

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

**GILSON DAL BOSCO DIAS JUNIOR
KLEBER LEONARDO PALARO**

**AVALIAÇÃO DA NECESSIDADE DE READEQUAÇÃO DE
ESTRADAS RURAIS: ESTUDO DE CASO EM TRECHO DE
ESTRADA NÃO PAVIMENTADA NO MUNICÍPIO DE PATO
BRANCO (PR)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PATO BRANCO
2014**

GILSON DAL BOSCO DIAS JUNIOR
KLEBER LEONARDO PALARO

**AVALIAÇÃO DA NECESSIDADE DE READEQUAÇÃO DE
ESTRADAS RURAIS: ESTUDO DE CASO EM TRECHO DE ESTRADA
NÃO PAVIMENTADA NO MUNICÍPIO DE PATO BRANCO (PR)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco.

Orientador: Prof. Msc. Jairo Trombetta

PATO BRANCO
2014



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DA NECESSIDADE DE READEQUAÇÃO DE ESTRADAS RURAIS: ESTUDO DE CASO EM TRECHO DE ESTRADA NÃO PAVIMENTADA NO MUNICÍPIO DE PATO BRANCO (PR)

GILSON DALBOSCO DIAS JUNIOR

e

KLEBER LEONARDO PALARO

Aos 31 dias do mês de julho do ano de 2014, às 08h15min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 32-TCC/2014.

Orientador : Prof. Msc. JAIRO TROMBETTA (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Msc. CLEOVIR JOSÉ MILANI (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca Prof^a Dr^a. ELIZÂNGELA MARCELO SILIPRANDI (DACOC / UTFPR-PB)

*Dedicamos esse trabalho aos nossos pais, familiares
e amigos que contribuíram e incentivaram na
conquista de mais essa etapa de nossas vidas.
Nossos eternos agradecimentos.*

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por nos guiar nos momentos mais difíceis.

Aos nossos familiares, a base de tudo. Sem vocês nada disso faria sentido.

Aos nossos amigos, que nos apoiaram e nos incentivaram para a conclusão dessa etapa. Obrigado a todos pelo companheirismo.

Aos professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus* Pato Branco, pelo conhecimento transmitido durante toda a graduação, em especial ao nosso Orientador Prof. Jairo Trombetta pela condução desse trabalho, ao Prof. Cleovir José Milani e a Prof. Elizângela Marcelo Siliprandi pela disponibilidade e contribuições para com o mesmo.

A todos que de alguma forma contribuíram para a construção de quem somos hoje.

A vocês, os nossos mais sinceros agradecimentos.

*“O êxito na vida não se mede pelo que você conquistou,
mas sim pelas dificuldades que superou no caminho.”*

Abraham Lincoln

RESUMO

DIAS JUNIOR, Gilson D. B.; PALARO, Kleber L. **Avaliação da necessidade de readequação de estradas rurais: estudo de caso em trecho de estrada não pavimentada no município de Pato Branco (PR)**. 2014, 106 pág. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2014.

As estradas tem a função de prover o fluxo de veículos e pessoas, acesso a mercadorias e serviços. Entre elas, ganham notoriedade as estradas não pavimentadas, as quais representam grande parcela de toda a malha viária nacional, e são responsáveis por ligar comunidades rurais aos centros urbanos. Diante da precariedade de muitas estradas não pavimentadas brasileiras, da falta de planejamento dos departamentos responsáveis pela manutenção e readequação dessas estradas frente às especificações de serviços e técnicas empregadas, e pelo alto custo de manutenção destas, objetivou-se avaliar as condições de um trecho de estrada não pavimentada do município de Pato Branco (PR), identificando seus principais defeitos, e, por meio de levantamento de dados topográficos, de tráfego e de características do solo, identificar as necessidades de readequação, propondo com isso algumas intervenções com o intuito de proporcionar maior durabilidade das condições da via e conseqüente redução do custo de manutenção. A avaliação mostrou que o trecho em estudo necessita de uma readequação, visto que, apresenta mau desempenho da superfície de rolamento e deficiência no sistema de drenagem, originando e agravando grande parte dos defeitos ali existentes. Diante disso, apresentou algumas intervenções que devem ser executadas para melhorar a condição de trafegabilidade da estrada e a posterior manutenção.

Palavras-chave: Estradas não pavimentadas. Readequação. Manutenção.

ABSTRACT

DIAS JUNIOR, Gilson D. B.; PALARO, Kleber L. **Evaluation of the necessity of readjustment of rural roads: a case study on a stretch of unpaved road in the county of Pato Branco (PR)**. 2014, 106 pág. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2014.

Roads have the function of providing the flow of vehicles and people, access to goods and services. Among them, the unpaved roads, which represent a large portion of all national road network, have gained notoriety and are responsible for connecting rural communities to urban centers. Given the precariousness of many Brazilian unpaved roads, due to a lack of planning of the departments responsible for maintenance and a readjustment of these roads according to the service specifications and appropriate techniques, and because of their high cost of maintenance, the goal was to measure the conditions of a stretch of an unpaved road in the town of Pato Branco (PR), identifying its main defects, and, by raising the topographic and traffic data, and soil characteristics, identify the necessary readjustments, proposing therewith some interventions with the intention of providing more durability to road conditions and consequent reduction of maintenance cost. The evaluation showed that the stretch under study requires a readjustment, since it presents poor performance of the bearing surface and deficiency on the drainage system, originating and aggravating the majority of defects existing there. So, some interventions were presented that should be executed in order to improve the road trafficability condition and further maintenance.

Keywords: Unpaved roads. Readjustment. Maintenance

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Defeito: Buracos.....	25
Figura 2 – Defeito: Ondulações.....	27
Figura 3 – Defeito: Segregação de agregados.....	28
Figura 4 – Defeito: Poeira	29
Figura 5 – Defeito: Sessão transversal inadequada.....	30
Figura 6 – Defeito: Atoleiro.....	31
Figura 7 – Defeito: Afundamento de trilho de roda.....	32
Figura 8 – Defeito: Erosão.....	33
Figura 9 - Defeito: Drenagem lateral inadequada.....	34
Figura 10 - Localização Geográfica do Estudo de Caso	37
Figura 11 - Fluxograma das etapas da pesquisa	38
Figura 12 - Subseções aproximadas da estrada não pavimentada do estudo.....	39
Figura 13 - Ábaco da Curva URCI.....	41
Figura 14 - Levantamento Topográfico	42
Figura 15 - Ábaco para determinação do fator de equivalência de operações	44
Figura 16 – Localização das coletas de amostras.....	46
Figura 17 - Coleta das amostras para ensaios.....	46
Figura 18 - Sequência ensaio de compactação	49
Figura 19 – Sequência do ensaio de granulometria	51
Figura 20 - Sequência para determinação do Limite de Liquidez.....	53
Figura 21 - Sequência determinação Limite de Plasticidade.....	55
Figura 22 - Localização da Jazida de cascalho no município de Pato Branco.....	56
Figura 23 - Sequência ensaio de determinação da massa específica do agregado graúdo	57
Figura 24 – Ensaio de infiltração	59
Figura 25 - Ábaco para determinação da capacidade de infiltração do solo	60
Figura 26 - Ábaco para dimensionamento de pavimento	63
Figura 27 - Defeitos encontrados na Subseção 1	65
Figura 28 - Determinação dos Valores de Deduções (VDU) pelos ábacos URCI	66
Figura 29 - Determinação do índice URCI da Subseção 1	67
Figura 30 - Defeitos encontrados na Subseção 2	68
Figura 31 - Defeitos encontrados na Subseção 3	70
Figura 32 - Defeito: Afloramento de rocha subseção 3	70
Figura 33 - Planta baixa obtida pelo levantamento topográfico.....	73
Figura 34 - Perfil longitudinal da estrada não pavimentada em estudo.....	73
Figura 35 - Seção transversal recomendada para o trecho	80
Figura 36 - Determinação da espessura do revestimento primário	80
Figura 37 - Detalhe do perfil transversal da estrada.....	81
Figura 38 - Bueiro existente no trecho estudado.....	83
Figura 39 - Croqui de localização dos dispositivos de drenagem na estrada.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nível de severidade de ocorrência de buracos	26
Tabela 2 - Nível de severidade das ondulações.....	27
Tabela 3 - Nível de severidade de segregação de agregados	28
Tabela 4 - Nível de severidade de poeira.....	30
Tabela 5 - Nível de severidade de sessão transversal inadequada	31
Tabela 6 – Nível de severidade de afundamento de trilhos de rodas.....	32
Tabela 7 - Nível de severidade da drenagem lateral inadequada	34
Tabela 8 - Classificação de Estradas Não Pavimentadas.....	41
Tabela 9 - Fator climático (FC).....	45
Tabela 10 - Vazão, velocidade e declividade crítica de bueiros tubulares de concreto	61
Tabela 11 - Valores de ISig em função de IG.....	62
Tabela 12 - Classificação dos defeitos quanto a severidade na Subseção 1.....	66
Tabela 13 - Classificação dos defeitos quanto a severidade na Subseção 2.....	68
Tabela 14 - Classificação dos defeitos quanto a severidade na Subseção 3.....	71
Tabela 15 – Resumo dos trechos da Avaliação pelo método URCl.....	72
Tabela 16 - Volume de tráfego médio diário do trecho em estudo	74
Tabela 17 - Ensaio de Compactação	77
Tabela 18 – Resultados dos ensaios de caracterização do solo, determinação do Índice de Grupo e Índice de suporte	78
Tabela 19 - Resultado Esqueleto Granular	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Planilha de Avaliação e Inspeção	40
Quadro 2- Ficha para determinação do Volume de Tráfego	43
Quadro 3 - Planilha de avaliação e inspeção da Subseção 1	67
Quadro 4 - Planilha de avaliação e inspeção da Subseção 2	69
Quadro 5 - Planilha de avaliação e inspeção da Subseção 3	71
Quadro 6 – Principais problemas encontrados em estradas não pavimentadas, suas causas e medidas corretivas	86

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS.....	14
1.1.1 Objetivo Geral.....	14
1.1.2 Objetivos Específicos.....	15
1.2 JUSTIFICATIVA.....	15
2. ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS.....	17
2.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	18
2.1.1 Capacidade de Suporte	18
2.1.2 Condições de Rolamento e Aderência	19
2.1.3 Sistemas de Drenagem	19
2.2 SERVIÇOS DE READEQUAÇÃO	21
2.2.1 Revestimento primário.....	21
2.2.2 Conformação da plataforma	22
2.2.3 Drenagem	22
2.3 MATERIAIS EMPREGADOS EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS.....	23
2.3.1 Argila.....	24
2.3.2 Cascalho.....	24
2.4 DEFEITOS.....	25
2.4.1 Buracos.....	25
2.4.2 Ondulações.....	26
2.4.3 Segregação dos agregados.....	27
2.4.4 Poeira	29
2.4.5 Sessão transversal inadequada.....	30
2.4.6 Afundamento de trilhos de rodas	32
2.4.7 Erosão	32
2.4.8 Drenagem lateral inadequada.....	33
2.5 AVALIAÇÃO DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS	35
3. METODOLOGIA DA PESQUISA	36
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	36
3.2 ESTUDO DE CASO	37
3.3 ETAPAS DA PESQUISA.....	38
3.3.1 Avaliação da estrada não pavimentada pelo Método URCl.....	39
3.3.2 Levantamento Topográfico	41
3.3.3 Volume de Tráfego	43
3.3.4 Registro Fotográfico.....	45
3.3.5 Coleta das amostras para ensaios de compactação e caracterização	46
3.3.6 Ensaio de Compactação.....	47
3.3.7 Caracterização dos agregados	50
3.3.7.1 Granulometria	50
3.3.7.2 Limite de Liquidez.....	52
3.3.7.3 Limite de Plasticidade.....	53
3.3.7.4 Esqueleto granular.....	55
3.3.8 Dimensionamento dos dispositivos de drenagem.....	58

3.3.9	Dimensionamento do revestimento primário.....	61
4.	RESULTADOS	64
4.1	AVALIAÇÃO DA ESTRADA PELO MÉTODO DE URCI	64
4.1.1	Subseção 1	64
4.1.2	Subseção 2.....	68
4.1.3	Subseção 3.....	69
4.2	LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO	72
4.3	VOLUME DE TRÁFEGO	74
4.4	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO.....	76
4.5	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	77
4.6	IDENTIFICAÇÃO DE SERVIÇOS DE READEQUAÇÃO.....	79
5.	CONCLUSÃO.....	87
	REFERÊNCIAS.....	89
	ANEXO A – ÁBACOS ÍNDICE URCI PARA CADA TIPO DE DEFEITO	93
	APÊNDICE A – PLANILHAS DE AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO.....	94
	APÊNDICE B – LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO	96
	APÊNDICE C – VOLUME DE TRÁFEGO.....	98
	APÊNDICE D – EVOLUÇÃO DA FROTA DE VEÍCULOS NO MUNICÍPIO DE PATO BRANCO.....	99
	APÊNDICE E- ENSAIO DE COMPACTAÇÃO	100
	APÊNDICE F - ENSAIOS DE LIMITE DE LIQUIDEZ	102
	APÊNDICE G – TABELAS DE CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	103
	APÊNDICE H – ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO	104
	APÊNDICE I – FOTOS DA ESTRADA DO ESTUDO DE CASO.....	105

1. INTRODUÇÃO

O modal rodoviário no Brasil, segundo dados de 2008 da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), é responsável por cerca de 71% do transporte interestadual de passageiros, sendo que no transporte intermunicipal de passageiros esse percentual é muito maior e 58% do transporte de cargas, fazendo dele o principal meio de transporte em operação no país. Com isso, verifica-se a importância de uma infraestrutura rodoviária adequada que garanta a movimentação da economia e mobilidade da população.

Basicamente podemos classificar as estradas em quatro critérios, sendo quanto à sua administração (federais, estaduais, municipais e particulares); quanto a sua função (arteriais, coletoras e locais); quanto às suas características físicas (pavimentadas, não pavimentadas, com pista simples ou duplas); e quanto ao seu padrão técnico (envolve diversos fatores, como valores de rampa máxima, raio de curvatura, largura da pista, entre outros) (BAESSO e GOLÇALVES, 2003).

As estradas não pavimentadas, também conhecidas como estradas vicinais de terra, ou ainda estradas rurais, são fundamentais para as comunidades rurais. Segundo Nunes (2003), é através delas que se estabelece a ligação entre as comunidades produtoras e as grandes rodovias pavimentadas, por onde circularão as mercadorias até o seu destino final.

Essas estradas, desenvolveram-se a partir de traçados já existentes, acompanhando o greide natural e as curvas de níveis, o que lhes conferia rampas com grandes inclinações e curvas acentuadas. Com o decorrer do tempo, os traçados foram adaptados de acordo com a necessidade, tendo, por vezes, a sua largura aumentada. Na tentativa de melhorar as condições da via, e sem as especificações técnicas adequadas, normalmente é realizado o motonivelamento, rebaixando o leito da via e criando taludes laterais, ocasionando assim diminuição da visibilidade, escoamento de água sobre a pista, entre outros (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, 2005).

Para Polido (2011), praticamente desconhece-se por parte dos municípios, especificações de serviços sobre manutenção e recuperação de estradas não pavimentadas, sendo mantida de forma inadequada.

Frente a isso, devem ser estabelecidas políticas públicas que garantam o desenvolvimento de programas de manutenção para essas estradas, baseadas em técnicas de readequação, além de serem pautadas no propósito de reduzir ao máximo os impactos ao meio ambiente com o menor custo possível, visando um mínimo de trafegabilidade aos usuários, de forma a permitir, entre outros fins, uma maior qualidade de vida dessa população (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

O presente trabalho avalia as condições atuais de uma estrada não pavimentada na zona rural do município de Pato Branco, elencando os principais defeitos encontrados e com isso, identifica as necessidades de restauração, apresentando as possíveis intervenções na mesma, uma vez que grande parte das perdas de produtos e boa parte dos gastos originários da malha viária, são decorrentes de defeitos existentes nessas estradas.

Nesse contexto, a estruturação desse trabalho se dá primeiramente por uma pesquisa bibliográfica acerca dos conceitos técnicos de uma estrada não pavimentada. Em seguida, elaborou-se a metodologia para o levantamento de dados do estudo de caso em questão. Fez-se a avaliação da condição atual do trecho da estrada estudada identificando as necessidades de readequação apresentando as possíveis intervenções cabíveis como resultados. Por fim, são apresentadas as considerações finais sobre o assunto.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O trabalho tem por objetivo avaliar as condições de uma estrada não pavimentada, localizada na zona rural do município de Pato Branco, identificar seus principais defeitos e apresentar possíveis readequações.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar levantamento topográfico do trecho a ser estudado;
- Realizar o levantamento do volume de tráfego nesse trecho;
- Caracterizar o solo do trecho analisado quanto as suas propriedades;
- Avaliar as condições atuais da estrada;
- Identificar as necessidades de readequação;
- Apresentar as possíveis intervenções que podem ser feitas;

1.2 JUSTIFICATIVA

A malha viária, nas suas mais diferentes categorias, é parte integrante da infraestrutura de qualquer país, sendo de importância vital para a economia e acesso as necessidades básicas da população. Ela tem a função de prover o fluxo de veículos e pessoas, acesso a mercadorias e serviços.

Segundo dados de 2008 da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2009), no Brasil existem 1.367.601 quilômetros de estradas não pavimentadas, o que representa 79% da malha viária, destas, 1.236.128 quilômetros são administradas pelos municípios, e são responsáveis pelo escoamento da produção agrícola e do acesso aos serviços essenciais das populações desses locais.

As más condições de uso dessas estradas, para Baesso e Gonçalves (2003), ocasionam dentre outras implicações: o aumento do tempo de viagem, o encarecimento do transporte, a perda de produtos agrícolas, a dificuldade de acesso aos serviços essenciais, o desânimo do produtor rural e o estímulo ao êxodo rural.

Com o aumento da produção agrícola e conseqüentemente do aumento do número de veículos necessários para o escoamento dessa produção, além de todas as implicações já mencionadas que podem vir a ocorrer, é notável a importância do emprego de técnicas adequadas que possibilitem uma readequação, conservação e manutenção dessas estradas.

Nota-se que normalmente, quando são feitas intervenções para a melhoria destas estradas, faz-se com caráter provisório, sem a utilização de técnicas adequadas, sem uma análise apropriada da mesma, sendo que pouco tempo depois, a mesma volta à situação semelhante a anterior aos reparos, necessitando de novas intervenções.

Frente a isso, verificou-se a importância desse estudo para cidade de Pato Branco (PR), visto que, segundo dados de 2012, do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES), o setor agropecuário do município movimenta mais de 330 milhões de reais, o que representa uma grande parcela da economia local. Essa movimentação se dá em parte por estradas não pavimentadas do município, muitas das quais não possuem qualquer tipo de manutenção ou conservação, apresentando condições precárias de trafegabilidade, o que poderia ser melhorado através de técnicas adequadas de readequação.

Além do mais, em 09 de maio de 2012, aprova a lei municipal nº 3.786, que dispõem sobre a obrigatoriedade da realização de obras de pavimentação com pedras irregulares somente em estradas rurais readequadas, garantindo com isso, a durabilidade desse serviço e consequente redução dos custos de manutenção.

2. ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS

Estradas não pavimentadas, ou também denominadas 'estradas de terra', são aquelas que não possuem qualquer tipo de tratamento superficial, e têm em sua camada superficial apenas solo local, às vezes em mistura com agregado granular, decorrente de sua manutenção (NUNES, 2003).

A grande maioria dessas estradas estão situadas nas zonas rurais dos municípios, abertas por colonizadores de forma inadequada, muitas vezes resultantes de caminhos e trilhas abertas pela própria população desses locais.

Os principais defeitos em estradas não pavimentadas são pistas de rolamento muito estreitas, curvas acentuadas, erosão, alagamentos, entre outras, que dificultam o trânsito de veículos e pessoas. Como resultado disso, podemos citar o aumento do tempo e dos custos de transporte, dificuldade de escoamento e perda de produtos agrícolas, dificuldades de acesso aos mercados e aos serviços essenciais, desestímulo às atividades produtivas, isolamento econômico e social dos agricultores e o aumento do êxodo rural (SILVA FILHO, 2001)

Segundo Baesso e Gonçalves (2003) a manutenção dessas estradas, deve ser realizada adequadamente e com frequência para reduzir os custos de reconstrução a longo prazo. Segundo o mesmo, a manutenção periódica deve incluir, entre outros serviços, uma conformação da pista de rolamento, recomposição de pequenos segmentos onde o revestimento encontra-se deficiente, limpeza das obras de drenagem, o reparo ou inclusão de dispositivos de proteção às saídas de drenagem e ainda a recomposição de áreas degradadas através da adoção de técnicas de proteção vegetal.

Segundo Nunes (2003), as condições da superfície de rolamento de uma estrada dependem de fatores variando de acordo com a região. Esses fatores são o tipo de solo, clima, topografia, tráfego e frequência de manutenção, os quais, influenciam diretamente no aparecimento de defeitos no leito das vias, o que ocasiona problemas que comumente, quando não reduzem a velocidades de tráfego, são os responsáveis pela interrupção da utilização da via.

Alves (2009) afirma que o conhecimento da infraestrutura, juntamente a uma análise dos defeitos que ocorrem nas estradas não pavimentadas, poderá resultar

numa manutenção preventiva com redução no custo das correções, permitindo uma melhora do desenvolvimento social e econômico dessas áreas.

Nesse contexto, devem ser conhecidas as características técnicas adequadas de uma estrada não pavimentada, buscando a adaptação da região estudada, para que possa ser feita uma correta readequação da mesma, pois as manutenções que são realizadas comumente não tem nenhum planejamento e são realizadas em situações precárias, em termos técnicos e financeiros.

2.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

As duas características técnicas essenciais de uma estrada não pavimentada são a capacidade de suporte, que deve ser compatível com o tráfego do trecho, e as condições de rolamento e aderência, que devem ser adequadas ao conforto e segurança do usuário, garantindo assim uma condição mínima de tráfego satisfatória (NUNES, 2003).

Além disso, segundo Techio (2009), uma boa estrada não pavimentada deve possuir largura de rolamento suficiente para acomodar o tráfego da região; resistência suficiente para suportar as cargas atuantes sem que ocorram deformações excessivas e um bom sistema de drenagem para evitar que a ação erosiva da água danifique o subleito e a superfície de rolamento.

2.1.1 Capacidade de Suporte

A capacidade de suporte de uma estrada está relacionada com a deformação da mesma pelas solicitações do tráfego. Os problemas oriundos da falta de capacidade de suporte são ocasionados pelas deficiências técnicas localizadas no subleito (terreno natural sobre o qual está implantada a estrada), na camada de reforço (melhoramento do subleito), ou em ambas. (BAESSO e GONÇALVES, 2003)

A solução para o problema nesse caso está em haver boa compactação no momento da execução e no uso de matérias granulares, como a areia, cascalho, seixo rolado e brita (SILVA FILHO, 2001).

2.1.2 Condições de Rolamento e Aderência

As condições de rolamento e aderência de uma estrada não pavimentada está relacionada com a regularização da pista. Em relação ao rolamento, os defeitos mais comuns são os buracos, ondulações e pedras soltas, os quais diminuem o conforto e segurança dos usuários. Em relação a aderência, as deficiências encontradas estão relacionadas com o atrito entre os pneus dos veículos e a pista, deixando-a escorregadia, ocasionada pelos materiais granulares soltos sobre a mesma e o uso de materiais muito finos na camada de revestimento (BAESSO e GONÇALVES, 2003)

Para solucionar esses problemas, o ideal seria a mistura de materiais granulares com um material ligante (argila) que aglutine esses grãos, seguida de uma compactação adequada (SILVA FILHO, 2001).

Portanto, segundo Santos (1998) quando se buscam boas condições de rolamento e aderência, deve-se utilizar material granular e material argiloso, e executar mistura e compactação adequadas.

2.1.3 Sistemas de Drenagem

Para Skorset e Selim (2000), devem ser considerados três principais aspectos para a manutenção de estradas não pavimentadas, drenagem, drenagem e drenagem. Quando o sistema de drenagem é falho, os melhores esforços de readequação trazem resultados insignificantes.

O sistema de drenagem é um conjunto de dispositivos superficiais e/ou subterrâneos, que tem como finalidade promover o escoamento da água do leito da estrada. Seu papel é tão importante, quanto o próprio revestimento da pista de rolamento, visto que, se não houver um sistema bem estruturado, poderão aparecer

problemas na plataforma da estrada já nas primeiras chuvas. Dentro desses problemas, podemos citar a erosão do solo, enfraquecimento da estrutura da rodovia, destruição de acostamentos e taludes, entre outros (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

Para um correto dimensionamento e execução de um sistema de drenagem eficiente, Baesso e Gonçalves (2003) afirmam que devem ser levados em conta fatores climáticos, topográficos e geológicos, que variam de acordo com a região. Segundo os mesmos, alguns princípios básicos a serem adotados para que se a drenagem seja eficiente em estradas rurais são:

- Desenvolver, sempre que possível, traçados próximos aos divisores de água;
- Remover da pista toda a água sem danificar a estrada ou sua estrutura;
- Reduzir a velocidade da água, assim como a distância que ela percorre;
- Adotar, sempre que possível, plataformas cujas larguras e altura dos cortes e aterros, produzam um mínimo de perturbações;
- Evitar a construção das estradas em áreas úmidas, instáveis ou com fortes rampas;
- Manter ao máximo a vegetação natural dos cortes e aterros ao longo da estrada;

Dentro dos sistemas de drenagem, podemos classifica-los em dispositivos de drenagem superficial e dispositivos de drenagem profunda/subterrânea.

A drenagem superficial consiste num conjunto de dispositivos construídos junto à estrada, com a finalidade de propiciar o escoamento das águas pluviais que caem sobre a pista e imediações. São compostos por bueiros, caixas de retenção, sarjetas, valas de escoamento, valetas de proteção, bigodes, dissipadores de energia, caixas coletoras e murundum (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

Já a drenagem profunda tem como objetivo principal a obtenção de uma fundação seca para as estradas, visando o dessecamento dos aterros ou da camada superior do fundo dos cortes e o rebaixamento do lençol freático. Para isso, são empregadas valas ou camadas preenchidas por um ou mais materiais, com permeabilidade bem maior que a do material a drenar, cuja função é recolher as águas superficiais que se infiltram no pavimento e conduzi-las para fora da plataforma da estrada (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

2.2 SERVIÇOS DE READEQUAÇÃO

Os serviços de readequação de estradas não pavimentadas compreendem a maneira certa de construir, conservar e manter a mesma em boas condições, garantindo assim o tráfego e o escoamento da produção agrícola, especialmente em épocas de chuvas e secas, além de reduzir os custos de manutenção dessas estradas. A seguir são descritos alguns os principais serviços empregados nas técnicas de readequação.

2.2.1 Revestimento primário

Para Ferreira (2004) é a aplicação de uma camada de mistura entre material granular e material argiloso, sobre o subleito ou sobre o reforço do subleito. A espessura dessa camada vai depender do volume e tipo do tráfego, além das condições de suporte do subleito, variando geralmente entre 10 a 20cm (SILVA FILHO, 2001).

O diâmetro do material granular deve ser inferior a 2,5 cm, e a argila deve representar de 20 a 30% da mistura. Os materiais empregados para a execução do revestimento primário são geralmente areia grossa, cascalho, saibro e rocha britada (SILVA FILHO, 2001).

A função da argila é atuar como ligante e regularizar a pista de rolamento, enquanto o material granular tem a função de aumentar o atrito da pista com as rodas dos veículos (ODA, 2001).

A recomposição do revestimento primário serve também para corrigir alguns defeitos, como as trilhas de roda, os buracos, erosões e perdas de declividade (SILVA FILHO, 2001). Para Santos et. al. (1988), a mistura pode acontecer no local da aplicação, com o auxílio de grade de disco ou motoniveladora.

As etapas para a execução do revestimento primário, segundo Oda (2001), compreende a regularização e compactação do subleito ou camada de reforço; escarificação do leito; lançamento e espalhamento do material; umedecimento ou secagem e por fim a compactação.

2.2.2 Conformação da plataforma

Silva Filho (2001) define conformação da plataforma como sendo a regularização da pista de rolamento através de cortes e aterros de até 0,20m compensados lateralmente, no abaulamento transversal. O objetivo dessa técnica é basicamente conseguir um perfil transversal adequado para a rodovia, de modo a permitir a drenagem das águas superficiais para as sarjetas.

O procedimento compreende basicamente o nivelamento mecânico (com a motoniveladora) da pista e a simultânea execução da sarjeta. A estrada deve ter uma declividade transversal, a partir do eixo, de 6 a 7 cm para cada metro a partir do centro da estrada antes da compactação. Com isso, após a compactação, a estrada apresentará declividade em torno de 4 a 6% (SILVA FILHO, 2001).

2.2.3 Drenagem

Um sistema de drenagem eficiente, como já citado, deve retirar a água do leito da estrada e transferi-la para canais de escoamento em suas laterais, através de uma seção transversal adequada. Em trechos onde a estrada acompanha a declividade do terreno devem ser executadas bacias de contenção laterais e lombadas alinhadas às bacias de contenção, com o intuito de diminuir a velocidade da água e transferi-la para as bacias. Em trechos em que a estrada segue transversalmente a declividade do terreno, se a acumulação de água for muito grande deve-se prever bueiros (passadores) para transferir a água para o outro lado da estrada (ODA, 2001; SILVA FILHO, 2011).

Abaixo seguem, segundo Baesso e Gonçalves (2003) a definição de alguns dispositivos de drenagem:

a) Sarjeta: dispositivo executado na lateral da estrada com o objetivo de coletar a água de escoamento superficial da pista e dos taludes e conduzi-la para um talvegue natural ou bueiro. É recomendado que elas sejam executadas juntamente às

operações de conformação da plataforma, com uma inclinação que acompanha o abaulamento da pista de rolamento.

b) Lombadas (murundum): são elevações construídas ao longo da largura da pista de rolamento da estrada, com a finalidade de conduzir as águas procedentes das sarjetas e direcioná-las aos dispositivos como as bacias de retenção.

c) Bacia de retenção: tem por objetivo receber as águas provenientes das lombadas e retê-la, evitando assim que a mesma prossiga e cause erosão nas imediações. Esse dispositivo é composto basicamente por uma cava semicircular, escavada em cunha, com diâmetro e profundidade variáveis em função das áreas de contribuição.

d) Bueiro: dispositivo destinado a conduzir a água de um lado para outro ou permitir a passagem das águas coletadas pelas sarjetas. Normalmente são feitos por tubos de concreto simples ou armado. A altura de aterro entre seu topo e a pista de rolamento da estrada deve ser de no mínimo 1,5 vezes o seu diâmetro e a declividade deve estar entre 0,5 a 5%.

2.3 MATERIAIS EMPREGADOS EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS

Para os serviços de manutenção (reforço do subleito e preparação do revestimento primário) e correção dos problemas comuns das estradas não pavimentadas é imprescindível o uso de materiais granulares como saibro, pedregulho e cascalho (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

Esses materiais são utilizados conforme a disponibilidade de cada região. Na conservação de estradas, os materiais encontram-se nos próprios trechos ou em jazidas próximas, podendo os mesmos, estarem em condições naturais para o uso direto, ou então, podem exigir misturas para torna-los adequados para o uso (SILVA FILHO, 2011).

No caso da região de Pato Branco, iremos abordar somente o emprego de argila, cascalho e rocha britada.

2.3.1 Argila

A argila pode ser definida, conforme Santos et al. (1988, pg. 7) como: “material fino de cor vermelha, marrom ou amarela, cujo grãos não são visíveis a olho nu”. Devido aos grãos serem muito pequenos, o comportamento das argilas varia em função da quantidade de água que envolve seus grãos. Por isso, a pista de rolamento de estradas localizadas em regiões com predominância de materiais argilosos e índices pluviométricos elevados, devem receber a incorporação de materiais granulares para permitir a trafegabilidade dos veículos e pessoas durante e após as chuvas (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

2.3.2 Cascalho

Material granular cujas partículas possuem diâmetro acima de 4,8mm, sendo geralmente, muito resistentes, de granulometria variada e com formas arredondadas (SANTOS et al., 1988).

Têm se utilizado cascalhos de diâmetro excessivo para revestimento primário, gerando superfícies de rolamento desconfortáveis ao tráfego e em desacordo com as recomendações técnicas. Por isso, recomenda-se a utilização de agregados que não supere uma polegada (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

2.3.3 Rocha britada

Material resultado da britagem da rocha por meio de equipamentos mecânicos, produzindo agregados com variadas dimensões. Sua forma pode ser lamelar, alongada ou cúbica. Para a utilização em estradas, recomenda-se evitar o uso de brita de forma lamelar, optando pela forma cúbica (BAESSO e GONÇALVES, 2003)

2.4 DEFEITOS

Define-se defeito, segundo Oda (2001, pag. 55), como “qualquer alteração na superfície da estrada que influencia negativamente as suas condições de rolamento”.

Os defeitos frequentemente encontrados em estradas não pavimentadas são causados principalmente, segundo Santos (1998), por deficiência no sistema de drenagem, por falta de capacidade de suporte do subleito e pelo mau desempenho da superfície de rolamento.

A seguir são apresentados os principais defeitos encontrados em estradas não pavimentadas.

2.4.1 Buracos

São pequenas depressões em forma de bacia na superfície da estrada, como pode ser vista na Figura 1, produzidas pelo desgaste ocasionado pelo tráfego e que têm o crescimento acelerado pela umidade interior do buraco, sendo várias as causas que podem ocasionar esse tipo de defeito. Dentre elas, podemos citar a inexistência ou deficiência do revestimento primário, falta de material ligante (argila), plataforma da estrada mal drenada e a falta de abaulamento transversal. (NUNES, 2003).



Figura 1 – Defeito: Buracos
FONTE: Baesso e Gonçalves (2003).

Para Silva Filho (2011) a solução para esse defeito é executar um sistema de drenagem adequado; aplicar um revestimento primário se não existir ou então, se houver, aplicar material ligante (argila) para executar as melhorias; fazer o abaulamento da pista após a execução do revestimento primário. Segundo o mesmo, no caso de haver poucos buracos na pista, deve-se retificar, limpar e umedecer as cavidades, e em seguida, preenchê-las em camadas com o mesmo material usado para revestimento primário, finalizando com a compactação.

Segundo Eaton (1988), podemos classificar a severidade dos buracos conforme o diâmetro médio e profundidade dos mesmos, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Nível de severidade de ocorrência de buracos

Diâmetro Médio (cm)	Profundidade (cm)		
	<5	5-10	>10
<30	BAIXO	BAIXO	MÉDIO
30-60	BAIXO	MÉDIO	ALTO
60-90	MÉDIO	ALTO	ALTO
>90	MÉDIO	ALTO	ALTO

FONTE: Adaptado de Eaton (1988).

2.4.2 Ondulações

As ondulações compõem-se de sulcos em intervalos regulares ou irregulares no sentido perpendicular à direção do tráfego, como pode ser vista na Figura 2, e são ocasionadas pela falta de capacidade de suporte do subleito e ausência ou deficiência de drenagem. As ondulações regulares ocorrem em estradas formadas por solos arenosos, enquanto que as ondulações irregulares ocorrem em estradas formadas por solos argilosos que, ao secarem, se contraem formando o defeito (NUNES, 2003).

Além disso, Silva Filho (2011) afirma que as ondulações são causadas pela falta de coesão da superfície, resultado da perda de material fino, resultante da falha do sistema de drenagem, que associada com o intenso volume de tráfego e a alta velocidade dos veículos, piora a situação.



Figura 2 – Defeito: Ondulações
FONTE: Techio (2009).

Segundo Eaton et al. (1988) podemos classificar os níveis de severidade das ondulações conforme mostra a Tabela 2.

Profundidade (cm)	Severidade
<2,5	BAIXA
2,5-7,5	MÉDIA
>7,5	ALTA

FONTE: Adaptado de Eaton et al. (1988).

2.4.3 Segregação dos agregados

A segregação de agregados consiste no acúmulo de partículas de agregados soltos, oriundos da superfície de rolamento devido ao tráfego, se colocando fora das trilhas de roda e formando bermas no centro ou ao longo do acostamento da estrada ou ainda na área menos trafegável, paralela à linha central da estrada (NUNES, 2003), como pode ser visto na Figura 3.



Figura 3 – Defeito: Segregação de agregados
FONTE: Baesso e Gonçalves (2003).

A segregação de agregados, para Ferreira (2004), ocorre em locais onde o solo é excessivamente argiloso, em rampas mais íngremes, onde foi aplicado revestimento primário sem a devida compactação. Quando em locais de solo arenoso, ocorre em regiões planas, por conta da falta de material ligante.

Além de oferecer perigo ao tráfego de veículos, a segregação ocasiona a obstrução das sarjetas, impedindo o escoamento normal das águas, formando poças nas laterais da estrada.

Silva Filho (2001) recomenda como solução misturar o material solto sobre a pista, com material ligante (argila), procedendo da seguinte forma: espalhar o material acumulado nas sarjetas sobre a pista, em seguida, espalhar argila sobre o material; umedecer ou secar, se necessário, para que os materiais fiquem com umidade no ponto ideal; escarificar para que haja uma mistura adequada; nivelar a pista e por fim compactar.

Para Eaton et al. (1988), podemos classificar os níveis de severidade de segregação de agregados conforme mostra a Tabela 3.

Altura Bermas (cm)	Severidade
<5	BAIXA
5-10	MÉDIA
>10	ALTA

FONTE: Adaptado de Eaton et al. (1988).

2.4.4 Poeira

O excesso de material fino no leito da estrada, que durante o período de seca fica sem umidade, forma, sob a ação constante de tráfego, o que chamamos de poeira (NUNES, 2003, pg. 27). A Figura 4 ilustra esse tipo de defeito.



Figura 4 – Defeito: Poeira
FONTE: Baesso e Gonçalves (2003).

Esse tipo de defeito dificulta a visibilidade, colocando em risco a segurança do tráfego, além de prejudicar o conforto dos moradores locais e usuários da rodovia.

É mais evidente em locais de solo argiloso, onde existe grande quantidade de partículas finas soltas, resultantes da abrasão entre os pneus e o leito estrada, o qual quando da passagem de veículos, forma uma nuvem de material fino (FERREIRA, 2004).

A solução desse defeito é fazer um revestimento primário ligante. Para solos siltosos, necessita-se fazer também reforço do subleito, visto que a capacidade de suporte deste solo é muito baixa e a formação de poeira mais intensa (SANTOS, 1998)

Segundo Eaton et al. (1988) podemos classificar os níveis de severidade desse tipo de defeito conforme a visibilidade e altura da nuvem da poeira, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4 - Nível de severidade de poeira

Severidade	Descrição
BAIXA	Pouca poeira, nuvem fina, não obstrui a visibilidade, altura menor que 1 metro.
MÉDIA	Poeira moderada, nuvem moderadamente densa, obstrui a visibilidade, altura entre 1 e 2 metros, tráfego lento.
ALTA	Muita poeira, severa obstrução da visibilidade, altura superior a 2 metros, tráfego muito lento ou parado.

FONTE: Adaptado de Eaton et al. (1988).

2.4.5 Sessão transversal inadequada

Segundo Baesso e Gonçalves (2003), a estrada possui uma seção transversal inadequada quando existe dificuldade da mesma transportar a água de seu leito para os dispositivos de drenagem existentes em suas laterais, como pode ser vista na Figura 5.



Figura 5 – Defeito: Sessão transversal inadequada
FONTE: Baesso e Gonçalves (2003).

Segundo Eaton et al (1987) pode-se classificar a severidade da sessão transversal inadequada conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Nível de severidade de sessão transversal inadequada

Severidade	Descrição
BAIXA	Pequenas quantidades de água empoçadas na superfície ou superfície plana sem declividade transversal.
MÉDIA	Quantidade moderada de água empoçada, ou superfície côncava.
ALTA	Grandes quantidades de água ou grandes depressões na superfície.

FONTE: Adaptado de Eaton et al (1987).

Uma das consequências desse defeito é a formação de atoleiros, que surgem pelo acúmulo de água na estrada em solo com pouca capacidade de suporte, formando uma camada de lama que reduz o atrito entre os pneus dos automóveis e o leito da estrada, como pode ser visto na Figura 6 (FERREIRA, 2004).



Figura 6 – Defeito: Atoleiro
FONTE: Baesso e Gonçalves (2003).

Para solucionar esse tipo de problema, Silva Filho (2001) recomenda que deve ser checado o sistema de drenagem, caso essa for existente, verificando se não há entulhos impedindo o escoamento das águas nas valas, bueiros, sarjetas, bigodes, etc. Caso não houver sistema de drenagem, nenhuma solução dará resultado até que o mesmo não seja executado. Caso o problema seja identificado como falta de abaulamento transversal da estrada, a solução indicada é a conformação da plataforma.

2.4.6 Afundamento de trilhos de rodas

Constitui-se do afundamento da pista de rolamento, no local da trilha dos pneus, sendo ocasionado pela repetição de carga sobre o mesmo ponto (NUNES, 2003), como pode ser visto na Figura 7.



Figura 7 – Defeito: Afundamento de trilho de roda
FONTE: Baesso e Gonçalves (2003).

Segundo Eaton et al. (1988), pode-se caracterizar a severidade do afundamento de trilhos de roda como mostra a Tabela 6.

Tabela 6 – Nível de severidade de afundamento de trilhos de rodas	
Profundidade (cm)	Severidade
<2,5	BAIXA
2,5-7,5	MÉDIA
>7,5	ALTA

FONTE: Adaptado de Eaton et al. (1988).

2.4.7 Erosão

Segundo Techio (2009) a erosão é representada por sulcos formados pela ação da água que com a ação das enxurradas evoluem para grandes ravinas. Esse

tipo de defeito é comum em estradas com rampas acentuadas, sem declividade transversal adequada, ausência de proteção vegetal, baixa resistência do solo à ação das águas e na falta ou deficiência de um sistema de drenagem (TECHIO, 2009; NUNES, 2003), como pode ser visto na Figura 8.



Figura 8 – Defeito: Erosão
FONTE: Baesso e Gonçalves (2003).

O combate a erosão não é fácil, necessitando de acompanhamento e conservação constante das soluções adotadas. Dentre elas, podemos citar a implantação de um eficiente sistema de drenagem, evitando assim que a água corra em velocidade excessiva, que empoece sobre a pista e que corra sobre os taludes de corte e aterro. Além disso, deve haver a proteção vegetal, pois a vegetação atua como um obstáculo às águas, diminuindo a velocidade e evitando o carreamento de partículas de solo, além de absorver parte de água infiltrada, através das raízes, ajudando na estabilidade do solo (SANTOS, 1998).

2.4.8 Drenagem lateral inadequada

A drenagem lateral inadequada é caracterizada, segundo Baesso e Gonçalves (2003), pelo acúmulo de água na plataforma, originada principalmente pelo mau funcionamento dos dispositivos de drenagem superficial. Além disso, segundo

Oda (2001), podemos caracterizar esse defeito pelas sarjetas cobertas de vegetação ou entulhos e que não estão em condições para direcionar e transportar a água, ocasionando com isso o empoçamento da mesma, como pode ser visto na Figura 9.



Figura 9 - Defeito: Drenagem lateral inadequada
FONTE: Baesso e Gonçalves (2003).

Segundo Eaton et al. (1988), pode-se caracterizar a severidade da drenagem lateral inadequada conforme mostra a Tabela 7.

Tabela 7 - Nível de severidade da drenagem lateral inadequada

Severidade	Descrição
BAIXA	Pequena quantidade de água empoçada nas sarjetas e sarjetas sem vegetação ou entulhos.
MÉDIA	Quantidade moderada de água nas sarjetas; sarjetas com pequenas quantidades de vegetação e entulhos e evidência de erosão das sarjetas do lado de dentro da estrada.
ALTA	Grande quantidade de água nas sarjetas; sarjetas cobertas de vegetação e entulho e erosão das sarjetas do lado de dentro da estrada.

FONTE: Adaptado de Eaton et al. (1988).

2.5 AVALIAÇÃO DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS

A avaliação das condições de estradas não pavimentadas pode ser realizada através da observação dos seus defeitos, que dependendo da severidade em que estão ocorrendo, podem provocar sérios riscos à segurança dos usuários (ODA, 2001).

Um dos métodos existentes, que pode ser empregado é o *Unsurfaced Road Condition Index* – Índice da Condição de Estradas não pavimentadas (URCI), que foi desenvolvido em 1995 pela *United State Army Corps of Engineers* – Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos da América (USACE).

O método consiste em classificar as estradas não pavimentadas a partir do cálculo do índice das condições da superfície de rolamento (URCI), mediante o cálculo do valor de dedução, que varia com os níveis de severidade dos defeitos encontrados, e que são classificados de acordo com as dimensões do defeito em relação à área do trecho analisado (ODA, 2001).

A estrada deverá ser dividida em seções e essas em subseções. As seções devem ter características físicas e operacionais semelhantes. As subseções podem variar em tamanho de área com 135 a 300 m², aproximadamente, e sugere-se pelo menos duas subseções a cada 1,6 km (FERREIRA, 2004).

Os procedimentos executivos do método são descritos com mais detalhes na metodologia desse trabalho, no item 3.3.1.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

Nesse capítulo são descritos os procedimentos metodológicos seguidos para a elaboração desse trabalho. Iniciando-se pela avaliação das condições da estrada rural do estudo de caso, que basicamente dividiu-se em duas etapas, sendo a primeira por meio do levantamentos de dados, ensaios laboratoriais e de campo, e a segunda por meio da aplicação do método de avaliação *Unsurfaced Road Condition Index* – Índice da Condição de Estradas não pavimentadas (URCI), para posterior identificação das necessidades de readequação, e por fim, a apresentação das possíveis intervenções na mesma.

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Com relação a classificação da pesquisa, Fachin (2001) descreve que podemos classificá-la quanto a categoria em quantitativa e qualitativa. A pesquisa quantitativa segundo o autor é uma forma de atribuir números a propriedades, objetos, acontecimentos, materiais, de modo que proporcione informações úteis. Já a qualitativa é caracterizada pelos seus atributos e relaciona aspectos não somente mensuráveis, mas também definidos descritivamente. Portanto, visto que serão analisados dados estatísticos, levantamento de dados estatísticos, levantamento de dados da região e correlação deles com os problemas encontrados, podemos caracterizá-la como uma pesquisa quantitativa-qualitativa.

Segundo Gil (2002), também podemos caracterizar a pesquisa pelos objetivos propostos em exploratórias, descritivas e explicativas. Como a pesquisa envolve pesquisa bibliográfica e estudo de caso, podemos classificá-la como exploratória, sendo o objetivo principal desse tipo de pesquisa o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Além disso, como o estudo depende de levantamentos de dados (topográfico, hidrográfico, volume de tráfego, análise do solo, etc.), podemos classificá-la também como descritiva, que segundo o autor tem como objetivo principal a descrição das características de determinado fenômeno.

3.2 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso, segundo Gil (2002), consiste no estudo profundo de um elemento, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento. O mesmo foi dividido basicamente em três etapas, sendo elas, a avaliação das condições da estrada, seguida da identificação das necessidades de readequação, e por fim, a apresentação das possíveis intervenções.

O objeto de estudo é localizado no município de Pato Branco, região sudoeste do Estado do Paraná, a uma distância de 433,53 Km da capital do estado (Curitiba), estando situado geograficamente nas coordenadas 26° 13' 46" latitude sul e 52° 40' 14" longitude oeste. Como já citado, grande parte da economia do município gira em torno do setor agropecuário, o qual utiliza como via as estradas não pavimentadas do município.

O trecho da estrada é localizado dentro do município, na linha Independência, perfazendo um trecho de aproximadamente 1,4 Km. O início do trecho está situado geograficamente nas coordenadas 26° 11' 26,9" latitude sul e 52° 43' 49,5" longitude oeste e o término nas coordenadas 26° 11' 42" latitude sul e 52° 44' 35" longitude oeste, como mostra a Figura 10.

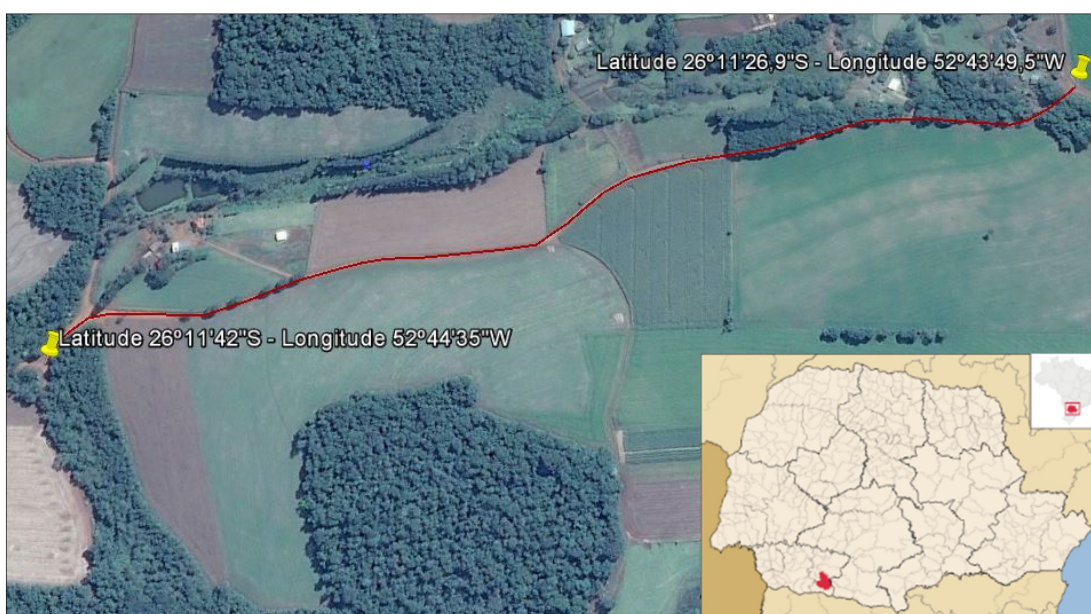


Figura 10 - Localização Geográfica do Estudo de Caso
FONTE: Adaptado de Google Earth.

3.3 ETAPAS DA PESQUISA

Para uma maior exemplificação das etapas realizadas nesse trabalho, a Figura 11 apresenta um fluxograma que demonstra ao caminho percorrido para a obtenção dos objetivos propostos.

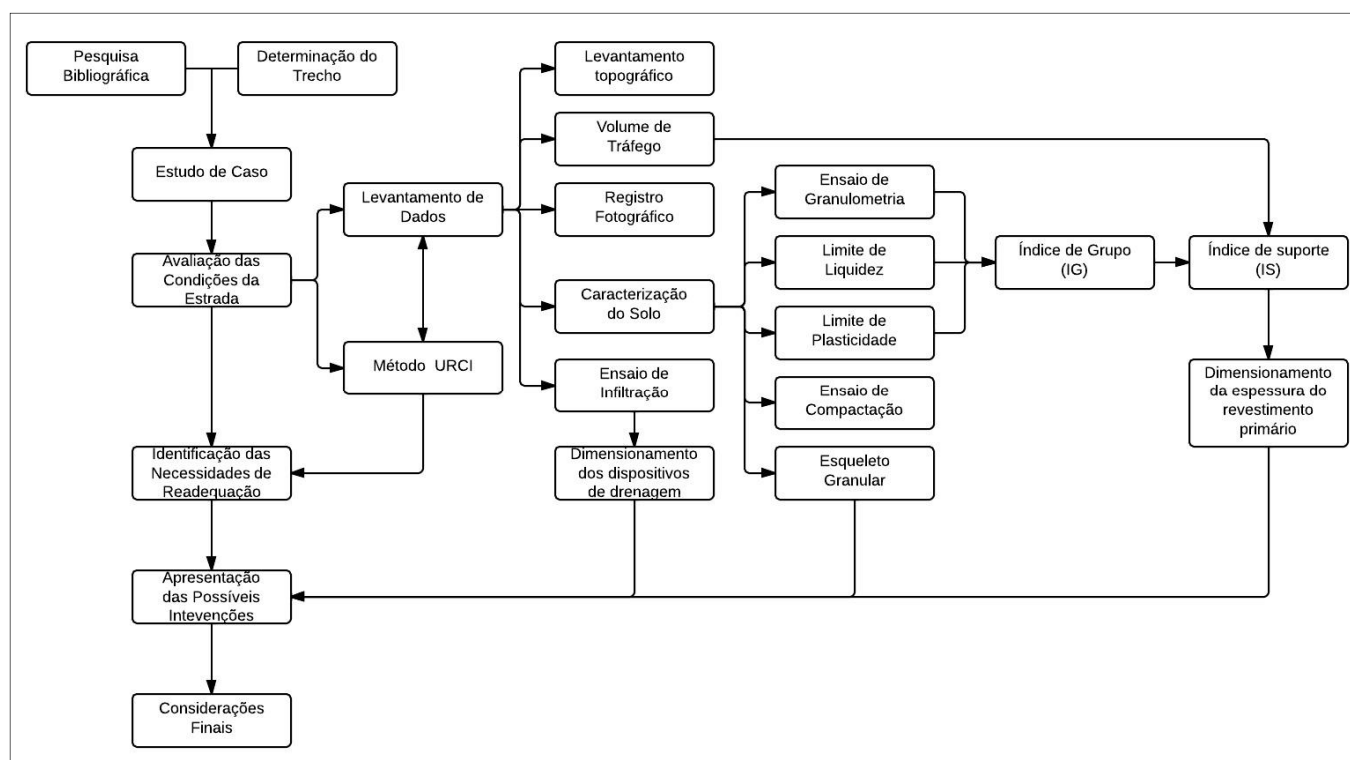


Figura 11 - Fluxograma das etapas da pesquisa
FONTE: Autoria Própria (2014).

Conforme apresentado no fluxograma o trabalho iniciou-se com o referencial teórico onde foram abordadas as variáveis relacionadas aos serviços que podem ser prestados para readequação, bem como os materiais que podem ser empregados para tal. Concomitante foi realizada a definição do trecho a ser estudado.

Em seguida, partiu-se para a avaliação das necessidades de readequação. Nessa etapa aplicou-se o método de avaliação *Unsurfaced Road Condition Index* – Índice da Condição de Estradas não pavimentadas (URCI). Juntamente a isso, foram realizados todos os levantamentos e coletas de dados do trecho estudado, buscando-se obter o máximo de informações relevantes para o estudo, por meio do

levantamento topográfico e hidrográfico; volume de tráfego; registro fotográfico e caracterização do solo.

Em seguida realizou-se a identificação das necessidades de readequação, apresentando, por fim, as possíveis intervenções que podem ser realizadas para os defeitos encontrados, baseando-se na bibliográfica pesquisada, e nos resultados dos ensaios laboratoriais e de campo, visando a correta forma de readequação.

A seguir são descritos os procedimentos da avaliação da estrada pelo método URCI e de todos os levantamentos de dados para o estudo de caso em questão.

3.3.1 Avaliação da estrada não pavimentada pelo Método URCI

Como já descrito, o método busca avaliar a estrada de acordo com sete defeitos (buracos, sessão transversal inadequada, drenagem lateral inadequada, poeira, ondulações, afundamento de trilha de rodas e segregação de agregados) e classificá-la por um indicador numérico baseado numa escala de 0 a 100 pontos, a partir das seguintes etapas:

a) A estrada foi vistoriada, considerada seção única e dividida em três subseções consideradas homogêneas, tanto em suas características físicas quanto operacionais, como ilustra a Figura 12.



Figura 12 - Subseções aproximadas da estrada não pavimentada do estudo
FONTE: Adaptado de Google Earth.

b) As subseções foram vistoriadas e os defeitos encontrados foram registrados em uma planilha de inspeção, como apresentada no Quadro 1.

PLANILHA DE AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO DE UMA ESTRADA NÃO PAVIMENTADA - URCI								
Estrada:		Trecho:			Data:			
Unidade amostral:		Área da amostra:			Inspetor:			
		Tipos de defeitos: 1. Seção transversal inadequada (m) 2. Drenagem lateral inadequada (m) 3. Ondulações (m ²) 4. Poeira 5. Buracos (n ^o) 6. Afundamento de trilhos de roda (m ²) 7. Segregação de agregados (m)						
Quantidade e Severidade dos Defeitos								
Tipo		1	2	3	4	5	6	7
Quantidade e Severidade	Baixa							
	Média							
	Alta							
Cálculo do URCI								
Tipo do defeito	Densidade	Severidade	Valor de Dedução (VDU)					
Total VD:	q:	URCI:			Classificação:			

Quadro 1 - Planilha de Avaliação e Inspeção

FONTE: Adaptado de Department of the Army (1995).

c) Com a extensão do defeito calculou-se a sua densidade (extensão/área do trecho);

d) A severidade do defeito foi avaliada conforme as especificações das tabelas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

e) Com os valores da densidade e da severidade, obteve-se o valor dedução (VDU) por meio dos ábacos de classificação (Anexo A). Tal procedimento repetiu-se para os sete defeitos.

f) Com o total de valores deduções (TVDU) e com os valores totais de defeitos com valores deduções maiores que 5, denominados de “q”, obteve-se através do Ábaco da Curva do URCI (Figura 13) o valor da classificação da estrada.

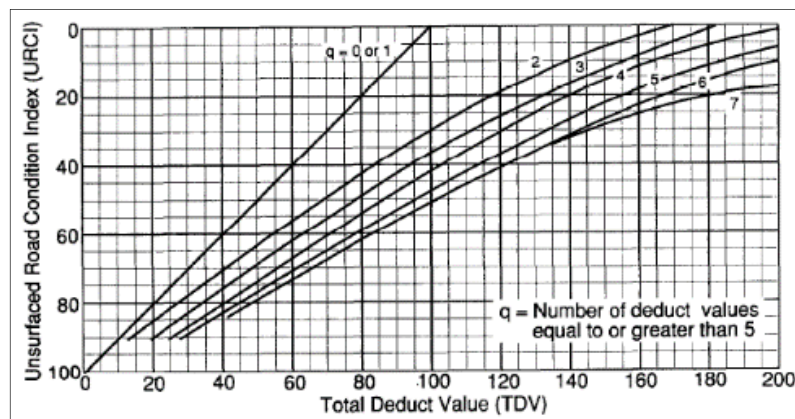


Figura 13 - Ábaco da Curva URCl
FONTE: Department of the Army (1995).

Com o valor obtido pelo ábaco da Figura 13, pode-se classificar a estrada, baseado numa escala de 0 a 100 pontos, como mostra a Tabela 8.

Tabela 8 - Classificação de Estradas Não Pavimentadas

Escala	Classificação
85-100	Excelente
70-85	Muito Boa
55-70	Boa
40-55	Regular
25-40	Ruim
10-25	Muito Ruim
0-10	Péssima

FONTE: Adaptado de Department of the Army (1995).

3.3.2 Levantamento Topográfico

Realizou-se através da utilização do equipamento teodolito e outros acessórios (régua, baliza, trena, piquetes de madeira, entre outros), como mostra a Figura 14.



Figura 14 - Levantamento Topográfico
FONTE: Aatoria Própria (2014).

Com o levantamento concluído pode-se determinar o comprimento real da estrada, bem como determinar o perfil longitudinal e as declividades máximas da pista de rolamento. Para o cálculo das distâncias horizontais entre os pontos, utilizou-se a Equação 1 (VEIGA, 2012):

$$Dh = G * K * sen^2V \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

Dh é a distância horizontal;

G é a diferença entre os fios superior e inferior estadimétricos;

K é a constante estadimétrica do instrumento (100);

V é o ângulo vertical;

Para o cálculo dos desníveis entre os pontos, utilizou-se a Equação 2 (VEIGA, 2012):

$$\Delta h = hi - hs + [Dh * cotg (V)] \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

Δh é o desnível entre dois pontos;

hi é a altura do equipamento;

hs é a leitura do fio médio estadimétrico;

Dh é a distância horizontal;

V é o ângulo vertical;

3.3.3 Volume de Tráfego

O volume de tráfego nada mais é do que o número de veículos que passa por uma determinada seção de uma estrada, em um determinado intervalo de tempo. É empregado para avaliar a distribuição do tráfego, estimar a demanda da estrada, bem como definir a programação de melhorias, entre outros.

A partir disso, fez-se o levantamento do tráfego diário médio (TDM) do trecho em estudo, consistindo da contagem manual do tráfego dos principais meios de transporte que transitaram pela estrada, durante um período de 3 dias, das oito às dezessete horas. O modelo de ficha utilizado no levantamento é apresentado no Quadro 2 abaixo.

VOLUME DE TRÁFEGO							
Estrada:			Trecho:			Data:	
Operador:							
HORA	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ONIBUS	TRATOR	VAN	OUTROS
8:00 às 12:00							
13:00 às 17:00							
TOTAL							

Quadro 2- Ficha para determinação do Volume de Tráfego
FONTE: Autoria Própria (2014).

Com o tráfego médio diário do trecho e empregando o método de crescimento linear, determinou-se por meio da Equação 3, o volume médio diário do trecho (SENÇO, 2007).

$$Vm = \frac{V_1 + V_p}{2} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

V_m é o volume médio diário (veículos/dia);

V₁ é o tráfego no primeiro ano de projeto;

V_p é o tráfego no último ano de projeto;

Para a determinação do V_1 foi considerado como sendo o tráfego médio diário. Para o V_p , empregou-se a Equação 4 (SENÇO, 2007).

$$V_p = V_1 * \left[1 + \left(\frac{t * P}{100} \right) \right] \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

t é a taxa de crescimento linear do tráfego;

P é o último ano do período de projeto;

Com o volume médio diário do tráfego calculado, determinou-se o número equivalente de operações de eixo padrão (8,2 ton.) para um período de projeto, através da Equação 5, para juntamente com o cálculo do Índice de Suporte (IG), dimensionar a espessura do revestimento primário (SENÇO, 2007).

$$N = 365 * V_m * P * FC * FE * FR \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

V_m é o volume diário médio de tráfego no sentido mais solicitado;

P é o período de projeto, em anos;

FC é o fator de carga;

FE é o fator eixo;

FR é o fator climático regional

O cálculo do fator de carga (FC) baseia-se segundo SENÇO (2007) no conceito de equivalência de operações, obtido através dos seguintes ábacos para eixos simples e eixos duplos, que são mostrados na Figura 15.

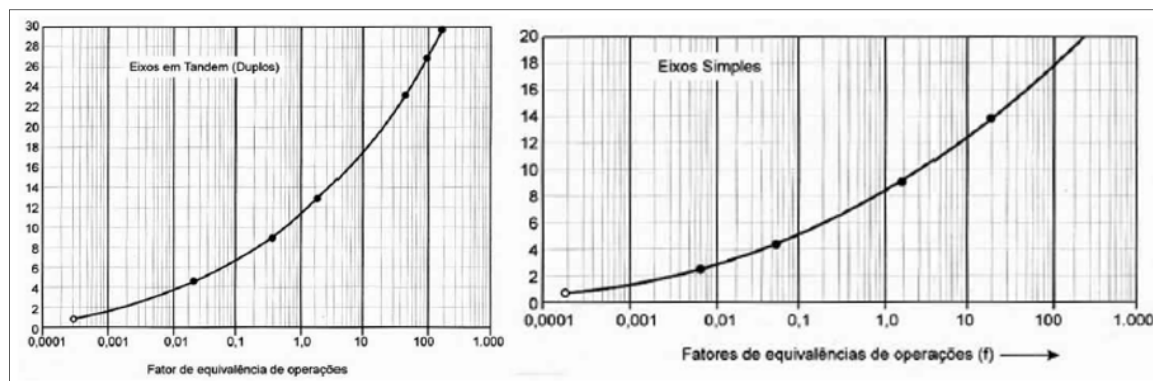


Figura 15 - Ábaco para determinação do fator de equivalência de operações
FONTE: Senço (2007).

Multiplicando-se os valores do fator de equivalência pelo número de veículos por dia, com uma determinada carga por eixo, obtém-se o fator de carga (FC).

Para o cálculo do fator de eixo (FE), calcula-se o número de eixos dos tipos de veículos que passarão pela via pela Equação 6 (SENÇO, 2007).

$$FE = \left(\frac{p2}{100}\right) * 2 + \left(\frac{p3}{100}\right) * 3 + \dots + \left(\frac{pn}{100}\right) * n \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

p2 é a porcentagem de veículos de 2 eixos;

p3 é a porcentagem de veículos de 3 eixos;

pn é a porcentagem de veículos de n eixos;

Para o cálculo do fato climático (FC) emprega-se a Tabela 9 de acordo com a precipitação média anual da região (SENÇO, 2007).

Tabela 9 - Fator climático (FC)	
Altura média anual de chuva (mm)	Fator climático regional (FC)
Até 800	0,7
De 800 a 1.500	1,4
Mais de 1.500	1,8

FONTE: Adaptado de SENÇO (2007).

3.3.4 Registro Fotográfico

Deu-se por meio de câmera digital, sendo parte integrante do trabalho, visto que, através dele foi possível a visualização e exemplificação dos principais defeitos encontrados.

3.3.5 Coleta das amostras para ensaios de compactação e caracterização

As amostras para a realização dos ensaios foram coletadas a cada 100 metros, do trecho do estudo de caso, totalizando 14 amostras. Os pontos de localização são mostrados na Figura 16.



Figura 16 – Localização das coletas de amostras
FONTE: Adaptado de Google Earth.

Para a coleta das 14 amostras, necessitou-se da utilização de pá, trado e sacos plásticos. Inicialmente retirou-se a camada de solo orgânico, aproximadamente 10cm, com o auxílio do trado, descartando-a. Em seguida, ainda com o auxílio do trado e da pá, coletou-se aproximadamente 10 kg de solo de cada ponto para os ensaios necessários, como mostra a Figura 17.



Figura 17 - Coleta das amostras para ensaios
FONTE: Autoria Própria (2014).

Em laboratório, preparou-se a amostra para os ensaios de caracterização, baseando-se na NBR 6457 – Amostras de Solo – Preparo para ensaio de compactação e ensaios de caracterização, adotando-se a preparação da amostra com secagem prévia até a umidade higroscópica.

A partir disso, secou-se a amostra ao ar, até próximo da umidade higroscópica. Em seguida, desmancharam-se os torrões, evitando a quebra dos grãos, homogeneizando a amostra.

3.3.6 Ensaio de Compactação

Para o ensaio de compactação, os procedimentos adotados seguem os descritos pela NBR 7182 – Solo – Ensaio de compactação. Esse ensaio consiste em compactar uma porção de solo em um cilindro com volume conhecido, fazendo-se variar a umidade de forma a obter o ponto de compactação máxima no qual se obtém a umidade ótima de compactação, através da relação entre o teor da umidade e a massa específica aparente seca do solo. O ensaio pode ser realizado em três níveis de energia de compactação: normal, intermediária e modificada. Neste trabalho foram realizados ensaios de compactação na Energia Proctor Normal, de acordo com a norma mencionada.

Os materiais necessários e os procedimentos do ensaio são descritos adiante:

- Cápsulas metálicas;
- Cápsulas de porcelana;
- Bandejas;
- Almofariz;
- Mão de Gral;
- Balança;
- Peneira;
- Estufa;
- Régua biselada;
- Espátula;
- Cilindro metálico pequeno;
- Soquete pequeno;
- Proveta;
- Extrator de corpo-de prova;

a) Tomou-se a amostra preparada conforme a NBR 6457, conforme mostra a Figura 18-a.

b) Com os torrões desmanchados, passou-se a amostra pela peneira 4,8mm, e tomou-se como a amostra apenas o que se passou pela peneira (aproximadamente 3Kg).

c) Colocou-se a amostra de solo na bandeja metálica e adicionou-se água até se obter uma umidade em torno de 5% abaixo da umidade ótima, e homogeneizou-se a mistura, como mostra a Figura 18-b.

d) Montou-se o cilindro e apoiou-se sobre uma base rígida e iniciou-se a compactação, dividindo o solo em três camadas aproximadamente iguais, aplicando 26 golpes com o soquete em cada uma delas, como mostra a Figura 18-c.

e) Entre cada camada fez-se a escarificação da amostra compactada com a espátula. Após as três camadas compactadas, retirou-se o cilindro complementar e regularizou-se a superfície com a régua biselada, conforme mostra a Figura 18-d.

f) Retirou-se a base do cilindro e regularizou-se a outra face. Em seguida, pesou-se o conjunto e subtraiu-se a tara do cilindro. Com o auxílio do extrator de corpo-de-prova, retirou-se o corpo-de-prova da amostra, como mostra a Figura 18-e, e tomou-se uma amostra do centro do mesmo.

g) Colocou-se essa pequena amostra retirada em uma cápsula metálica e pesou-se a mesma, colocando-a em seguida na estufa, para depois determinar-se a umidade.

h) Desmanchou-se o material restante novamente, até que todo o solo passasse pela peneira 4,8mm e retornou-o à bandeja metálica, adicionando-se mais água, de forma a aumentar o teor de umidade em torno de 2%.



Figura 18 - Sequência ensaio de compactação
FONTE: Autoria Própria (2014).

Repetiu-se todos os procedimentos anteriores até se obter 5 amostras diferentes. Em seguida, determinou-se os teores de umidade e massa específica aparente de cada amostra, pelas Equações 7 e 8 respectivamente.

$$h(\%) = \frac{PT-PS}{PS} \times 100 \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

h é o teor de umidade (%);

PT é o peso total da amostra (g);

PS é o peso seco da amostra (g);

$$\gamma_s = \frac{Ph \cdot 100}{V(100+h)} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

γ_s é a massa específica aparente seca (g/cm^3);

Ph é o peso úmido do solo compactado (g);

V é o volume útil do cilindro (cm^3);

h é o teor de umidade do solo compactado (%).

Com isso, pode-se construir um gráfico, sendo o eixo das abcissas o teor de umidade, e o eixo das ordenadas as massas específicas correspondentes, obtendo-se assim a umidade ótima, que corresponde ao valor da umidade no ponto de massa específica aparente seca máxima.

3.3.7 Caracterização dos agregados

Foram realizados os ensaios de análise granulométrica, limite de plasticidade e liquidez, para a determinação do índice de grupo (IG), para em seguida, determinar por correlação o Índice de suporte (IS) do solo, para o dimensionamento da espessura da camada de revestimento primário (cascalho). Também foram realizados os ensaios para determinação da massa específica do solo e do cascalho para com isso determinar o empacotamento da mistura, determinando a proporção que apresenta o menor índice de vazios. Os ensaios foram executados conforme os procedimentos das Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

3.3.7.1 Granulometria

O ensaio de granulometria ou composição granulométrica é definido como uma proporção relativa expressa em percentual, dos diferentes tamanhos de grãos que se encontram constituindo a amostra inicial (SENÇO, 2007). Para o ensaio, baseou-se na NBR 7181 – Solo – Análise granulométrica, empregando o método por peneiramento.

Os materiais empregados e os procedimentos necessários para a execução do ensaio (Figura 19) são descritos abaixo:

- Conjunto de peneiras (2-1,2-0,6-0,42-0,25-0,15-0,075mm);
- Estufa
- Balança;
- Almofariz;
- Mão de gral;
- Agitador mecânico;

- a) Tomou-se a quantidade de amostra preparada de acordo com a NBR 6457 (1986);
- b) Passou-se essa quantidade na peneira de 2,0mm, com a precaução de desmanchar no almofariz todos os torrões eventualmente ainda existentes;
- c) Lavou-se a parte retida na peneira de 2,0mm a fim de eliminar o material fino aderente e secou-se em estufa até a obtenção da constância da massa;
- d) Passou a amostra nas peneiras 1,2 – 0,6 – 0,42 – 0,25 – 0,15 e 0,075 mm, utilizando para isso o agitador mecânico.
- e) Pesou-se cada peneira e determinou-se o peso retido do solo em cada uma delas.



Figura 19 – Sequência do ensaio de granulometria

FONTE: Autoria Própria (2014).

- f) Empregando a Equação 9, obteve-se a porcentagem de materiais nas peneiras acima referidas:

$$Q = \frac{M_s - M_i}{M_s} * 100 \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde:

Q é a porcentagem de material passado em cada peneira;

M_s é a massa total da amostra seca;

M_i é a massa do material retido acumulado em cada peneira;

3.3.7.2 Limite de Liquidez

O limite de liquidez, resumidamente, corresponde ao teor de umidade do solo que ocorre a transição de consistência plástica para líquida (CAPUTO, 1988).

Para execução do ensaio, tomou-se como base a NBR 6459 (1984) – Determinação do limite de liquidez, utilizando para isso os seguintes equipamentos e procedimentos:

- Estufa;
- Cápsula de porcelana;
- Balança;
- Cápsulas metálicas;
- Aparelho Casagrande;
- Cinzel;

a) Inicialmente inspecionou-se o aparelho de Casagrande (Figura 21-a), para averiguar se o mesmo estava em boas condições.

b) Tomou-se metade da quantidade da amostra separada, conforme a NBR 6457 (1986) (aproximadamente 200 gramas).

c) Colocou-se a amostra na cápsula de porcelana e adicionou-se água em pequenas quantidades, amassando e revolvendo-as com o auxílio da espátula durante cerca de 30 minutos, até se obter uma pasta homogênea, com consistência tal que sejam necessários cerca de 35 golpes para fechar a ranhura.

d) Transferiu-se parte da mistura para a concha do aparelho de Casagrande, e com a ajuda do cinzel, estando perpendicularmente à superfície da concha, dividiu-se a massa de solo em duas partes de maneira a abrir uma ranhura na parte central, como mostra a Figura 21-b.

e) Girou-se a manivela à razão de duas voltas por segundo, golpeando-se a concha contra a base e verificou-se o número de golpes necessários para que as

bordas inferiores da ranhura de unam ao longo de 13mm de comprimento aproximadamente, como mostra a Figura 21-c.

f) Transferiu-se uma pequena quantidade da amostra da borda que se uniram para uma capsula metálica para a determinação da umidade.

g) Repetiu-se o mesmo procedimento mais 4 vezes, de modo a obter pelo menos mais três pontos de ensaio, cobrindo o intervalo de 15 a 35 golpes.



Figura 20 - Sequência para determinação do Limite de Liquidez
FONTE: Autorial Própria (2014).

Com os resultados obtidos, construiu-se um gráfico no qual as ordenadas são os números de golpes e as abcissas são os teores de umidade, obtidos pelo emprego da Equação 7, ajustando os pontos obtidos por uma reta. Com isso, obteve-se a umidade correspondente a 25 golpes, que é o limite de liquidez do solo.

Repetiu-se os mesmos procedimentos descritos acima para todas as 13 amostras restantes.

3.3.7.3 Limite de Plasticidade

O limite de plasticidade é definido como o teor de umidade em que solo deixa a consistência semi-sólida para plástica (CAPUTO, 1988). Para execução do ensaio, tomou-se como base a NBR 7180 (1984) – Solo – Determinação do limite de

plasticidade. Para isso, separou-se a amostra, conforme a NBR 6457 (1986), da mesma maneira que fez-se no ensaio limite de liquidez.

Para a realização desse ensaio, utilizaram-se os seguintes equipamentos e procedimentos:

- Estufa;
- Cápsula de porcelana;
- Balança;
- Cápsulas metálicas;
- Gabarito metálico;
- Placa de vidro;

a) Inicialmente colocou-se a amostra na cápsula de porcelana e adicionou-se água em pequenas quantidades, amassando e revolvendo-as com o auxílio da espátula durante cerca de 30 minutos, até se obter uma pasta homogênea, com consistência plástica.

b) Tomou-se cerca de 10g da amostra e formou-se uma bola, que foi rolada sobre a placa de vidro sob a pressão da palma da mão a fim de se obter um cilindro semelhante ao gabarito (cilindro metálico com 3mm de diâmetro e 10cm de comprimento), como mostra a Figura 21-a.

c) Se a amostra fragmentasse antes de atingir o gabarito, retornava-a à cápsula de porcelana e adicionava-se água, homogeneizando-a por cerca de 3 minutos. Em seguida repetia-se o procedimento anterior.

d) Assim que a amostra assemelhou-se ao gabarito (Figura 21-b), continuou-se rolando-a contra o vidro até que ocorresse a fragmentação. Em seguida, transferiu-a as partes fragmentadas para a cápsula metálica para a determinação do limite de plasticidade, como pode ser visto na Figura 21-c.



Figura 21 - Sequência determinação Limite de Plasticidade

FONTE: Autoria Própria (2014).

Repetiu-se o procedimento pelo menos 3 vezes para a obtenção da umidade da amostra em cada ponto, empregando a Equação 7.

Em seguida, repetiu-se os mesmos procedimentos descritos anteriormente para todas as 13 amostras restantes.

Com o limite de plasticidade e o limite de liquidez da amostra, pode-se calcular o índice de plasticidade, o mesmo é obtido pela Equação 10.

$$IP = LL - LP \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde:

IP é o índice de plasticidade;

LL é o limite de liquidez;

LP é o limite de plasticidade.

3.3.7.4 Esqueleto granular

O objetivo do esqueleto granular é determinar a proporção entre dois materiais, no caso solo e cascalho, alterando-se a proporção entre agregado graúdo e miúdo de forma a obter-se o menor índice de vazios na combinação dos materiais.

Para a análise é necessário a determinação da massa específica aparente do solo e do cascalho.

Para o cascalho, coletou-se a amostra na jazida indicada pela pelo departamento responsável pelas readequações de estradas não pavimentadas do Município de Pato Branco, como mostra a Figura 22.

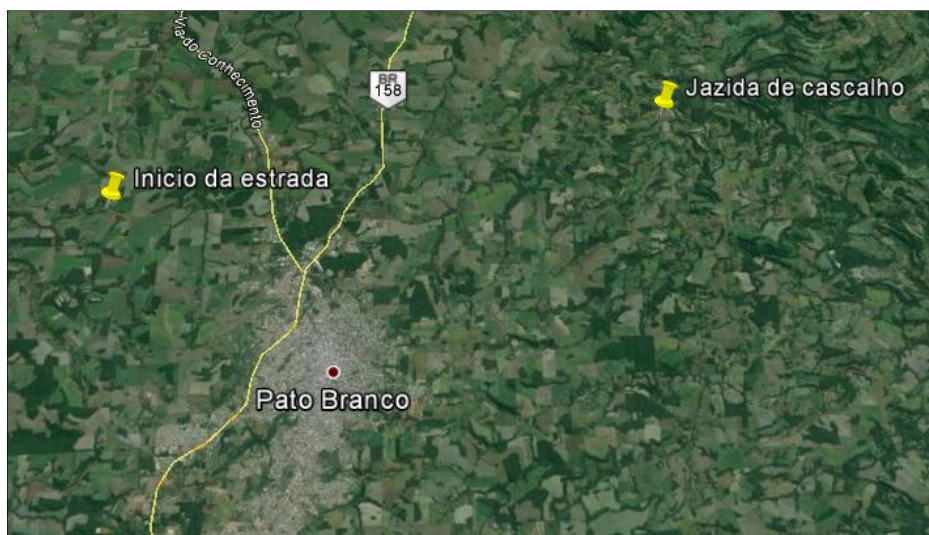


Figura 22 - Localização da Jazida de cascalho no município de Pato Branco
FONTE: Google Earth.

Para o ensaio, utilizou-se a NBR NM 53 (2003) – Agregado Graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água, procedendo-se da seguinte maneira:

- a) Coletou-se a amostra na jazida, como mostra a Figura 23-a.
- b) Eliminou-se todo o material passante pela peneira de 4,75mm. Em seguida, lavou-se o agregado graúdo para remover o pó ou outro material da superfície, secando-se a amostra em estufa (105°C) até obter uma massa constante.
- c) Pesou-se a amostra a ser ensaiada (aproximadamente 12kg). A mesma foi submergida em água a temperatura ambiente por um período de 24 horas, como mostra a Figura 23-b.
- d) Retirou-se a amostra da água e envolveu-se em um pano absorvente até que toda a água visível fosse eliminada e pesou-se a mesma.

e) Retornou-se a amostra ao recipiente, submergindo-a em água. A mesma voltou a ser pesada, determinando a massa em água (m_a).

f) Secou-se a amostra em estufa até se obter uma massa constante, pesando-a em seguida, determinando a massa do agregado seco (m).



Figura 23 - Sequência ensaio de determinação da massa específica do agregado grúdo
FONTE: Autoria Própria (2014).

Em seguida, determinou-se por meio da Equação 11 a massa específica aparente seca do agregado grúdo.

$$\rho = \frac{m}{m - m_a} \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde:

ρ é a massa específica aparente (g/cm^3);

m é a massa ao ar da amostra seca (g);

m_a é a massa em água da amostra saturada (g);

(Sendo $m - m_a$ numericamente igual ao volume do agregado, incluindo-se os vazios permeáveis.)

Para a determinação da massa específica aparente seca do solo, utilizou-se a média das massas específicas aparentes secas das amostras no ponto máximo, obtidos pelo ensaio de compactação.

Determinou-se também a massa unitária da mistura cascalho+solo nas proporções 80-20%, 70-30%, 60-40% e 50-50%, procedendo da seguinte forma:

a) Em um recipiente de volume conhecido, adicionou-se a proporção de materiais estabelecidas e pesou-se a amostra.

b) Em seguida, determinou-se a massa unitária da mistura empregando a Equação 12.

$$M_{unit} = \frac{m_{mistura}}{v} \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde:

M_{unit} é a massa unitária da mistura (g/cm³);

$m_{mistura}$ é a massa unitária da mistura (g/cm³);

v é o volume do recipiente (cm³)

Com o resultado das massas específicas dos agregados e das massas unitárias das misturas, determinou-se o índice de vazios para todas as proporções mencionadas através da Equação 13.

$$V = \frac{\rho_{mistura} - M_{unit}}{\rho_{mistura}} * 100 \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde:

V é o índice de vazios;

$\rho_{mistura}$ é a massa específica da mistura (g/cm³);

M_{unit} é a massa unitária da mistura (g/cm³);

3.3.8 Dimensionamento dos dispositivos de drenagem

Para o trecho em estudo, previu-se o dimensionamento de bacias de contenção e de bueiros para suprir as necessidades de drenagem. A partir disso, realizaram-se ensaios de infiltração ao longo do trecho (a cada 100 metros, em áreas adjacentes à via) para a determinação da taxa de infiltração da água no solo.

Para isso, baseou-se no anexo A (Procedimento para estimar a capacidade de percolação do solo) da NBR 13969 (1997) – Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Utilizou-se para isso os seguintes materiais e procedimentos:

- Cilindro de aço de diâmetro 15cm e altura 18cm;
- Enxada;
- Trado;
- Régua;
- Cronômetro;
- Água;

a) Com o trado e a enxada retirou-se aproximadamente 30 cm de cobertura do solo e fixou-se o cilindro de aço de modo que o mesmo ficasse nivelado.

b) Colocou-se uma régua para realizar as medidas das infiltrações e adicionou-se uma determinada altura de coluna d' água, como pode ser visto na Figura 24.



Figura 24 – Ensaio de infiltração
FONTE: Autoria Própria (2014).

c) Realizou-se então as leituras da lâmina de água para cada determinados períodos de tempos, determinando-se com isso a taxa de percolação, dividindo-se o intervalo de tempo entre determinações pelo rebaixamento lido na última determinação.

Para o dimensionamento dos dispositivos de drenagem, procedeu-se da seguinte forma:

a) A partir da equação da chuva (Eq. 14) (Fendrich (1991) apud. FESTI) do município de Pato Branco, determinou-se a intensidade da chuva.

$$i_{max} = \frac{8,7943 * T_r^{0,152}}{(t+9)^{0,732}} \quad (\text{Eq. 14})$$

Onde:

i_{max} é a intensidade de chuva (mm);

T_r é o tempo de retorno (anos);

t é o tempo de concentração (minutos)

b) A partir das cartas topográficas referenciadas, obteve-se as áreas de contribuição.

c) A partir da taxa de infiltração da água no solo, obtidas pelos ensaios de infiltração, determinou-se o volume a ser infiltrado por dia (L/m².dia) com o auxílio do ábaco da Figura 25.

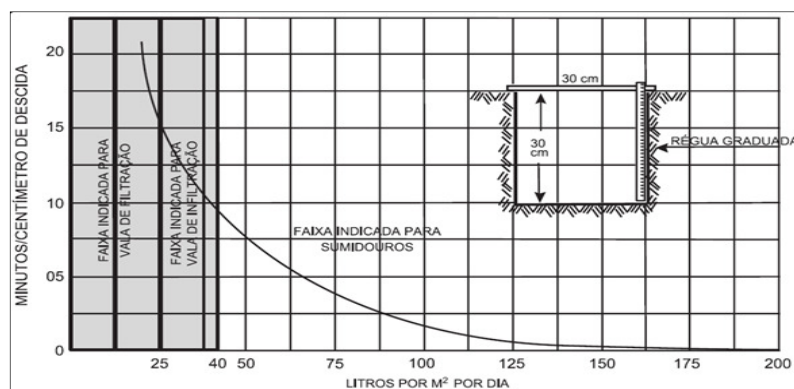


Figura 25 - Ábaco para determinação da capacidade de infiltração do solo
FONTE: Fundação nacional de Saúde (2004).

d) Determinaram-se os volumes de água que infiltram no solo e o que excede.

e) Para o volume excedente foram dimensionados os dispositivos de drenagem. Para a determinação do número de bacias de contenção empregou a Equação 15 e para os bueiros empregou os dados do Manual de drenagem do DNIT, constados na Tabela 10.

$$N_{bacias} = \frac{V_{excedente} * A_{contribuição}}{V_{bacia}} \quad (\text{Eq. 15})$$

Tabela 10 - Vazão, velocidade e declividade crítica de bueiros tubulares de concreto

DIÂMETRO	ÁREA MOLHADA (m ²)	VAZÃO CRÍTICA (m ³ /s)	VELOCIDADE CRÍTICA (m/s)	DECLIVIDADE CRÍTICA (%)
0,60	0,22	0,43	1,98	0,88
0,80	0,39	0,88	2,29	0,80
1,00	0,60	1,53	2,56	0,74
1,20	0,87	2,42	2,80	0,70
1,50	1,35	4,22	3,14	0,65

FONTE: Adaptado de DNIT (2006).

3.3.9 Dimensionamento do revestimento primário

O dimensionamento da espessura do revestimento primário (cascalho) deu-se pelo mesmo procedimento para o dimensionamento de pavimentos flexíveis, empregando o método do Índice de Grupo (IG), o qual baseia-se apenas nos ensaios de caracterização do solo (limite de liquidez, plasticidade e análise granulométrica) (SENÇO, 2007). O IG é determinado pela Equação 16.

$$IG = 0,2 * a + 0,005 * a * c + 0,01 * b * d \quad (\text{Eq. 16})$$

Onde:

a=P-35, sendo P a porcentagem que passa na peneira nº 200.

Se P≤35%, adota-se 35; Se P≥75%, adota-se 75.

b=P-15.

Se P≤15%, adota-se 15; Se P≥55%, adota-se 55.

c=LL-40, sendo LL o limite de liquidez.

Se LL≤40%, adota-se 40; Se LL≥60%, adota-se 60.

d=IP-10, sendo IP o índice de plasticidade.

Se IP≤10%, adota-se 10; Se IP≥30%, adota-se 30.

Após a determinação do Índice de grupo (IG) de cada amostra, recorreu-se a tabela 11 para a determinação do Índice de suporte (ISig), que pode ser usado como alternativa para se chegar ao valor da capacidade de suporte do subleito quando não se dispõem dos resultados do C.B.R dos materiais do subleito (SENÇO, 2007).

Tabela 11 - Valores de ISig em função de IG

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

FONTE: Adaptado de Senço (2007).

Em seguida, utilizou-se apenas um valor de Índice de Suporte, que representasse as 14 amostras analisadas, para isso, determinou-se o IS_{médio} por meio da Equação 17, respectivamente.

$$\bar{IS} = \frac{\sum_{i=1}^n IS_i}{n} \quad (\text{Eq. 17})$$

Onde:

\bar{IS} é o índice de suporte médio;

IS_i é o índice de suporte da amostra;

n é o número de amostras.

Após a determinação do índice de suporte e com o valor do número equivalente de operações (N) obtido por meio do levantamento do volume de tráfego

(item 3.3.2), determinou-se com o auxílio do ábaco da Figura 26 a espessura necessária da camada do revestimento primário.

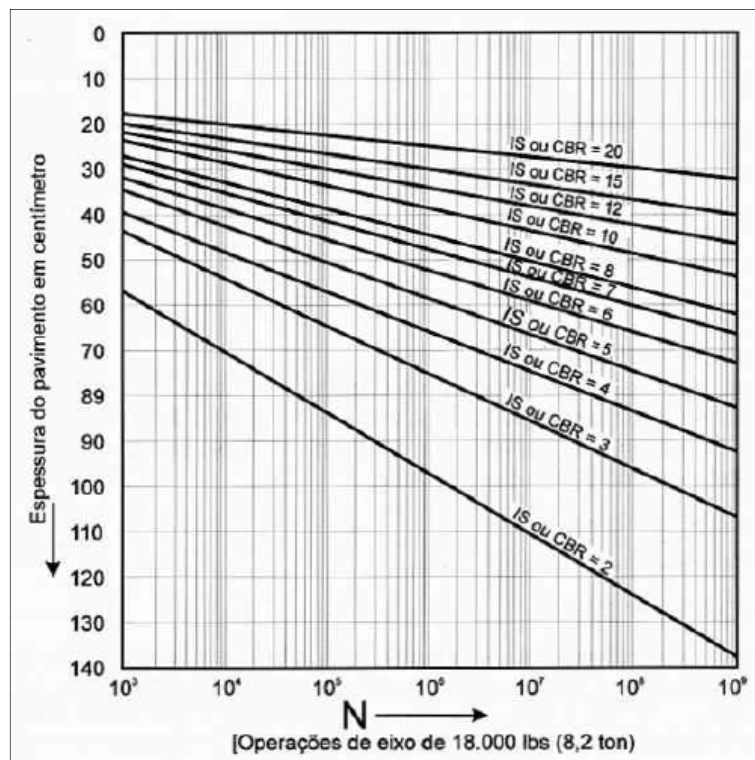


Figura 26 - Ábaco para dimensionamento de pavimento
FONTE: Senço (2007).

Após a determinação da espessura necessária do pavimento, determinou-se a espessura necessária da camada com a espessura equivalente do material que vai realmente compor essa camada, através de um coeficiente de equivalência estrutural, sendo definido por Senço (2007) em 0,77 para material granular.

4. RESULTADOS

Nesse capítulo serão apresentados os resultados obtidos no estudo de caso do presente trabalho, que avaliou as condições de um trecho de uma estrada não pavimentada no município de Pato Branco (PR), além de levantar outros dados para que fosse possível uma melhor análise e interpretação dos resultados, visando a descrição das principais intervenções a serem realizadas.

4.1 AVALIAÇÃO DA ESTRADA PELO MÉTODO DE URCI

A estrada em estudo foi considerada como uma única seção, pois a mesma apresenta características físicas e operacionais semelhantes ao longo de todo seu trecho. Para a avaliação da estrada empregando o método URCI, definiu-se a divisão da mesma, em três subseções, que representasse as características e defeitos como um todo, e as nomeou como Subseção 1, 2 e 3. A seguir, são descritas as avaliações de cada trecho.

4.1.1 Subseção 1

A Subseção 1 possui uma extensão de 50m e uma área de 250 m². Nesse trecho foram encontrados os seguintes defeitos: Sessão transversal e drenagem lateral inadequada, ondulações, poeira, buracos e segregação de agregados, que são mostrados na Figura 27.



Figura 27 - Defeitos encontrados na Subseção 1
FONTE: Autoria Própria (2014).

Nesse trecho, observou-se que grande parte dos defeitos existentes foram causados pela deficiência da regularização da pista e do sistema de drenagem, que afeta as condições de rolamento da estrada, originando os buracos, ondulações e segregação de agregados.

Outro grande problema desse trecho é a inexistência da drenagem lateral, formando grandes poças d' água nas sarjetas, as quais com maior volume de chuvas, avançam sobre a pista de rolamento, dificultando o trânsito das pessoas e dos meios de transporte. Além disso, segundo Baesso e Gonçalves (2003) com o passar do tempo, esse defeito tende a originar outros tipos de defeitos, como atoleiros e trilhas de rodas, pois o acúmulo de água sobre a pista pode afetar as condições de suporte dos materiais constituintes do subleito.

Na tabela 12 é mostrado a classificação quanto a severidade de cada defeito que foi avaliado.

Tabela 12 - Classificação dos defeitos quanto a severidade na Subseção 1

DEFEITO	AVALIAÇÃO	SEVERIDADE
Sessão Transversal Inadequada	Depressão ao longo da pista de rolamento	Média
Drenagem Lateral Inadequada	Grande quantidade de água nas sarjetas	Alta
Ondulações	Profundidade média das ondulações de 4,0 cm	Média
Poeira	Não obstruí a visibilidade e altura menor que 1 metro	Baixa
Buracos	Diâmetro médio de 75 cm e profundidade de 4cm	Média
Segregação de Agregados	Altura das bermas de 3 cm	Baixa

FONTE: Autoria Própria (2014).

Com as severidades classificadas, e com a extensão do defeito sobre a área do trecho (densidade) determinou-se o valor de dedução (VDU) de cada defeito com o auxílio dos ábacos do método URCl, como mostra a Figura 28.

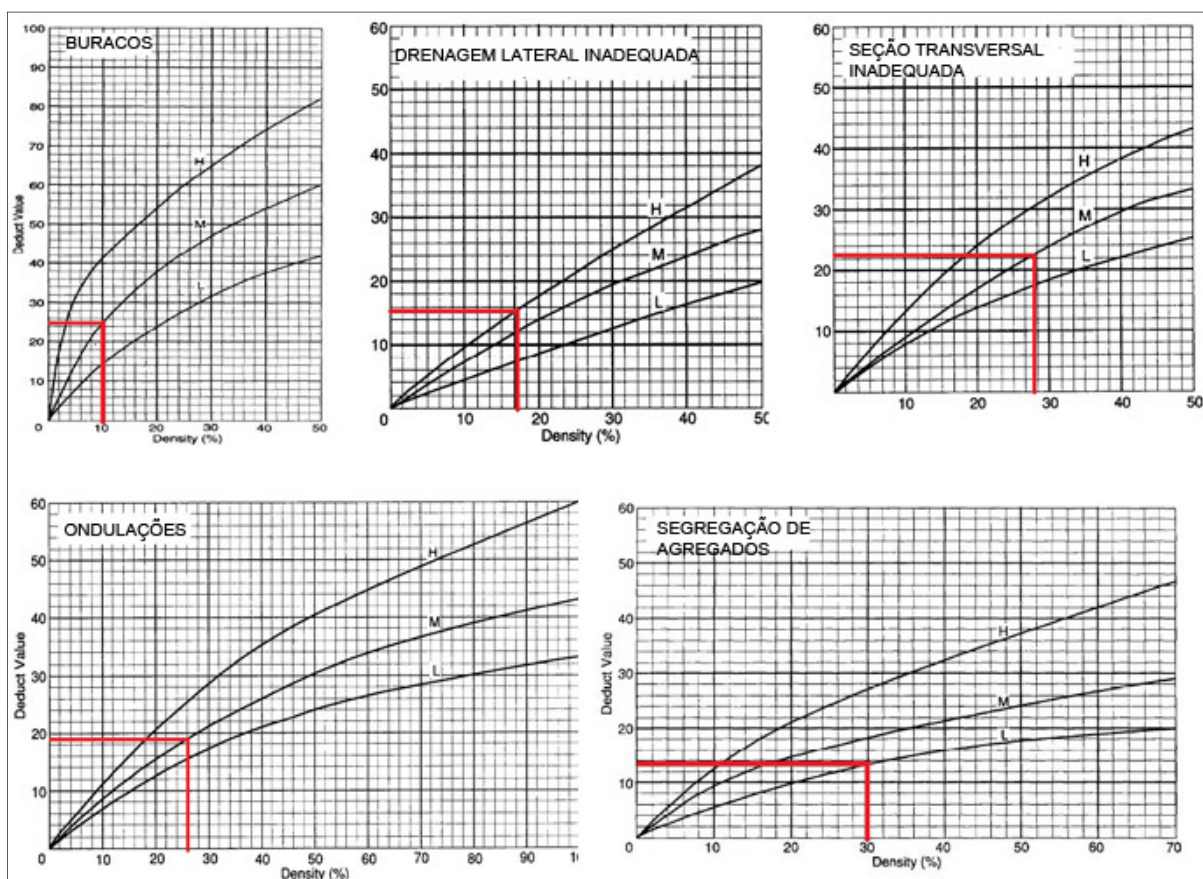


Figura 28 - Determinação dos Valores de Deduções (VDU) pelos ábacos URCl

FONTE: Adaptado de Department of the Army (1995).

Em seguida, determinou-se o total de valores de deduções (TVDU) e juntamente com os valores totais de defeitos com valor de deduções superiores a 5, encontrou-se o índice URCI da subseção por meio do ábaco da Figura 29.

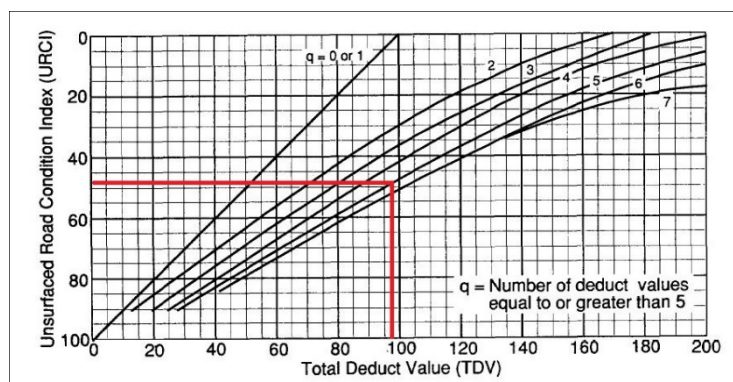


Figura 29 - Determinação do índice URCI da Subseção 1
FONTE: Adaptado de Department of the Army (1995).

Por fim, preencheu-se a planilha de avaliação e inspeção e classificou-se a condição da subseção da estrada, como mostra o Quadro 3.

PLANILHA DE AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO DE UMA ESTRADA NÃO PAVIMENTADA - URCI								
Estrada: ESTUDO DE CASO TCC		Trecho: SUBSEÇÃO 1		Data:				
Unidade amostral:		Área da amostra: 250,00 m ²		Inspetor: KLEBER/GILSON				
				Tipos de defeitos: 1. Seção transversal inadequada (m) 2. Drenagem lateral inadequada (m) 3. Ondulações (m ²) 4. Poeira 5. Buracos (n ²) 6. Afundamento de trilhos de roda (m ²) 7. Segregação de agregados (m)				
Quantidade e Severidade dos Defeitos								
Tipo		1	2	3	4	5	6	7
Quantidade e Severidade	Baixa				X			15
	Média	14		13*5		1		
	Alta		8,5					
Cálculo do URCI								
Tipo do defeito	Densidade	Severidade	Valor de Dedução (VDU)					
1	28	MÉDIA	22					
2	17	ALTA	16					
3	26	MÉDIA	19					
4	-	BAIXA	2					
5	-	MÉDIA	25					
6	0	-	0					
7	30	BAIXA	14					
Total VD: 98		q: 5	URCI: 48	Classificação: REGULAR				

Quadro 3 - Planilha de avaliação e inspeção da Subseção 1
FONTE: Autoria Própria (2014).

Analisando os dados do Quadro 3, conclui-se que o índice URCI da subseção é igual a 48, classificando a estrada como regular.

4.1.2 Subseção 2

A subseção 2 possui uma extensão de 50 m e uma área de 250 m². Os defeitos encontrados nesse trecho foram: Sessão transversal inadequada, ondulações, poeira e buracos, que são ilustrados na Figura 30.



Figura 30 - Defeitos encontrados na Subseção 2
FONTE: Aatoria Própria (2014).

O grande problema observado dessa subseção foi a ausência de sistema de drenagem adequado, que aliada com a seção transversal inadequada (presente em praticamente todo o trecho), provoca o empoçamento de água sobre pista de rolamento, contribuindo para o surgimento das ondulações e dos buracos.

A Tabela 13 mostra a avaliação e a classificação quanto a severidade de todos os defeitos encontrados nesse trecho.

Tabela 13 - Classificação dos defeitos quanto a severidade na Subseção 2

DEFEITO	AValiação	SEVERIDADE
Seção Transversal Inadequada	Grande quantidades de água empoçadas na superfície e superfície plana sem declividade transversal.	Alta
Ondulações	Profundidade média das ondulações 8,0 cm	Alta
Poeira	Poeira moderada com nuvem moderadamente densa, obstrui a visibilidade e diminui a velocidade de tráfego	Média
Buracos	Diâmetro médio de 70 cm e profundidade de 15 cm	Alta

FONTE: Aatoria Própria (2014).

A planilha de avaliação e inspeção da subseção é ilustrada no Quadro 4 e os ábacos utilizados para tal encontram-se no Apêndice A desse trabalho.

PLANILHA DE AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO DE UMA ESTRADA NÃO PAVIMENTADA - URCI								
Estrada: ESTUDO DE CASO TCC		Trecho: SUBSEÇÃO 2			Data:			
Unidade amostral:		Área da amostra: 250,00m ²		Inspetor: KLEBER/GILSON				
				Tipos de defeitos: 1. Seção transversal inadequada (m) 2. Drenagem lateral inadequada (m) 3. Ondulações (m ²) 4. Poeira 5. Buracos (n ²) 6. Afundamento de trilhos de roda (m ²) 7. Segregação de agregados (m)				
Quantidade e Severidade dos Defeitos								
Tipo		1	2	3	4	5	6	7
Quantidade e Severidade	Baixa							
	Média				X			
	Alta	5		56		1		
Cálculo do URCI								
Tipo do defeito	Densidade	Severidade	Valor de Dedução (VDU)					
1	10	ALTA	14					
2	0	-	0					
3	22,4	ALTA	23					
4	-	MÉDIA	4					
5	-	ALTA	42					
6	0	-	0					
7	0	-	0					
Total VD: 83	q: 3	URCI: 45			Classificação: REGULAR			

Quadro 4 - Planilha de avaliação e inspeção da Subseção 2
FONTE: Autoria Própria (2014).

Analisando os dados do Quadro 4, conclui-se que o índice URCI da subseção é igual a 45, classificando a estrada como regular.

4.1.3 Subseção 3

A subseção 3 possui uma extensão de 40 m e área de 200 m². Os defeitos encontrados nesse trecho foram: Seção transversal e drenagem lateral inadequada, poeira e buracos, que são ilustrados na Figura 31.



Figura 31 - Defeitos encontrados na Subseção 3
FONTE: Aatoria Própria (2014).

Esta subseção foi a que apresentou pior avaliação comparada com as outras. Isso porque, a mesma possui seção transversal totalmente inadequada, com sistema de drenagem lateral praticamente inexistente ou inadequado. Uma consequência disso é a origem de ação erosiva pela água sobre a pista de rolamento, provocando o afloramento de rocha, como pode ser visto na figura 32.



Figura 32 - Defeito: Afloramento de rocha subseção 3
FONTE: Aatoria Própria (2014).

A poeira também foi um defeito predominante nessa subseção. Ela é ocasionada pelo excesso de material fino sobre a pista de rolamento da estrada, formando uma nuvem de pó que dificulta a visibilidade e pode colocar em risco a

segurança do tráfego, além de prejudicar o conforto dos moradores locais e dos usuários da estrada, como pode-se ver na Figura 31.

Na Tabela 14 são mostrados a avaliação e a classificação quanto a severidade de todos os defeitos encontrados nesse trecho.

Tabela 14 - Classificação dos defeitos quanto a severidade na Subseção 3

DEFEITO	AVALIAÇÃO	SEVERIDADE
Sessão Transversal Inadequada	Depressão ao longo da pista de rolamento e superfície plana sem declividade transversal.	Média
Drenagem Lateral Inadequada	Sarjetas com pequenas quantidades de vegetação e erosão das sarjetas do lado de dentro da estrada	Média
Poeira	Muita poeira, severa obstrução da visibilidade, altura superior a 2 metros	Alta
Buracos	Diâmetro médio de 80 cm e profundidade de 9 cm	Alta

FONTE: Autoria Própria (2014).

A planilha de avaliação e inspeção da subseção é ilustrada no Quadro 5 e os ábacos utilizados para tal encontram-se no Apêndice A.

PLANILHA DE AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO DE UMA ESTRADA NÃO PAVIMENTADA - URCI								
Estrada: ESTUDO DE CASO TCC		Trecho: SUBSEÇÃO 3		Data:				
Unidade amostral:		Área da amostra: 200,00 m ²		Inspetor: KLEBER/GILSON				
				Tipos de defeitos: 1. Seção transversal inadequada (m) 2. Drenagem lateral inadequada (m) 3. Ondulações (m ²) 4. Poeira 5. Buracos (n ^o) 6. Afundamento de trilhos de roda (m ²) 7. Segregação de agregados (m)				
Quantidade e Severidade dos Defeitos								
Tipo		1	2	3	4	5	6	7
Quantidade e Severidade	Baixa							
	Média	16	17,5					
	Alta				X	2		
Cálculo do URCI								
Tipo do defeito	Densidade	Severidade	Valor de Dedução (VDU)					
1	40	MÉDIA	30					
2	43,75	MÉDIA	25					
3	0	-	0					
4	-	ALTA	15					
5	-	ALTA	54					
6	0	-	0					
7	0	-	0					
Total VD: 124		q: 4	URCI: 25			Classificação: RUIM		

Quadro 5 - Planilha de avaliação e inspeção da Subseção 3
FONTE: Autoria Própria (2014).

Analisando os dados do Quadro 5, conclui-se que o índice URCI é igual a 25, classificando a estrada como muito ruim.

A seguir, na Tabela 15 é apresentado um resumo da classificação das três subseções que foram divididas na estrada.

Tabela 15 – Resumo dos trechos da Avaliação pelo método URCI

TRECHO	ÁREA (m ²)	TVD	q	URCI	CLASSIFICAÇÃO
SUBSEÇÃO 1	250,00	98	5	48	Regular
SUBSEÇÃO 2	250,00	83	3	45	Regular
SUBSEÇÃO 3	200,00	124	4	25	Ruim
			MÉDIA	39,3	Ruim

FONTE: Autoria Própria (2014).

Analisando os dados da Tabela 15, pode-se concluir que o estado atual da estrada não pavimentada, levando em consideração a média da avaliação das 3 subseções, recebe um índice URCI de 39,3, classificando a mesma como ruim, necessitando de uma readequação visando a trafegabilidade e a segurança das pessoas que por ali transitam.

Frente a isso, a seguir são apresentados os resultados do levantamento de dados necessários para determinar que serviços de readequação devem ser executados para melhoria da condição de trafegabilidade do trecho em estudo.

4.2 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Executando o levantamento topográfico com o teodolito e realizando os cálculos descritos na metodologia, obteve-se com a ajuda do *AutoCad* 2014 a planta baixa da estrada, como ilustra a Figura 33. Os dados obtidos em campo, encontram-se no Apêndice B.

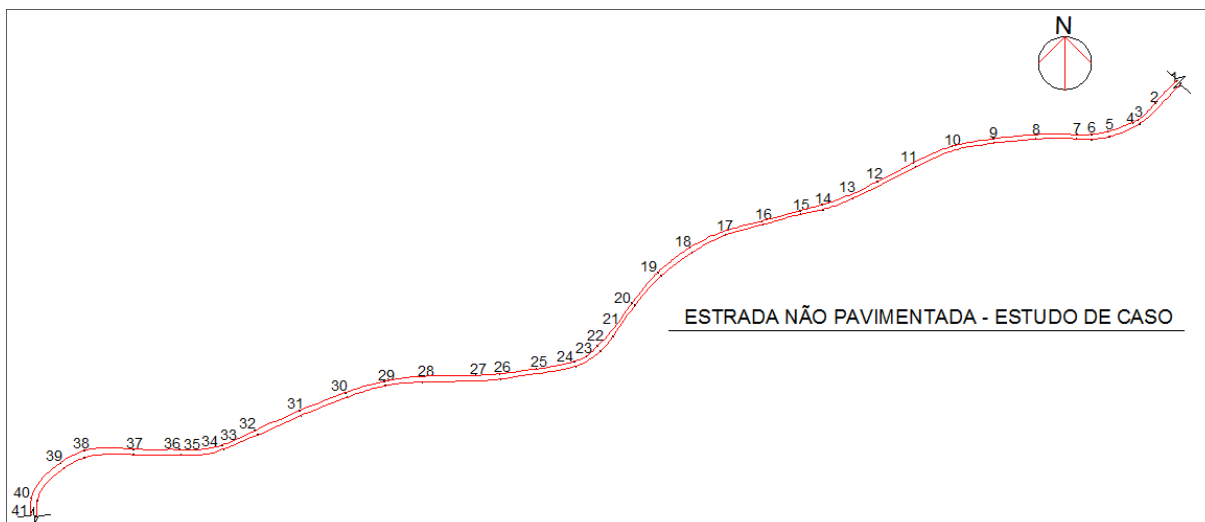


Figura 33 - Planta baixa obtida pelo levantamento topográfico
FONTE: Aatoria Própria (2014).

A partir do levantamento topográfico, determinou-se o comprimento real da estrada, o qual resultou em 1.435 metros. Além da planta baixa da estrada, elaborou-se o perfil longitudinal da estrada, como mostra a Figura 34.

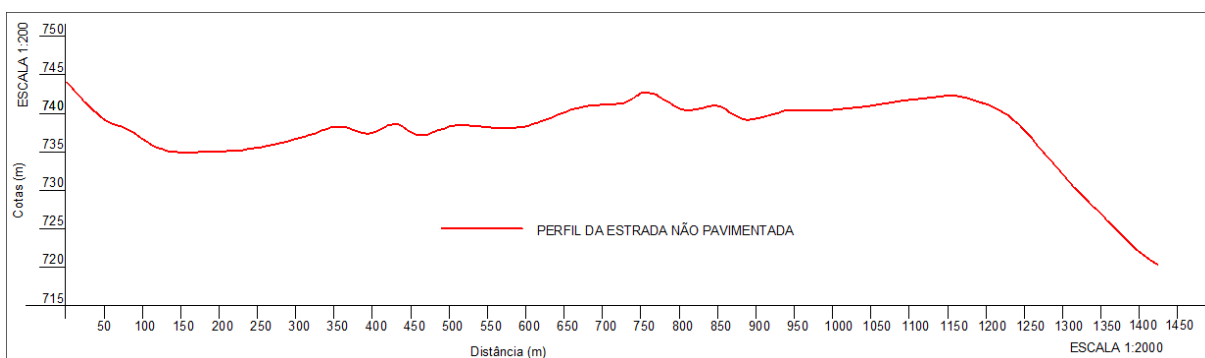


Figura 34 - Perfil longitudinal da estrada não pavimentada em estudo
FONTE: Aatoria Própria (2014).

Analisando o perfil longitudinal da estrada, mostrada na Figura 34, observa-se que o trecho apresenta, em sua pior situação, uma declividade máxima de 11,13%, estando dentro do tolerável, pois segundo Baesso e Gonçalves (2003), é recomendado para as inclinações longitudinais de estradas rurais, valores entre 4 a 12%, sendo que valores superiores a isso, devem ser evitados, pois ocasionam dificuldades para os veículos de carga e aumento dos custos de manutenção.

4.3 VOLUME DE TRÁFEGO

O volume de tráfego, como já mencionado na metodologia, deu-se durante 3 dias, nos quais foram contados manualmente os veículos que transitaram pela estrada no período das 8:00 horas às 12:00 horas da manhã e das 13:00 horas às 17:00 horas da tarde. As fichas dos levantamentos encontram-se no Apêndice C deste trabalho. A Tabela 16 abaixo mostra o volume de tráfego médio diário do trecho em estudo.

Tabela 16 - Volume de tráfego médio diário do trecho em estudo

Veículo	Quantidade (Veículos/dia)
Carro	22
Moto	7
Caminhão	9
Ônibus/Van	1
Trator	4
Outros	0
Total	43

FONTE: Autoria Própria (2014).

Analisando os dados da Tabela 16, concluiu-se que o tráfego médio diário do tráfego no trecho estudado é de 43 veículos/dia. A partir disso, pode-se determinar que o emprego de técnicas de readequação é mais vantajoso que uma pavimentação de pedras irregulares ou asfalto, pois segundo o Manual de conservação rodoviária do DNIT (2005), a readequação só se torna economicamente inviável quando o volume de tráfego do trecho for superior a 200 veículos/dia.

Com os dados da Tabela 16, elaborou-se um gráfico para uma melhor ilustração da composição do tráfego no trecho estudado.

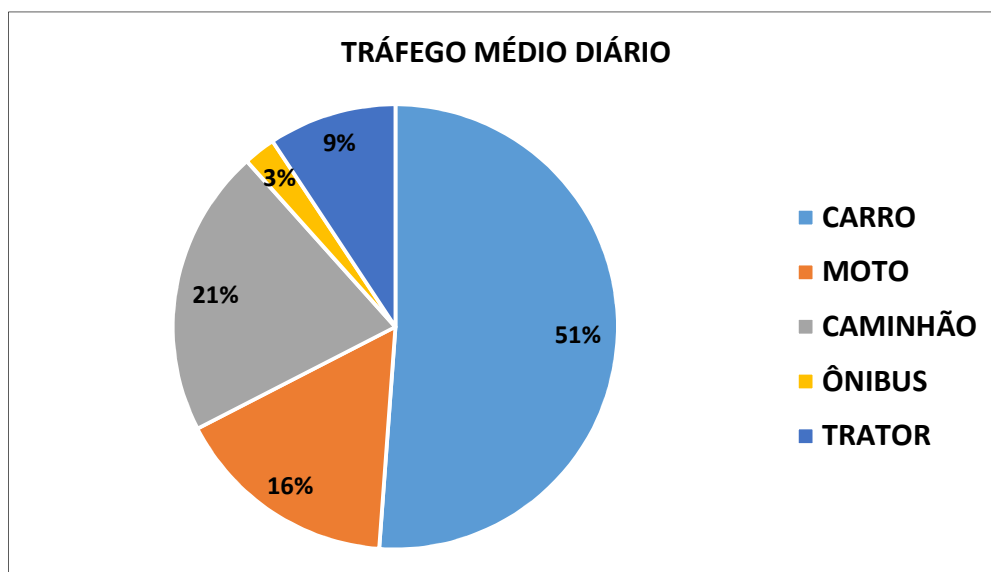


Gráfico 1 - Tráfego Médio Diário (TMD) do tráfego da estrada em estudo
FONTE: Autoria Própria (2014).

Analisando o Gráfico 1, pode-se concluir que o trânsito de carros é predominante, seguido pelos caminhões, motos, ônibus e vans respectivamente. Entretanto, o fluxo de caminhões é o que mais sofre impacto na presença de defeitos na estrada não pavimentada. Frente a isso, é notável a importância de técnicas de readequação nessa estrada, visando o escoamento da produção agrícola, a segurança e a mobilidade da população.

O volume médio diário do trecho para fins do dimensionamento da espessura do revestimento primário resultou em 18,39 veículos/dia. Para isso, fez-se algumas considerações:

- Adotou-se 14 veículos/dia o volume de tráfego no primeiro ano de projeto (V1), sendo o resultado do tráfego médio diário, excluindo desse os veículos de passeios e motos, visto que, são os caminhões e ônibus/van que mais comprometem o pavimento.
- Para o volume de tráfego no último ano de projeto (Vp), precisou-se adotar uma taxa de crescimento anual, que foi determinada por meio de dados obtidos pelo Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), constados no Apêndice D, para o Município de Pato Branco, levando em consideração a média do crescimento entre os anos de 2011, 2012, 2013 e 2014, resultando em uma taxa de 6,27% ao ano. Além disso, adotou-se 10 como o último ano do período de projeto (P). Com isso, obteve-se um Vp igual a 22,78 veículos/dia;

Outro dado avaliado a partir da determinação do volume de tráfego, sendo necessário para determinar a espessura da camada de revestimento primário é o número equivalente de operações (N), que foi obtido levando em consideração as seguintes variáveis:

- Volume médio diário de 18,39 veículos/dia.
- Período de projeto adotado para 10 anos;
- Fator de carga definido em 1,70, sendo este, o valor recomendado por SENÇO (2007) quando há deficiência ou falta de dados para o cálculo, devido à dificuldade em determinar-se a carga por eixo de cada veículo;
- Fator de equivalência resultou em um valor de 2,14;
- O fator climático ficou definido em 1,8 devido a precipitação média anual da cidade de Pato Branco, segundo dados do IAPAR ser de 2.147mm.

Com isso, obteve-se um valor de número equivalente de operações (N) igual a $4,4 \times 10^5$, que será empregado no ábaco para dimensionamento da camada de revestimento primário, juntamente com o valor obtido do IS_{ig} .

4.4 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

As características de um solo são influenciadas pela variação da umidade, que pode ocasionar uma variação da estabilidade e do volume do mesmo. Frente a isso, foi realizado o ensaio de compactação, para a determinação do peso específico máximo e da umidade ótima das 14 amostras coletadas do trecho estudado. Os resultados dos ensaios são mostrados na Tabela 17 e os gráficos no Apêndice E.

Tabela 17 - Ensaio de Compactação

AMOSTRA	Umidade Ótima (%)	Peso específico aparente máximo (γ_{max}) (Kg/m ³)
1	40,67	1764,67
2	29,12	1807,80
3	31,29	1796,24
4	30,73	1792,66
5	35,75	1721,30
6	35,99	1679,60
7	31,35	1722,69
8	31,76	1706,82
9	35,37	1664,28
10	29,98	1762,62
11	32,45	1697,84
12	34,39	1634,09
13	36,13	1675,31
14	34,29	1739,32

FONTE: Aatoria Própria (2014).

Analisando os dados da Tabela 17, recomenda-se que nos serviços de readequação, o solo deverá apresentar um grau de compactação correspondente, no mínimo, a 95% da peso específico aparente máximo, como recomenda o DER/SP (2012) no seu manual básico de estradas e rodovias vicinais, o qual alcança-se executando a compactação com o solo na umidade ótima.

Essa recomendação surge, segundo Senço (2007) da necessidade de tornar o solo mais estável, reduzindo a sua porcentagem de vazios, tornando-o mais denso, por meio da compactação, e com isso, obter uma maior quantidade de partículas sólidas por unidade e volume, resultando no aumento da resistência desse solo.

4.5 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Os ensaios de caracterização física do solo foram necessários para a determinação do índice de grupo (IG), para com ele, determinar o Índice de Suporte do solo (IS_{ig}). Além disso, os índices físicos LL e LP são utilizados para avaliar a variação de volume dos solos compactados, sendo que, uma variação de volume excessiva não é desejável para o bom comportamento dos materiais empregados nas camadas do pavimento.

Foram coletadas 14 amostras do trecho em estudo para os ensaios, porém, as amostras 12, 13 e 14 foram descartadas, pois o solo tendia a uma faixa arenosa, impossibilitando a realização do ensaio LL, pois as duas partes da amostra se juntavam com menos de 25 golpes, sendo classificadas como liquidez baixa (NL) e da realização do ensaio LP, classificando-as como não plásticas (NP).

Os resultados dos ensaios do limite de liquidez e limite de plasticidade são mostrados na Tabela 18. Juntamente fazem parte da mesma, o índice de plasticidade, a porcentagem passante na peneira nº 200, o índice de grupo (IG) e o índice de suporte (IS_{ig}) de cada amostra do trecho estudado (No Apêndice F constam os resultados obtidos para se chegar nesses índices).

Tabela 18 – Resultados dos ensaios de caracterização do solo, determinação do Índice de Grupo e Índice de suporte

AMOSTRA	LL (%)	LP (%)	IP (%)	P (%)	IG (%)	IS_{ig} (%)
1	44,46	36,68	7,78	64,63	6,00	9
2	38,49	29,00	9,49	71,14	7,00	8
3	38,81	32,29	6,52	61,81	5,00	10
4	44,33	35,00	9,33	62,19	5,00	10
5	47,09	37,00	10,09	63,80	6,00	9
6	50,52	48,03	2,49	65,05	6,00	9
7	40,54	34,00	6,54	62,64	6,00	9
8	35,91	35,34	0,57	60,01	5,00	10
9	58,81	47,00	11,81	59,77	5,00	10
10	35,51	32,00	3,51	57,80	5,00	10
11	44,73	40,00	4,73	53,68	4,00	12
12	NL	NP	-	52,59	4,00	12
13	NL	NP	-	36,56	0,00	20
14	NL	NP	-	19,86	0,00	20

FONTE: Autoria Própria (2014).

Sabendo que se o teor de umidade do solo estiver superior ao LL, o mesmo possuirá a tendência de se comportar como um líquido, e se o teor de umidade estiver entre o LL e o LP, o solo terá um comportamento plástico, isto é, apresentará uma deformação permanente após a aplicação de um esforço; pode-se concluir que para um revestimento primário de uma estrada não pavimentada, é aconselhável que o teor de umidade do solo no momento da compactação fique numa faixa entre o LL e o LP.

Entretanto, segundo dados do DNIT (2005), é aconselhável empregar materiais nas camadas de base estabilizadas granulometricamente, com um valor máximo de 25% para o LL e de 6% para o IP.

Analisando os dados da Tabela 15, pode-se afirmar que para todas as amostras o LL ficou superior ao recomendado e o IP ficou dentro dos limites aceitáveis, sendo que, quanto mais elevado for o IP, maior a plasticidade do solo, isto é, o solo pode absorver grande quantidade de água, provocando com isso, um aumento de seu volume. Com a retirada de água, tem-se uma elevada contração, ocasionando um elevado recalque. Nessas condições, o solo apresentará inconvenientes como suporte, devido à sua instabilidade.

4.6 IDENTIFICAÇÃO DE SERVIÇOS DE READEQUAÇÃO

Avaliando as condições atuais da estrada em estudo, verifica-se que somente a correção dos defeitos isolados, não irá solucionar definitivamente os problemas, pois o grande causador dos mesmos é o fato da estrada apresentar uma conformação da plataforma inadequada, dificultando o funcionamento dos dispositivos de drenagem ali existentes.

Como exemplo, podemos citar que durante a realização dessa pesquisa, realizou-se uma manutenção corretiva no trecho pela prefeitura do município, por meio do motonivelamento da estrada, visando a correção dos defeitos, porém, pouco tempo depois, a estrada encontrava-se na mesma situação da anterior as medidas corretivas, o que demonstra a necessidade de uma intervenção com técnicas adequadas.

Compreendendo a definição de readequação de estradas rurais, conforme descrita na lei municipal nº 3786/2012 do município de Pato Branco (PR), como sendo a quebra dos barrancos e a elevação do leito da estrada, possibilitando com isso as condições de drenagem e escoamento das águas pluviais à margem das estradas em estruturas de terra que possibilite a contenção, sedimentação e infiltração da água que escorre, são propostos abaixo os serviços que devem ser executados.

Inicialmente, constata-se e a necessidade da correção do greide da estrada em estudo, o qual consiste, segundo Moraes et. al (2004), em mover o material de taludes laterais para o corpo da estrada, elevando-se o mesmo. Esse serviço deve ser realizado utilizando o solo das áreas adjacentes da estrada, evitando o gasto com o transporte.

Sobre o perfil transversal da estrada, recomenda-se para a pista de rolamento, uma largura mínima de 6 metros, acrescida de uma faixa lateral que permita o encontro e a ultrapassagem entre os veículos, visto que, para uma possível execução de pavimentação com pedras irregulares esta é a largura mínima. A pista, ainda, deve possuir um abaulamento transversal igual a 4%, como ilustrado na Figura 35, para ajudar na drenagem da plataforma, direcionando as águas superficiais para os dispositivos de drenagem.

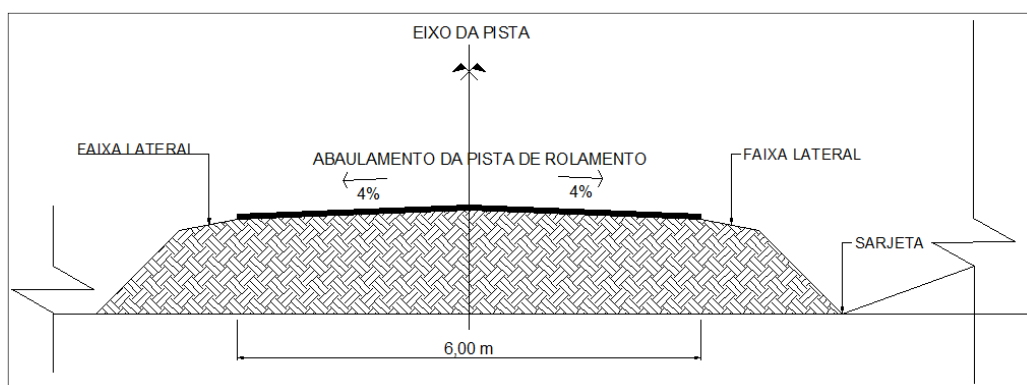


Figura 35 - Seção transversal recomendada para o trecho
FONTE: Autoria Própria (2014).

A partir da determinação do volume de tráfego médio diário, obteve-se o número equivalente de operações ($4,4 \times 10^5$), que aliado com o resultado da média dos índices de suporte das 14 amostras analisadas ($\bar{I}_S = 11$), obteve-se a espessura da camada de revestimento primário, como mostra o ábaco da Figura 36.

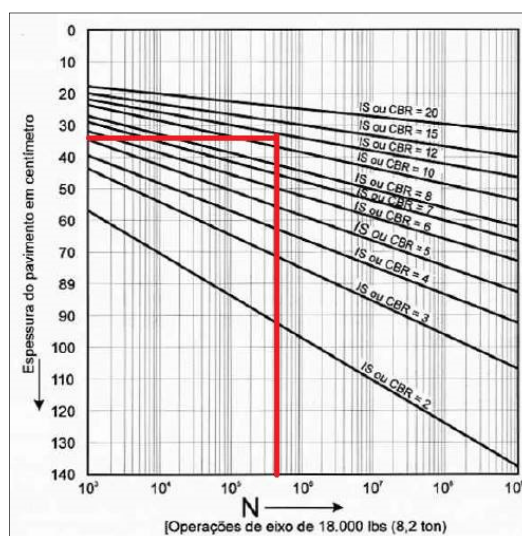


Figura 36 - Determinação da espessura do revestimento primário
FONTE: Autoria Própria (2014).

O resultado encontrado a partir do ábaco da Figura 36 é de 33 cm. Relacionou-se esse valor com o coeficiente de equivalência estrutural para material granular (0,77), resultando com isso em uma espessura de 43 cm. Apesar disso, segundo muitos autores, a recomendação para essa espessura varia entre 10 a 30 cm. Essa diferença encontrada pelo ábaco nesse estudo com o recomendado, pode ter como causa, a disparidade entre o fator de carga utilizado e o real, uma vez que, provavelmente, a carga dos caminhões que transitam na estrada resultaria em um fator de carga menor. A seguir, na Figura 37 é ilustrado o detalhe do perfil transversal.

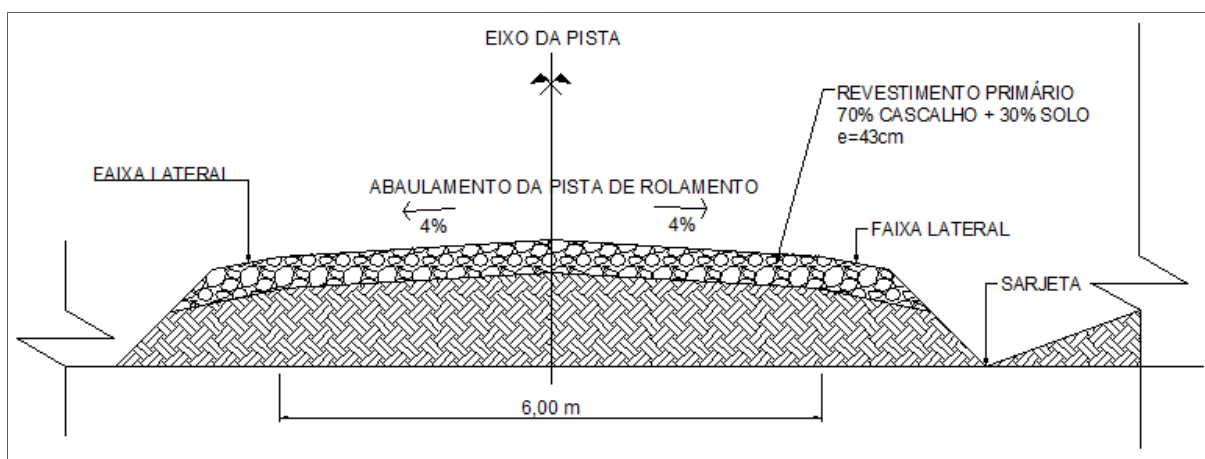


Figura 37 - Detalhe do perfil transversal da estrada
FONTE: Autoria Própria (2014).

Passando o período de 10 anos, deve ser feita uma nova contagem de tráfego e uma avaliação do revestimento da estrada, afim de verificar a espessura de material e incrementar a quantia necessária, se for o caso.

Após a determinação da espessura do revestimento primário, partiu-se para a análise do esqueleto granular, que determina a proporção da mistura entre cascalho e solo que apresenta o menor índice de vazios. Para isso, determinou-se a massa específica aparente seca das amostras (Apêndice G), utilizando-se a média dos resultados para a composição do esqueleto granular, juntamente com os resultados obtidos das massas específicas do cascalho e da mistura (cascalho+solo). Os resultados encontram-se na Tabela 19.

Tabela 19 - Resultado Esqueleto Granular

Proporção Cascalho-Solo (%)	M_{unit} (g/cm ³)	ρ_{solo} (g/cm ³)	$\rho_{cascalho}$ (g/cm ³)	$\rho_{mistura}$ (g/cm ³)	Índice de Vazios (%)
80-20	1,354	1,726	1,738	1,736	21,97
70-30	1,404	1,726	1,738	1,734	19,04
60-40	1,381	1,726	1,738	1,733	20,30
50-50	1,365	1,726	1,738	1,732	21,19

FONTE: Aatoria Própria (2014).

Analisando os dados da Tabela 19, pode-se observar que a proporção que apresenta o menor índice de vazios é a de 70% de cascalho com 30% de solo. Essa relação é a indicada para o uso no revestimento primário da estrada, visto que, proporcionando o menor índice de vazios, aliado a uma correta compactação, o solo torna-se mais denso, com uma maior quantidade de partículas sólidas por unidade de volume, resultando em um aumento de resistência desse revestimento.

Em relação aos dispositivos de drenagem, como a taxa de infiltração do terreno não permite que toda a água precipitada infiltre, devem ser construídos bueiros de greide para permitir o fluxo transversal de água, ou seja, de um lado para o outro da estrada e de bacias de retenção, onde, o fluxo de água acompanha o sentido da estrada.

Para o dimensionamento desses dispositivos, levou-se em consideração a equação da chuva do município de Pato Branco, adotando um tempo de retorno de 1 ano e tempo de concentração de 60 minutos. Para a adoção do tempo de retorno, levou-se em consideração a frequência de manutenção dos dispositivos de drenagem.

Durante a avaliação da estrada, registrou-se a existência de três bueiros com diâmetro de 80 cm, sendo um deles ilustrado na Figura 38, e nenhuma bacia de retenção.



Figura 38 - Bueiro existente no trecho estudado
FONTE: Autoria Própria (2014).

A partir desses, dimensionou-se a quantidade de bueiros e de bacias de retenção que devem existir nesse trecho para suprir a demanda.

Para os bueiros, empregou-se os dados da Tabela 10, adotando um bueiro de mesmo diâmetro dos existentes, a partir das seguintes considerações:

- Área de contribuição para os bueiros: 240.239 m²
- Área máxima por bueiro: 84.346,35 m²
- Volume total excedente: 9.023,24 m³
- Área de contribuição bueiros existentes: 134.147 m²
- Área de contribuição restante: 106.092 m²
- Volume absorvido bueiros existentes: 5.038,48 m³
- Volume excedente restante: 3.984,75 m³
- Volume máximo por bueiro: 3.168 m³

Analisando as considerações acima, sabendo que um bueiro tem a capacidade de 3.168m³ e há um volume excedente de 3.984,75 m³, conclui-se que são necessários mais dois bueiros no trecho para suprir a vazão excedente. A localização dos mesmos são ilustradas no croqui da Figura 39, onde levou-se em consideração os pontos mais baixos da estrada para facilitar o escoamento.

Para as bacias de retenção, considerou-se as seguintes variáveis:

- Área de contribuição (lado de maior área): 18.346 m²;
- Volume infiltrado em toda área de contribuição: 38,22 m³;
- Taxa de infiltração do solo: 50 litros/m².dia;

- Volume excedente: 689,07 m³;
- Inclinação do terreno: 11,13%;
- Espaçamento máximo entre bacias: 80m;

Analisando os dados, sabendo que há um volume excedente de 689,07 m³ e adotando para as bacias de retenção, uma capacidade para reter 200 m³, recomenda-se a construção de quatro bacias de retenção distanciadas a cada 56 metros, cada uma com dimensão de 400 m² nos pontos ilustrados da Figura 38. Para que exista coerência do tempo de retorno estabelecido, a manutenção das caixas de retenção devem ser feitas anualmente, com a limpeza do material assoreado e escarificação do fundo da bacia, permitindo assim uma infiltração mais rápida da água.

Devem ainda ser construídas, sarjetas ao longo da extensão da estrada, de simultaneamente com a conformação da plataforma ou com o revestimento primário de modo que essas conduzam a água para os bueiros e bacias de retenção.

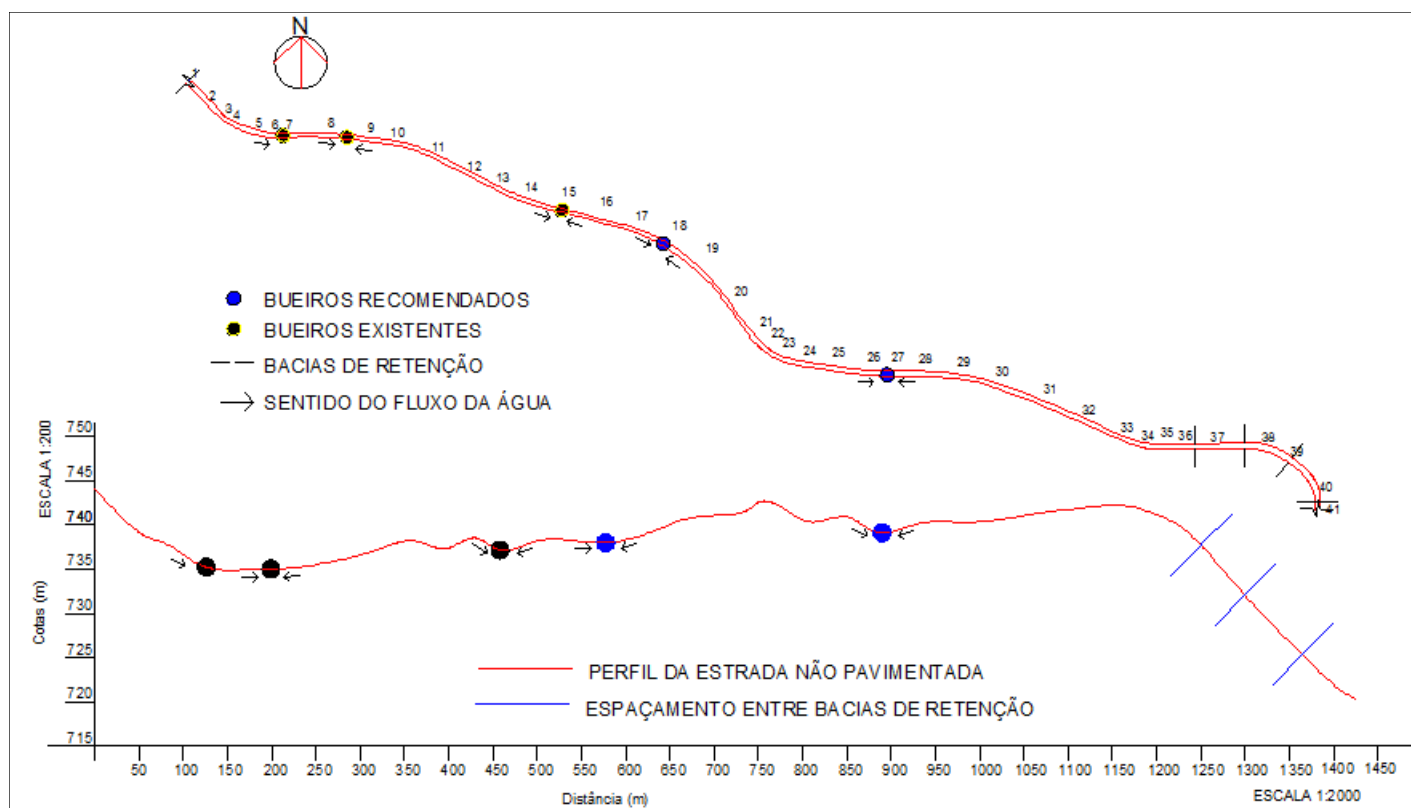


Figura 39 - Croqui de localização dos dispositivos de drenagem na estrada
FONTE: Autoria Própria (2014).

Após a readequação da estrada, devem ser feitas manutenções rotineiras, devendo as mesmas, serem executadas de acordo com o grau de severidade dos defeitos existentes, lembrando que a relação existente entre a ocorrência e o agravamento dos defeitos na superfície de rolamento variam de acordo com as características do local, sendo elas: o clima, o tipo de solo, a topografia, o tráfego e frequência de manutenção regular.

Propõem-se perante isso, através das recomendações de autores como Baesso e Gonçalves (2003), Silva Filho (2011) e Nunes (2003), algumas medidas corretivas para aplicação nessas manutenções, que são mostradas no Quadro 6.

DEFEITO	CAUSA	MEDIDA CORRETIVA
BURACOS	<ul style="list-style-type: none"> - Inexistência de revestimento primário; - Deficiência do revestimento primário; - Falta de material ligante (argila); - Plataforma da estrada mal drenada e sem abaulamento transversal; 	<p>- Havendo poucos buracos, pode-se proceder da seguinte forma: Retificar, limpar e umedecer as cavidades, para em seguida, preenche-las compactando em camadas com o mesmo material usado para o revestimento primário.</p> <p>Havendo excessivo número de buracos, proceder da seguinte forma:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Executar um sistema de drenagem adequado; - Aplicar um revestimento primário; - Aplicar material ligante (argila) se já houver revestimento; - Executar o abaulamento da pista de rolamento após a execução do revestimento primário;
ONDULAÇÕES	<ul style="list-style-type: none"> - Acúmulo de água devido à ausência ou deficiência do sistema de drenagem; - Baixa capacidade de suporte do subleito; - Falta de abaulamento da estrada; - Ação contínua do tráfego; 	<ul style="list-style-type: none"> - Manutenção do sistema de drenagem se já existir; - Conformação da plataforma;
SEGREGAÇÃO DE AGREGADOS	<ul style="list-style-type: none"> - Revestimento primário mal executado, sem a devida compactação; - Ausência de material ligante em proporções adequadas; 	<p>- Misturar o material granular solto com um material ligante (argila), procedendo da seguinte forma: Espalhar o material acumulado nas sarjetas sobre a pista, em seguida, espalhar argila sobre o material; umedecer ou secar, se necessário, para que os materiais fiquem com umidade no ponto ideal; escarificar para que haja uma mistura adequada; nivelar a pista e por fim compactar.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Executar um revestimento primário adequado; - Executar o agulhamento;
POEIRA	<ul style="list-style-type: none"> - Excesso de material fino sobre a pista de rolamento; 	<ul style="list-style-type: none"> - Executar um revestimento primário com material ligante (argila);
DRENAGEM LATERAL INADEQUADA	<ul style="list-style-type: none"> - Mal funcionamento dos dispositivos de drenagem superficial; - Falta de manutenção dos dispositivos de drenagem; 	<ul style="list-style-type: none"> - Recomposição das sarjetas; - Manutenção rotineira dos dispositivos de drenagem;
SESSÃO TRANSVERSAL INADEQUADA	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de abaulamento transversal inadequada; 	<ul style="list-style-type: none"> - Conformação da plataforma, adotando abaulamento transversal igual a 4%
AFUNDAMENTO DO TRILHO DE RODAS	<ul style="list-style-type: none"> - Baixa capacidade de suporte do subleito; - Dispositivos de drenagem deficientes; 	<p>- Varia de acordo com o grau de severidade do defeito. Para severidade baixa recomenda-se uma simples regularização da plataforma; Para severidade média regularização e conformação da plataforma; Para severidade alta, inicialmente deve-se executar os dispositivos de drenagem, recomposição do solo, seguida da compactação e pôr fim a execução de uma camada de revestimento.</p>

Quadro 6 – Principais problemas encontrados em estradas não pavimentadas, suas causas e medidas corretivas
FONTE: Adaptado de Baesso & Gonçalves (2003); Silva Filho (2011) e Nunes (2003).

5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a necessidade de readequação de uma estrada não pavimentada, localizada no Município de Pato Branco (PR), através da aplicação de um método de avaliação e da coleta de dados, características dos materiais constituintes da estrada e dados operacionais.

Motivou-se a escolha desse tema devido à falta de planejamento dos departamentos responsáveis pela manutenção e readequação dessas estradas frente às especificações de serviços e técnicas empregadas, uma vez que, muitas vezes são desconhecidas. Além disso, como citado por muitos autores, o custo de uma pavimentação frente a uma readequação é muito alto, sendo essa última, suficiente para resolver grande parte dos problemas comumente encontrados, desde que seja executada de forma adequada.

A partir da avaliação da estrada, concluiu-se que o trecho analisado encontra-se em situação ruim pela classificação do índice URCl. Isso deve-se, principalmente, pela deficiência do sistema de drenagem encontrado e pelo mau desempenho da superfície de rolamento, apresentando ao longo de praticamente todo o trecho uma sessão transversal inadequada, que ocasiona e agrava grande parte dos defeitos encontrados. Frente a isso, buscou-se obter por meio de ensaios de campo e laboratório, dados necessários para a identificação dos serviços de readequação, visando principalmente a readequação do trecho em estudo.

A partir do levantamento topográfico, constatou-se que a estrada possui uma declividade máxima dentro dos limites recomendáveis, não necessitando de nenhuma conformação quanto à isso, entretanto, notou-se que em alguns trechos, a estrada apresenta-se estreita, dificultando a passagem de dois veículos ao mesmo tempo, principalmente em locais onde existem taludes laterais. Propôs-se com isso, a quebra dos barrancos e o conseqüente alargamento da pista de rolamento.

Com a determinação do volume de tráfego, averiguou-se que o volume médio diário é baixo, viabilizando uma readequação frente a uma pavimentação, reforçando ainda mais o emprego de técnicas adequadas para a execução do serviço. Além do mais, por intermédio deste é que determinou-se número equivalente de operações, para com isso, dimensionar a espessura do revestimento primário.

O revestimento primário é composto de uma mistura de materiais argilosos e granulares, em uma espessura que deve atender o tipo e volume de tráfego, bem como, as condições de suporte do subleito. Pelas propriedades analisadas do solo e do cascalho, obteve-se a proporção ideal de mistura para o menor índice de vazios, resultando em uma maior resistência para esse pavimento, sendo 70% de cascalho, o qual visa aumentar o atrito do solo com os pneus e 30% de solo, cuja função é atuar como ligante para o material granular e regularizar a superfície da pista. Pelas características do tráfego e do índice de suporte do solo, determinou-se uma espessura de revestimento primário de 43 cm, que quando comparada com as recomendações apresenta grande disparidade de valor. Isso ocorreu, possivelmente, pelo emprego de um fator de carga padrão, devido à falta de informações sobre o peso dos veículos.

Visando aumentar a capacidade de resistência do solo às cargas aplicadas, determinou-se a umidade ótima, a qual o solo deve apresentar no momento da compactação e o peso específico aparente máximo do solo, que após compactado, deve ser correspondente a no mínimo 95% desse valor.

Perante os resultados da avaliação, verificou-se também a necessidade de um sistema de drenagem para suprir a demanda da estrada, visto que, a falta de um sistema adequado ocasiona e agrava a maioria dos defeitos abordados. Assim sendo, propôs a construção de bueiros de greide e de caixas de retenção ao longo da estrada, em pontos estratégicos, visando o correto funcionamento dos mesmos.

Propondo essas intervenções para solucionar os defeitos encontrados, certamente haverá redução dos gastos com manutenção, devendo essa, ser realizada periodicamente, prolongando a vida útil dessa estrada e proporcionando melhores condições de trafegabilidade.

Por fim, deixa-se como sugestão para trabalhos futuros, a verificação do desempenho da estrada perante os procedimentos e técnicas que são empregados e da influência de manutenção para esse tipo de estrada, ou também da aplicação de um sistema de informação geográfica (SIG) incluindo as principais regiões do município de Pato Branco, mostrando o grau de severidade das estradas não pavimentadas desses trechos.

REFERÊNCIAS

ALVES, Michelle Aparecida Nicola. **Características Geotécnicas de estradas não-pavimentadas do Município de Bauru/SP**. 2009. 66fls. Dissertação de pós graduação - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2009. Disponível em:<<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000470060>> Acessado dia 15/10/2013

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457** – Amostras de solo- Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro,1986.

_____ **NBR 6459** – Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro,1984.

_____ **NBR 7180** – Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro,1984.

_____ **NBR 7181** – Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro,1984.

_____ **NBR 7182** – Solo – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro,1986.

_____ **NBR 13969** – Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro,1997.

_____ **NBR NM 53** – Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.

BAESSO, Dalcio Pickler; GONÇALVES, Fernando Luiz. **Estradas Rurais: Técnicas Adequadas de manutenção**. DER, Florianópolis, 2003. Disponível em: <<http://ertam2003.blogspot.com.br/>> Acesso dia 18/11/2013

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Anuário estatísticos de transportes terrestres (AETT)**. 2009 Disponível em: <http://appweb2.antt.gov.br/InformacoesTecnicas/aett/aett_2009/1.1.2.asp> Acessado dia 10/11/2013

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de conservação rodoviária**. 2 ed. 564p. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual_de_conserva-cao_rodoviaria.pdf > Acessado dia 21/10/2013

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de drenagem de rodovias**. 2 ed. 333p. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://etg.ufmg.br/~jisela/pagina/Manual%20de%20Drenagem%20de%20Rodovias.pdf> > Acessado dia 21/10/2013

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Frota de veículos**. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>> Acessado dia 14/07/2014

BRASIL. **Lei Municipal nº 3786**, de 09 de março de 2012. Dispõem sobre a obrigatoriedade da realização de obras de pavimentação com pedras irregulares somente em estradas rurais readequadas. Pato Branco, 2012. Disponível em: <<http://www.camarapatobranco.com.br/uploads/laws/1/2012/3786.pdf>> Acessado dia 08/06/2014

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Livros técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro, 1988.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO (DER/SP). **Manual Básico de Estradas e Rodovias Vicinais**. Volume I. 226p. São Paulo, 2012. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/manuais/Manual_Basico_de_Estradas_e_Rodovias_Vicinais-Volume_I.pdf > Acessado dia 21/10/2013

DEPARTMENT OF THE ARMY, TM 5-626. **Unsurfaced Road Maintenance Management**. Technical Manual. Washigton, DC, 1995. Disponível em: <http://www.wbdg.org/ccb/ARMYCOE/COETM/tm_5_626.pdf> Acesso dia 04/02/2014

EATON, R. A.; GERARD, S.; D.W. CATE. **Rating Unsurfaced Roads** – A field manual for measuring maintenance problems. Special Report 87-15 U.S. Army Corps of Engineers. Cold Regions Research & Engineering Laboratory, 1988. Disponível em: <<http://enzymeroads.com/uploaded/URCI.PDF>> Acessado dia 11/02/2014

FACHIN, Odília. **Fundamentos de Metodologia**. 3º ed. São Paulo: Saraiva, 2001.

FERREIRA, Fábio Mutti. **Uma aplicação comparativa de métodos de avaliação das condições superficiais de estrada não-pavimentada**. 2004. 248fls. Dissertação de mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.uni-camp.br/document/?code=vtls000326696>> Acessado dia 19/11/2013

FESTI, Aparecido Vanderlei. **Coletânea das equações de chuvas no Brasil**. Disponível em: < https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/5f36bd94694ae874fc6bd18_a0da88301_721561eb3298e404da02b7f6217dd3e0.pdf> Acessado dia

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. **Manual de Saneamento**. 3^o ed. 408 p. Brasília: Fundação nacional de Saúde, 2004.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4^o Edição. São Paulo: Atlas, 2002.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Caderno estatístico município de Pato Branco**. 32 pag. Curitiba, 2013. Disponível em: < <http://www.ipardes.gov.br/cadernos/Montapdf.php?Municipio=85500&btOk=ok>> Acessado dia 10/11/2013

MORAES, O.; MENDES, R. B.; BUBLITZ, U.; BARAS, V.; LOYOLA, G. P. **Adequação de estradas rurais integradas aos sistemas conservacionistas**. Secretaria de estado dos transportes. Curitiba, 2004.

NUNES, Tercia V. L (2003). **Método de previsão de defeitos em estradas vicinais de terra com base no uso de redes neurais artificias: Trecho de Aquiraz – CE**. 2003. 118fls. Dissertação de mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2003. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/4904>> Acessado dia 07/11/2013

ODA, Sandra. **Caracterização de uma rede municipal de estradas não-pavimentadas**. 1995. 186fls. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes (Estradas e Aeroportos). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1995. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-14012005-161818>> Acessado dia 08/02/2014

POLIDO, Marcio José. **Um Estudo de Adequação de Estrada Rural da Microbacia Água das Araras**. 2011. 37fls. Monografia de especialização - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utf-pr.edu.br/jspui/handle/1/1185>> Acessado dia 21/11/2013

SANTOS, Álvaro Rodrigues dos; et. al. **Estradas vicinais de terra**. Manual Técnico para conservação e recuperação. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 1988, 132pg.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de pavimentação**. Volume 1. 2º ed. São Paulo: PINI, 2007.

SILVA FILHO, Israel Rezende. **Estradas Rurais – Técnicas adequadas de manutenção**. Cascavel, PR: Instituto Iguazu. Programa de educação profissional de qualidade. 2001. 90 p.

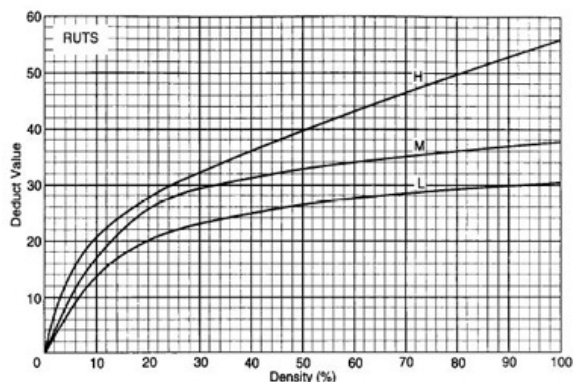
SKORSETH, Ken; SELIM, Ali A. **Gravel Roads – Maintenance and Design Manual**. U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration. 2000. 104pg. Disponível em: <http://water.epa.gov/polwaste/nps/upload/2003_07_24_NPS_gravelroads_gravelroads.pdf> Acessado dia 29/01/2014

TECHIO, Jeonice Werle. **Importância e técnicas para um adequado planejamento do sistema viário no meio rural**. Passo Fundo, 2009. Disponível em: <http://www.sertao.ifrs.edu.br/site/midias/arquivos/2010223163622234importancia_e_tecnicas_para_um_adequado_planejamento_do_sistema_viario_no_meio_rural.pdf> > Acessado dia 27/01/2014

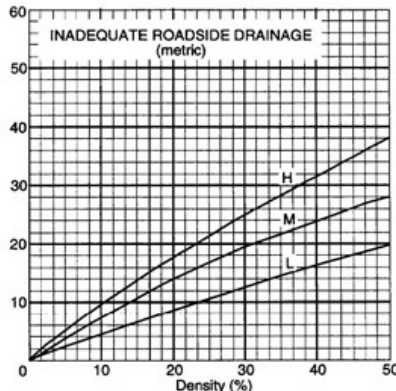
VEIGA, Luís Augusto Koenig; ZANETTI, Maria Aparecida Zehnpfenning; FAGGION, Pedro Luis. **Fundamentos de topografia**. Curitiba, PR: 2012. Disponível em: <http://www.cartografica.ufpr.br/docs/topo2/apos_topo.pdf>. Acesso em: 26/05/2014.

ANEXO A – ÁBACOS ÍNDICE URCI PARA CADA TIPO DE DEFEITO

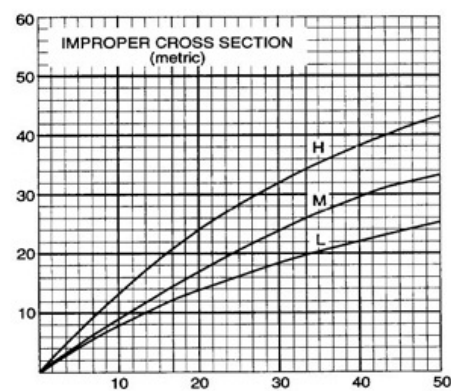
As curvas **H**: nível de severidade **ALTA**;
M: nível de severidade **MÉDIA**;
L: nível de severidade **BAIXA**;



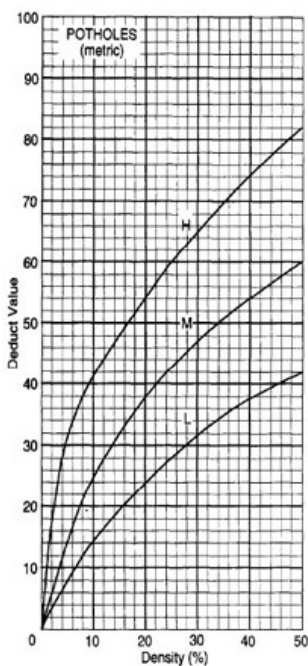
AFUNDAMENTO DE TRILHAS DE RODAS



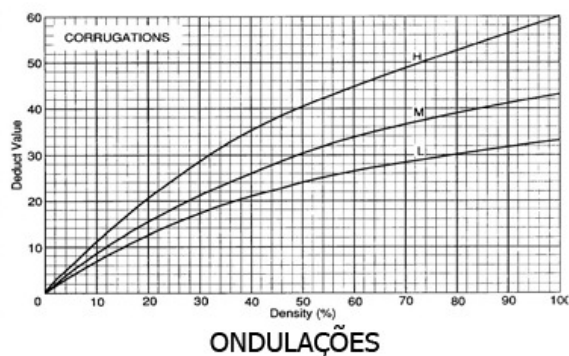
DRENAGEM LATERAL INADEQUADA



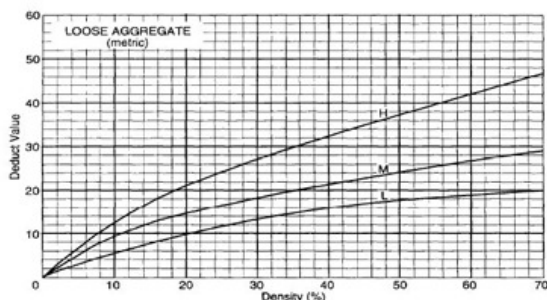
SEÇÃO TRANSVERSAL INADEQUADA



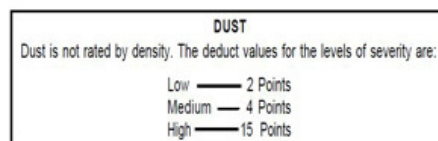
BURACOS



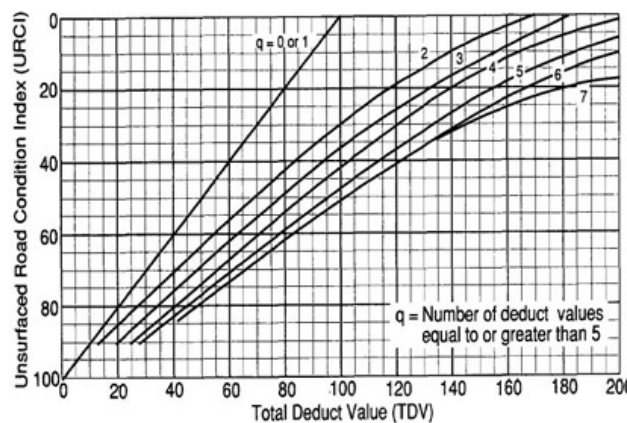
ONDULAÇÕES



SEGREGAÇÃO DE AGREGADOS



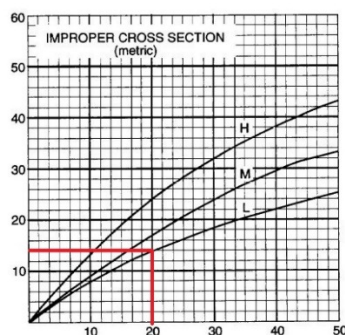
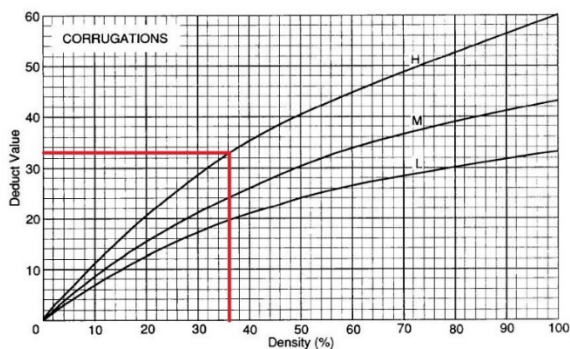
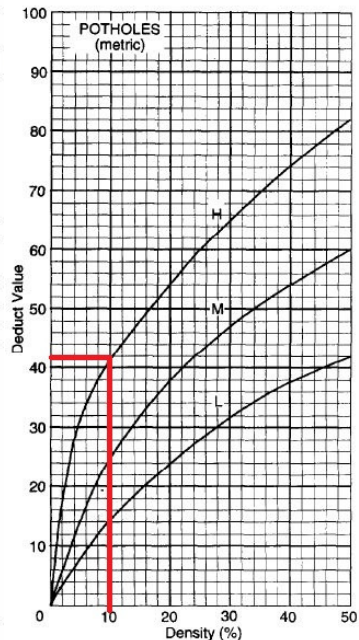
POEIRA



ÁBACO URCI

APÊNDICE A – PLANILHAS DE AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO SUBSEÇÃO 2

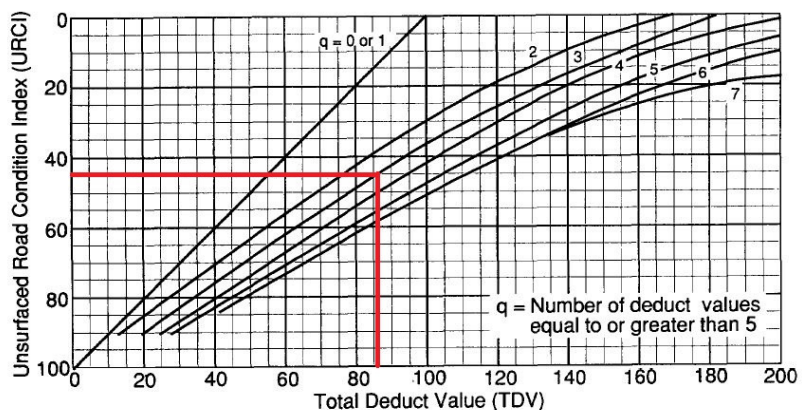
PLANILHA DE AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO DE UMA ESTRADA NÃO PAVIMENTADA - URCI						
Estrada: ESTUDO DE CASO TCC		Trecho: SUBSEÇÃO 2		Data:		
Unidade amostral:		Área da amostra: 250,00m ²		Inspetor: KLEBER/GILSON		
				Tipos de defeitos: 1. Seção transversal inadequada (m) 2. Drenagem lateral inadequada (m) 3. Ondulações (m ²) 4. Poeira 5. Buracos (n ^o) 6. Afundamento de trilhos de roda (m ²) 7. Segregação de agregados (m)		
Quantidade e Severidade dos Defeitos						
Tipo		1	2	3	4	5
Quantidade e Severidade	Baixa					
	Alta	5		56	X	1
Cálculo do URCI						
Tipo do defeito	Densidade	Severidade	Valor de Dedução (VDU)			
1	10	ALTA	14			
2	0	-	0			
3	22,4	ALTA	23			
4	-	MÉDIA	4			
5	-	ALTA	42			
6	0	-	0			
7	0	-	0			
Total VD: 83		q: 3	URCI: 45	Classificação: REGULAR		



DUST

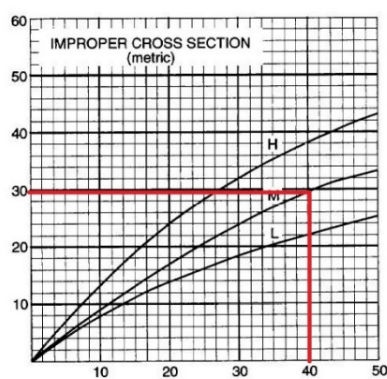
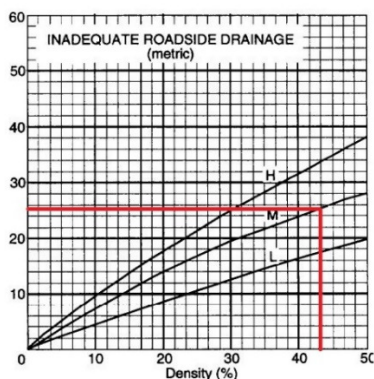
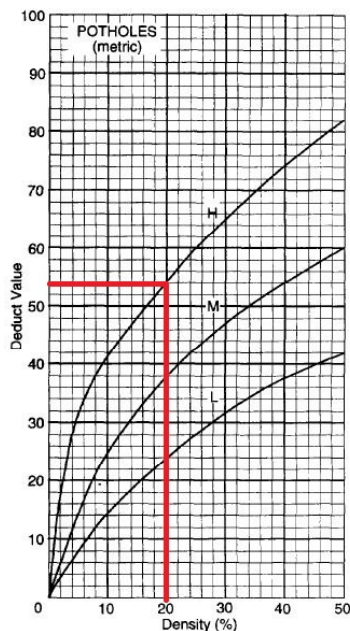
Dust is not rated by density. The deduct values for the levels of severity are:

Low — 2 Points
 Medium — 4 Points
 High — 15 Points



APÊNDICE A – PLANILHAS DE AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO SUBSEÇÃO 3

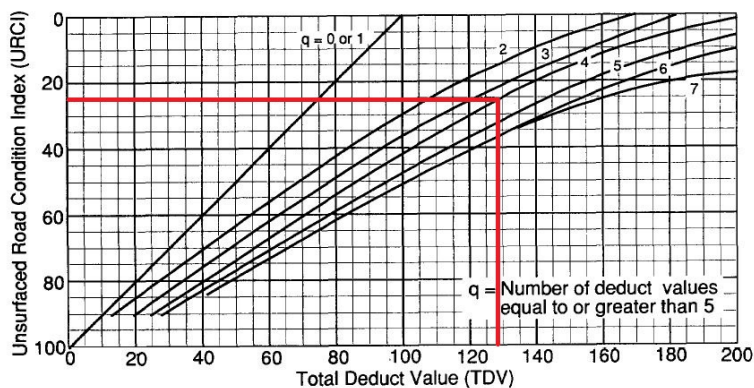
PLANILHA DE AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO DE UMA ESTRADA NÃO PAVIMENTADA - URCI								
Estrada: ESTUDO DE CASO TCC		Trecho: SUBSEÇÃO 3		Data:				
Unidade amostral:		Área da amostra: 200,00 m ²		Inspetor: KLEBER/GILSON				
Tipos de defeitos: 1. Seção transversal inadequada (m) 2. Drenagem lateral inadequada (m) 3. Ondulações (m ²) 4. Poeira 5. Buracos (n ²) 6. Afundamento de trilhos de roda (m ²) 7. Segregação de agregados (m)								
Quantidade e Severidade dos Defeitos								
Tipo		1	2	3	4	5	6	7
Quantidade e Severidade	Baixa							
	Média	16	17,5					
	Alta				X	2		
Cálculo do URCI								
Tipo do defeito	Densidade	Severidade	Valor de Dedução (VDU)					
1	40	MÉDIA	30					
2	43,75	MÉDIA	25					
3	0	-	0					
4	-	ALTA	15					
5	-	ALTA	54					
6	0	-	0					
7	0	-	0					
Total VD: 124		q: 4	URCI: 25		Classificação: RUIM			



DUST

Dust is not rated by density. The deduct values for the levels of severity are:

Low — 2 Points
 Medium — 4 Points
 High — 15 Points



APÊNDICE B – LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

PONTO	FS	FM	FI	H	V	HI	DISTÂNCIA HORIZONTAL	DESNÍVEL	DISTÂNCIA REAL
1 - 2a*	0,687	0,509	0,330	0,000	97,144	1,285	35,15	-3,63	35,33
1 - 3a	1,627	1,310	0,993	0,108	94,997	1,285	62,92	-5,53	63,16
1 - 3b**	1,342	1,022	0,700	355,853	94,997	1,285	63,71	-5,31	63,93
2 - 4a	2,508	2,341	2,173	3,483	91,981	1,433	33,46	-2,07	33,52
3 - 5a	1,440	1,262	1,084	4,503	93,325	1,590	35,48	-1,73	35,52
3 - 5b	1,227	1,045	0,861	355,292	93,319	1,590	36,48	-1,57	36,51
4 - 6a	1,827	1,591	1,351	4,003	93,153	1,525	47,46	-2,68	47,53
4 - 6b	1,100	0,851	0,603	357,711	93,875	1,525	49,47	-2,68	49,55
5 - 7a	0,922	0,751	0,579	3,956	94,225	1,592	34,11	-1,68	34,16
5 - 7b	0,878	0,700	0,519	356,442	94,225	1,592	35,71	-1,75	35,75
6 - 8a	1,911	1,601	1,288	0,811	90,553	1,545	62,29	-0,66	62,30
6 - 8b	1,430	1,118	0,803	356,261	91,114	1,545	62,68	-0,79	62,68
6 - 9a	1,834	1,284	0,738	358,419	90,386	1,545	109,60	-0,48	109,60
6 - 9b	1,770	1,223	0,675	355,850	90,386	1,545	109,50	-0,42	109,50
8 - 10a	1,330	0,859	0,386	357,706	89,792	1,518	94,40	1,00	94,40
8 - 10b	1,399	0,928	0,459	354,717	89,792	1,518	94,00	0,93	94,00
9 - 11a	1,300	0,835	0,370	353,581	89,242	1,610	92,98	2,01	93,01
9 - 11b	1,283	0,820	0,359	350,306	89,414	1,610	92,39	1,74	92,41
9 - 12a	1,795	1,110	0,423	350,136	88,942	1,610	137,15	3,03	137,19
9 - 12b	1,902	1,210	0,515	347,975	88,975	1,610	138,66	2,88	138,69
11 - 13a	1,670	1,280	0,889	0,658	90,122	1,620	78,10	0,17	78,10
11-13b	1,691	1,299	0,904	356,997	90,122	1,620	78,70	0,15	78,70
12-14a	1,900	1,563	1,226	3,119	89,761	1,635	67,40	0,35	67,40
12-14b	1,912	1,571	1,228	358,744	89,761	1,635	68,40	0,35	68,40
13-15a	1,971	1,676	1,379	2,164	90,069	1,625	59,20	-0,12	59,20
13-15b	2,009	1,709	1,408	358,203	90,069	1,625	60,10	-0,16	60,10
14-16a	2,721	2,379	2,034	359,564	89,683	1,630	68,70	-0,37	68,70
14-16b	1,465	1,120	0,772	356,281	90,764	1,630	69,29	-0,41	69,29
14-17a	2,540	1,974	1,409	359,547	90,001	1,630	113,10	-0,35	113,10
14-17b	1,883	1,317	0,749	357,253	90,439	1,630	113,39	-0,56	113,39
14-18a	2,417	1,642	0,869	356,644	90,175	1,630	154,80	-0,48	154,80
14-18b	2,226	1,455	0,683	354,517	90,175	1,630	154,30	-0,30	154,30
17-19a	1,680	1,247	0,813	353,953	89,519	1,590	86,69	1,07	86,70
17-19b	1,582	1,151	0,720	350,403	89,519	1,590	86,19	1,16	86,20
17-20a	2,667	2,019	1,372	347,961	88,661	1,590	129,43	2,60	129,46
17-20b	2,379	1,735	1,093	346,142	88,789	1,590	128,54	2,57	128,57
19-21a	1,006	0,570	0,137	358,089	89,336	1,460	86,89	1,90	86,91
19-21b	1,250	0,813	0,378	354,778	89,061	1,460	87,18	2,08	87,20
19-22a	3,937	3,403	2,873	359,014	87,681	1,460	106,23	2,36	106,25
19-22b	1,484	0,941	0,401	355,700	88,814	1,460	108,25	2,76	108,29
21-23a	2,465	2,283	2,102	1,886	86,464	1,560	36,16	1,51	36,19
22-24a	2,190	2,033	1,879	8,764	87,608	1,545	31,05	0,81	31,06
22-24b	1,790	1,624	1,458	359,733	87,711	1,545	33,15	1,25	33,17
23-25a	2,251	1,964	1,678	9,386	91,922	1,553	57,24	-2,33	57,28
23-25b	2,390	2,102	1,810	4,442	91,775	1,553	57,94	-2,34	57,99
24-26a	2,258	1,838	1,417	1,753	90,842	1,518	84,08	-1,56	84,10
24-26b	1,792	1,371	0,950	357,806	91,181	1,518	84,16	-1,59	84,18

25-27a	2,510	2,069	1,829	1,464	90,436	1,595	68,10	-0,99	68,10
26-28a	2,356	1,929	1,502	2,031	90,219	1,625	85,40	-0,63	85,40
26-28b	1,740	1,309	0,879	357,725	90,667	1,625	86,09	-0,69	86,09
26-29a	2,277	1,633	0,990	0,656	90,244	1,625	128,70	-0,56	128,70
26-29b	2,792	2,149	1,509	357,844	90,031	1,625	128,30	-0,59	128,30
28-30a	1,108	0,668	0,226	355,636	90,386	1,655	88,20	0,39	88,20
28-30b	2,399	1,960	1,521	352,064	89,514	1,655	87,79	0,44	87,79
29-31a	2,403	1,901	1,400	357,050	89,189	1,613	100,28	1,13	100,29
29-31b	2,412	1,911	1,409	353,789	89,189	1,613	100,28	1,12	100,29
29-32a	1,793	1,022	0,250	355,375	89,550	1,613	154,29	1,80	154,30
29-32b	2,748	1,980	1,213	353,303	89,197	1,613	153,47	1,78	153,48
31-33a	1,206	0,736	0,267	359,986	90,189	1,598	93,90	0,55	93,90
31-33b	1,236	0,764	0,293	357,106	90,189	1,598	94,30	0,52	94,30
31-34a	3,402	2,877	2,348	0,939	89,206	1,598	105,38	0,18	105,38
31-34b	1,434	0,897	0,357	358,092	90,253	1,598	107,70	0,23	107,70
33-35a	2,775	2,623	2,474	5,297	89,844	1,560	30,10	-0,98	30,12
33-35b	0,536	0,372	0,212	354,931	93,997	1,560	32,24	-1,07	32,26
34-36a	2,931	2,750	2,565	3,669	90,697	1,640	36,59	-1,56	36,63
34-36b	1,772	1,590	1,408	353,978	92,683	1,640	36,32	-1,65	36,36
35-37a	1,281	0,931	0,582	359,711	95,492	1,660	69,26	-5,93	69,51
35-37b	1,198	0,845	0,492	354,711	95,492	1,660	69,95	-5,91	70,20
35-38a	2,149	1,522	0,900	358,864	95,597	1,660	123,71	-11,99	124,29
35-38b	3,917	3,287	2,662	354,967	94,897	1,660	124,59	-12,30	125,19
37-39a	1,335	0,918	0,499	350,933	96,642	1,690	82,48	-8,83	82,95
38-40a	0,876	0,472	0,071	345,314	96,361	1,675	79,51	-7,66	79,88
39-41a	1,362	1,024	0,683	350,261	95,564	1,645	67,26	-5,93	67,52

*a – Lado direito da pista

**b – Lado esquerdo da pista

APÊNDICE C – VOLUME DE TRÁFEGO

VOLUME DE TRÁFEGO						
Estrada:	ESTUDO DE CASO TCC - LINHA INDEPENDÊNCIA			Data:	07/04/2014	
Operador:	KLEBER LEONARDO PALARO					
HORA	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS/VAN	TRATOR	OUTROS
8:00 às 12:00	15	3	8	1	-	-
13:00 às 17:00	7	4	4	0	2	-
TOTAL	22	7	12	1	2	0

VOLUME DE TRÁFEGO						
Estrada:	ESTUDO DE CASO TCC - LINHA INDEPENDÊNCIA			Data:	08/04/2014	
Operador:	KLEBER LEONARDO PALARO					
HORA	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS/VAN	TRATOR	OUTROS
8:00 às 12:00	15	2	6	-	3	-
13:00 às 17:00	10	1	2	1	1	-
TOTAL	25	3	8	1	4	0

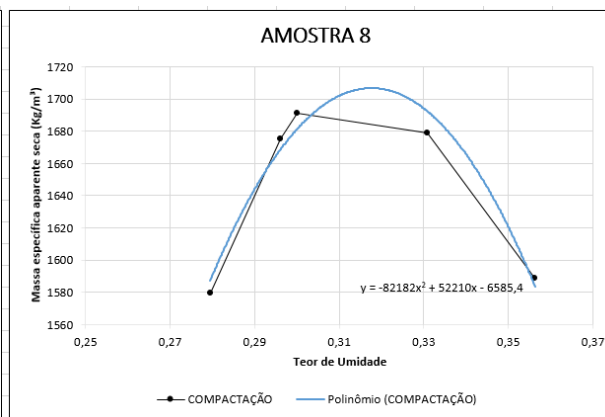
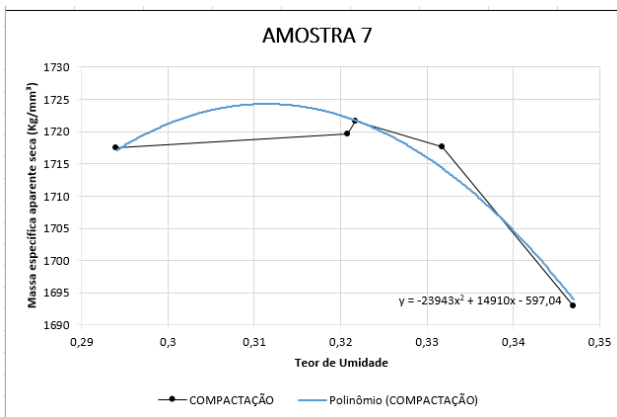
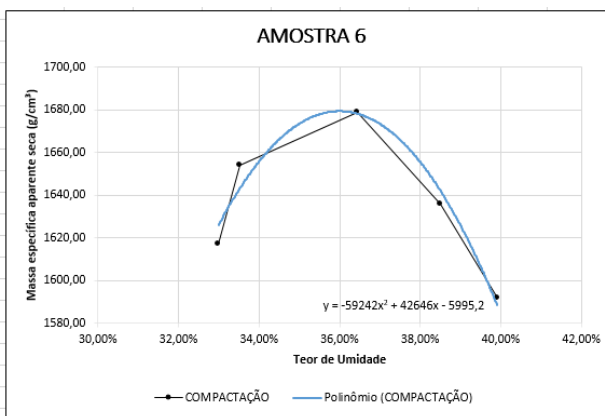
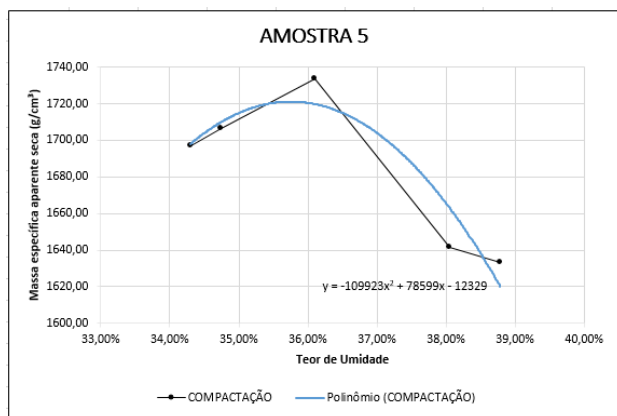
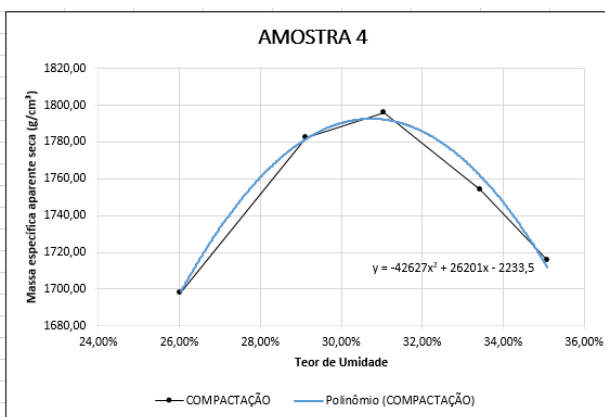
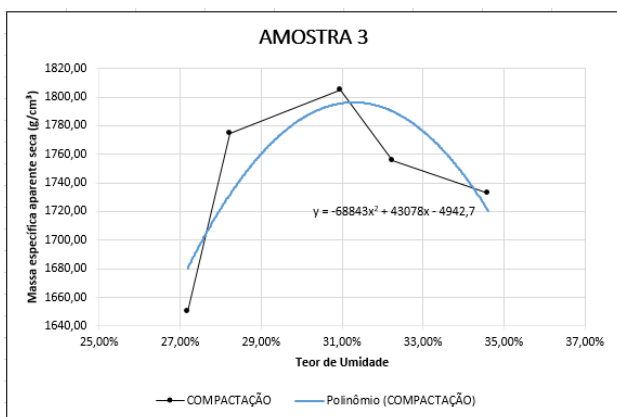
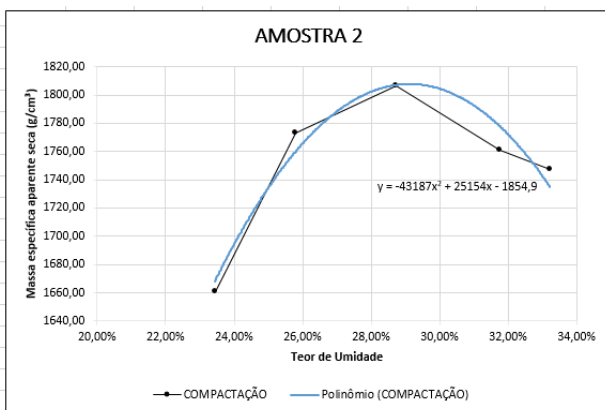
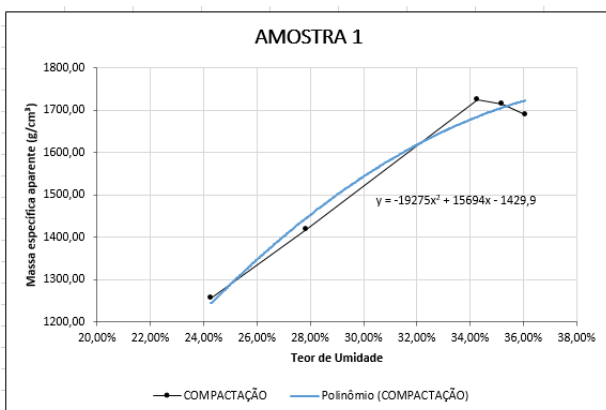
VOLUME DE TRÁFEGO						
Estrada:	ESTUDO DE CASO TCC - LINHA INDEPENDÊNCIA			Data:	09/04/2014	
Operador:	KLEBER LEONARDO PALARO					
HORA	CARRO	MOTO	CAMINHÃO	ÔNIBUS/VAN	TRATOR	OUTROS
8:00 às 12:00	11	8	4	-	2	-
13:00 às 17:00	8	3	2	-	3	-
TOTAL	19	11	6	0	5	0

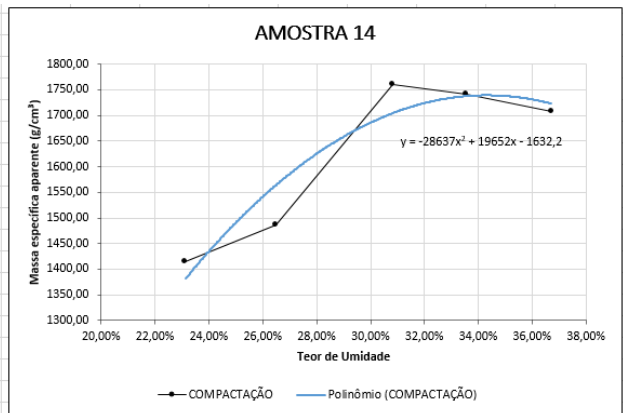
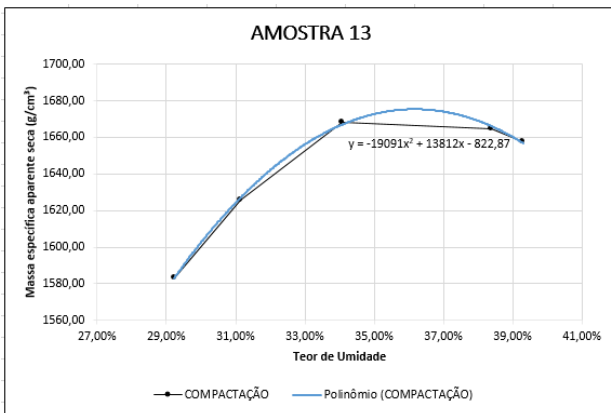
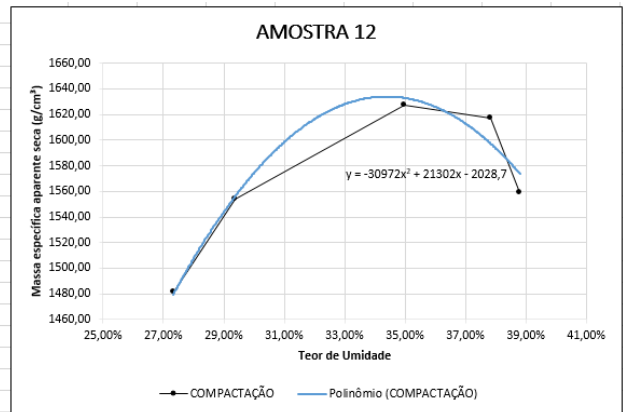
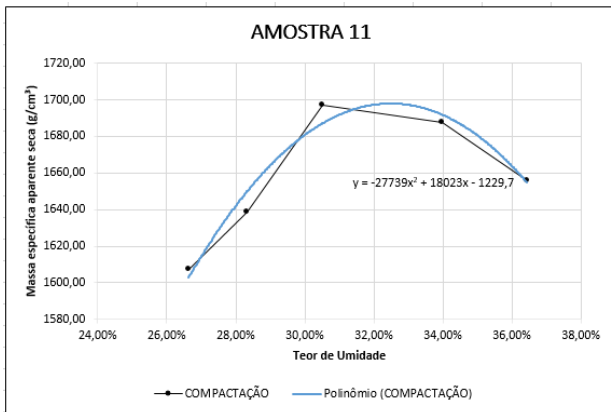
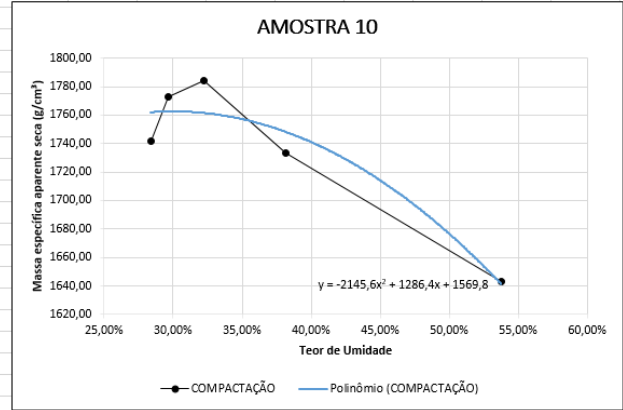
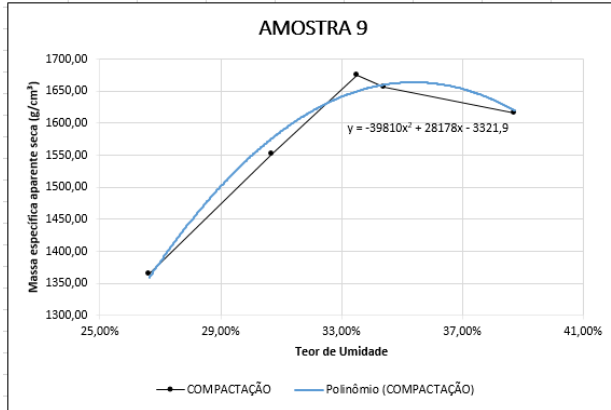
**APÊNDICE D – EVOLUÇÃO DA FROTA DE VEÍCULOS NO MUNICÍPIO DE PATO
BRANCO**

	2010	2011	2012	2013	2014
Caminhão	1818	1904	2024	2147	2267
Caminhão Trator	749	796	796	854	879
Camioneta	948	1056	1204	1349	1536
Micro-ônibus	127	132	137	153	164
Ônibus	344	365	366	398	420
Reboque	489	513	545	602	676
Semirreboque	1149	1161	1138	1216	1227
Trator	7	10	11	11	11
TOTAL	5631	5937	6221	6730	7180

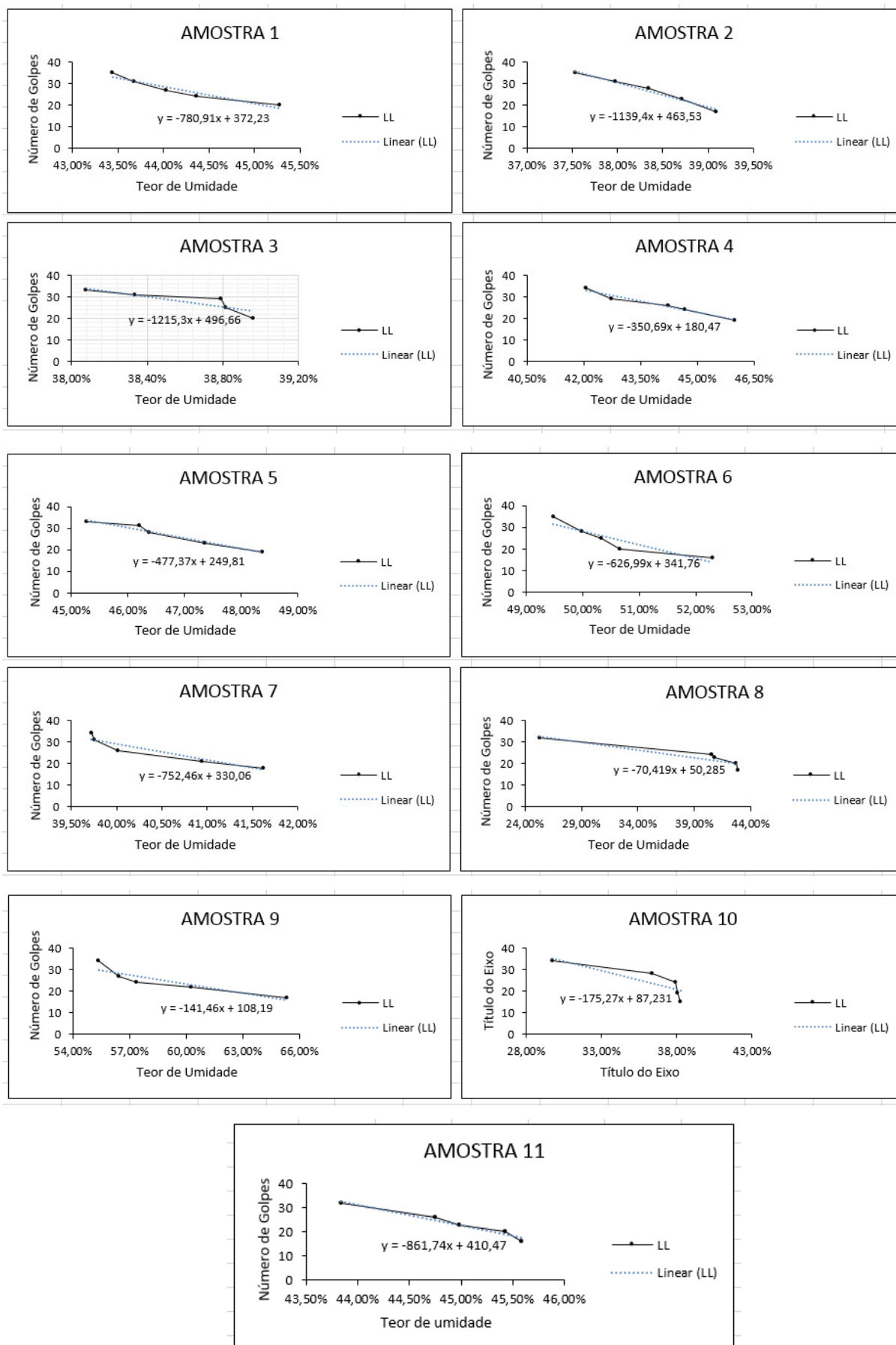
FONTE: DENATRAN (2014)

APÊNDICE E- ENSAIO DE COMPACTAÇÃO





APÊNDICE F - ENSAIOS DE LIMITE DE LIQUIDEZ



APÊNDICE G – TABELAS DE CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Resultados Índice de Grupo

Amostra	a	b	c	d	IG
1	29,63%	40,00%	4%	0%	6%
2	36,14%	40,00%	0%	0%	7%
3	26,81%	40,00%	0%	0%	5%
4	27,19%	40,00%	4%	0%	5%
5	28,80%	40,00%	7%	0%	6%
6	30,05%	40,00%	11%	0%	6%
7	27,64%	40,00%	1%	0%	6%
8	25,01%	40,00%	0%	0%	5%
9	24,77%	40,00%	19%	2%	5%
10	22,80%	40,00%	0%	0%	5%
11	18,68%	38,68%	5%	0%	4%
12	17,59%	37,59%	0%	0%	4%
13	1,56%	21,56%	0%	0%	0%
14	0,00%	4,86%	0%	0%	0%

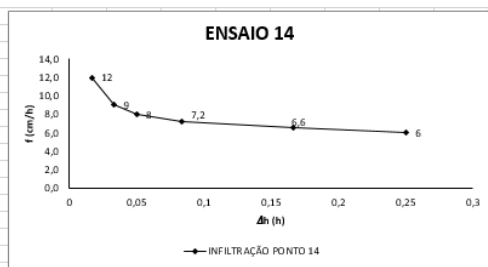
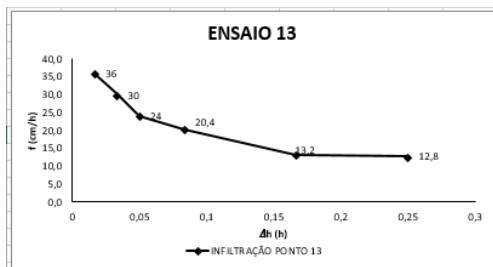
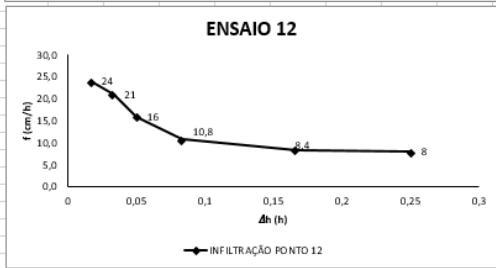
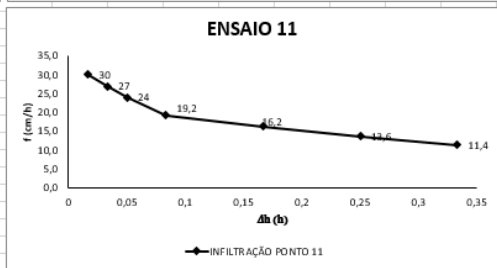
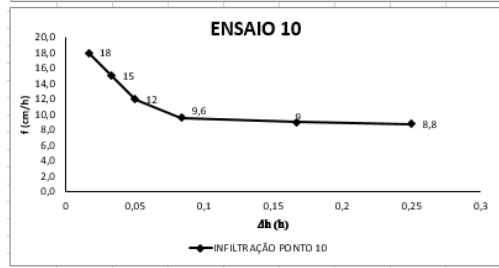
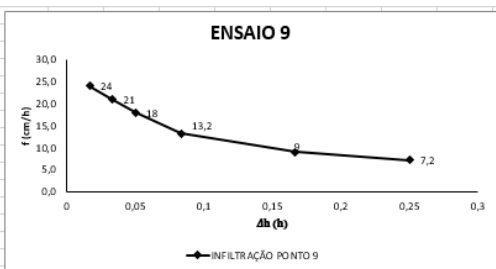
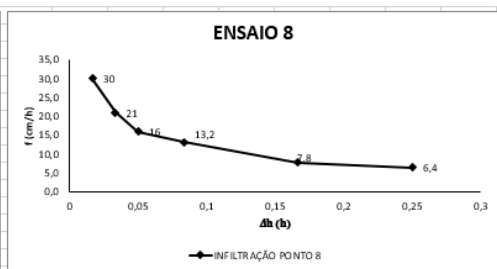
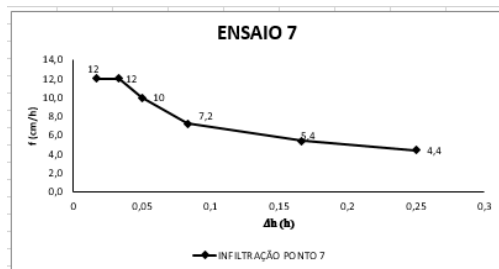
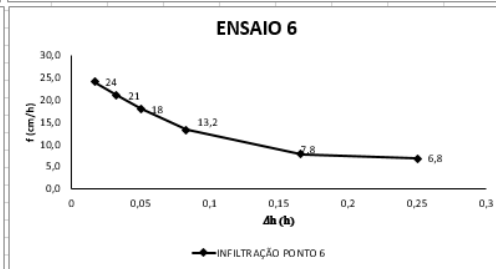
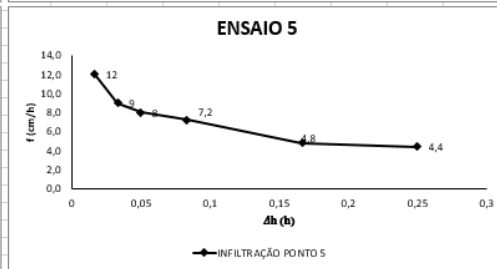
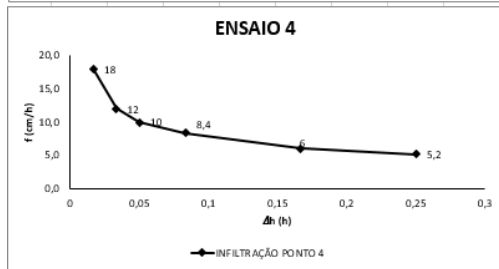
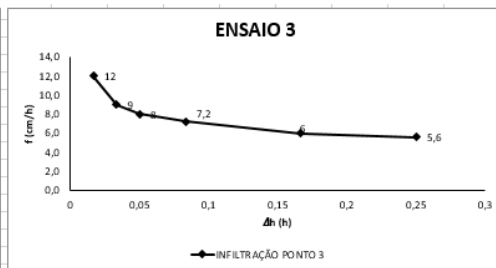
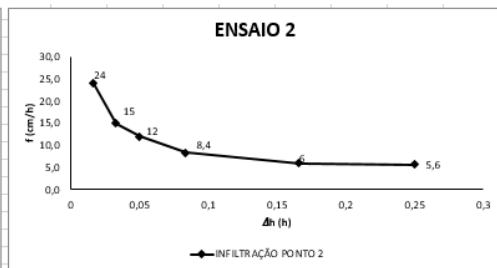
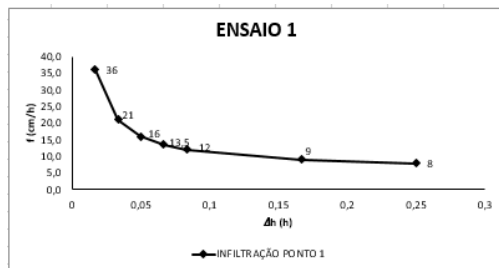
FONTE: Autoria Própria (2014)

Resultado massa específica aparente seca das amostras coletadas

AMOSTRA	$\rho_{aparente\ úmida\ solo}$	H (%)	$\rho_{aparente\ seca\ solo}$
1	1873,6	34,27	1,725
2	1960,7	28,73	1,806
3	1959,5	30,95	1,805
4	1950,2	31,07	1,796
5	1882,9	36,09	1,733
6	1823,9	36,45	1,679
7	1869,4	32,17	1,722
8	1836,2	30,00	1,691
9	1819,3	33,50	1,675
10	1937,5	32,26	1,784
11	1842,3	30,51	1,697
12	1767,6	34,98	1,627
13	1811,8	34,09	1,668
14	1911,0	30,81	1,760
		MÉDIA	1,726

FONTE: Autoria Própria (2014)

APÊNDICE H – ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO



APÊNDICE I – FOTOS DA ESTRADA DO ESTUDO DE CASO