



**Ministério da Educação**  
**Universidade Federal da Integração Latino-Americana**  
**Instituto de Tecnologia, Infraestrutura e Território**  
Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura  
Engenharia Civil de Infraestrutura

**ESTUDO DA NECESSIDADE DE READEQUAÇÃO DE UM TRECHO  
DE ESTRADA RURAL NO MUNICÍPIO DE FOZ DO IGUAÇU -PR**

LIZ MARIA BENITEZ RAMIREZ

Foz do Iguaçu, PR  
Dezembro de 2017



**Ministério da Educação**  
**Universidade Federal da Integração Latino-Americana**  
**Instituto de Tecnologia, Infraestrutura e Território**  
Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura  
Engenharia Civil de Infraestrutura

## **ESTUDO DA NECESSIDADE DE READEQUAÇÃO DE UM TRECHO DE ESTRADA RURAL NO MUNICÍPIO DE FOZ DO IGUAÇU -PR**

LIZ MARIA BENITEZ RAMIREZ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da UNILA, como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

**Orientador:** Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Ricardo Souza.

**Coorientadora:** Prof<sup>a</sup>. Mara Rubia Silva.

Foz do Iguaçu, PR

Dezembro de 2017

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me guiado ao longo deste caminho, e por todas as bênçãos recebidas.

A toda minha família, em especial aos meus pais, Marta e Simon, meus maiores exemplos, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A todos os professores pelos conhecimentos transmitidos, pela paciência e amizade ao longo do curso. Em especial ao meu orientador, professor Ricardo Souza pelo apoio e confiança para a realização deste trabalho, a minha coorientadora Mara Rubia Silva pelo suporte e incentivo ao longo da realização do trabalho e ao professor Samuel Adami pela ajuda proporcionada.

Aos meus colegas de classe e também amigos, os quais tornaram esta caminhada muito mais agradável.

A universidade pelo apoio financeiro obtido mediante o EDITAL Nº 117/2017, assim como também a Pró-Reitoria de Administração, Gestão e Infraestrutura-Divisão de Transporte, pela disponibilização de veículos para a realização dos trabalhos de campo.

Aos funcionários do laboratório da universidade, que tão atenciosamente me auxiliaram para a realização de ensaios.

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho.

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 3.1</b> (a) Vias de alto impacto (b) Vias de baixo impacto .....	19
<b>Figura 3.2</b> (a) Sarjeta de concreto (b) Sarjeta de pedra argamassada.....	23
<b>Figura 3.3</b> Valeta com revestimento .....	24
<b>Figura 3.4</b> Bueiro .....	24
<b>Figura 3.5</b> Dreno profundo.....	25
<b>Figura 3.6</b> Jazidas de pedregulhos e cascalhos .....	28
<b>Figura 3.7</b> Seção transversal imprópria com nível de severidade baixa.....	29
<b>Figura 3.8</b> Seção transversal imprópria com nível de severidade média. ....	30
<b>Figura 3.9</b> Seção transversal imprópria com nível de severidade alta. ....	30
<b>Figura 3.10</b> Drenagem lateral inadequada com nível de severidade baixa. ....	30
<b>Figura 3.11</b> Drenagem lateral inadequada com nível de severidade média. ....	31
<b>Figura 3.12</b> Drenagem lateral inadequada com nível de severidade alta.....	31
<b>Figura 3.13</b> Corrugações da pista de rolamento com nível de severidade baixa.....	32
<b>Figura 3.14</b> Corrugações da pista de rolamento com nível de severidade média. ....	32
<b>Figura 3.15</b> Corrugações da pista de rolamento com nível de severidade alta. ....	32
<b>Figura 3.16</b> Buracos na pista com grau de severidade baixa.....	33
<b>Figura 3.17</b> Buracos na pista com grau de severidade média.....	34
<b>Figura 3.18</b> Buracos na pista com grau de severidade alta. ....	34
<b>Figura 3.19</b> Poeira com grau de severidade baixa.....	35
<b>Figura 3.20</b> Poeira com grau de severidade média.....	35
<b>Figura 3.21</b> Poeira com grau de severidade alta.....	35
<b>Figura 3.22</b> Trilha de roda com grau de severidade baixa. ....	36
<b>Figura 3.23</b> Trilha de roda com grau de severidade média. ....	36
<b>Figura 3.24</b> Trilha de roda com grau de severidade alta. ....	36
<b>Figura 3.25</b> Segregação de agregado com grau de severidade baixa. ....	37
<b>Figura 3.26</b> Segregação de agregado com grau de severidade média. ....	37

<b>Figura 3.27</b> Segregação de agregado com grau de severidade alta.....	38
<b>Figura 4.1</b> Localização geográfica da estrada em estudo .....	41
<b>Figura 4.2</b> Subseções da estrada .....	43
<b>Figura 4.3</b> Medição de defeitos.....	43
<b>Figura 4.4</b> Ficha de inspeção.....	44
<b>Figura 4.5</b> Instalação e configuração da Base RTK.....	46
<b>Figura 4.6</b> Coleta de pontos utilizando o GPS .....	47
<b>Figura 4.7</b> Coleta de amostras.....	47
<b>Figura 4.8</b> Preparação da amostra .....	48
<b>Figura 4.9</b> (a) A mostra passada e retida na peneira de 2 mm, (b) Secagem das amostras	49
<b>Figura 4.10</b> (a) Peneiramento da amostra, (b) Pesagem das parcelas retidas nas peneiras	50
<b>Figura 4.11</b> (a) Aparelhagem para o ensaio, (b) Preparação da amostra .....	52
<b>Figura 4.12</b> (a) Ranhura na parte central da concha, (b) Pesagem da amostra.....	53
<b>Figura 4.13</b> (a) Aparelhagem para ensaio (b) Amostra homogeneizada .....	54
<b>Figura 4.14</b> (a) Moldagem do cilindro (b) Colocação da amostra em cápsulas metálicas ....	55
<b>Figura 4.15</b> Simbologia utilizada para dimensionamento das camadas do pavimento.....	59
<b>Figura 4.16</b> (a) Seção transversal e drenagem lateral inadequada (b) Poeira .....	63
<b>Figura 4.17</b> (a) Trilha de roda (b) Segregação de agregados .....	64
<b>Figura 4.18</b> Ábacos para determinação dos valores de dedução de cada defeito da subseção 1.....	65
<b>Figura 4.19</b> Ábaco para determinação do índice URCI para a subseção 1 .....	66
<b>Figura 4.20</b> Folha de inspeção da subseção 1 .....	66
<b>Figura 4.21</b> (a) Seção transversal e drenagem lateral inadequada (b) Corrugações .....	67
<b>Figura 4.22</b> (a) Trilha de roda (b) Segregação de agregados .....	67
<b>Figura 4.23</b> Poeira .....	68
<b>Figura 4.24</b> Ábacos para determinação dos valores de dedução de cada defeito da subseção 2.....	69
<b>Figura 4.25</b> Ábaco para determinação do índice URCI para a subseção 2.....	70
<b>Figura 4.26</b> Folha de inspeção da subseção 2 .....	70

<b>Figura 4.27</b> (a) Seção transversal e drenagem lateral inadequada (b) Corrugações .....	71
<b>Figura 4. 28</b> (a) Trilha de roda (b) Segregação de agregados .....	71
<b>Figura 4.29</b> Poeira .....	72
<b>Figura 4.30</b> Ábacos para determinação dos valores de dedução de cada defeito da subseção 3.....	73
<b>Figura 4.31</b> Ábaco para determinação do índice URCI para a subseção 3.....	74
<b>Figura 4.32</b> Folha de inspeção da subseção 3 .....	74
<b>Figura 4.33</b> Superfície do terreno (Civil 3D, 2015).....	78
<b>Figura 4.34</b> Traçado da estrada existente (Civil 3D, 2015) .....	79
<b>Figura 4.35</b> Perfil longitudinal da estrada existente (Civil 3D, 2015) .....	79
<b>Figura 4.36</b> Traçado existente no local e traçado proposto com as melhorias .....	81
<b>Figura 4.37</b> Seção transversal – Em Tangente.....	82
<b>Figura 4.38</b> Seção transversal – Em Curva .....	82
<b>Figura 4.39</b> Seção transversal da sarjeta .....	83
<b>Figura 4.40</b> Bueiro existente no trecho .....	85
<b>Figura 4.41</b> Disposição dos dispositivos de drenagem .....	85

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b>	Normas admissíveis para melhoramentos de traçados de estradas existentes.	21
<b>Tabela 3.2</b>	Níveis de severidade dos buracos.....	33
<b>Tabela 3.3</b>	Atividades de conservação relacionadas ao índice URCI.....	40
<b>Tabela 4.1</b>	Fator de correção de unidades.....	45
<b>Tabela 4.2</b>	Classificação da estrada a partir do índice URCI .....	45
<b>Tabela 4.3</b>	Determinação do Índice de Suporte a partir do Índice de Grupo .....	56
<b>Tabela 4.4</b>	Fator Climático .....	59
<b>Tabela 4.5</b>	Espessura mínima de revestimento betuminoso .....	59
<b>Tabela 4.6</b>	Níveis de severidade dos defeitos encontrados na subseção 1.....	64
<b>Tabela 4.7</b>	Valor de dedução para o defeito poeira.....	65
<b>Tabela 4.8</b>	Níveis de severidade dos defeitos encontrados na subseção 2.....	68
<b>Tabela 4.9</b>	Níveis de severidade dos defeitos encontrados na subseção 3.....	72
<b>Tabela 4.10</b>	Resultados do índice URCI de cada seção .....	75
<b>Tabela 4.11</b>	Resultado dos ensaios de caracterização do solo.....	76
<b>Tabela 4.12</b>	Determinação do Índice de Suporte .....	76
<b>Tabela 4.13</b>	Tráfego médio diário .....	77
<b>Tabela 4.14</b>	Capacidade dos bigodes.....	84

## RESUMO

As estradas são consideradas como coluna vertebral do transporte viário e sua construção e manutenção são fundamentais para incrementar a produtividade e competitividade dos países. Grande parte da malha viária brasileira é formada por estradas não pavimentadas, sendo as mesmas importantes vias de acesso para o escoamento da produção agrícola, e essencial para o desenvolvimento social e econômico das comunidades rurais. Porém, as estradas rurais requerem melhor planejamento, qualidade, controle e aplicação de tecnologias e materiais que permitam obter uma boa relação custo/benefício, de forma a prolongar a vida útil da estrada e evitar gastos excessivos na recuperação das vias. O presente trabalho tem como objetivo avaliar as condições de traçado, da superfície de rolamento e drenagem de um trecho de estrada rural localizada no interior do município de Foz do Iguaçu. Para o desenvolvimento do estudo foi necessário avaliar as condições da estrada por meio do método URCl, caracterizar o solo, realizar levantamento topográfico, estudo do volume de tráfego e análise das condições de drenagem. Como resultado do estudo concluiu-se que a estrada apresentava condição superficial pobre, precisando de manutenções emergenciais de forma a melhorar o traçado, a superfície de rolamento e o sistema de drenagem no local. Para isto, foram apresentadas intervenções a ser realizadas para melhorar as condições atuais da estrada.

**Palavras-chave:** Estrada rural; Defeitos; Manutenção.

## ABSTRACT

Roads are considered as backbone of road transport and their construction and maintenance are fundamental to increase the productivity and competitiveness of countries. Much of the Brazilian road network consists of unpaved roads, being the same important access routes for the flow of agricultural production, and essential for the social and economic development of rural communities. However, rural roads require better planning, quality, control and application of cost-effective technologies and materials in order to prolong the life of the road and avoid excessive costs of road recovery. The present work has the objective of evaluating the tracing, rolling surface and drainage conditions of a stretch of rural road located in the interior of the municipality of Foz do Iguaçu. For the development of the study, it was necessary to evaluate the road conditions using the URCl method, to characterize the soil, to carry out a topographic survey, to study the volume of traffic and to analyze the drainage conditions. As a result of the study, it was concluded that the road presented poor surface condition, necessitating emergency maintenance in order to improve the layout, rolling surface and drainage system in place. For this, interventions were presented to improve current road conditions.

**Keywords:** Rural road; Defects; Maintenance.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	v
LISTA DE TABELAS .....	viii
RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	x
1. INTRODUÇÃO .....	14
2. OBJETIVOS .....	16
2.1 Objetivo Geral .....	16
2.2 Objetivo Específico .....	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
3.1 Estradas rurais .....	17
3.2 Características Técnicas .....	18
3.2.1 Traçado .....	18
3.2.2 Drenagem .....	21
3.2.2.1 Drenagem Superficial .....	22
3.2.2.2 Drenagem Profunda .....	24
3.2.3 Capacidade de Suporte .....	25
3.2.4 Materiais utilizados .....	26
3.2.4.1 Argila .....	26
3.2.4.2 Areia .....	27
3.2.4.3 Cascalhos e Pedregulhos .....	27
3.3 Defeitos em estradas rurais .....	28
3.3.1 Tipo de defeito .....	29
3.3.1.1 Seção transversal inadequada .....	29
3.3.1.2 Drenagem lateral inadequada .....	30
3.3.1.3 Corrugações .....	31
3.3.1.4 Buracos .....	32

3.3.1.5 Poeira.....	34
3.3.1.6 Trilha de roda .....	36
3.3.1.7 Segregação de agregado .....	37
3.4 Avaliação das condições da estrada não pavimentada .....	38
3.5 Manutenção das estradas rurais .....	39
4. METODOLOGIA .....	41
4.1 Caracterização da Área .....	41
4.2 Desenvolvimento da pesquisa .....	42
4.2.1 Avaliação das condições da estrada rural .....	42
4.2.2 Levantamento Topográfico.....	46
4.2.3 Coleta de amostras de solo para ensaios de caracterização.....	47
4.2.4 Caracterização do material .....	48
4.2.4.1 Ensaio de Granulometria .....	48
4.2.4.2 Ensaio do Limite de Liquidez.....	51
4.2.4.3 Ensaio do Limite de Plasticidade.....	53
4.2.5 Determinação do Índice de Suporte.....	55
4.2.6 Determinação do Volume de Tráfego.....	57
4.2.7 Dimensionamento do pavimento .....	59
4.2.8 Dimensionamento dos dispositivos de drenagem .....	60
5. RESULTADOS.....	63
5.1 Avaliação das condições da estrada rural.....	63
5.1.1 Avaliação da Subseção 1 .....	63
5.1.2 Avaliação da Subseção 2 .....	67
5.1.3 Avaliação da Subseção 3 .....	71
5.2 Ensaios de caracterização do solo.....	75
5.3 Volume de tráfego.....	76
5.4 Levantamento topográfico .....	78
5.5 Serviços de Readequação.....	80

<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>86</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>88</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os meios de transporte são um conjunto de ferramentas que uma vez unidas possibilitam o deslocamento de pessoas e cargas de um lugar a outro. O sistema de transporte rodoviário desempenha um papel fundamental, já que frente a outros modais apresenta vantagens como ser adequado para o transporte de pessoas e mercadorias a curtas e médias distâncias. Além de integrar todas as regiões que compõem um estado ou país, apresenta um baixo custo de implantação, proporcionando maior flexibilidade ao não depender de várias operações de carga e descarga.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes-DNIT (2015), até o ano 2015 as estradas federais, estaduais e municipais brasileiras totalizavam 1,7 milhão de quilômetros, dos quais 78,6% são estradas não pavimentadas. Além disso, 56% do transporte de cargas no Brasil é feito mediante vias rodoviárias. Apesar disso, as condições da grande maioria das estradas são precárias e a falta de manutenção ocorre em grande parte dessas vias, gerando assim uma má qualidade das pistas de rolamento e dos sistemas de drenagem, que levam muitas vezes ao fechamento das pistas, devido à acidentes ou alagamentos. As más condições das estradas não pavimentadas afetam diretamente os pequenos produtores devido às perdas e atrasos no transporte dos seus produtos, diminuindo assim a competitividade dos produtores no mercado regional e nacional, além de dificultar e encarecer o acesso da população à serviços essenciais.

As estradas rurais são infraestruturas essenciais para prover a uma determinada comunidade de um fluxo de bens e serviços. Possibilitam o desenvolvimento social e econômico da povoação atendida pela estrada, e por consequência contribuem para a melhoria da qualidade de vida e bem-estar dos habitantes. As estradas por si só não permitem acabar com o empobrecimento do corpo social, mas por outro lado, são um importante agente indutor de crescimento (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

As estradas de terra surgem da expansão de trilhas e caminhos precários, onde o traçado segue as curvas de nível do terreno, que com o aumento do volume de tráfego precisam de melhorias na superfície de rolamento. Essas estradas não possuem superfície pavimentada previamente dimensionada, de modo geral são compostas por uma camada superficial de solo local com ou sem agregado granular. À medida que o tráfego aumenta, as estradas passam a receber melhorias, visando incrementar o conforto dos usuários (ODA, 1995).

A manutenção adequada da rede de estradas não pavimentadas, permite reduzir o custo operacional de veículos, expandir os serviços públicos na região e evitar lançamento de sedimentos provenientes de material carreado pelas águas das chuvas sobre áreas agricultáveis. Ao realizar estas atividades devem ser aplicadas boas técnicas recomendadas com critérios mínimos, pautadas com a finalidade de reduzir ao máximo os impactos ambientais com o menor custo possível.

A infraestrutura das estradas rurais está sob responsabilidade dos municípios, que em muitos casos deixam de lado a manutenção destas, sem perceber sua importância para o desenvolvimento econômico da região. Diante disso, torna-se necessário o correto planejamento dos serviços de manutenção de forma a prolongar a vida útil da estrada e evitar gastos excessivos de recuperação da via.

Realiza-se neste trabalho a avaliação da condição de um trecho de estrada rural não pavimentada do município de Foz do Iguaçu no Estado do Paraná, identificando possíveis anomalias relacionadas ao traçado (i.e, raios de curva e greides com inclinações inadequados), à superfície de rolamento e às condições de drenagem, utilizando a metodologia proposta pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América. Uma vez identificadas as anomalias, foi proposta uma readequação desse trecho de estrada, considerando critérios pautados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), de forma a aprimorar as condições de tráfego, conforto e segurança para os usuários.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Avaliar um trecho de estrada rural localizada no município de Foz do Iguaçu-PR, visando identificar problemas com relação ao traçado, à pista de rolamento e à drenagem superficial. Adicionalmente pretende-se propor soluções técnicas para melhorar as condições de trafegabilidade e conservação da via.

### 2.2 Objetivo Específico

Em decorrência do objetivo geral, apresentam-se os seguintes objetivos específicos:

- Identificar e avaliar as condições superficiais da estrada com base na metodologia descrita pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos de América;
- Verificar se existe a necessidade de readequação;
- Apresentar as possíveis intervenções a ser realizadas no trecho em estudo, seguindo as recomendações do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT).

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Estradas rurais

Segundo Eaton et al (1988), estradas rurais ou também chamadas de estradas vicinais de terra, são aquelas que não contam com revestimento superficial de concreto ou asfalto, no entanto, em alguns casos essas vias podem apresentar revestimento granular.

As estradas podem ser classificadas mediante critério funcional e mediante critério técnico. Segundo o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER (1999), a classificação funcional agrupa as estradas em subsistemas segundo o tipo de serviço que oferecem e a função que exercem. Têm-se então as estradas arteriais, coletoras e locais, sendo as estradas do sistema arterial as encarregadas de integrar municípios, estados e países vizinhos, assim como proporcionar alto nível de mobilidade para grandes volumes de tráfego. Por outro lado, as estradas do sistema coletor têm a função de atender o tráfego intermunicipal, independentemente dos volumes de tráfego, as distâncias das viagens são menores que nas rodovias arteriais e são comuns velocidades mais moderadas. As do sistema local são constituídas por estradas de pequena extensão, destinadas principalmente a proporcionar acesso ao tráfego intra-municipal de áreas rurais e de pequenas localidades.

A classificação técnica leva em consideração a posição hierárquica dentro da classificação funcional, o volume médio diário e o nível de serviço, entre outros, permitindo assim subdividi-las em classes de 0 a IV. As menores classes correspondem às vias que apresentam características técnicas mais exigentes enquanto as maiores classes correspondem a estradas de mais baixa hierarquia funcional de natureza vicinal e pioneira (DNER, 1999).

A partir da classificação funcional proposta pelo DNER (1999), as estradas rurais se posicionam no sistema local já que elas proporcionam acesso ao tráfego intra-municipal de áreas rurais e de pequenas localidades. Por outro lado, na classificação técnica elas se ajustam melhor na classe de projeto IV já que essas estradas possuem pista simples, sendo geralmente não pavimentadas e com baixo volume de tráfego.

Na maioria dos casos, as estradas situadas nas zonas rurais foram abertas pela comunidade de forma inadequada, por ter sido orientada basicamente pela estrutura fundiária e pelas facilidades do terreno. Assim, favoreciam em períodos de chuvas intensas o desenvolvimento de processos erosivos extremamente prejudiciais a pista de rolamento, áreas marginais e a sua plataforma como um todo. Muitas delas, ao terem evoluído originalmente de pequenas trilhas e caminhos utilizados pelos primeiros grupos de pessoas

que se estabeleceram nas mais diversas regiões, apresentam traçados atravessando locais cujos solos denotam grande fragilidade em termos de suporte (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

Na medida em que o tráfego nessas estradas cresce, elas recebem serviços de melhoramentos graduais na forma de revestimento na sua superfície de rolamento, cujos serviços não são executados com princípios técnicos adequados, sendo a manutenção nessas estradas de alto custo e de difícil execução onerando sobremaneira os agentes públicos responsáveis. Portanto, é de suma importância a manutenção frequente e adequada para reduzir os custos de reconstrução a longo prazo (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

As estradas vicinais de terra são gerenciadas de forma muito diferente das estradas pavimentadas haja vista que a necessidade de manutenção é mais frequente e o planejamento não passa de 1 a 2 anos (EATON ET AL, 1988).

Nunes (2003) afirma que o conhecimento das características técnicas de uma estrada em conjunto com a análise de defeitos, pode contribuir para uma correta manutenção permitindo assim obter melhorias no desenvolvimento social e econômico da região.

Segundo Gordon e James (2004) “[...] Um sistema de estradas não pavimentadas bem planejadas, localizadas, projetadas, construídas e mantidas, é essencial para o desenvolvimento de uma comunidade, para o fluxo de bens e serviços entre a comunidade, e para as atividades de administração de recurso [...]”.

## **3.2 Características Técnicas**

### **3.2.1 Traçado**

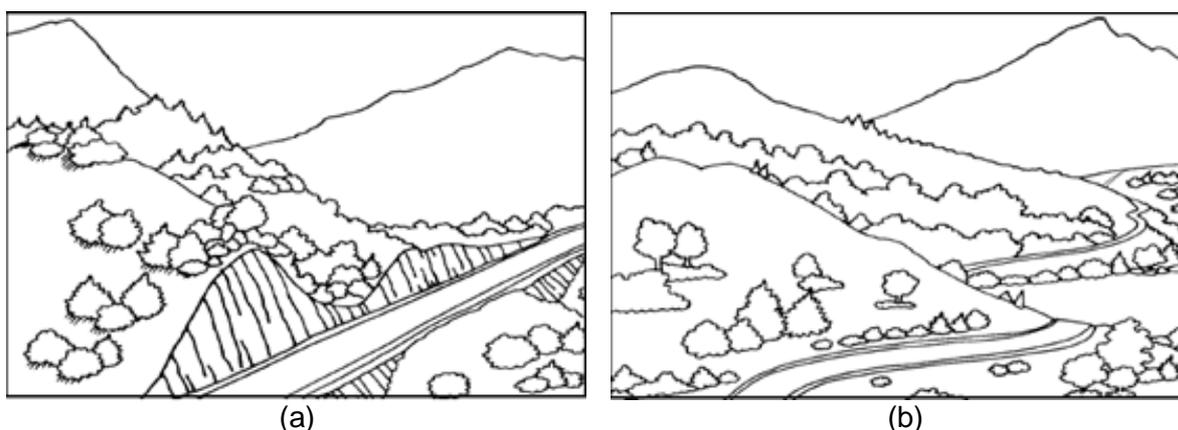
Pedret (2011), relata que o estudo geométrico de uma via deve ser desenvolvido nos primeiros estágios do planejamento. Como ponto de partida deve ser realizado um planejamento do traçado territorial a nível macro que proporcione vantagens sociais e econômicas. Aprovada a alternativa mais favorável deve ser realizado o projeto de traçado da estrada, considerando inicialmente a velocidade de tráfego, ponto inicial e final, para determinar parâmetros geométricos em planta, perfil e seção transversal.

De acordo com o Departamento de Estradas de Rodagem do estado de São Paulo- DER/SP (2012a), as características geométricas de uma via pré-existente vêm condicionada pelo aproveitamento do traçado. Além disso, a limitação econômica leva à adoção de um greide próximo ao natural, tendo-se então rampas pronunciadas e curvas horizontais e verticais acentuadas que podem gerar defeitos no traçado.

Baesso e Gonçalves (2003), relatam que para que as estradas rurais cumpram com critérios ambientais, precisam ser adequadamente traçadas para que os impactos gerados sejam os menores possíveis.

As vias que se adaptam melhor à topografia natural do terreno diminuem os volumes de cortes, os movimentos de terra, os impactos visuais e a mudança de drenagem natural. (GORDON E JAMES, 2004). Na **Figura 3.1** são apresentadas vias de alto impacto comparadas à vias de baixo impacto.

**Figura 3.1** (a) Vias de alto impacto (b) Vias de baixo impacto



Fonte: Gordon e James (2004)

Quando se deseja implantar um traçado ou introduzir melhoras nos traçados das estradas rurais existentes, dois princípios devem ser cumpridos: O leito da estrada deve ser mantido o mais próximo possível à superfície existente no local assim como também, deve ser implantado um bom sistema de drenagem para evitar a deterioração rápida e intensa da superfície de rolamento (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

O DER/SP (2012a), recomenda que a localização dos traçados das estradas rurais deve ser desenvolvida o mais próximo possível aos divisores de água ou espigões onde as inclinações e a drenagem são mínimas. Já Baesso e Gonçalves (2003) relatam que o traçado da estrada além de seguir os divisores de água, deve sempre que possível, manter o greide da mesma o mais próximo da superfície das áreas marginais.

De forma a evitar grandes danos ao meio ambiente, é recomendada a adequação da estrada rural ao longo do leito original sem grandes mudanças no seu traçado. O traçado deve ser realocado caso exista áreas de solo extremamente suscetíveis à erosão ou o custo que provêm da implantação de melhoramentos da estrada rural seja maior que o custo da implantação de um novo traçado. Por outro lado, ressalta-se que ao utilizar normas de elevado padrão no projeto de uma estrada rural, a mesma apresentará custos de construção e manutenção elevados, e os impactos ambientais gerados também serão maiores. No entanto, as estradas rurais com baixo volume de tráfego não requerem a aplicação de normas muito exigentes, conseqüentemente os impactos ambientais serão mínimos já que o traçado não sofrerá modificações bruscas (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

Para o melhoramento em rodovias já existentes, o DNER (1999) introduziu novas classes de projetos, que foram denominadas M-0, M-I, M-II, M-III, M-IV, que correspondem, respectivamente, as classes de melhoramento para as rodovias de Classe 0, Classe I, Classe II, Classe III, Classe IV. Na **Tabela 3.1** são apresentadas as normas admissíveis que devem ser adotadas para melhoramento de traçados em estradas de classe III e IV já existentes. A fixação desses parâmetros mínimos recomendados pelo DNER (1999), tem como objetivo principal o melhoramento das condições técnicas das rodovias com investimento adicional relativamente pequeno, pois pressupõe viabilizar o máximo aproveitamento da plataforma e pistas.

**Tabela 3.1** Normas admissíveis para melhoramentos de traçados de estradas existentes.

<b>Características Técnicas</b>	<b>Relevo da Região</b>	<b>Classe da Rodovia M III-IV</b>
Velocidade Diretriz (Km/h)	Plano	60
	Ondulado	40
	Montanhoso	30
Raio Mínimo de Curva Horizontal (m)	Plano	110
	Ondulado	50
	Montanhoso	30
Rampa Máxima (%)	Plano	4
	Ondulado	6
	Montanhoso	8
Largura da Pista de Rolamento (m)	Plano	7
	Ondulado	6-7
	Montanhoso	6
Largura do Acostamento Externo (m)	Plano	1,5
	Ondulado	1,2
	Montanhoso	1,0
	Muito Montanhoso	0,8

Fonte: Adaptado DNER (1999)

### 3.2.2 Drenagem

Um sistema de drenagem está composto por um conjunto de dispositivos cujo objetivo é direcionar o escoamento das águas superficiais para fora do corpo estradal (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

Segundo DER/SP (2012a), a água acelera a destruição dos pavimentos e os taludes laterais de uma via. Um dos pontos mais importantes para a manutenção de uma via é uma drenagem adequada, permitindo que a via opere em boas condições durante a utilização. Os maiores danos e os mais frequentes são causados pela drenagem inadequada em épocas chuvosas.

Fattori (2007), relata que a acumulação de água no corpo estradal, pode danificar a superfície de rolamento, gerando desconforto e comprometendo a segurança dos usuários.

Para Baesso e Gonçalves (2003), quando a água permanece na superfície da estrada sob ação do tráfego podem surgir depressões e trilhamentos. Se não forem conduzidas para

fora do leito podem causar erosões e rompimento dos bordos da estrada. Por tanto recomenda-se princípios básicos para a obtenção de uma boa drenagem para as estradas rurais, como apresentado a seguir: 1. Desenvolver traçados próximos aos divisores de água; 2. Direcionar o mais rápido possível a água da pista sem danificar a estrada; 3. Reduzir a velocidade da água, assim como a distância de percurso; 4. Devem ser utilizados dispositivos de drenagem transversal para remover rapidamente a água das sarjetas; 5. Adotar plataforma cuja largura e altura de corte e aterro produzam o mínimo de perturbação; 6. Evitar construir estradas em áreas instáveis e com fortes rampas; 7. Remover a água subterrânea caso existam trechos de estradas em corte onde o tráfego compõe-se de veículos pesados; 8. Manter quando seja possível a vegetação dos cortes e aterros; 9. Reduzir as perturbações na drenagem natural.

Para Gordon e James (2004), existem três fatores de muita importância no projeto de estradas rurais: “Drenagem, drenagem, drenagem”, dessa forma o autor enfatiza a importância do estudo desse componente da via, que ajuda à conservação da estrada.

Para o desenvolvimento de um bom dispositivo de drenagem deve ser levado em consideração fatores climáticos, topográficos, geológicos e o tipo de solo, já que a susceptibilidade das áreas atingidas pelo traçado define o tipo de dispositivos de drenagem tecnicamente eficientes e de baixo custo a ser adotado (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

Para Bañón e Beviá (2000), um sistema de drenagem é um dispositivo projetado para a recepção, canalização e evacuação da água que pode prejudicar as características e a estrutura de um elemento de estrada. Existem vários dispositivos para drenar essas águas, os quais são instalados considerando suas geometrias em relação ao eixo da via e ao tipo de água que deverá evacuar (água precipitada na estrada, água de córrego ou rio que intercepta a via, água do lençol freático, etc). Desta forma, os sistemas de drenagem são divididos em drenagem superficial e profunda. Geralmente são utilizados em conjunto os sistemas superficiais e profundos, com a finalidade de conseguir uma total e eficaz evacuação das águas; em zonas muito secas ou em solos pouco permeáveis é utilizado unicamente o sistema de drenagem superficial.

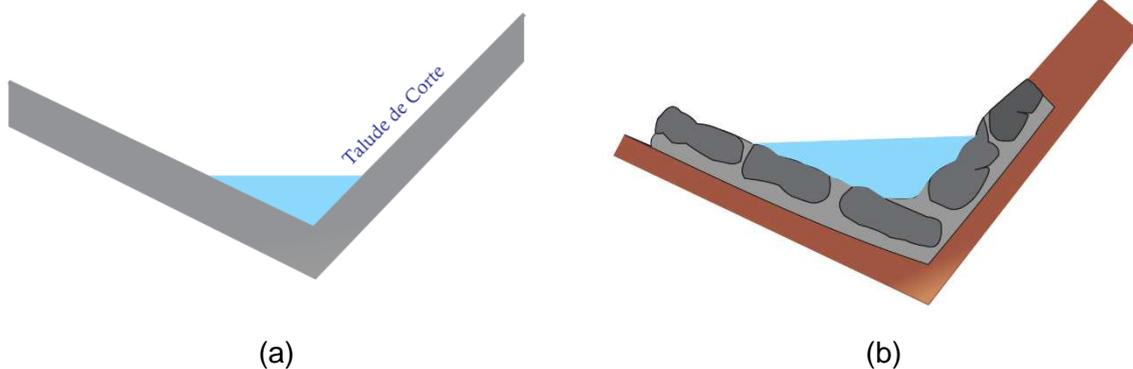
### **3.2.2.1 Drenagem Superficial**

Segundo Bañón e Beviá (2000), a drenagem superficial tem a finalidade de recolher águas pluviais ou de degelo que caem sobre a pista de rolamento e áreas adjacentes, canalizá-las e evacuá-las às bacias naturais ou a rede de águas pluviais. Existem dois tipos de drenagem superficial:

1. Drenagem transversal: permite a passagem de uma linha de água bloqueada pela infraestrutura viária, de forma a não provocar danos na via, tendo-se neste caso, pontes e bueiros.
2. Drenagem longitudinal: recolhe as águas da superfície da plataforma e dos taludes de corte e aterro paralelos à estrada, tendo-se dispositivos como sarjetas, valetas e bigodes.

Para Baesso e Gonçalves (2003), as sarjetas são definidas como sendo: “[...] Dispositivos executados no bordo da plataforma, junto ao pé de cortes e objetivam a coleta das águas de escoamento superficial da pista e dos taludes, conduzindo-as para um talvegue natural, bueiro ou sangradouro [...]”. Nas **Figuras 3.2a** e **3.2b** são apresentados exemplos de sarjetas.

**Figura 3.2** (a) Sarjeta de concreto (b) Sarjeta de pedra argamassada

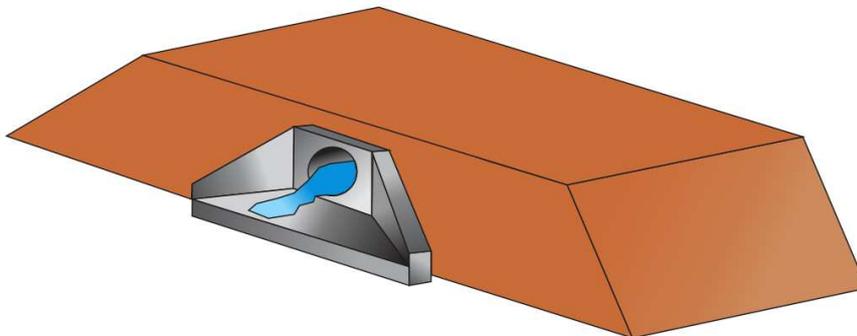


O DER/SP (2012a), diz que as valetas são dispositivos de proteção, construídos paralelamente ao corpo estradal, servindo para interceptar águas que possam atingir os taludes de corte ou aterro. As valetas podem ter revestimento de concreto ou grama, dependendo da permeabilidade do solo. Na **Figura 3.3** pode ser observada uma representação típica de valeta.

**Figura 3.3** Valeta com revestimento

Fonte: DNER/SP (2012)

Os bueiros são dispositivos que permitem transportar as águas de um talvegue natural ou artificial, de um lado para outro da estrada. Também permitem a passagem das águas coletadas pelas sarjetas ou outros dispositivos de drenagem para pontos de descarga (BAESSO E GONÇALVES, 2003). Na **Figura 3.4** pode ser observada a representação típica de bueiros.

**Figura 3.4** Bueiro

Fonte: Adaptado Baesso e Gonçalves (2003)

### 3.2.2.2 Drenagem Profunda

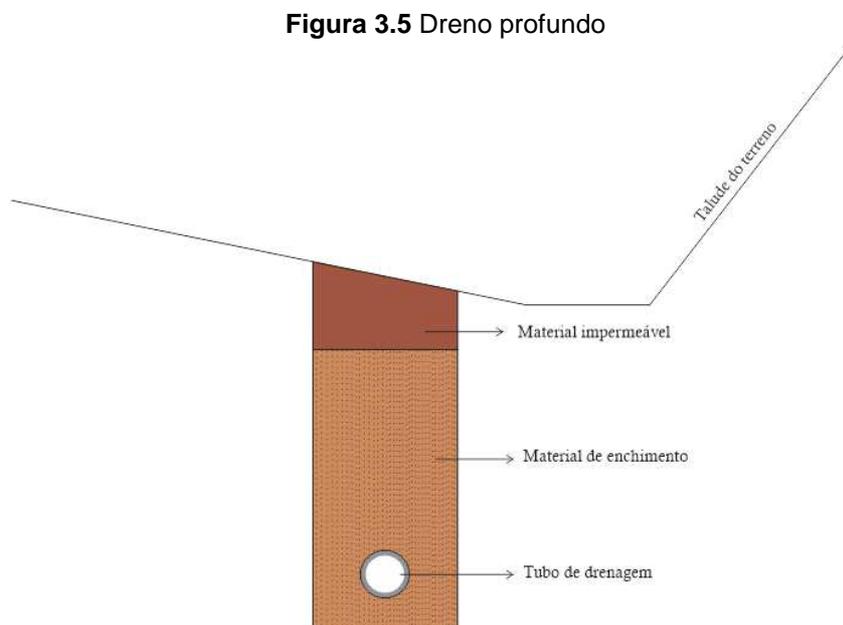
Para Bañón e Beviá (2000), a drenagem profunda deve cumprir funções básicas como captar e desviar as águas subterrâneas antes de chegar à superfície de rolamento, manter o nível freático a uma altura considerável da plataforma e evacuar a água que se infiltra na superfície de rolamento.

Segundo Ferreira (2004), as águas subterrâneas podem ser a causa da instabilidade do subleito da estrada, sendo a razão da baixa resistência do revestimento para suportar o

peso das cargas do tráfego. Os drenos profundos devem ser empregados como complemento à drenagem superficial, além de servir para rebaixar o nível de água.

Baesso e Gonçalves (2003), recomendam a execução de drenagem profunda para estradas com elevado fluxo de tráfego apresentando cortes, onde os materiais do subleito junto a pista de rolamento se mostrem encharcados provocando a formação das trilhas.

De acordo com Dal-Ré (2001), o dreno profundo é constituído por valas com diferentes profundidades, onde são instalados tubos com orifícios perfurados, material poroso, que permitem o fluxo da água. A seguir apresenta-se a seção transversal de um dreno profundo (**Figura 3.5**)



**Fonte:** Adaptado Baesso e Gonçalves.

### 3.2.3 Capacidade de Suporte

A capacidade de suporte é a propriedade que tem os materiais constituintes do subleito da superfície de rolamento de se manterem unidos frente as solicitações de tráfego. Esta propriedade estará comprometida quando existam deficiências técnicas no subleito ou na camada de reforço da estrada. A utilização de materiais adequados (solo, areia, cascalho, brita, entre outros) e a compactação eficiente são soluções para problemas relacionados com a capacidade de suporte (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

Segundo Bañón e Beviá (2000), o comportamento mecânico de uma estrada quando aplicada carga vertical constante deve ser ótima, de forma a não sofrer afundamentos

importantes. É de suma importância que o material granular apresente um índice de forma adequado para assegurar baixa degradação, grande dureza e forma angular a fim de resistir as cargas aplicadas. A determinação da capacidade de suporte de um material é realizada a partir do ensaio CBR (California Bearing Ratio), também chamado de Índice de Suporte Califórnia (ISC).

### **3.2.4 Materiais utilizados**

Na recuperação e conservação de estradas não pavimentadas, são utilizados materiais naturais de construção, os quais são geralmente encontrados em jazidas próximas ao local das obras. A abundância ou escassez destes materiais depende exclusivamente das características geológicas e pedológicas da região (RODRIGUES ET AL, 1988).

De acordo com Fattori (2007), os materiais a serem utilizados na execução ou manutenção de estradas que apresentem um baixo volume de tráfego e não apresentem revestimento de concreto de cimento Portland ou mistura asfáltica, devem ser transportados desde jazidas próximas, com a finalidade de reduzir a distância de transporte e custos.

Esses materiais são encontrados de diversas formas na natureza, misturados em porcentagens e granulometrias diferentes, tendo-se argilas, areias, saibros, cascalhos e pedregulhos, entre outros (RODRIGUES ET AL, 1988).

#### **3.2.4.1 Argila**

Para Nazareth e Rodrigues (2014), a argila é um material composto por partículas muito finas de cor variada apresentando granulometria das partículas menor a 0,002 mm. Dependendo da sua origem, podem apresentar cores como marrom amarelo, vermelha ou quase preta. A argila é um material que possui características ligantes quando são utilizadas em conjunto com materiais granulares, ou seja, existe um aumento da coesão na mistura.

Para Rodrigues et al (1988), é fundamental não confundir argila com silte, pois as argilas são importantes para as estradas de terra devido as suas características ligantes. Por outro lado, o silte é um material parecido pois seus grãos também são muito finos, no entanto, apresentam desempenho inferior durante sua caracterização, podendo resultar em problemas de baixa capacidade de suporte. O silte se diferencia da argila pela dificuldade do ser moldado quando ele se encontra úmido, oferece baixa resistência quando seco, sendo a granulometria das partículas compreendida entre 0,002 a 0,05 mm.

### 3.2.4.2 Areia

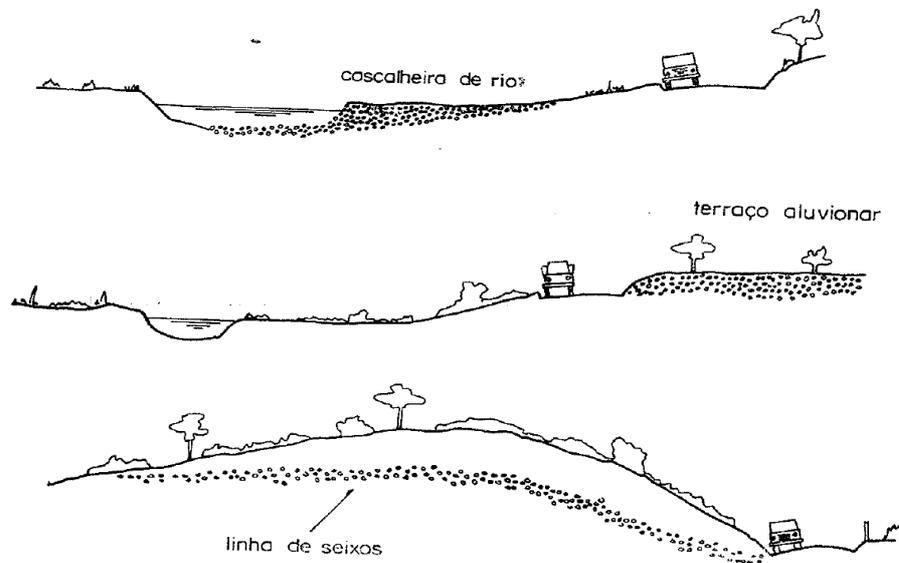
Para Fattori (2007), a areia é constituída por materiais granulares grossos, de origem quartzosa e o comportamento deste material varia de acordo com a quantidade de água que envolve os grãos. A areia não apresenta coesão, portanto a sua resistência e deformação depende das condições em que ela se encontra na natureza e do atrito entre as partículas que a compõem.

A areia é um material granular composto por grãos com diâmetros entre 0,05 mm a 4,8 mm, apresentando grãos claros cujas partículas são visíveis. Uma de suas características é que quando seca seus grãos ficam soltos. Os solos arenosos podem ser encontrados em duas formas: em leitos de rios, conhecidos como areias de rio, e em camadas na superfície de terreno, conhecidos como areias de barranco, as quais são geralmente de cores avermelhadas ou amarelas (RODRIGUES ET AL, 1988).

### 3.2.4.3 Cascalhos e Pedregulhos

Segundo Nazareth e Rodrigues (2014), os cascalhos e pedregulhos são partículas granulares com diâmetros acima de 4,8 mm. Geralmente são encontrados em cascalheiras nos leitos dos rios.

Para Rodrigues et al (1988), os pedregulhos e cascalhos são materiais muito resistentes que apresentam uma granulometria variada e formas arredondadas. O volume da jazida de cascalho depende principalmente do tamanho do rio ao qual está associada. Esses materiais também podem ser encontrados em terraços aluvionares e em linhas de seixos que formam jazidas, denominados como cascalheiras ou pedregulhos de cava, conforme ilustra a **Figura 3.6.**

**Figura 3.6** Jazidas de pedregulhos e cascalhos

Fonte: Rodrigues et al. (1988)

### 3.3 Defeitos em estradas rurais

Segundo Oda (1995), denomina-se defeito a qualquer alteração na superfície da estrada que afete negativamente as condições de rolamento. Os defeitos se apresentam devido a fatores extrínsecos (tráfego, chuva e manutenção) e intrínsecos à via (perfil longitudinal, transversal, drenagem e tipo de solo).

Ferreira (2004) afirma que uma estrada rural deve apresentar largura suficiente para acomodar o tráfego e capacidade de suportar as cargas das rodas dos veículos ao longo do tempo, considerando a variação das condições climáticas. Além disso, deve possuir um bom sistema de drenagem, para evitar problemas de erosão ou capacidade de suporte.

Os maiores problemas que uma estrada rural pode apresentar surgem devido a seção transversal inadequada e deficiência do sistema de drenagem, sendo o tráfego e a ação das intempéries fatores que aceleram o processo de deterioração da superfície da estrada, principalmente quando não existe manutenção adequada. Outro fator que influencia a aparição de defeitos é o tipo de solo da superfície de rolamento. Entre os defeitos mais comuns encontrados em estradas com solos arenosos pode citar-se corrugações, buracos (em trechos planos) e problemas de erosão (em trechos com rampas acentuadas), enquanto nas estradas com solo argiloso, os defeitos mais frequentes são os atoleiros (em trechos planos), pista escorregadia, poeira e segregação de agregados (FERREIRA, 2004).

Segundo Oliveira (2009), as alterações presentes numa via podem ser hierarquizadas em graus ou níveis de severidade que variam de acordo com a interferência e a trafegabilidade

da via, sendo a severidade a dificuldade que um tipo de defeito impõe ao movimento do veículo.

### 3.3.1 Tipo de defeito

A avaliação das condições da superfície de rolamento de uma estrada é feita por meio do levantamento de defeitos em campo. Durante o levantamento de defeitos devem ser selecionados aqueles mais significativos com suas respectivas dimensões (quando for o caso) e a severidade (alta, média, baixa) de cada um.

Eaton et al (1988), desenvolveram um método de avaliação da condição de estradas não pavimentadas. Neste método são considerados sete defeitos e seus respectivos graus de severidade (alta, média e baixa). Dentre os defeitos considerados tem-se: seção transversal inadequada, drenagem lateral inadequada, corrugações, buracos, poeira, trilha de roda e segregação de agregados. Nesta pesquisa será utilizado o método desenvolvido por Eaton et al (1988), com algumas adaptações citadas por Baesso e Gonçalves (2003).

#### 3.3.1.1 Seção transversal inadequada

A seção transversal inadequada surge devido a uma superfície sem declividade adequada que permita direcionar a água para as sarjetas ou valetas. Esta condição é causada pelo fluxo de água na superfície de rolamento e erosão devido à intensidade da chuva. Este defeito pode ser avaliado pela facilidade de escoamento da água na superfície da estrada em direção a um local que não afete as condições de rolamento e que permita a evacuação da água (ODA, 1995).

Eaton et al. (1988) classifica a qualidade da estrada de acordo com níveis de severidade. Os níveis de severidade para a seção transversal apresentam-se a seguir:

Severidade Baixa: superfície da estrada sem declividade transversal, isto é, superfície praticamente plana, ou a pista apresenta baixa quantidade de poças de água, conforme ilustrado na **Figura 3.7**.

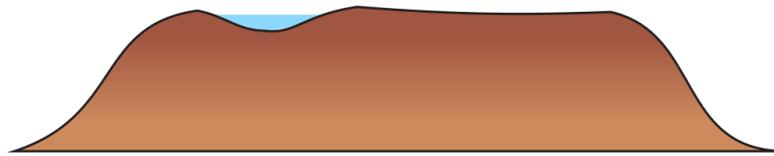
**Figura 3.7** Seção transversal imprópria com nível de severidade baixa.



Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003).

Severidade Média: a seção transversal da estrada apresenta forma parabólica ou a superfície apresenta moderada quantidade de poças de água, conforme ilustra a **Figura 3.8**.

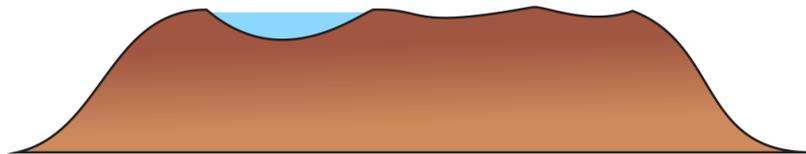
**Figura 3.8** Seção transversal imprópria com nível de severidade média.



Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003).

Severidade Alta: grandes depressões na superfície da estrada ou a pista apresenta alta quantidade de poças de água, conforme ilustração na **Figura 3.9**.

**Figura 3.9** Seção transversal imprópria com nível de severidade alta.



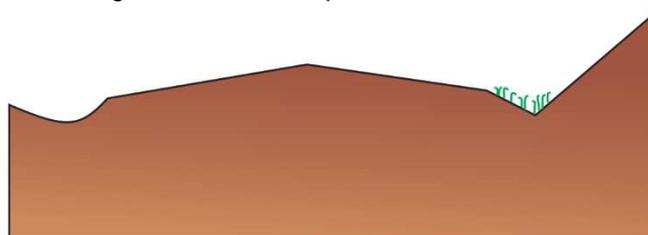
Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003).

### 3.3.1.2 Drenagem lateral inadequada

A drenagem lateral inadequada pode ser verificada com a presença de valetas cobertas de vegetação ou cheias de entulhos e que não permita o transporte de água provocando o empoçamento da mesma (EATON ET AL., 1988). A drenagem começa a ser um problema quando a drenagem superficial e os bueiros não estão em condições de conduzir as águas. Do ponto de vista da severidade, tem-se:

Severidade baixa: baixas quantidades de poças de água nas valetas, pouca vegetação e entulho nos sistemas de drenagem, conforme ilustrado na **Figura 3.10**.

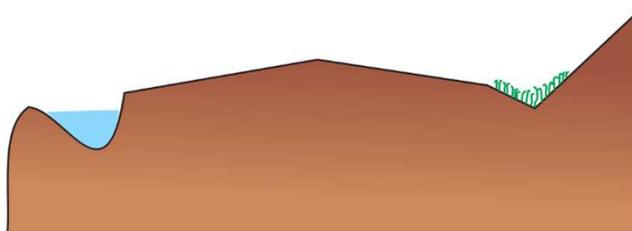
**Figura 3.10** Drenagem lateral inadequada com nível de severidade baixa.



Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003).

Severidade média: quantidade moderada de poças de água nas valetas, moderada vegetação, detritos e erosão nos dispositivos de drenagem, conforme o desenho na **Figura 3.11**.

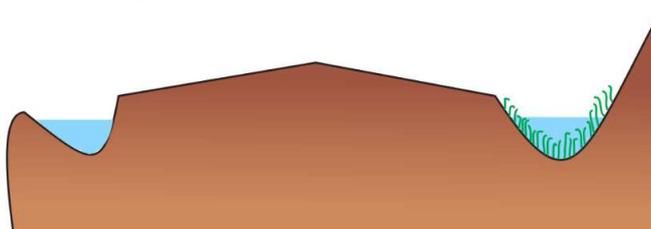
**Figura 3.11** Drenagem lateral inadequada com nível de severidade média.



Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003).

Severidade alta: alta quantidade de poças de água, valetas cobertas de vegetação e entulho, além de erosão das valetas, conforme desenho na **Figura 3.12**.

**Figura 3.12** Drenagem lateral inadequada com nível de severidade alta.



Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003).

### 3.3.1.3 Corrugações

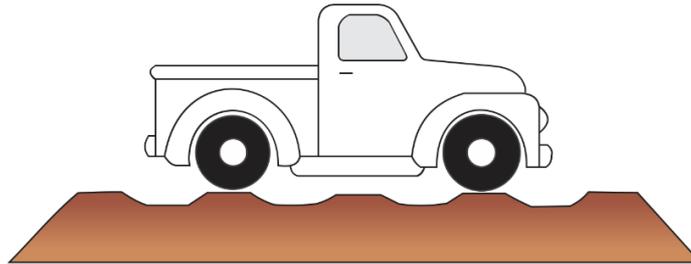
As corrugações são depressões que aparecem na pista de rolamento das estradas vicinais de terra, localizadas em intervalos regulares e perpendiculares ao sentido do tráfego dos veículos (NAZARETH E RODRIGUES, 2014).

A presença deste defeito nas vias se deve à falta da capacidade de suporte do subleito e à deficiência ou ausência do sistema de drenagem, isto é, devido a ação do tráfego e das precipitações pluviométricas (OLIVEIRA, 2009).

Do ponto de vista da severidade, Eaton et al. (1988) classificam as corrugações segundo as dimensões das depressões como apresentado a seguir.

Severidade baixa: profundidade das corrugações da pista menores que 2,5 cm, conforme desenho na **Figura 3.13**.

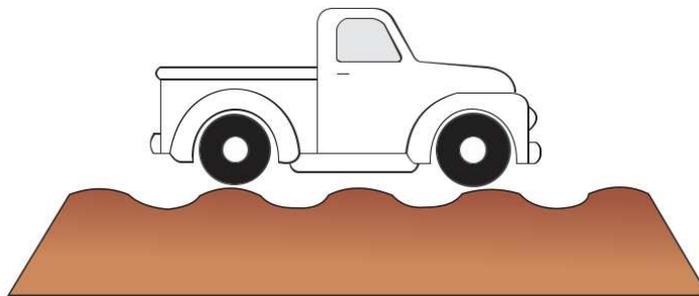
**Figura 3.13** Corrugações da pista de rolamento com nível de severidade baixa.



Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003).

Severidade média: profundidade das corrugações da pista entre 2,5 a 7,5 cm, conforme ilustração na **Figura 3.14**.

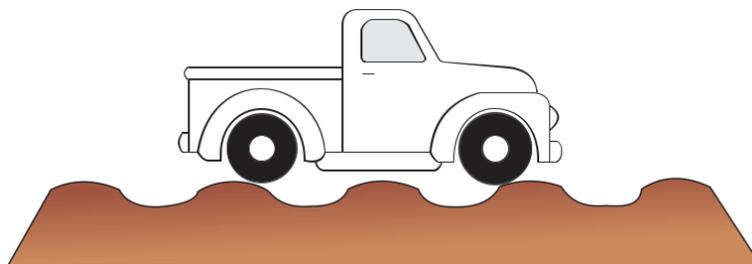
**Figura 3.14** Corrugações da pista de rolamento com nível de severidade média.



Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003).

Severidade alta: profundidade das corrugações maiores a 7,5 cm, conforme desenho na **Figura 3.15**.

**Figura 3.15** Corrugações da pista de rolamento com nível de severidade alta.



Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003).

#### 3.3.1.4 Buracos

Os buracos são depressões em forma de tigela na superfície da estrada, tendo geralmente menos de 100cm de diâmetro. Os buracos são produzidos quando o tráfego

desgasta pequenos pedaços da superfície da estrada, havendo aumento do defeito quando a água se acumula dentro do buraco (EATON ET AL., 1988).

Oliveira (2009), relata que os buracos aparecem devido a deficiência de drenagem, na maioria das vezes por falta de abaulamento transversal.

Os níveis de severidade para os buracos consideram o diâmetro e a profundidade de acordo com a **Tabela 3.2** apresentada a seguir:

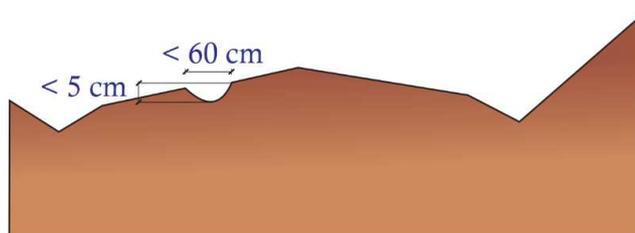
**Tabela 3.2** Níveis de severidade dos buracos

Profundidade	Diâmetro Médio			
	< 30 cm	30 – 60 cm	60 – 90 cm	> 90 cm
Máxima				
1 – 5 cm	Baixa	Baixa	Média	Média
5 – 10 cm	Baixa	Média	Alta	Alta
> 10 cm	Média	Alta	Alta	Alta

Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

Severidade baixa: buracos com profundidade menor que 5 cm e diâmetro menor que 60 cm, conforme desenho na **Figura 3.16**.

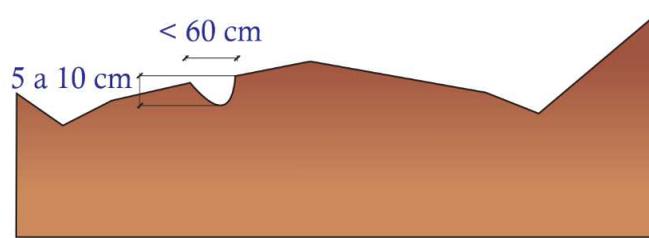
**Figura 3.16** Buracos na pista com grau de severidade baixa.



Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

Severidade média: buracos com profundidade entre 5 a 10 cm e diâmetro menor que 60 cm, conforme ilustração na **Figura 3.17**.

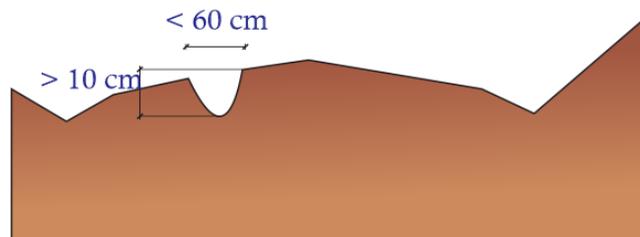
**Figura 3.17** Buracos na pista com grau de severidade média.



Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

Severidade alta: buracos com profundidade maior que 10 cm e diâmetro menor que 60 cm, conforme desenho na **Figura 3.18**.

**Figura 3.18** Buracos na pista com grau de severidade alta.



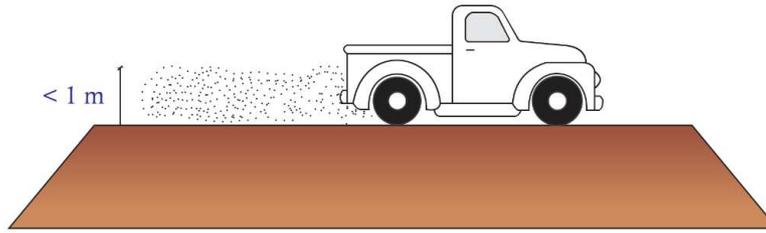
Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

### 3.3.1.5 Poeira

O desgaste provocado pelo tráfego em estradas não pavimentadas faz com que as partículas de solo aglutinantes se soltem da superfície de rolamento. Devido ao tráfego de veículos, formam-se nuvens de poeira que constituem um perigo para os demais veículos além de provocar problemas ambientais (EATON ET AL., 1988).

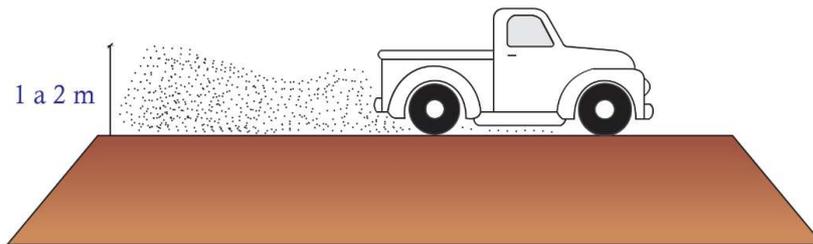
A severidade é determinada através da medição do tamanho de uma nuvem de poeira provocada pelo tráfego de um veículo a 40 km/h e pela redução da visibilidade.

Severidade baixa: o tráfego normal produz poeira pouco densa que não obstrui a visibilidade, com uma altura de nuvem menor que 1 m, segundo ilustração na **Figura 3.19**.

**Figura 3.19** Poeira com grau de severidade baixa.

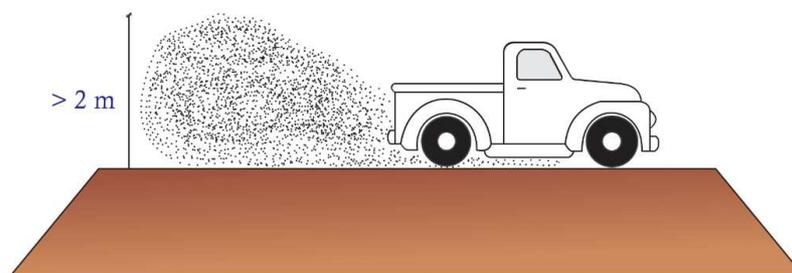
Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

Severidade média: o tráfego produz poeira densa que obstrui parcialmente a visibilidade e diminui sensivelmente a velocidade de operação da estrada, a altura da nuvem situa-se entre 1 a 2 m, conforme apresentado na **Figura 3.20**.

**Figura 3.20** Poeira com grau de severidade média.

Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

Severidade alta: o tráfego produz uma nuvem de poeira muito densa causando obstrução severa da visibilidade com tráfego lento ou parado, apresentando uma altura da nuvem maior a 2 m, como ilustrado na **Figura 3.21**.

**Figura 3.21** Poeira com grau de severidade alta.

Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

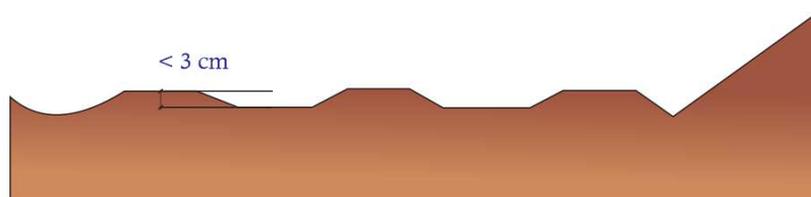
### 3.3.1.6 Trilha de roda

O afundamento de trilha de roda é uma depressão superficial na trajetória da roda do veículo, isto é, paralelo ao eixo da estrada. As trilhas de roda caracterizam-se pela deformação na camada de revestimento ou na base/subleito da estrada, causada pela ação combinada do tráfego repetitivo com deficiência de compactação e/ou capacidade de suporte dos materiais da superfície de rolamento ou de camadas subjacentes (EATON ET AL., 1988).

Na avaliação da estrada não pavimentada Eaton et al. (1988), classificam a qualidade da via segundo a profundidade da trilha segundo:

Severidade baixa: profundidade da trilha menor que 3 cm conforme a **Figura 3.22**.

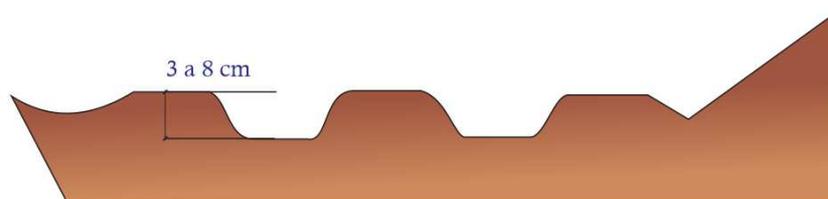
**Figura 3.22** Trilha de roda com grau de severidade baixa.



Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

Severidade média: profundidade da trilha entre 3 cm e 8 cm, conforme **Figura 3.23**.

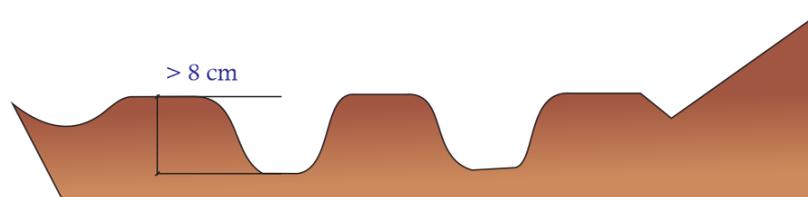
**Figura 3.23** Trilha de roda com grau de severidade média.



Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

Severidade alta: profundidade da trilha maior que 8cm, conforme a **Figura 3.24**.

**Figura 3.24** Trilha de roda com grau de severidade alta.



Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

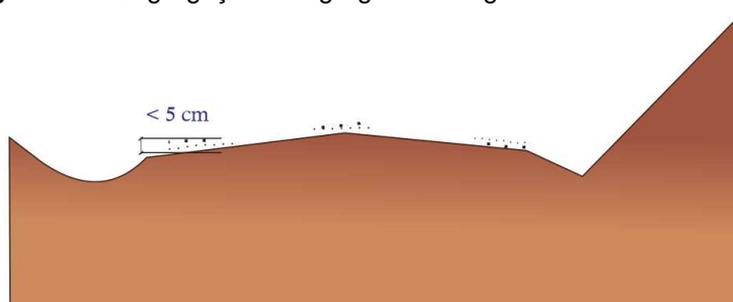
### 3.3.1.7 Segregação de agregado

Para Eaton et al. (1988), o desgaste ocasionado pelo tráfego em estradas não pavimentadas eventualmente faz com que as partículas maiores de solos granulares aflorem na superfície de rolamento. Como consequência, as frações desagregadas tendem a se concentrar paralelamente à direção do tráfego formando bermas no centro ou ao longo do acostamento.

Na avaliação da estrada não pavimentada Eaton et al. (1988), classificam a qualidade da via segundo a altura das bermas segundo:

Severidade baixa: pouca perda de agregado na superfície da pista, ou bermas de agregados com altura menor que 5 cm, conforme desenho na **Figura 3.25**.

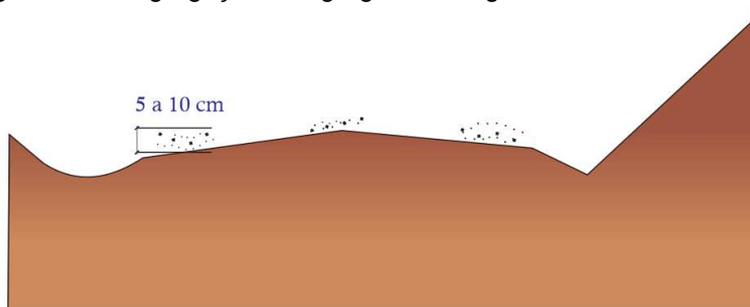
**Figura 3.25** Segregação de agregado com grau de severidade baixa.



Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

Severidade média: moderada perda de agregado na superfície da pista, ou bermas de agregados com altura entre 5 e 10 cm, conforme ilustração na **Figura 3.26**.

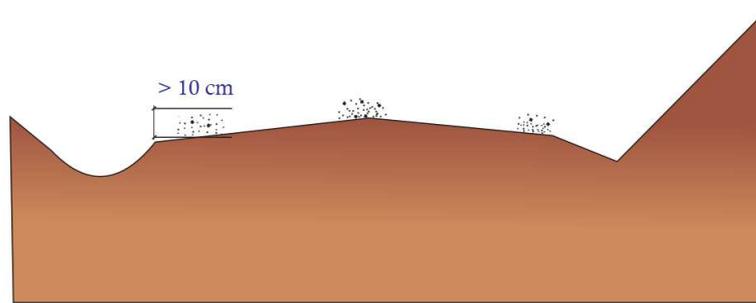
**Figura 3.26** Segregação de agregado com grau de severidade média.



Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

Severidade alta: elevada quantidade de agregado solto na superfície da pista, ou bermas de agregados com mais de 10cm de altura, conforme desenho na **Figura 3.27**.

**Figura 3.27** Segregação de agregado com grau de severidade alta.



Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

### 3.4 Avaliação das condições da estrada não pavimentada

De acordo com Oda (1995), a avaliação das condições da estrada não pavimentada pode ser realizada através da observação e medição dos defeitos. Os defeitos são irregularidades que apresenta a estrada, provocando desconforto aos usuários, e dependendo do grau de severidade podem comprometer a segurança dos mesmos, além de interferir na velocidade de operação dos veículos.

O *U.S. Army Corps of Engineers* (Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América) desenvolveu um método de avaliação das condições da superfície de uma estrada não pavimentada. O método consiste em classificar a estrada a partir do cálculo do Índice de condição da estrada não pavimentada - *Unsurfaced Road Condition Index* (URCI).

O índice é obtido através do cálculo de valores de dedução, os quais variam com o grau de severidade dos defeitos e das densidades. O grau de severidade dos defeitos varia em função da dimensão dos defeitos em relação a área do trecho analisado. A partir de ábacos propostos por Eaton et al. (1988) os quais relacionam severidade e densidade, determina-se o valor do índice de condição da estrada não pavimentada (URCI).

O objetivo deste método é disponibilizar uma ferramenta de gerenciamento da manutenção de estradas não pavimentadas que auxilie o administrador a priorizar os investimentos a serem aplicados na malha rodoviária, visto que muitas vezes os recursos financeiros para manutenção desta infra-estrutura são escassos e necessitam ser aplicados de forma racional. Os dados obtidos nestas avaliações são os elementos básicos para definição das necessidades de manutenção e de sua priorização na rede como um todo (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

### 3.5 Manutenção das estradas rurais

Segundo a Secretaria de Comunicações e Transporte (2014), durante a operação das estradas, nelas incidem diversos fatores que afetam seu desempenho. Alguns dos fatores que afetam a trafegabilidade nas estradas são: o tipo de veículo, número de veículos que trafegam num determinado intervalo de tempo, fatores meteorológicos, entre outros, os quais podem ocasionar deterioração da superfície de rolamento.

Baesso e Gonçalves (2003), definem o termo manutenção como sendo o conjunto de atividades destinadas a assegurar um transporte seguro, econômico e confortável em uma estrada. As atividades de manutenção devem evitar a deterioração precoce da estrutura da estrada e, por conseguinte, a necessidade de serviços de reconstrução, para diminuir a perda de capital já investido.

O DER/SP (2012b) afirma que para manter as estradas em boas condições de trafegabilidade, é importante realizar as atividades de manutenção da infraestrutura existente, com o objetivo de obter uma maior durabilidade, e proporcionar maior segurança e conforto aos usuários. A conservação de uma estrada de terra é constituída basicamente por atividades que permitem manter a superfície firme e livre de excesso de material solto, assim como manter o abaulamento adequado com o objetivo de garantir o fluxo de água superficial. A aplicação de tratamento contra poeira também é uma atividade de manutenção que ajuda a diminuir a perda de material superficial.

Entre as atividades de manutenção tem-se a manutenção de emergência (reconstrução), manutenção corretiva e a manutenção preventiva. A manutenção de emergência consiste em renovar total ou parcialmente os padrões de serviço da estrada, podendo envolver o alargamento da plataforma de uma estrada, relocação de parte do traçado ou ainda a execução de reforço das condições estruturais da sua superfície de rolamento. A manutenção corretiva consiste em manter todos os elementos da estrada com o mínimo possível de alterações, isto é, com as mesmas características e condições que apresentavam logo após sua construção ou recuperação, podendo envolver atividades como reparos localizados de defeitos na pista de rolamento, roçadas e limpeza de dispositivos de drenagem superficial. Já a manutenção preventiva é executada com o intuito de evitar o surgimento ou agravamento dos defeitos, preservar as características superficiais, a integridade estrutural e conseqüentemente a serventia da estrada.

Devido à falta de recursos, as atividades de conservação de estradas municipais não pavimentadas são limitadas a práticas emergenciais correspondente à recomposição do corpo

estradal (remoção de barreiras, reconstrução de aterros), conservação corretiva de rotina (reconformação de plataforma, limpeza de valetas e sarjetas, recomposição de dispositivos de drenagem). Se houver serviços de manutenção preventiva periódica, então tem-se: recomposição de revestimento primário, melhorias no traçado, execução de obras de drenagem e de proteção à erosão (DER/SP, 2012b).

Segundo Francis (2014), a partir da determinação do Índice da Condição de Estradas não pavimentadas (URCI), o qual avalia as condições superficiais, pode-se determinar a atividade de conservação necessária conforme apresentado na **Tabela 3.3**.

**Tabela 3.3** Atividades de conservação relacionadas ao índice URCI

Índice URCI	Atividades de conservação
<b>0 – 40</b>	Manutenção de emergência
<b>40 – 70</b>	Manutenção corretiva
<b>70 – 100</b>	Manutenção preventiva

**Fonte:** Francis (2014)

## 4. METODOLOGIA

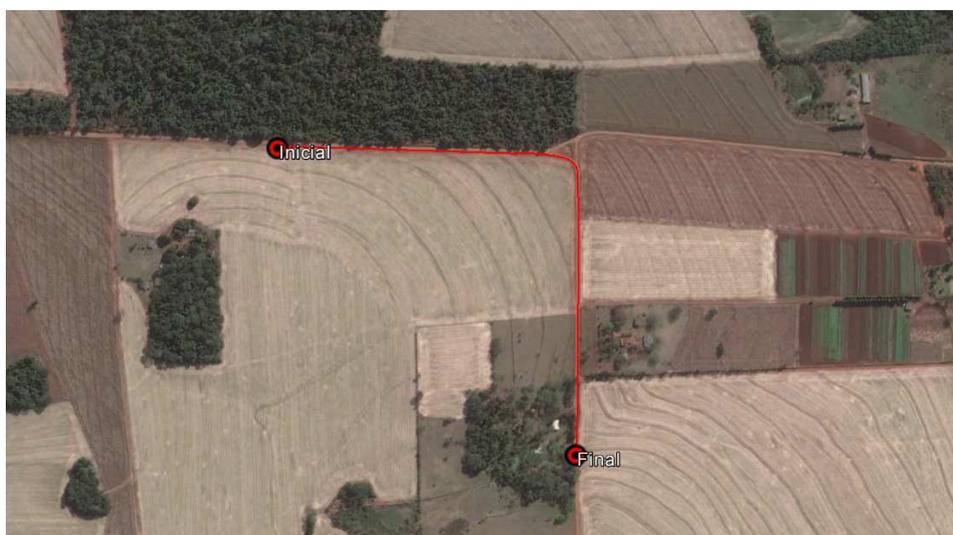
Para a execução deste trabalho, foi necessário realizar a avaliação das condições de um trecho de estrada rural selecionada para o estudo, e caracterização da mesma, por meio do levantamento de dados em campo e ensaios laboratoriais. Em seguida, identificou-se a necessidade de readequação da estrada conforme os resultados obtidos. O trabalho foi concluído com a apresentação das intervenções para reabilitação da estrada e as atividades para manutenção.

### 4.1 Caracterização da Área

O município de Foz do Iguaçu localiza-se no extremo oeste do Estado do Paraná, na fronteira do Brasil com o Paraguai e a Argentina, encontra-se geograficamente localizado nas coordenadas 25° 32' 45" S latitude e 54° 35' 07" O longitude. Segundo a Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu (2017), o município apresenta uma área urbana de 191,46 km<sup>2</sup> e uma área rural de 138,60 km<sup>2</sup>. Tem-se clima subtropical úmido, com verões quentes, geadas poucos frequentes e chuvas em todos os meses do ano. Além disso a temperatura média alcança 22,1°C e umidade relativa do ar atinge 72,4%. A região de Foz de Iguaçu, apresenta relevo com encostas levemente onduladas, com solos de textura argilosa, de origem vulcânica.

O trecho da estrada selecionada para o estudo situa-se na Rua Uruaçu, na região de Aparecidinha, no município de Foz do Iguaçu, com comprimento de aproximadamente 1 km. O início da estrada situa-se geograficamente nas coordenadas 25° 30' 26,18" S latitude e 54° 29' 28,82" O longitude, e o final situa-se nas coordenadas 25° 30' 43,98" S latitude e 54° 29' 11,14" O longitude, como ilustração na **Figura 4.1**.

**Figura 4.1** Localização geográfica da estrada em estudo



Fonte: Adaptado Google Earth (2017)

## 4.2 Desenvolvimento da pesquisa

Para dar início a pesquisa foram realizadas visitas de campo, a fim de avaliar o estado ou condições da estrada rural. Essa condição foi estimada a partir do método desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos de América. Assim foi possível determinar o Índice da Condição de Estrada não pavimentada. Seguidamente realizou-se coleta de amostras de solo para realização de ensaios de caracterização. Também foram realizados levantamentos topográficos e de volume de tráfego.

Uma vez realizada as atividades descritas, identificou-se a necessidade de manutenção da infraestrutura rural não pavimentada, visando eliminar as patologias que a estrada apresentava e conseqüentemente garantir as boas condições de trafegabilidade aos usuários.

Apresenta-se a seguir a metodologia utilizada para a realização do levantamento da condição da estrada, levantamentos topográficos, levantamentos para a determinação do volume de tráfego e ensaios laboratoriais para a caracterização do solo.

### 4.2.1 Avaliação das condições da estrada rural

O método consiste em avaliar as condições da estrada não pavimentada a partir de levantamento de sete defeitos em campo (Seção transversal inadequada, Drenagem lateral inadequada, Corrugações, Buracos, Poeira, Trilha de roda e Segregação de agregados). Para isto, foi necessário considerar as dimensões e severidade de cada um dos defeitos, obtendo-se o índice URCI, o qual indica a integridade da estrada e suas condições de operação, a partir de uma escala numérica variando de zero a cem. A seguir apresenta-se as etapas para a obtenção do índice URCI da estrada em estudo.

1. O trecho da estrada selecionada para o estudo foi inicialmente dividido em seções contendo características semelhantes (composição estrutural do revestimento, condições da pista de rolamento e volume de tráfego) em toda sua extensão. Na seqüência o trecho foi subdividido em subseções representativas com 50 m de extensão, conforme ilustrado na **Figura 4.2**.

**Figura 4.2** Subseções da estrada

Fonte: Adaptado Google Earth (2017)

2. Em seguida, cada subseção foi avaliada a partir da observação e medição detalhada dos defeitos com as respectivas severidades. Para a medição dos defeitos foi necessário a utilização de materiais como trena e régua para a medição dos defeitos, conforme ilustra a **Figura 4.3**. Os dados obtidos nesta avaliação foram registrados numa ficha de inspeção conforme a **Figura 4.4**.

**Figura 4.3** Medição de defeitos



**Tabela 4.1** Fator de correção de unidades

Tipo de defeito	Valor do Fator K
Seção transversal inadequada	3,281
Drenagem Inadequada	3,281
Corrugações	1
Buracos	10,764
Trilha de roda	1
Segregação de agregados	3,281

**Fonte:** Adaptado Baesso e Gonçalves (2003)

4. Seguidamente, mediante ábacos determinou-se o Valor de Dedução Individual (VDU) associado a cada defeito, a partir da densidade dos defeitos e do nível de severidade de cada um.

5. Para a determinação do índice URCI foi utilizado um ábaco que relaciona o valor de dedução total (VDT) e um valor “q”. O valor de dedução total é calculado a partir da somatória dos valores de dedução individual associado a cada defeito, e “q” é o número de valores individuais dedutíveis maiores que 5.

6. Uma vez determinado o índice URCI, a estrada foi classificada com base na escala numérica proposta por Eaton et al. (1988) conforme **Tabela 4.2** apresentada a seguir:

**Tabela 4.2** Classificação da estrada a partir do índice URCI

Índice URCI	Classificação da estrada
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muito Boa
70 – 55	Boa
55 – 40	Regular
40 – 25	Pobre
25 - 10	Muito Pobre
10 - 0	Péssima

**Fonte:** Adaptado Eaton et al. (1988)

## 4.2.2 Levantamento Topográfico

Para a realização do levantamento topográfico, foram utilizados receptores GNSS RTK (*Global Navigation Satellite System*), tripé, piquetes e trena, entre outros. Para dar início ao levantamento, instalou-se o receptor (Base) em um ponto fixo próximo a estrada. Em seguida mediu-se a altura do receptor e configurou-se o equipamento conforme ilustrado na **Figura 4.5**.

**Figura 4.5** Instalação e configuração da Base RTK



Uma vez configurada a base, procedeu-se à instalação e configuração dos receptores móveis (*Rovers*). Já com os equipamentos instalados e configurados, foi realizado o levantamento da estrada de forma cinemática em tempo real, coletando pontos do eixo e das laterais assim como áreas adjacentes, de forma estratégica, visando obter uma boa representação do terreno. Foram selecionados pontos que tivessem posição fixa, isto é, que o receptor registrasse as coordenadas relativas atuais. Na **Figura 4.6**, ilustra-se o levantamento de pontos em campo utilizando o receptor GNSS.

Uma vez coletados todos os pontos necessários, os mesmos foram transferidos para computador e processados. Seguidamente eles foram pós-processados através do serviço online PPP (Posicionamento por ponto preciso) proporcionado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), permitindo obter coordenadas referenciadas ao SIRGAS 2000.

**Figura 4.6** Coleta de pontos utilizando o GPS

#### 4.2.3 Coleta de amostras de solo para ensaios de caracterização

Foram coletadas amostras de solo para cada subseção indicada na **Figura 4.2**. Para a extração das amostras de solo, foram necessárias a utilização de equipamentos como pá, enxada e sacos de lona. Inicialmente com o auxílio de pá e enxada foi retirada a camada de solo orgânico e em seguida foram coletados aproximadamente 15 kg de amostra de solo, os quais foram colocados em sacos de lona para facilitar o transporte, conforme **Figura 4.7**.

**Figura 4.7** Coleta de amostras

A preparação das amostras para os ensaios de caracterização de solo, foi realizada conforme a NBR 6457 (ABNT, 1986). Inicialmente as amostras foram colocadas em bandejas para secagem ao ar e conseguir uma umidade próxima à higroscópica. Seguidamente, foram

desmanchados os torrões de forma a homogeneizar a amostra, conforme ilustrado na **Figura 4.8**.

**Figura 4.8** Preparação da amostra



#### **4.2.4 Caracterização do material**

A caracterização do material refere-se à identificação das propriedades físicas dos materiais constituintes das subseções da estrada em estudo. No presente trabalho foram realizados ensaios de granulometria, limites de liquidez e plasticidade.

##### **4.2.4.1 Ensaio de Granulometria**

O ensaio de determinação da composição granulométrica para agregados descritos na NBR 7217 (ABNT, 1987), consiste na determinação da porcentagem em peso das diferentes frações de agregados constituintes de solo. Através desse ensaio foi possível determinar o tamanho das partículas e sua respectiva composição em porcentagem, permitindo a identificação de materiais granulares e materiais finos.

Para a realização deste ensaio foram utilizados os seguintes aparelhos: Estufa capaz de manter uma temperatura entre 105°C e 110°C, balança com resolução de 0,01g, peneiras com aberturas em milímetros (50-38-25-19-9,5-4,8-2-1,2-0,6-0,42-0,25-0,15-0,075), agitador mecânico com dispositivo para fixação de 6 peneiras.

A seguir descreve-se o procedimento realizado para determinação da distribuição granulométrica:

1. Foram utilizados 4kg de amostra para análise granulométrica, conforme as indicações da NBR 6457 (ABNT, 1986).
2. Foram desmanchados os torrões ainda existentes e em seguida passou-se a amostra na peneira de 2 mm. A parcela retida na peneira de 2 mm foi lavada com a finalidade de eliminar material fino aderente e colocada numa estufa a 105°C. Foram tomados 230 g da parcela passadas na peneira de 2 mm, dos quais foram tomados 100 g para a determinação da umidade higroscópica e 130 g foi lavado na peneira de 0,075 mm e secado na estufa até constância de massa.
3. Após 24h as amostras lavadas na peneira de 2 mm e 0,075 mm, foram retiradas da estufa e posteriormente pesadas.
4. A amostra seca retida na peneira de 2 mm, foi passada com ajuda de um agitador mecânico nas peneiras de abertura 50-38-25-19-9,5-4,8-2 mm, e posteriormente foram pesadas as parcelas retidas em cada peneira.
5. A amostra seca retida na peneira de 0,075 mm, foi passada com ajuda de um agitador mecânico nas peneiras de abertura 1,2-0,6-0,42-0,25-0,15-0,075 mm, e posteriormente foram pesadas as parcelas retidas em cada peneira.

Apresenta-se a seguir as **Figura 4.9a** e **4.9b** ilustrando o material retido e passado na peneira de 2 mm e a sua secagem na estufa uma vez lavadas.

**Figura 4.9** (a) A mostra passada e retida na peneira de 2 mm, (b) Secagem das amostras



(a)



(b)

Nas **Figuras 4.10a** e **4.10b**, apresenta-se o peneiramento das amostras e a sua posterior pesagem.

**Figura 4.10** (a) Peneiramento da amostra, (b) Pesagem das parcelas retidas nas peneiras



(a)



(b)

Para o cálculo da porcentagem de material grosso que passa nas peneiras 50-38-25-19-9,5-4,8-2 mm, foram utilizadas as equações (2) e (3):

$$Q_g = \frac{(M_s - M_i)}{M_s} \cdot 100 \quad (2)$$

Com

$$M_s = \frac{(M_t - M_g)}{(100 + h)} \cdot 100 + M_g \quad (3)$$

Sendo

$M_s$  = massa total da amostra seca;

$M_t$  = massa da amostra seca ao ar;

$M_g$  = massa do material seco retido na peneira de 2 mm;

$h$  = umidade higroscópica do material passado na peneira de 2 mm;

$M_i$  = massa do material retido acumulado em cada peneira.

A umidade higroscópica ( $h$ ), foi obtida utilizando a equação (4):

$$h = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \cdot 100 \quad (4)$$

Sendo

$M_1$  = massa do solo úmido mais a massa do recipiente;

$M_2$  = massa do solo seco mais a massa do recipiente;

$M_3$  = massa do recipiente;

Para o cálculo da porcentagem de material fino que passa nas peneiras 1,2-0,6-0,42-0,25-0,15-0,075 mm, foi utilizada a equação (5):

$$Q_f = \frac{M_h \cdot 100 - M_i(100 + h)}{M_h \cdot 100} \cdot N \quad (5)$$

Sendo

$M_h$  = massa do material úmido submetido ao peneiramento fino;

$N$  = porcentagem de material que passa na peneira 2 mm (valor calculado no peneiramento grosso).

#### 4.2.4.2 Ensaio do Limite de Liquidez

O ensaio para a determinação do limite de liquidez permite obter o conteúdo de água acima do qual o solo perde as características de plasticidade, passando a se comportar como um fluido viscoso, isto é, o limite de liquidez representa a fronteira entre o estado plástico e o estado líquido (MORALES, 1997).

Para a realização do ensaio foram utilizados os seguintes aparelhos: Estufa capaz de manter uma temperatura entre 105°C e 110°C, cápsula de porcelana, espátula de lâmina flexível, aparelho de Casagrande, cinzel, balança com resolução de 0,01g e gabarito.

O ensaio realizou-se seguindo a metodologia descrita pela NBR 6459 (ABNT, 1984), descrita a seguir:

1. Inicialmente foram tomados 100g da amostra preparada conforme a NBR 6457 (ABNT, 1986).
2. A amostra foi colocada numa cápsula de porcelana, adicionando-se água destilada em pequenas quantidades e revolvendo-se vigorosamente durante aproximadamente 15 minutos, com o auxílio de espátula de lâmina flexível, até obter-se uma pasta homogênea.
3. Parte da amostra foi transferida para a concha do aparelho e moldou-se o material de forma a obter na região central uma espessura de 1 cm, sem apresentar bolhas.
4. Abriu-se uma ranhura na parte central da concha deslocando o cinzel de forma perpendicular à superfície da concha, de forma a separar a massa de solo em duas partes.

5. Foi girada a manivela do aparelho à razão de duas voltas por segundo, golpeando-se a concha contra a base do aparelho. Anotou-se o número de golpes necessários para que a bordas inferiores da ranhura se unissem ao longo de 13 mm.
6. Transferiu-se parte da amostra das bordas que se uniram para uma cápsula metálica, seguidamente pesada e colocada em estufa a 105°C.
7. O restante da massa foi transferido para a cápsula de porcelana, para repetir o procedimento de forma a obter no mínimo 3 pontos, que cubram o intervalo de 15 a 35 golpes.
8. Após 24h as cápsulas metálicas foram retiradas da estufa e pesadas, para a posterior determinação da umidade.

As **Figuras 4.11a** e **4.11b** apresentam a aparelhagem necessária para o ensaio e homogeneização do material, através da adição de água destilada.

**Figura 4.11** (a) Aparelhagem para o ensaio, (b) Preparação da amostra



(a)



(b)

As **Figuras 4.12a** e **4.12b** ilustram a ranhura feita com o cinzel na parte central da concha e a pesagem da amostra das bordas que se uniram durante o ensaio.

**Figura 4.12** (a) Ranhura na parte central da concha, (b) Pesagem da amostra

Uma vez finalizado o ensaio, foi gerado um gráfico de umidade em função do número de golpes, ajustando os pontos por meio de uma reta. A partir do gráfico foi possível determinar a umidade necessária para fechar a ranhura com 25 golpes, sendo esta umidade correspondente ao Limite de Liquidez.

#### 4.2.4.3 Ensaio do Limite de Plasticidade

O ensaio para a determinação do limite de plasticidade permite obter o teor de umidade a partir do qual o solo passa a apresentar um comportamento plástico. O limite de plasticidade representa a fronteira entre o estado semi-sólido e o estado plástico de um solo (MORALES, 1997).

Para a realização do ensaio foram utilizados os seguintes aparelhos: Estufa capaz de manter uma temperatura entre 105°C e 110°C, cápsula de porcelana, cápsula metálica, espátula de lâmina flexível, balança com resolução de 0,01g, gabarito cilíndrico com 3 mm de diâmetro e placa de vidro esmerilhada.

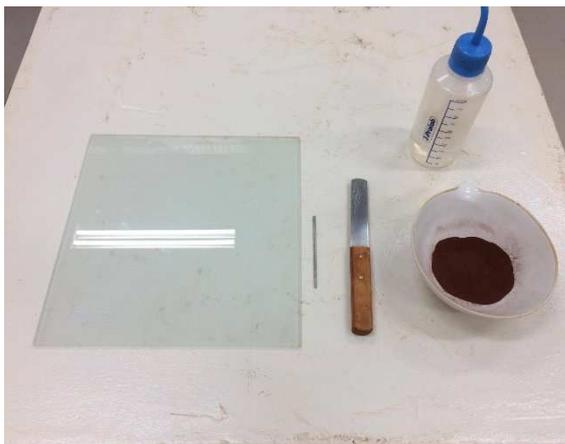
Foram seguidas as prescrições da NBR 7180 (ABNT, 1984) para a realização do ensaio de determinação do limite de plasticidade, as quais são apresentadas a seguir:

1. Inicialmente foram tomados 100 g de cada amostra, que foi preparada conforme a NBR 6457 (ABNT, 1986) e colocada numa cápsula de porcelana. Seguidamente foi adicionada água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo continuamente de forma a obter uma pasta homogênea.

2. Foi tomado cerca de 10 g da amostra para moldagem em forma de bola, a qual foi posteriormente rolada numa placa de vidro, com pressão suficiente para formar um cilindro de cerca de 3 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento.
3. Se o cilindro se fragmentava antes de atingir o diâmetro de 3 mm, então a amostra era devolvida à cápsula de porcelana, em seguida era adicionada água destilada e repetia-se o procedimento.
4. Uma vez que a amostra fragmentava-se alcançando o diâmetro de 3 mm, a mesma era transferida para a cápsula metálica, pesada e colocada em estufa a 105°C, para a posterior determinação da umidade. Repetiu-se o procedimento 3 vezes para cada amostra.

As **Figuras 4.13a** e **4.13b** apresentam a aparelhagem necessária para o ensaio e a homogeneização do material, através da adição de água destilada.

**Figura 4.13** (a) Aparelhagem para ensaio (b) Amostra homogeneizada



(a)



(b)

As **Figuras 4.14a** e **4.14b** apresentam a moldagem do cilindro de 3 mm de diâmetro e amostras colocadas em cápsulas metálicas.

**Figura 4.14** (a) Moldagem do cilindro (b) Colocação da amostra em cápsulas metálicas

A umidade do cilindro moldado foi determinada utilizando a equação (4), sendo o limite de plasticidade obtido a partir da média dos teores de umidades.

O índice de plasticidade (IP) foi obtido através da diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade.

#### 4.2.5 Determinação do Índice de Suporte

Segundo o DNER (1981), caso não se disponha dos resultados do Índice de Suporte (IS) dos materiais do subleito, o valor pode ser estimado em função do Índice de Grupo (IG). O índice de grupo depende apenas dos resultados de ensaios de granulometria e dos resultados dos índices físicos Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade.

Através dos ensaios de caracterização do solo, determinou-se o Índice de Grupo (IG), por meio da equação (6) apresentada a seguir:

$$IG = 0,2 \cdot a + 0,005 \cdot a \cdot c + 0,01 \cdot b \cdot d \quad (6)$$

Sendo

$$a = p - 35$$

para  $p < 35$  adota – se 35

para  $p > 75$  adota – se 75

$$b = p - 15$$

para  $p < 15$  adota – se 15

para  $p > 55$  adota – se 55

$$c = LL - 40$$

para  $LL < 40$  adota – se 40

para  $LL > 60$  adota – se 60

$$d = IP - 10$$

para  $IP < 10$  adota – se 10

para  $IP > 30$  adota – se 30

Onde “ $p$ ” é a porcentagem do material passante na peneira de abertura 0,075 mm. Os valores de “ $a$ ” e “ $b$ ” variam entre 0 e 40, já os valores de “ $c$ ” e “ $d$ ” variam entre 0 e 20.

Uma vez realizado os cálculos, foi possível a determinação do Índice de Suporte (IS) de cada subseção do trecho, mediante a correlação existente entre o IG e o IS apresentada na **Tabela 4.3**.

**Tabela 4.3** Determinação do Índice de Suporte a partir do Índice de Grupo

Índice de Grupo (IG)	Índice de Suporte (IS)
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: Adaptado do DNER (1981)

Foram determinados os Índices de Suporte (IS) para as 3 amostras coletadas em campo, adotando-se a média calculada dos valores de IS, de forma que fosse representativo para o trecho em estudo.

#### 4.2.6 Determinação do Volume de Tráfego

A determinação do volume de tráfego, permite obter a quantidade e a composição do fluxo de veículos que passa em pontos específicos do sistema viário, em uma determinada unidade de tempo. As informações recolhidas em campo, são úteis para a análise de capacidade, dimensionamento de pavimentos e a realização de melhorias na via (DNIT, 2006a).

Realizou-se o levantamento do volume de tráfego no trecho em estudo a partir da contagem manual de veículos, sendo registrados e agrupados em classes (Carro, Caminhão, Trator, Ônibus, Moto e outros). A contagem de veículos foi executada durante três dias úteis da semana, no período da manhã das 8h00 às 12h00 e no período da tarde das 13h00 às 17h00.

A partir da contagem de veículos, foi possível a determinação do tráfego diário médio (TDM) no trecho da estrada em estudo, sendo este parâmetro calculado por meio da equação (7):

$$TDM = \frac{N^{\circ} \text{ de veículos}}{N^{\circ} \text{ de dias}} \quad (7)$$

Uma vez determinado o tráfego diário médio, foi utilizado o método descrito por Senço (2007), para a determinação do número de operações equivalentes de eixo padrão (N) durante o período de projeto, calculado conforme a equação (8):

$$N = 365 \cdot V_m \cdot P \cdot FE \cdot FC \cdot FR \quad (8)$$

Sendo

$V_m$  = 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;

$FE$  = fator de eixo;

$FC$  = fator de carga;

$FR$  = fator climático regional.

Para a determinação do volume médio diário no sentido mais solicitado ( $V_m$ ), foram utilizadas as equações (9) (10) e (11) apresentadas a seguir:

$$V_m = \frac{(V_1 + V_p)}{2} \quad (9)$$

Com

$$V_1 = V_o \cdot \left[ 1 + \left( \frac{p \cdot t}{100} \right) \right] \quad (10)$$

$$V_p = V_1 \cdot \left[ 1 + \left( \frac{t \cdot P}{100} \right) \right] \quad (11)$$

Sendo

$V_o$  = corresponde a 50% do TDM, em vias onde o tráfego se distribui de maneira uniforme em duas faixas;

$V_1$  = tráfego no primeiro ano do período de projeto;

$V_p$  = tráfego no ano do período de projeto;

$p$  = número de anos necessários para a execução das obras de pavimentação;

$t$  = taxa de crescimento linear de tráfego.

O fator de eixo ( $FE$ ), é um número que multiplicado pelo número de veículos, permite obter o número de eixos correspondentes. Este fator foi calculado usando a equação (12).

$$FE = \left( \frac{p_2}{100} \right) \cdot 2 + \left( \frac{p_3}{100} \right) \cdot 3 + \dots + \left( \frac{p_n}{100} \right) \cdot n \quad (12)$$

Sendo

$p_2$  = porcentagem de veículos com 2 eixos;

$p_3$  = porcentagem de veículos com 3 eixos;

$p_n$  = porcentagem de veículos com n eixos.

O fator de carga ( $FC$ ) é um coeficiente que multiplicado pelo número de eixos fornece o número de eixos equivalentes ao eixo padrão de 80 kN. Devido à falta de dados foi adotado o FC como sendo igual a 1,7 segundo recomendações de Senço (2007).

Para a consideração das variações de umidade dos materiais constituintes do pavimento, deve ser determinado o fator climático regional ( $FR$ ). Senço (2007) sugere que para o Brasil, o fator climático regional pode ser determinado utilizando a **Tabela 4.4**, considerando a altura média anual de chuva.

**Tabela 4.4** Fator Climático

Altura média anual de chuva [mm]	Fator climático regional (FR)
< 800	0,7
800 - 1500	1,4
1500	1,8

Fonte: Adaptado de Senço (2007)

#### 4.2.7 Dimensionamento do pavimento

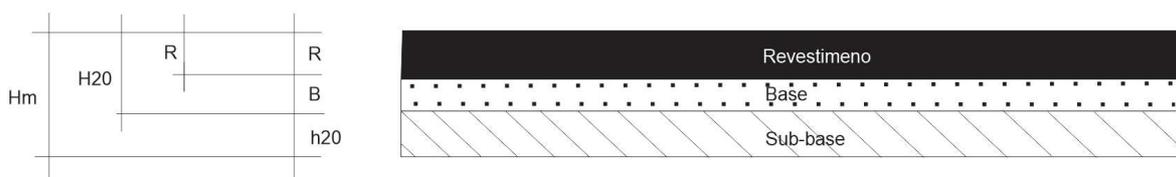
Para o dimensionamento do pavimento foram seguidas as recomendações do Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte (DNIT, 2006b). Inicialmente foi necessária a determinação da espessura mínima de revestimento betuminoso, com o auxílio do número de operações equivalentes do eixo padrão (N), conforme a **Tabela 4.5**.

**Tabela 4.5** Espessura mínima de revestimento betuminoso

N	Espessura mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5.10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5.10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5.10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5.10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: DNIT (2006b)

A seguir na **Figura 4.15**, apresenta-se as camadas e a simbologia utilizada para o dimensionamento das demais camadas do pavimento:

**Figura 4.15** Simbologia utilizada para dimensionamento das camadas do pavimento

Fonte: Adaptado DNIT (2006b)

Para a determinação da espessura total do pavimento ( $H_m$ ), foi considerado o número  $N$  e o Índice de Suporte do subleito, utilizando a seguinte formulação:

$$H_t = 77,67 \cdot N^{0,0482} \cdot IS^{-0,598} \quad (13)$$

Para o caso da determinação da espessura  $H_{20}$  (i.e, espessura da base mais revestimento), foi utilizando a expressão (13), considerando o índice de suporte da sub-base.

Determinadas as espessuras  $H_m$ ,  $H_{20}$  e  $R$ , foram calculadas as espessuras da Base e Sub-base, por meio da resolução sucessiva das seguintes inequações:

$$RK_R + BK_B \geq H_{20} \quad (14)$$

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_S \geq H_m \quad (15)$$

Sendo

$R$ = espessura do revestimento;

$B$ = espessura da base;

$h_{20}$ = espessura da sub-base;

$K_R$ = coeficiente de equivalência estrutural para o revestimento;

$K_B$ = coeficiente de equivalência estrutural para a base;

$K_S$ = coeficiente de equivalência estrutural para a sub-base.

#### 4.2.8 Dimensionamento dos dispositivos de drenagem

Para captar as águas que se precipitam sobre a plataforma e áreas laterais da estrada foram dimensionadas sarjetas triangulares, de forma a conduzir longitudinalmente a água captada até uma saída lateral para o terreno lateral ou para caixas coletoras. Inicialmente foi determinada a vazão de projeto considerando a área de contribuição para as sarjetas, por meio da aplicação do Método Racional, conforme a equação (16):

$$Q_p = \frac{C \cdot I \cdot A}{3,6} \quad (16)$$

Sendo

$C$ = coeficiente médio de escoamento superficial;

$I$ = intensidade de precipitação máxima (mm/h);

$A$  = área de contribuição da sarjeta ( $Km^2$ ).

Para a determinação do coeficiente médio de escoamento superficial, foram considerados os diferentes tipos superfícies que compõem a área de contribuição, adotando-se a média ponderada dos valores.

A intensidade de precipitação máxima foi calculada por meio da equação (17) estabelecida para o município de São Miguel do Iguaçu, devido à falta de um equacionamento para a cidade de Foz do Iguaçu e pela semelhança das condições climáticas entre os dois municípios.

$$I = \frac{2886,69 \cdot T_R^{0,124}}{(t_c + 26)^{0,927}} \quad (17)$$

Sendo

$T_R$  = tempo de retorno (anos);

$t_c$  = tempo de concentração (min).

Uma vez determinada a vazão de projeto, selecionou-se uma sarjeta com seção transversal com capacidade hidráulica suficiente para atender a descarga de projeto. A capacidade hidráulica da sarjeta foi calculada por meio da equação de Manning- Strickler apresentada a seguir:

$$Q_s = \frac{1}{n} \cdot A_s \cdot R_h^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad (18)$$

Sendo

$n$  = coeficiente que depende da rugosidade;

$A_s$  = área da seção do fluxo de água ( $m^2$ );

$R_h$  = raio hidráulico (m);

$i$  = inclinação da linha de água (m/m).

Baesso e Gonçalves (2003) recomendam que em regiões cultivadas com presença de terraços, as águas conduzidas pelas sarjetas podem ser desaguadas por meio de dispositivos de drenagem como bigodes.

Para o dimensionamento do bigode deve ser conhecido o volume de água transportado pela sarjeta e que será armazenado no bigode. Para o cálculo do volume de água foi utilizado o método SCS (*Soil Conservation Service*), sendo o escoamento médio calculado conforme a equação (19).

$$Q = \frac{(P - 0,2.S)^2}{P + (0,8.S)} \quad (19)$$

Sendo

$P$  = precipitação de 24h (mm);

$S$  = potencial máximo de retenção (mm).

Para a determinação do potencial máximo de retenção, foram consideradas as condições do solo e vegetação existente na região, por meio da utilização de curvas numéricas. Apresenta-se a seguir a formulação para a obtenção do potencial máximo de retenção:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (20)$$

Sendo

$CN$  = curvas numéricas.

Para a obtenção do volume interceptado pela sarjeta, foi multiplicado o escoamento médio pela área de contribuição. Uma vez determinado o volume, foram determinadas as dimensões dos bigodes capazes de armazenar o volume escoado.

Para coletar as águas provenientes das sarjetas e que se destinam aos bueiros, foram utilizadas caixas coletoras, determinadas em função do diâmetro do bueiro, conforme o Manual de drenagem de rodovias do DNIT (2006c).

## 5. RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados obtidos, a partir da avaliação das condições da estrada não pavimentada em estudo, assim como os resultados dos ensaios de caracterização do solo, levantamento topográfico e levantamento do volume de tráfego. Esses resultados foram utilizados como base para as propostas de intervenção que permitam melhorar as condições de trafegabilidade e durabilidade da estrada.

### 5.1 Avaliação das condições da estrada rural

Para a avaliação da estrada, a mesma foi dividida em 3 seções contendo características semelhantes em toda a sua extensão. Em seguida cada seção foi dividida em uma subseção representativa, com comprimento de 50m. As subseções 1, 2, 3 apresentaram áreas de 268 m<sup>2</sup>, 230 m<sup>2</sup>, e 290 m<sup>2</sup>, respectivamente.

#### 5.1.1 Avaliação da Subseção 1

Durante a inspeção da subseção 1, foi observado que a mesma apresentava vários defeitos, dentre eles a seção transversal inadequada, drenagem lateral inadequada, poeira, trilha de roda e segregação de agregados. As **Figuras 4.16a e 4.16b** apresentam os defeitos drenagem lateral inadequada, a seção transversal inadequada e poeira, e as **Figuras 4.17a e 4.17b** os defeitos trilha de roda e segregação de agregados.

**Figura 4.16** (a) Seção transversal e drenagem lateral inadequada (b) Poeira



(a)



(b)

**Figura 4.17** (a) Trilha de roda (b) Segregação de agregados

Foi observado que metade da seção transversal da estrada não conta com uma declividade adequada, favorecendo o empoçamento de água na pista de rolamento.

Outro problema constatado foi a elevada nuvem de poeira e a segregação de agregados na pista, os quais foram gerados devido à ação abrasiva dos pneus dos veículos. Assim as partículas aglutinantes do solo sofreram desagregação, e as maiores partículas do solo ficaram depositados na pista formando bermas no centro e nos acostamentos. Devido ao tráfego de veículos pesados no local, foram geradas trilhas de roda nessa subseção da estrada.

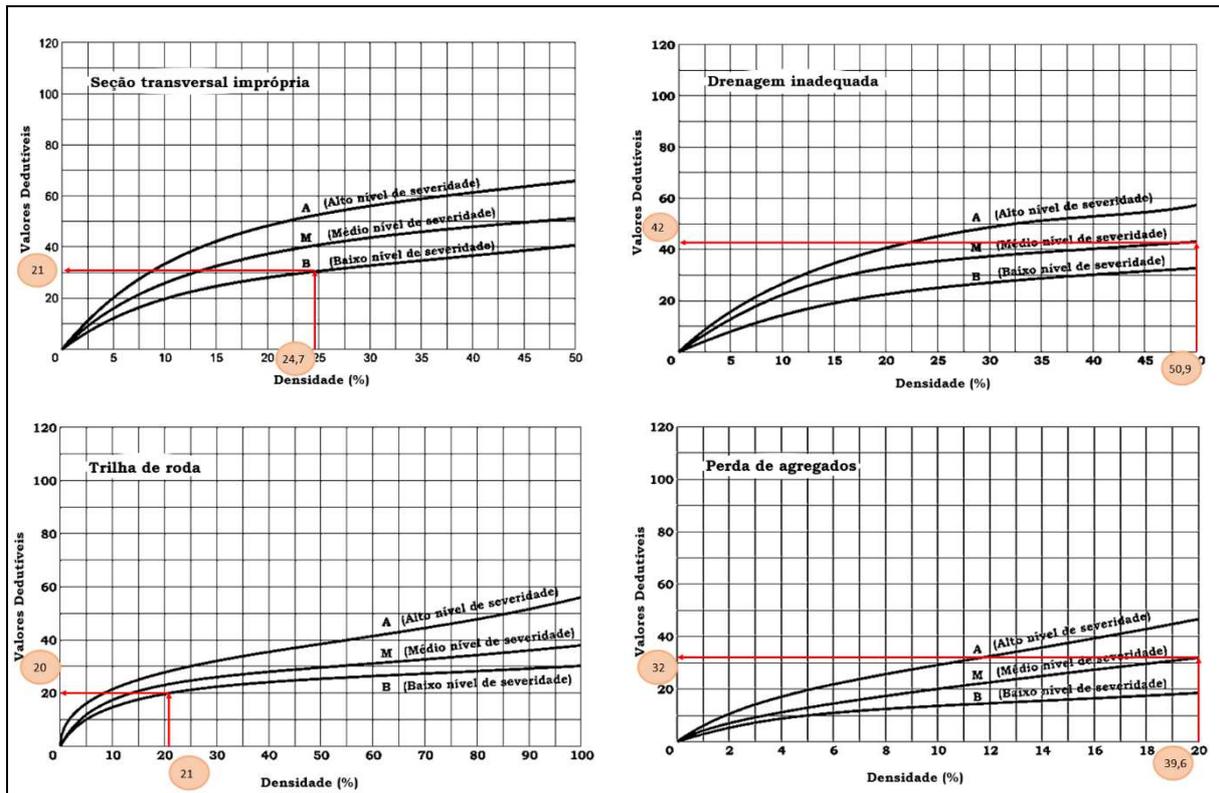
A **Tabela 4.6** apresenta os níveis de severidade dos defeitos encontrados na subseção 1, seguindo os critérios descritos no item 3.3.1.

**Tabela 4.6** Níveis de severidade dos defeitos encontrados na subseção 1

Defeito	Severidade
Seção transversal inadequada	Baixa
Drenagem lateral inadequada	Média
Poeira	Alta
Trilha de roda	Baixa
Segregação de agregados	Média

Uma vez levantadas as quantidades de cada defeito, foi determinada a densidade de cada um por meio da equação (1). A partir da utilização dos ábacos apresentados na **Figura 4.18**, foi determinado o valor de dedução de cada defeito, levando em consideração a severidade e densidade.

**Figura 4.18** Ábacos para determinação dos valores de dedução de cada defeito da subseção 1



Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

O valor de dedução do defeito poeira é definido em função do nível de severidade conforme apresentado na **Tabela 4.7**.

**Tabela 4.7** Valor de dedução para o defeito poeira

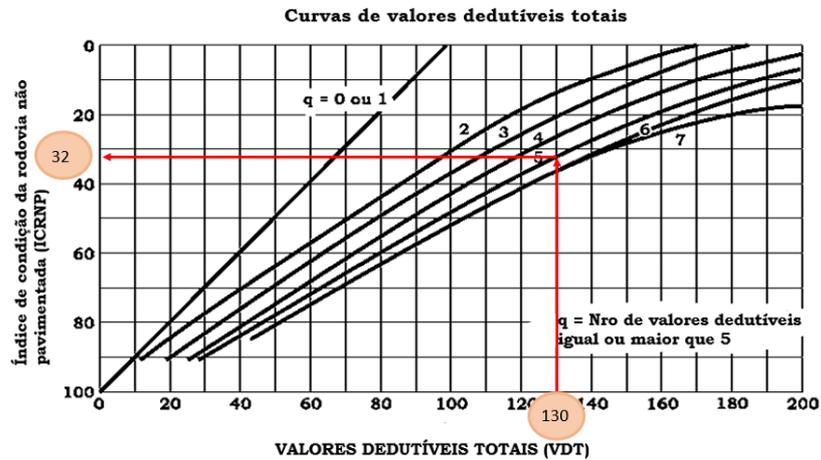
Nível de Severidade	Valores dedutíveis
Baixo	2
Médio	4
Alto	15

Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

O valor de dedução para o defeito poeira foi adotado como sendo igual a 15 devido ao nível de severidade alto apresentado.

Finalmente, o valor do índice URCI foi determinado a partir do valor de dedução total (VDT), e do número de valores de dedução maiores que 5. A seguir na **Figura 4.19**, apresenta-se o ábaco para a determinação do índice URCI para a subseção 1.

**Figura 4.19** Ábaco para determinação do índice URCI para a subseção 1



Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

A **Figura 4.20** apresenta a folha de inspeção utilizada para a avaliação da subseção

1.

**Figura 4.20** Folha de inspeção da subseção 1

Folha de inspeção de estrada não pavimentada - URCI									
Estrada	Rua Uruaçu			Comprimento da unidade amostral [m]	50				
Trecho	Trecho N°1			Largura da unidade amostral [m]	5,36				
Data	19/9/2017			Área da unidade amostral [m²]	268				
Inspetor	Liz Maria Benitez Ramirez								
Tipos de defeitos				Desenho					
1. Seção transversal inadequada [m] 2. Drenagem lateral inadequada [m] 3. Ondulações/Corrugações [m²] 4. Poeira 5. Buracos [No.] 6. Trilha de roda [m²] 7. Segregação de agregados [m]									
Quantidade e Severidade dos Defeitos									
Tipo de defeito		1	2	3	4	5	6	7	
Quantidade e Severidade	Baixa	20,17					56,4		
	Média		41,6					32,4	
	Alta				X				
Calculo do indice URCI									
Tipo de defeito	Densidade [%]	Severidade	Valor de dedução (VDU)	Observações					
1	24,69	Baixa	21						
2	50,93	Média	42						
3	-	-	-						
4	-	Alta	15						
5	-	-	-						
6	21,06	Baixa	20						
7	39,67	Média	32						
Total VDU	130								
q	5								
URCI	32								
Classificação	Pobre								

Conforme apresentado nas **Figuras 4.19 e 4.20**, o índice URCI obtido para a subseção 1, foi igual a 32, correspondendo a uma estrada com condição superficial pobre.

### 5.1.2 Avaliação da Subseção 2

Observou-se na inspeção da subseção 2, que a mesma apresentava vários defeitos, dentre eles: seção transversal inadequada, drenagem lateral inadequada, corrugações, poeira, trilha de roda e segregação de agregados. As **Figuras 4.21a e 4.21b** apresentam os defeitos drenagem lateral inadequada, seção transversal inadequada e corrugações. As **Figuras 4.22a, 4.22b e 4.23** apresentam os defeitos trilha de roda, segregação de agregados e poeira, respectivamente.

**Figura 4.21** (a) Seção transversal e drenagem lateral inadequada (b) Corrugações



(a)



(b)

**Figura 4.22** (a) Trilha de roda (b) Segregação de agregados



(a)



(b)

**Figura 4.23** Poeira

Constatou-se que a seção transversal da estrada não conta com abaulamento adequado, que permita o escoamento da água da pista. Também observou-se a inexistência de dispositivos de drenagem que permitam direcionar e transportar a água, pois nessa subseção o problema principal está associado a ausência desses dispositivos. Outro problema observado foi a elevada nuvem de poeira durante a passagem de veículos, o que dificulta a visibilidade, assim como a acumulação dos agregados nas laterais da pista. Devido ao contínuo tráfego de veículos pesados no local, foram geradas trilhas de roda e corrugações nessa subseção da estrada.

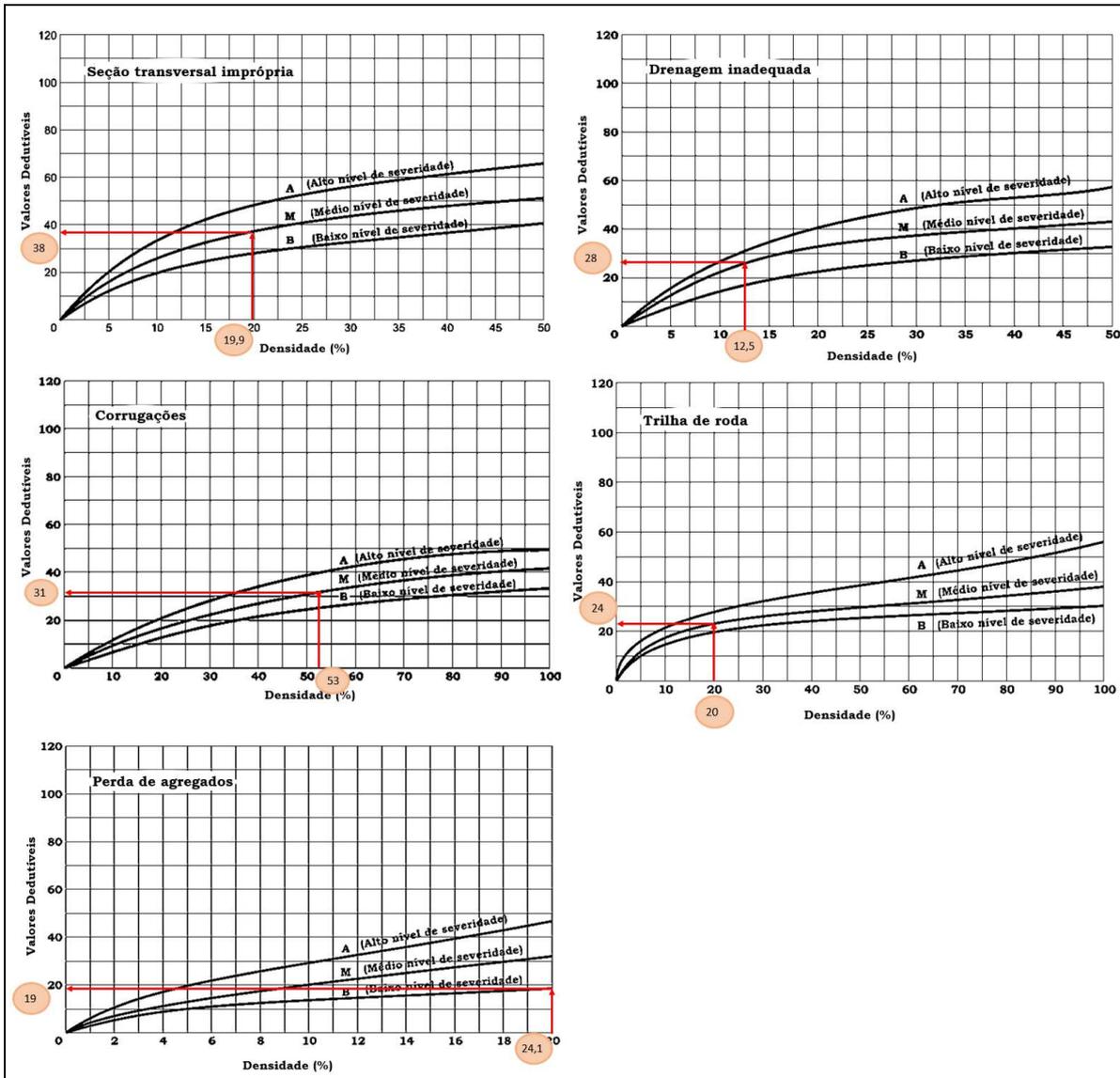
A **Tabela 4.8** apresenta os níveis de severidade dos defeitos encontrados na subseção 2.

**Tabela 4.8** Níveis de severidade dos defeitos encontrados na subseção 2

<b>Defeito</b>	<b>Severidade</b>
Seção transversal inadequada	Média
Drenagem lateral inadequada	Média
Corrugações	Média
Poeira	Média
Trilha de roda	Média
Segregação de agregados	Baixa

Utilizando os ábacos apresentados na **Figura 4.24**, determinou-se o valor de dedução de cada defeito.

**Figura 4.24** Ábacos para determinação dos valores de dedução de cada defeito da subseção 2

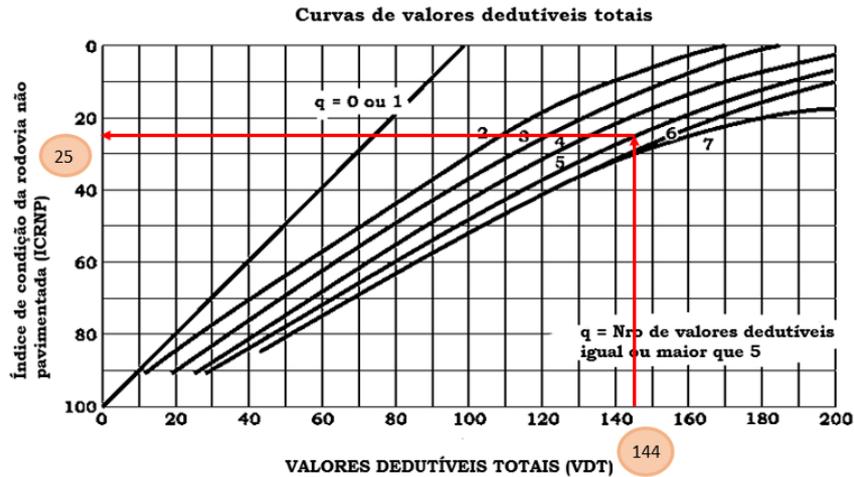


Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

Conforme a **Tabela 4.7**, o valor de dedução do defeito poeira para o grau de severidade médio assume valor igual a 4.

A seguir na **Figura 4.25**, apresenta-se o ábaco para a determinação do índice URCI para a subseção 2.

**Figura 4.25** Ábaco para determinação do índice URCI para a subseção 2



Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

A **Figura 4.26** apresenta a folha de inspeção utilizada para a avaliação das condições da subseção 2.

**Figura 4.26** Folha de inspeção da subseção 2

Folha de inspeção de estrada não pavimentada - URCI								
Estrada	Rua Uruaçu			Comprimento da unidade amostral [m]	50			
Trecho	Trecho N° 2			Largura da unidade amostral [m]	4,6			
Data	19/9/2017			Área da unidade amostral [m <sup>2</sup> ]	230			
Inspetor	Liz Maria Benitez Ramirez							
Tipos de defeitos				Desenho				
1. Seção transversal inadequada [m] 2. Drenagem lateral inadequada [m] 3. Ondulações/Corruções [m <sup>2</sup> ] 4. Poeira 5. Buracos [No.] 6. Trilha de roda [m <sup>2</sup> ] 7. Segregação de agregados [m]								
Quantidade e Severidade dos Defeitos								
Tipo de defeito		1	2	3	4	5	6	7
Quantidade e Severidade	Baixa							
	Média	14	8,8	121,9	X		46	16,9
	Alta							
Calculo do indice URCI								
Tipo de defeito	Densidade [%]	Severidade	Valor de dedução (VDU)	Observações				
1	19,97	Média	38					
2	12,55	Média	28					
3	53,00	Média	31					
4	-	Média	4					
5	-	-	-					
6	20,00	Média	24					
7	24,11	Baixa	19					
Total VDU	144							
q	5							
URCI	25							
Classificação	Pobre							

Conforme apresentado nas **Figuras 4.25 e 4.26**, o índice URCI obtido para a subseção 2, foi igual a 25, correspondendo a uma estrada com condição superficial pobre.

### 5.1.3 Avaliação da Subseção 3

Na inspeção da subseção 3, observou-se que a mesma apresentava vários defeitos, dentre eles seção transversal inadequada, drenagem lateral inadequada, corrugações, poeira, trilha de roda e segregação de agregados. As **Figuras 4.27a e 4.27b** apresentam os defeitos drenagem lateral inadequada, seção transversal inadequada e corrugações observados.

**Figura 4.27** (a) Seção transversal e drenagem lateral inadequada (b) Corrugações



(a)



(b)

As **Figuras 4.28a, 4.28b e 4.29** apresentam os defeitos trilha de roda, segregação de agregados e poeira observados no trecho.

**Figura 4.28** (a) Trilha de roda (b) Segregação de agregados



(a)



(b)

**Figura 4.29** Poeira

Constatou-se que o principal problema nesta subseção era a seção transversal inadequada, isto é, falta de abaulamento, e a inexistência de dispositivos de drenagem que permitam direcionar e transportar a água. Outro problema encontrado foi a elevada nuvem de poeira durante a passagem de veículos.

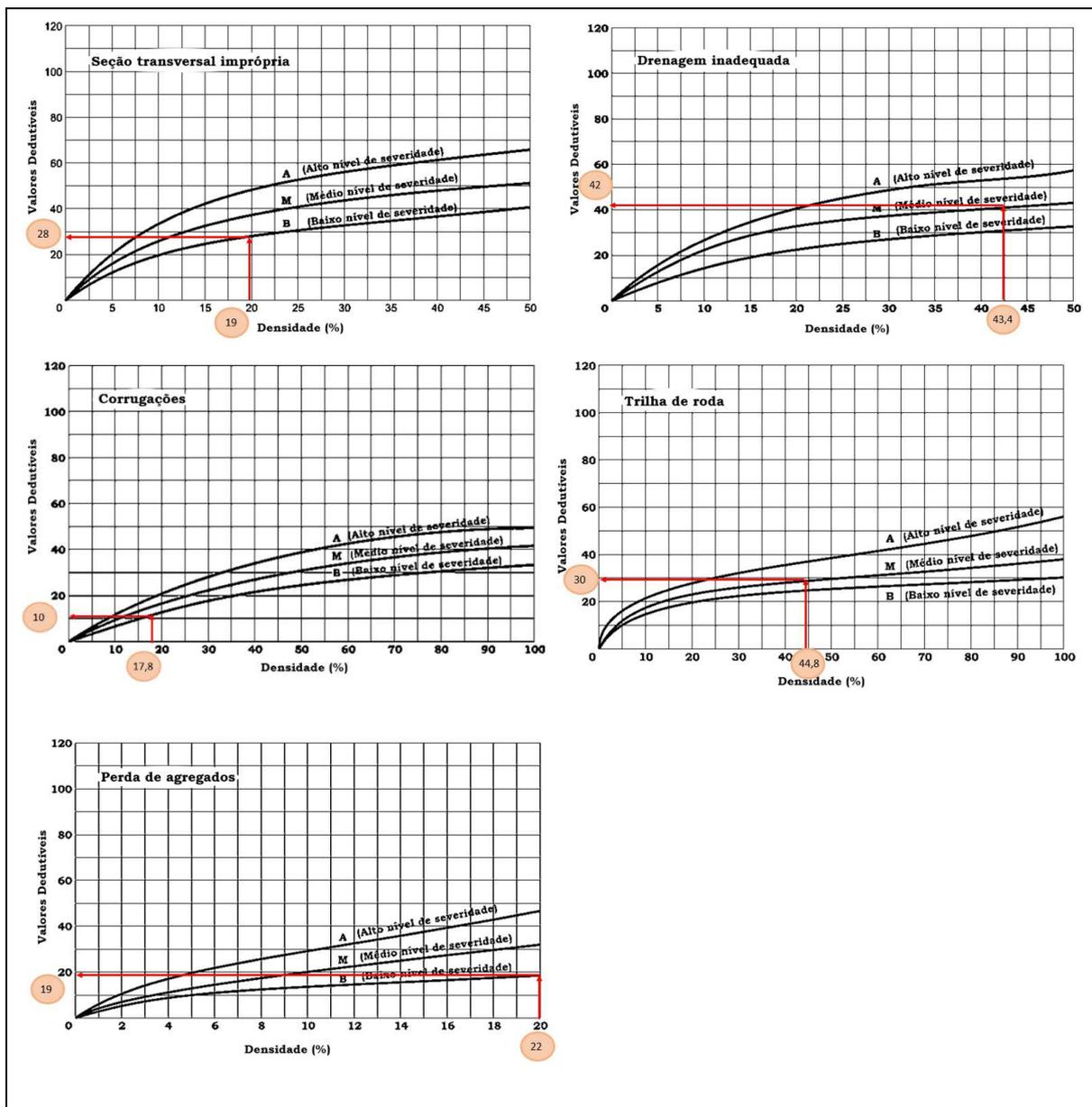
A **Tabela 4.9** apresenta os níveis de severidade dos defeitos encontrados na subseção 3.

**Tabela 4.9** Níveis de severidade dos defeitos encontrados na subseção 3

Defeito	Severidade
Seção transversal inadequada	Baixa
Drenagem lateral inadequada	Média
Corrugações	Baixa
Poeira	Média
Trilha de roda	Média
Segregação de agregados	Baixa

A partir da utilização dos ábacos apresentados na **Figura 54**, foi determinado o valor de dedução de cada defeito

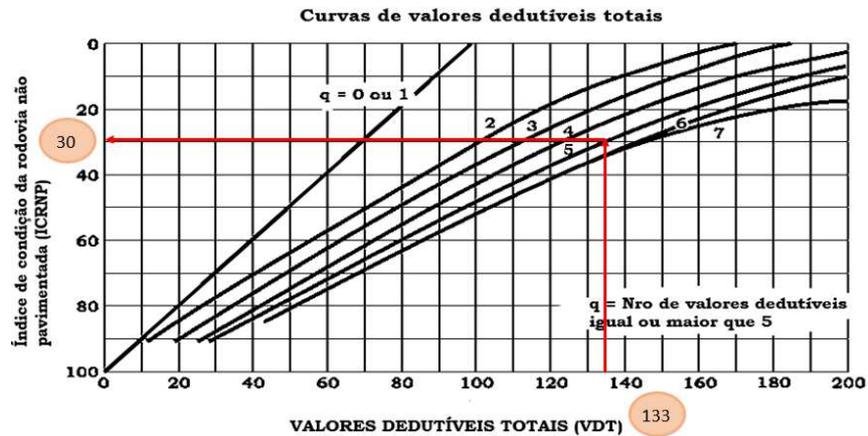
Figura 4.30 Ábacos para determinação dos valores de dedução de cada defeito da subseção 3



Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

Conforme a Tabela 4.7, o valor de dedução do defeito poeira para o grau de severidade média assume valor igual a 4.

A Figura 4.31 apresenta a seguir o ábaco para a determinação do índice URCI para a subseção 3.

**Figura 4.31** Ábaco para determinação do índice URCl para a subseção 3


Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

 A **Figura 4.32** apresenta-se a folha de inspeção utilizada para a avaliação da subseção

3.

**Figura 4.32** Folha de inspeção da subseção 3

Folha de inspeção de estrada não pavimentada - URCl								
Estrada	Rua Uruaçu			Comprimento da unidade amostral [m]	50			
Trecho	Trecho N° 3			Largura da unidade amostral [m]	5,8			
Data	19/9/2017			Área da unidade amostral [m²]	290			
Inspetor	Liz Maria Benitez Ramirez							
Tipos de defeitos 1. Seção transversal inadequada [m] 2. Drenagem lateral inadequada [m] 3. Ondulações/Corruções [m²] 4. Poeira 5. Buracos [No.] 6. Trilha de roda [m²] 7. Segregação de agregados [m]				Desenho 				
Quantidade e Severidade dos Defeitos								
Tipo de defeito		1	2	3	4	5	6	7
Quantidade e Severidade	Baixa	16,8		51,62				19,5
	Média		38,4		X		129,92	
	Alta							
Calculo do índice URCl								
Tipo de defeito	Densidade [%]	Severidade	Valor de dedução (VDU)	Observações				
1	19,01	Baixa	28					
2	43,44	Média	42					
3	17,80	Baixa	10					
4	-	Média	4					
5								
6	44,80	Média	30					
7	22,06	Baixa	19					
Total VDU	133							
q	5							
URCl	30							
Classificação	Pobre							

Conforme apresentado nas **Figuras 4.31 e 4.32**, o índice URCI obtido para a subseção 3, foi igual a 30, correspondendo a uma estrada com condição superficial pobre.

A **Tabela 4.10** apresentada a seguir os resultados do índice URCI para cada seção e seus respectivos comprimentos.

**Tabela 4.10** Resultados do índice URCI de cada seção

Seção	Comprimento [m]	URCI	Condição
1	323,13	32	Pobre
2	339,66	25	Pobre
3	360,21	30	Pobre

Uma vez determinado o índice URCI de cada seção, foi calculado o índice URCI ponderado conforme equação (21) para a representação da condição da estrada, obtendo-se assim um índice igual a 29, sendo a estrada classificada como pobre.

$$URCI - TRECHO = \frac{\sum URCI \text{ da seção} \cdot \text{extensão da seção}}{\text{Extensão do trecho}} \quad (21)$$

Em função da classificação da estrada, verificou-se a necessidade da realização de atividades de conservação emergencial, com a finalidade de garantir a integridade e as boas condições de operação.

Uma vez definido o tipo de atividade de conservação necessário para melhorar as condições da estrada, foi necessário realizar levantamento de dados, com a finalidade de definir com precisão as atividades mais apropriadas para o caso em estudo.

## 5.2 Ensaios de caracterização do solo

Dentre os ensaios de caracterização do solo, foram realizados o ensaio de determinação do Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Distribuição granulométrica, com a finalidade de obter o índice de grupo (IG) necessário para a determinação do Índice de Suporte (IS) da estrada.

Para a realização dos ensaios foram utilizadas as amostras de solo coletado em cada seção. A **Tabela 4.11** apresenta os resultados dos ensaios de Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade, Índice de Plasticidade e a porcentagem passante na peneira nº 200 obtido mediante o ensaio de Granulometria. No Apêndice A são apresentados os resultados obtidos para o limite de liquidez das três seções avaliadas.

**Tabela 4.11** Resultado dos ensaios de caracterização do solo

Seção	Limite de	Limite de	Índice de	Passante na
	Liquidez - LL	Plasticidade - LP	Plasticidade - IP	peneira nº 200
	(%)	(%)	(%)	(%)
1	53,09	33,32	19,77	31,20
2	46,98	33,96	13,02	22,13
3	48,37	28,65	19,72	19,71

Uma vez obtido os resultados de caracterização do solo, procedeu-se a determinação do índice de grupo (IG), a partir a determinação dos coeficientes a, b, c e d conforme descrito no item 4.2.5. Seguidamente foi determinado o Índice de Suporte do subleito (IS), por meio da **Tabela 4.3**. A **Tabela 4.12** apresenta o resultado do índice de grupo (IG) e o índice de suporte (IS), para cada uma das seções.

**Tabela 4.12** Determinação do Índice de Suporte

Seção	a (%)	b (%)	c (%)	d (%)	IG (%)	IS (%)
1	0	16,20	13,09	9,77	1,58	16
2	0	7,14	6,98	3,02	0,22	20
3	0	4,71	8,37	9,72	0,60	19
					Média	18

O DNIT (2006b) recomenda que os materiais de subleito para um pavimento devem apresentar uma capacidade de suporte maior ou igual a 2%. Diante disso, o subleito do trecho em estudo não apresentará inconvenientes em quanto a sua capacidade de suporte, para o dimensionamento de um pavimento.

### 5.3 Volume de tráfego

Realizou-se a contagem manual dos veículos que transitam pela estrada, durante 3 dias úteis da semana, no período da manhã e da tarde. Na **Tabela 4.13** apresenta-se o número de veículos por dia, a média dos tipos de veículos que transitaram pela estrada, e o número total de veículos.

**Tabela 4.13** Tráfego médio diário

Veículo	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Média (veículo/dia)
Carro	56	53	49	53
Ônibus/Van	6	7	6	6
Caminhão	69	32	55	52
Trator	10	1	5	5
Moto	20	10	13	14
Outros	3	2	3	3
			Total	133

A partir da **Tabela 4.13** observa-se que o tráfego diário médio da estrada é de 133 veículos/dia, dos quais o trânsito de carros, caminhões e motos são predominantes. O DNIT (2006a), ressalta que devem ser considerados apenas os veículos pesados, já que são os que maiores impactos geram na pista, sendo desprezível os demais tipos de veículos. Portanto, o tráfego diário médio (TDM), considerando apenas ônibus/van, caminhão e trator, é igual a 63 veículos/dia nos 2 sentidos, então em um sentido se terá 32 veículos/dia.

Através do levantamento de tráfego, observou-se que a estrada era bastante movimentada, sendo a estrada utilizada principalmente para o escoamento de produção agrícola, transporte de materiais extraídos de jazidas e para a mobilidade da população.

Para a determinação do volume diário médio futuro no sentido mais solicitado ( $V_m$ ), foi adotado um período de projeto de 10 anos. Utilizando os dados fornecidos pelo Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2017) e apresentados no Apêndice B, calculou-se a taxa de crescimento anual de veículos pesados em Foz do Iguaçu. Considerando o período de 2013 até 2016, a frota de veículos pesados cresceu 5,6% ao ano.

Para a determinação do número equivalente de operações (N) conforme equação (8), foi considerado:

1. O volume diário médio futuro ( $V_m$ ) igual a 42,80 veículos/dia por sentido;
2. Para o fator de carga adotou-se o valor igual a 1,7 conforme recomendação de Senço (2007);
3. O fator de eixo calculado foi de 2,59, considerando apenas veículos de 2 e 3 eixos;

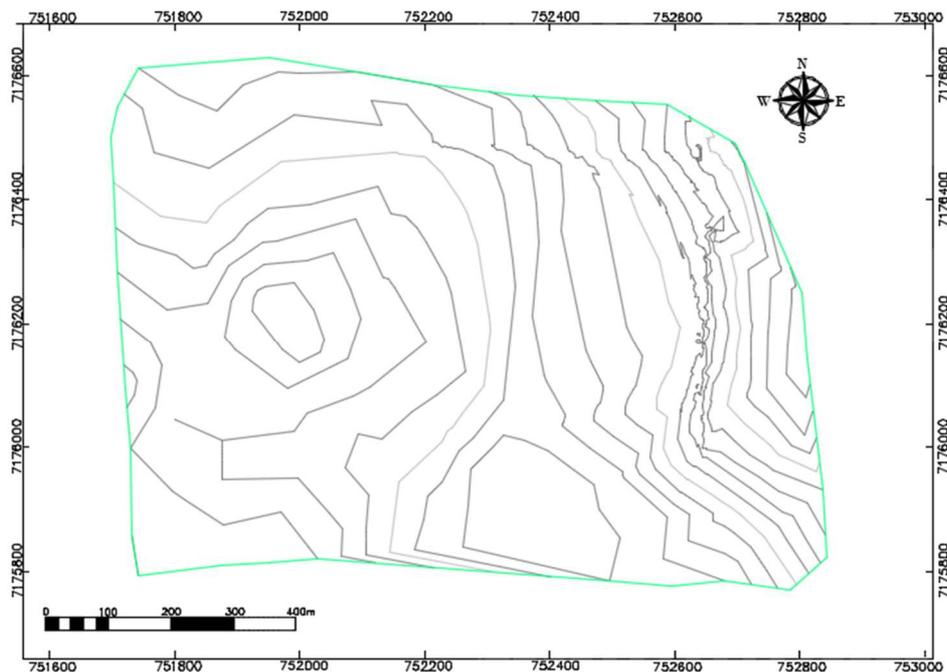
4. Para a determinação do fator climático regional foi utilizado os dados de precipitação média anual fornecidos pelo Instituto das Águas do Paraná (IAPAR, 2017) para o município de Foz de Iguaçu sendo igual a 1808,3 mm. Portanto, considerando a **Tabela 4.4** o fator climático regional terá valor igual a 1,8.

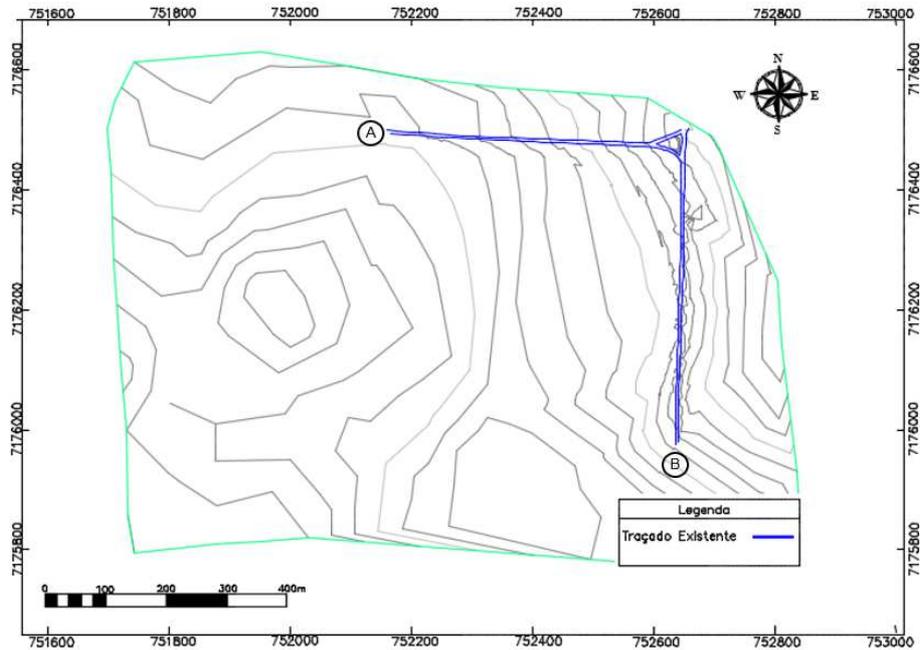
O valor do número equivalente de operações de eixo padrão obtido foi igual a  $1,24 \cdot 10^6$ , sendo a estrada classificada conforme o N como sendo de tráfego médio.

## 5.4 Levantamento topográfico

A partir do levantamento topográfico utilizando o receptor GNSS RTK, obteve-se uma nuvem de pontos correspondentes ao eixo, laterais e áreas adjacentes à estrada. Seguidamente os pontos foram importados ao Autocad Civil 3D 2015, sendo gerada uma superfície do terreno. Na sequência desenhou-se a estrada existente no terreno, com comprimento de 970m e largura de pista variando de 5 a 6m aproximadamente, como apresentado nas **Figuras 4.33** e **4.34**.

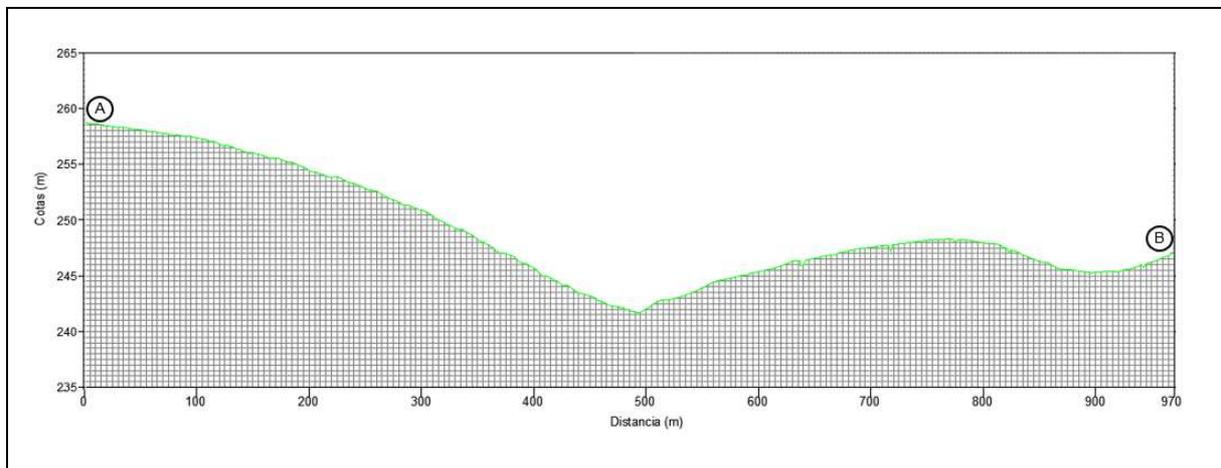
**Figura 4.33** Superfície do terreno (Civil 3D, 2015)



**Figura 4.34** Traçado da estrada existente (Civil 3D, 2015)

Ressalta-se que no trecho da estrada selecionada, foi encontrada uma curva com raio de 50m e desenvolvimento de 72m aproximadamente. Para o raio de 50 m a velocidade dos veículos é aproximadamente 37km/h conforme a equação proposta pela DNER (1999) para a determinação de velocidades em concordâncias horizontais. A partir do eixo existente, foi possível obter o perfil longitudinal da estrada, onde foi observado a inclinação do terreno, tendo valor máximo de 3% ao longo de todo o trecho, conforme ilustra a **Figura 4.35**.

Baesso e Gonçalves (2003) recomendam que as inclinações máximas em estradas rurais não superem os 12%. Portanto, verifica-se que a estrada estudada não apresentará dificuldade para o trânsito de veículos de carga, pois o terreno apresenta topografia plana.

**Figura 4.35** Perfil longitudinal da estrada existente (Civil 3D, 2015)

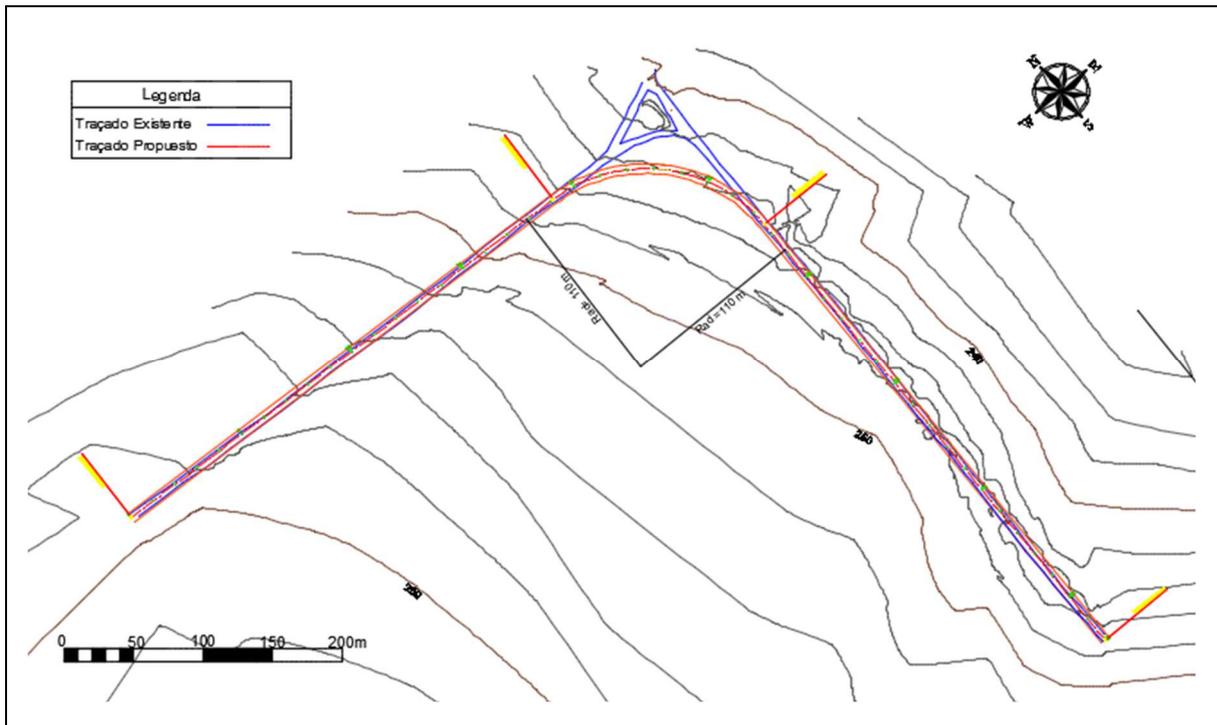
## 5.5 Serviços de Readequação

Na avaliação da condição da estrada verificou-se a necessidade de uma manutenção de emergência, já que a estrada apresentava problemas relacionados com a pista de rolamento, largura de pista inadequada e falta de sistemas de drenagem apropriados. Portanto, não seria viável a correção dos defeitos individualmente, já que as mesmas irão surgir intermitentemente.

A partir dos dados coletados por meio do levantamento topográfico, constatou-se a necessidade de realocação de parte do traçado, porque a estrada apresentava um raio de curva insuficiente, dificultando o tráfego de veículos pesados para o escoamento da produção agrícola, transporte de materiais extraídos de jazidas, além de comprometer o conforto e segurança dos usuários.

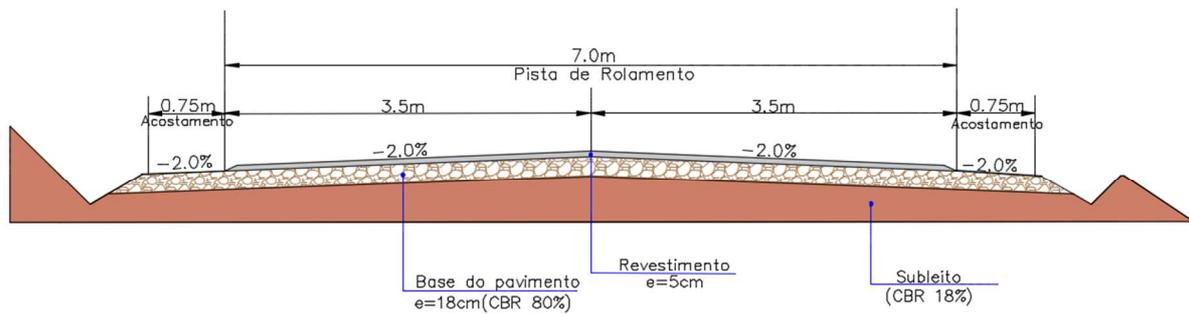
Em relação a largura da pista de rolamento, evidenciou-se a necessidade de ampliação da pista, haja vista que a passagem simultânea de veículos pesados gerava grandes inconvenientes. Ressalta-se que o tráfego de veículos pesados, representam mais de 50% dos veículos que circulam pelo trecho, por tanto, faz-se necessária a redução da velocidade para a passagem de veículos pesados de forma simultânea, prolongando assim o tempo de viagem.

Foram seguidas as recomendações do DNER (1999) para o melhoramento do traçado da estrada rural, correspondente a uma classe de projeto IV. Considerando o relevo plano do local, foi adotado um raio de curvatura mínima igual a 110m para garantir que a manobra dos veículos ocorra com segurança, uma largura de pista de rolamento igual a 7m e acostamento de 0,75m para acomodar o tráfego da região. Com o raio de 110m será possível o tráfego em velocidades próximas a 60 km/h conforme apresentado na **Tabela 3.1**. A **Figura 4.36** ilustra o traçado existente no local e o traçado proposto com as melhorias anteriormente descritas.

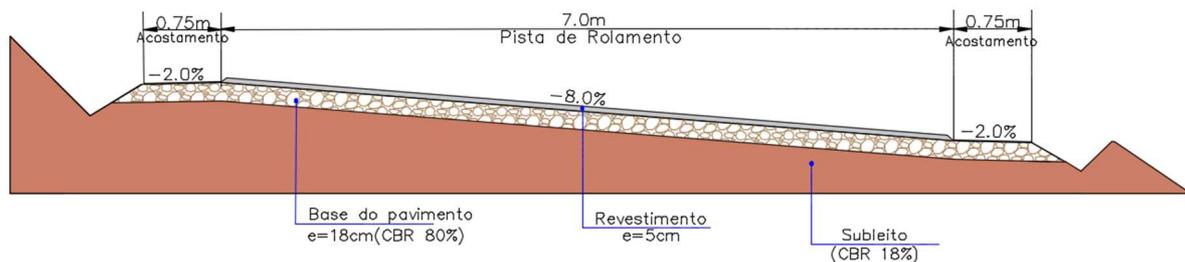
**Figura 4.36** Traçado existente no local e traçado proposto com as melhorias

O número equivalente de operações de eixo padrão obtido foi igual a  $1,24 \cdot 10^6$ . A partir desse parâmetro a estrada foi classificada como sendo de tráfego médio. Segundo o DNIT (2006b), para número equivalente de operações de eixo padrão compreendido entre  $10^6$  e  $5 \cdot 10^6$ , deve ser adotada uma camada de revestimento betuminoso igual a 5cm de espessura. Uma vez obtida a espessura do revestimento betuminoso calculou-se a espessura da base tendo-se como resultado 17cm para material com CBR igual a 80%, e uma espessura de sub-base igual a 1cm para material com CBR igual a 20%. O subleito contava com CBR igual a 18%, por tanto a capacidade de suporte não estará comprometida para o dimensionamento do pavimento. A espessura mínima das camadas de base e sub-base é 15 cm. Assim, a espessura da sub-base teria que ser aumentada em 14 cm, diante disso foi mais vantajoso aumentar ligeiramente a espessura da base para 18cm e eliminar a sub-base.

A **Figura 4.37** apresenta a seção transversal tipo em tangente, com abaulamento igual a 2% para pistas com revestimento betuminoso, conforme recomendações do DNER (1999).

**Figura 4.37** Seção transversal – Em Tangente

Com a finalidade de reduzir ou eliminar os efeitos das forças laterais sobre os passageiros e sobre as cargas dos veículos em movimento na estrada em estudo, foi utilizada a superelevação da pista de rolamento, que é a declividade transversal da pista nos trechos em curva. O DNER (1999) recomenda a adoção da superelevação máxima de 8% para classes de projeto IV. A **Figura 4.38** apresenta a seção transversal tipo em curva.

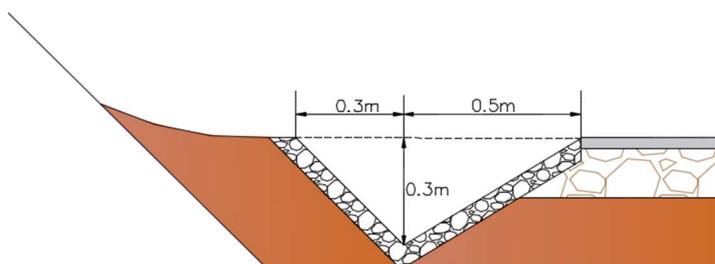
**Figura 4.38** Seção transversal – Em Curva

Em relação aos dispositivos de drenagem, foi observado no local a inexistência de dispositivos que permitam captar e conduzir longitudinalmente as águas precipitadas sobre a pista de rolamento e áreas laterais da estrada. Portanto, sugere-se a construção de sarjetas que permitam transportar as águas precipitadas até um ponto de descarga (bigodes, descidas de água, bueiros).

Para o dimensionamento das sarjetas foi utilizado o método racional, levando em consideração a intensidade de precipitação calculada para um tempo de retorno igual a 10 anos e um tempo de concentração igual a 10 minutos, conforme recomendação do DNIT (2005). Para o projeto considerou-se um coeficiente de escoamento superficial de 0,4 para áreas cultivadas e 0,85 para áreas pavimentadas. Adotou-se uma seção de sarjeta triangular estabelecidas pelo DNIT (2006c), de forma a que a mesma possa conduzir a vazão de projeto calculada em função da área de contribuição. Para a máxima vazão de projeto igual a 0,0584

m<sup>3</sup>/s adotou-se uma sarjeta com capacidade hidráulica igual a 0,1174 m<sup>3</sup>/s. Portanto, verifica-se que a sarjeta selecionada atende a descarga de projeto calculada, sendo esta adotada para todo o comprimento da estrada. Para aumentar a vida útil do pavimento e da sarjeta dimensionada, recomenda-se que a mesma esteja revestida com pedras de mão. A **Figura 4.39** apresenta a seção transversal da sarjeta selecionada:

**Figura 4.39** Seção transversal da sarjeta



Fonte: Adaptado do DNIT (2006c)

Roloff (2017) sugere a implantação de estruturas de retenção como bigodes ao longo da estrada espaçadas a cada 70m aproximadamente ou em função da topografia do terreno, que serão construídos nas regiões de plantio, para o armazenamento de água proveniente das sarjetas. Este tipo de estrutura não gera grandes impactos, uma vez implantado este dispositivo não se terá perda de área cultivada, devido a que o mesmo permite o plantio sobre a estrutura. Para permitir a passagem de veículos que realizam atividades de plantio e colheita, recomenda-se assumir uma inclinação máxima de 10%.

Para o dimensionamento dos bigodes foram calculados os volumes de água que cada bigode deveria acumular, sendo este volume proveniente das sarjetas e de áreas próximas ao bigode. O cálculo do volume foi realizado por meio do método SCS, considerando a precipitação durante 24h e o coeficiente dependente do tipo e uso do solo, sendo este igual a 62 para cultivos com terraços, e 74 para caminhos pavimentados. A área de contribuição foi considerada como sendo a área do cultivo, metade da área da estrada pavimentada e a área próxima ao bigode. Uma vez determinado o volume de armazenamento, foi calculado o comprimento necessário para cada bigode.

Foram obtidos 10 dispositivos ao longo da estrada com diferentes capacidades de armazenamento. A **Tabela 4.14** apresenta a capacidade de armazenamento e o comprimento de cada um dos bigodes.

**Tabela 4.14** Capacidade dos bigodes

Bigode N°	Capacidade [m <sup>3</sup> ]	Comprimento [m]
1	117,6	31
2	97,3	26
3	71,4	19
4	54,7	15
5	64,9	17
6	43,2	12
7	73,2	20
8	31,7	9
9	30,8	9
10	33,7	10

Parte da água precipitada sobre a estrada será coletada pela sarjeta e seguidamente desaguada numa área coberta por vegetação, através das descidas de água. Estes dispositivos são projetados para conduzir a água das sarjetas, de forma a evitar o transbordamento uma vez atingido o comprimento crítico. Neste estudo o comprimento crítico foi calculado utilizando uma relação entre a vazão máxima da sarjeta e a vazão que escoaria pela estrada, obtendo-se um comprimento de 844m. Adotou-se um comprimento de 200m, com a finalidade de diminuir o volume e a velocidade da água que escoar pela sarjeta ao longo da estrada.

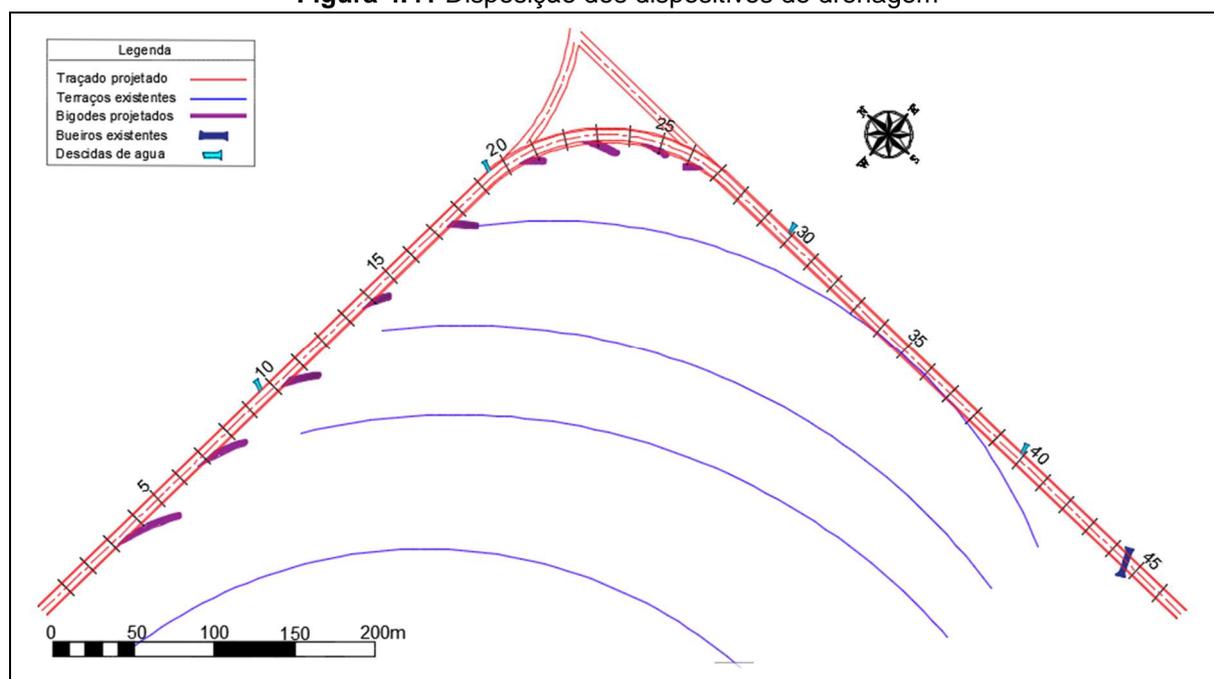
Ressalta-se que o despejo de água em terreno natural pode provocar erosão, por tanto, devem ser utilizados dissipadores de energia do tipo enrocamento, de forma a reduzir a velocidade de escoamento na saída das descidas de água. Adotando o critério do DNIT (2006c), o diâmetro médio dos enrocamentos pode variar entre 10 a 15cm.

Durante a coleta de dados registrou-se a existência de um bueiro com diâmetro de 80cm no trecho da estrada estudada, conforme ilustra a **Figura 4.40**.

**Figura 4.40** Bueiro existente no trecho

O bueiro existente no local encontrava-se em boas condições apresentando revestimento de pedra de mão e pouco material assoreado devido a manutenção da estrutura.

Por meio da aplicação da equação de Manning constatou-se que o bueiro existente no local possui uma capacidade de descarga igual a  $2,28 \text{ m}^3/\text{s}$ , permitindo escoar a vazão de projeto igual a  $0,217 \text{ m}^3/\text{s}$ , calculada a partir das áreas de contribuição. Assim, concluiu-se que o mesmo atende as necessidades para as quais foi projetado. A **Figura 4.41** apresenta a disposição dos dispositivos de drenagem recomendados para o trecho.

**Figura 4.41** Disposição dos dispositivos de drenagem

## 6. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi avaliada a necessidade de readequação de um trecho de estrada vicinal de terra localizada no município de Foz de Iguaçu-PR, aplicando o método URCI para identificar as condições da estrada, coletando amostras para a caracterização do solo da região, realizando levantamento topográfico para a definição das características do terreno, assim como das características do tráfego.

A partir da avaliação da estrada utilizando o índice URCI, foi possível classificar a estrada como sendo de condição superficial pobre. Isto deve-se a inadequada seção transversal em vários trechos da estrada, associada a um sistema de drenagem deficiente, além da elevada nuvem de poeira gerada pela passagem dos veículos, devido à grande quantidade de material solto na superfície, afetando diretamente a capacidade operacional da estrada. Portanto, propõe-se a realização de uma manutenção de emergência de forma a renovar parcialmente os padrões de serviço da estrada, envolvendo atividades como alargamento da pista, realocação de parte do traçado e execução de reforço das condições estruturais da superfície de rolamento.

A partir do levantamento do volume de tráfego, foi possível determinar o número de operações equivalentes de eixo padrão (N), tendo essa estrada tráfego médio. Por outro lado, considerando o índice de suporte do subleito obtido ( $IS=18\%$ ), determinou-se que um revestimento asfáltico de 5cm e base de 18cm seriam suficientes para resistir e distribuir os esforços verticais oriundos do tráfego de veículos de carga.

A partir do levantamento topográfico foi possível verificar que a declividade ao longo da estrada não superava os 4%, estando dentro dos limites aceitáveis recomendados pelo DNIT, não sendo necessária nenhuma conformação em quanto a declividade. Verificou-se que a largura da pista de rolamento não era adequada para acomodar os veículos que passavam pela estrada de forma simultânea, sendo necessário nesse caso o alargamento da pista. Também verificou-se que o raio da curva não atendia os critérios impostos pelo DNIT para estradas rurais de classe IV, sendo aumentado este raio com a finalidade de proporcionar maior segurança e conforto para os usuários.

Haja vista a deficiência do sistema de drenagem ao longo da estrada para atender a demanda, foi proposto a construção de sarjetas ao longo da estrada para transportar as águas precipitadas para outro dispositivo de desague ou armazenamento, como bigodes, descidas de água e bueiros.

Por meio das intervenções propostas será melhorado o padrão da estrada, prolongando-se a vida útil da estrada e garantindo segurança e boas condições de trafegabilidade. Assim os moradores da região serão beneficiados com uma estrada com padrões mínimos que facilitem o acesso a serviços básicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7217**: Agregados- Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.  
  
\_\_\_\_\_ **NBR 6457**: Amostras de Solo- Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.  
  
\_\_\_\_\_ **NBR 6459**: Solo- Determinação do Índice de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.  
  
\_\_\_\_\_ **NBR 7180**: Solo- Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.
- BAESSO, D. P.; GONÇALVES, F. L. **Estradas Rurais**: Técnicas Adequadas de Manutenção. Departamento de Estradas de Rodagem. Florianópolis, 2003.
- BAÑÓN, L. B.; BEVIÁ, J. G. **Manual de Carreteras**: Construcción y Mantenimiento. Universidad de Alicante, 2000. Disponível em: <<https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/1787>>. Acessado: 23/10/2017.
- DAL-RÉ, R. L. **Caminos Rurales: Proyecto y construcción**. ed. Mundi Prensa Libros, 2001.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRANSITO (DENATRAN). **Frota de veículos do município de Foz do Iguaçu – Dezembro 2016**, 2017. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/estatistica/261-frota-2016>>. Acessado: 05/09/2017.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DER/SP). **Manual Básico de Estradas e Rodovias Vicinais de Terra**: Planejamento, projeto, construção e operação. v1. São Paulo, 2012a. Disponível em: <<http://www.der.sp.gov.br/Website/Acessos/Documentos/RodoviasVicinais.aspx>> Acessado: 23/10/2017.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DER/SP). **Manual Básico de Estradas e Rodovias Vicinais de Terra**: Conservação. v2. São Paulo, 2012b.

- Disponível em:  
<<http://www.der.sp.gov.br/Website/Acessos/Documentos/RodoviasVicinais.aspx>>  
Acessado: 15/10/2017.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais**. Rio de Janeiro, 1999. 195p. Disponível em: <[http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/706\\_manual\\_de\\_projeto\\_geometrico.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/706_manual_de_projeto_geometrico.pdf)>. Acessado: 11/09/2017.
  - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. Rio de Janeiro, 1981. Disponível em: <[http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/667\\_metodo\\_de\\_projeto\\_de\\_pavimentos\\_flexiveis.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/667_metodo_de_projeto_de_pavimentos_flexiveis.pdf)>  
Acessado: 11/09/2017.
  - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE (DNIT). **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. 2.Ed. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <[http://www.ceset.unicamp.br/~hiroshiy/ST%20-%20306/Manual\\_Hidrologia.pdf](http://www.ceset.unicamp.br/~hiroshiy/ST%20-%20306/Manual_Hidrologia.pdf)> Acessado: 22/10/2017.
  - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE (DNIT). **Manual de estudos de tráfego**. 2.Ed. Rio de Janeiro, 2006a. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/manual\\_estudos\\_trafego.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/manual_estudos_trafego.pdf)> Acessado: 23/10/2017.
  - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE (DNIT). **Manual de pavimentação**. 3.Ed. Rio de Janeiro, 2006b. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/Manual%20de%20Pavimentação\\_05.12.06.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual%20de%20Pavimentação_05.12.06.pdf)> Acessado: 25/10/2017.
  - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE (DNIT). **Álbum de projetos – Tipos de dispositivo de drenagem**. 2. Ed. Rio de Janeiro, 2006c. Disponível em:

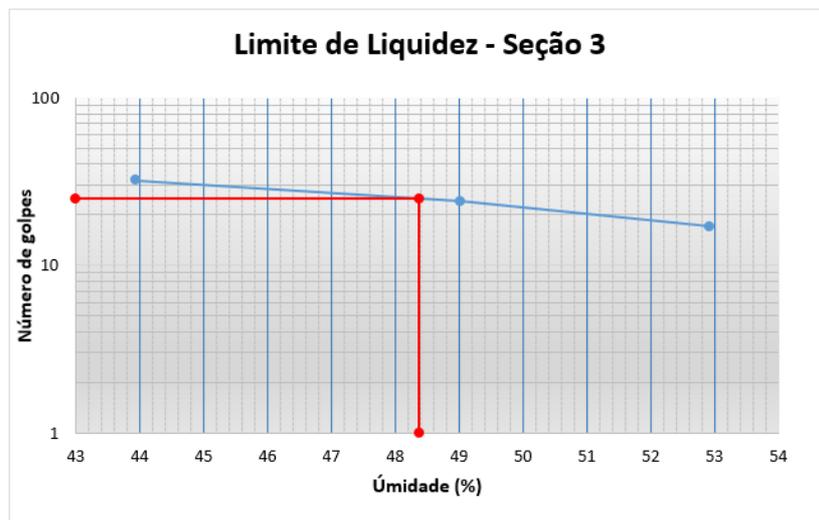
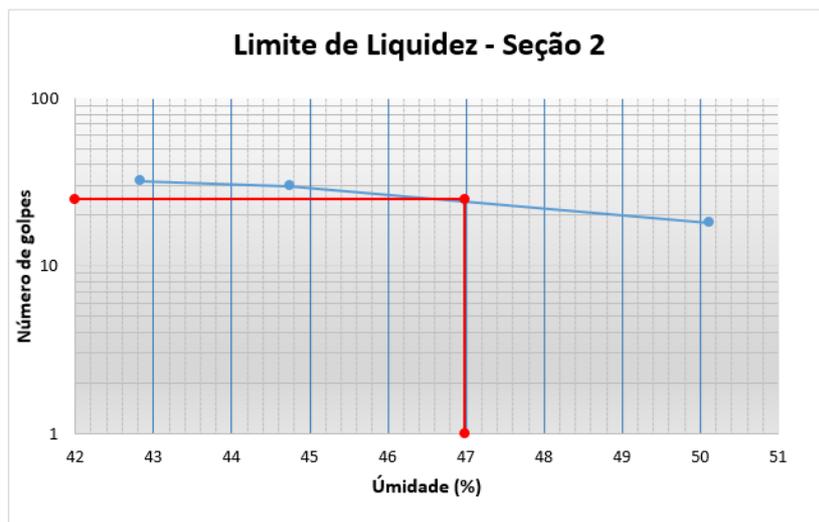
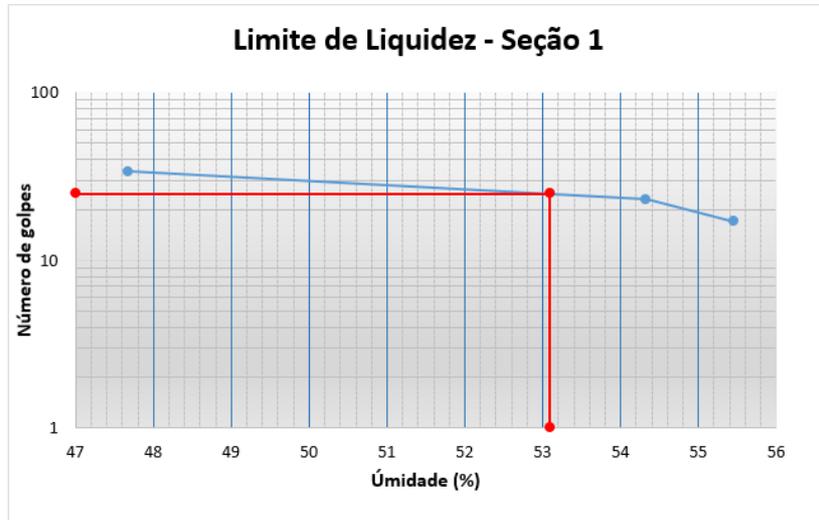
[http://www1.dnit.gov.br/ipr\\_new/..%5Carquivos\\_internet%5Cipr%5Cipr\\_new%5Cmanuais%5Calbum\\_proj\\_tipos\\_disp\\_dren\\_versao\\_14.02.2007.pdf](http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/..%5Carquivos_internet%5Cipr%5Cipr_new%5Cmanuais%5Calbum_proj_tipos_disp_dren_versao_14.02.2007.pdf)> Acessado: 23/10/2017

- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE (DNIT). **Tabela do Sistema Nacional de Viação**, 2015. Disponível em: <https://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/sistema-nacional-de-viacao>. Acessado: 23/10/2017.
- EATON R. A.; GERARD S.; CATE D. W. **Rating Unsurfaced Roads**: A field manual for measuring maintenance problems. U.S Army Corps of Engineers, 1988. Disponível em : <http://acwc.sdp.sirsi.net/client/search/asset/1009620>> Acessado: 01/10/2017.
- FATTORI, B. J. **Manual para manutenção de estradas com revestimento primário**. 2007. 80p. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/78281/000897119.pdf?sequence=1>> Acessado: 23/10/2017.
- FERREIRA, F. **Uma aplicação comparativa de métodos de avaliação das condições superficiais de estrada não-pavimentada**. 2004. 193p. Dissertação (Mestrado em Concentração de Transportes) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2004. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000326696>> Acessado: 10/09/2017.
- FRANCIS B. NELSON III. **Uses of Pavement Management to Develop Maintenance and Rehabilitation Strategies**. Quigg Engineering, Inc. 17th Annual National Tribal Transportation Conference. Anchorage, Alaska, 2014.
- GORDON, K.; JAMES, S. **Ingeniería de caminos rurales**: Guía de campo para las mejores prácticas de administración de caminos rurales. Traducción del Instituto Mexicano del transporte. México, 2004.

- INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ (IAPAR). **Alturas de precipitação – Resumo anual**, 2017. Disponível em: <<http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sih-web/gerarRelatorioAlturasAnuaisPrecipitacao.do?action=iniciar>>. Acessado: 13/09/2017.
- MORALES, A. C. **Ensaio de compactação e caracterização**. 1997. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997. Disponível em: <<http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/e/e1/Apostila1.pdf>>. Acessado: 23/09/2017.
- NAZARETH, F. L. B.; RODRIGUES, G. G. **Avaliação de Rodovias Não Pavimentadas: Uma Ferramenta para o Gerenciamento de Malhas Viárias**. Revista Pensar Engenharia, v.2, n.1, jan. 2014. Disponível em: <[http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta\\_upload/artigos/a124.pdf](http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta_upload/artigos/a124.pdf)>. Acessado: 23/10/2017.
- NUNES, T. V. L. **Método de previsão de defeitos em estradas vicinais de terra com base no uso de redes neurais artificiais**: Trecho de Aquiraz. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transporte – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003. Disponível em: <[http://repositorio.ufc.br/ri/bitstream/riufc/4904/1/2003\\_dis\\_tvlnunes.pdf](http://repositorio.ufc.br/ri/bitstream/riufc/4904/1/2003_dis_tvlnunes.pdf)> Acessado: 23/10/2017.
- ODA, S. **Caracterização de uma rede municipal de estradas não pavimentadas**. 186p. Dissertação (Mestrado em transporte) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-14012005-161818>> Acessado: 10/09/2017.
- OLIVEIRA, T. S. **Estudo de estradas não pavimentadas da malha viária do município de Viçosa**. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2009. Disponível em: <<http://locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/808/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acessado: 03/11/2017.

- PEDRET, J. R. **Material de aula: Trazado de carreteras.** Universidad Politecnica de Catalunya, 2011. Disponível em: <[https://portal.camins.upc.edu/materials\\_guia/250235/2011/Apuntes%20trazado%202011-2012.pdf](https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250235/2011/Apuntes%20trazado%202011-2012.pdf)>. Acessado: 23/10/2017.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE FOZ DO IGUAÇU. **Sobre a cidade**, 2017. Disponível em: <<http://www.pmfi.pr.gov.br/conteudo/%3bjsessionid%3d60fe6bca45d1096fc721e783ad1d?idMenu=1004>>. Acessado: 21/10/2017.
- RODRIGUES, A.; LUPORINI, E.; AUGUSTO, F.; ANGELIERI, M. **Estradas vicinais de terra: Manual Técnico para conservação e recuperação.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 1988, 132pg. Disponível em: <<http://www.agp.org.br/wp-content/uploads/2012/02/Manual-de-Conserva%C3%A7%C3%A3o-e-Recupera%C3%A7%C3%A3o-de-Estradas-Vicinais-de-Terra.pdf>> Acessado: 10/09/2017.
- ROLOFF, G. **Metodologia para implantação de Bigodes.** Foz do Iguaçu: Universidade Federal da Integração Latino-Americana, 2017. (Comunicação Oral).
- SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTE (SCT). **Guía de procedimientos y técnicas para la conservación de carreteras en México.** 1ed. México D.F., 2014. Disponível em: <<http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Guias/guia-carreteras.pdf>> Acessado: 03/10/2017
- SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação.** v2, 2.Ed., Edit. Pini, São Paulo, 2007.

### APÊNDICE A – Limite de Liquidez



**APÊNDICE B – Frota de veículo no município de Foz de Iguaçu**

Tipo de veículo	Ano			
	2013	2014	2015	2016
Caminhão	3453	3528	3595	3723
Caminhão Trator	1829	1954	2045	2219
Caminhonete	8878	9568	10064	10576
Micro-ônibus	1129	1149	1178	1200
Ônibus	1053	1165	1289	1377
Reboque	2262	2414	2575	2735
Semirreboque	3814	4036	4272	4567
Trator	3	3	3	2
<b>Total</b>	<b>22421</b>	<b>23817</b>	<b>25021</b>	<b>26399</b>

Fonte: DENATRAN (2017)