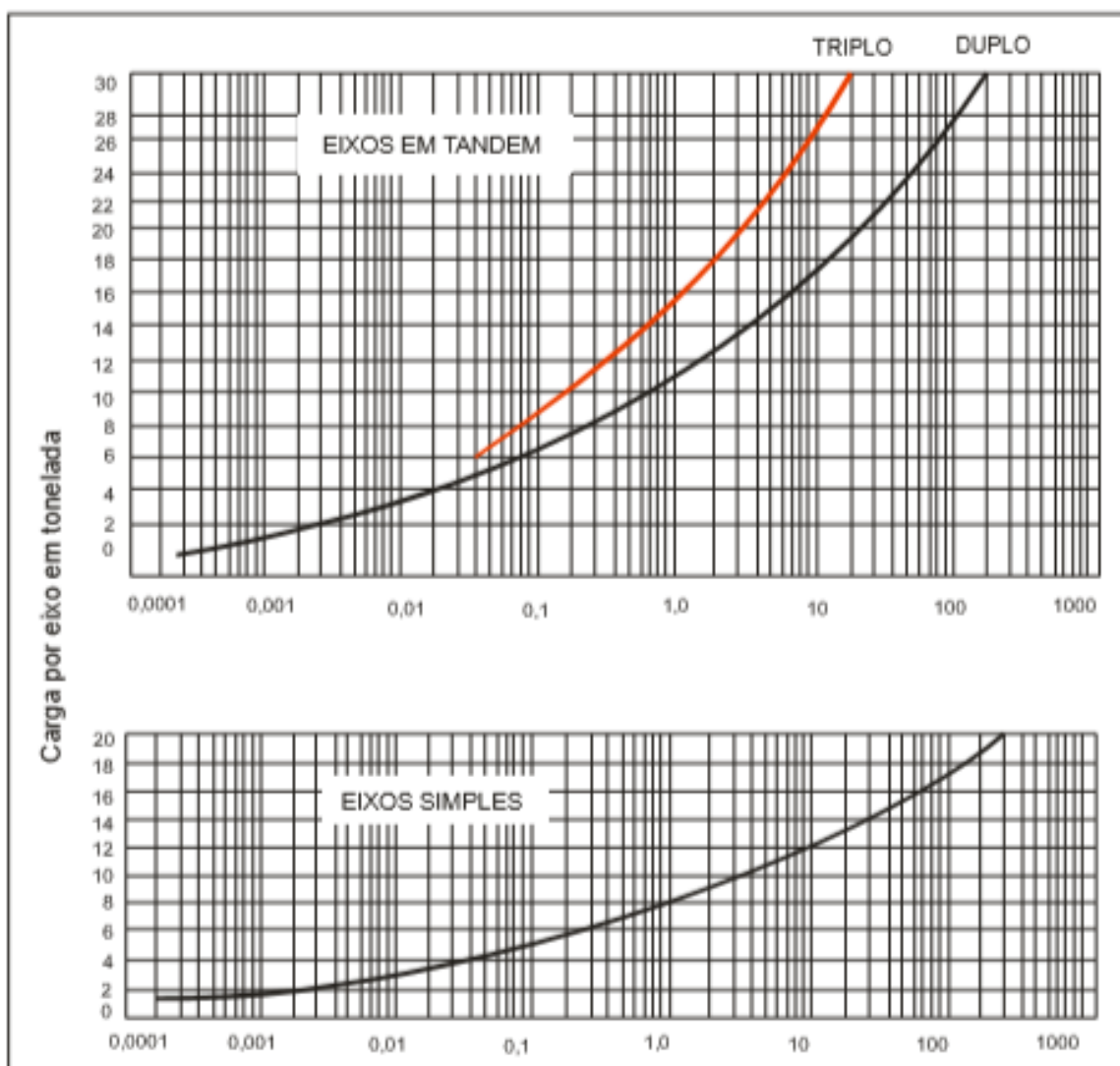
8 ANEXOS

ANEXO A - QUADRO DA CLASSIFICAÇÃO H.R.B DO SOLO

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 min.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira Nº 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosas ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

* O IP do grupo A - 7 - 5 é igual ou menor do que o LL menos 30.

Fonte: DNIT (2006, p. 56).

ANEXO C – FATORES DE EQUIVALÊNCIA DE OPERAÇÃO

Fonte: DNIT (2006)

ANEXO D – ALTURAS DE PRECIPITAÇÃO



Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

AGUASPARANÁ - Instituto das Águas do Paraná

Sistema de Informações Hidrológicas - SIH



Alturas de precipitação - Resumo Anual (mm)

Estação:	VISTA ALEGRE	Código:	02552043	Entidade:	AGUASPARANÁ
Município:	Coronel Vivida	Instalação:	28/01/1978	Extinção:	
Tipo:	P	Bacia:	Iguaçu	Sub-bacia:	7
Altitude:	522,000 m	Latitude:	25° 58' 02"	Longitude:	52° 42' 40"

ANO	Total anual	Máxima diária	Data da ocorrência	Dias de chuva
2000	2088,1	82,0	17/04/2000	102
2001	1923,5	92,8	26/06/2001	92
2002	2265,3	100,1	24/12/2002	99
2003	1648,9	80,0	04/01/2003	69
2004	1571,0	93,6	12/03/2004	68
2005	1588,4	144,7	21/05/2005	70
2006	1364,7	70,2	16/08/2006	69
2007	1484,9	158,2	26/04/2007	67
2008	1335,1	123,6	02/11/2008	76
2009	1761,2	67,3	25/10/2009	69
2010	1751,1	103,5	23/04/2010	71
2011	1661,4	99,4	19/08/2011	67
2012	1664,4	113,2	26/04/2012	71
2013	2231,4	134,6	16/05/2013	79
2014	2059,5	97,5	19/09/2014	77
2015	2483,6	166,0	10/10/2015	85
2016	1612,7	102,9	20/08/2016	58
2017	1935,9	85,0	22/10/2017	71
2018	1412,9 "	-	-	-
2019	1586,1	98,0	31/05/2019	67

Resumo Anual

ANO	Total anual	Máxima diária	Dias de chuva
MÉDIA	1762,5	103,7	76,2
MÍNIMA	1364,7	67,3	58,0
MÁXIMA	2483,6	166,2	102,0
D. PADRÃO	319,3	32,0	20,1