

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LUCAS TORRES DE ROSSO

**ESTUDO DE APLICABILIDADE DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO E
AVALIAÇÃO CONDICIONAL DE SERVENTIA PARA RODOVIAS NÃO
PAVIMENTADAS DA REGIÃO DA FRONTEIRA OESTE DO ESTADO DO RIO
GRANDE DO SUL**

**Alegrete
2015**

LUCAS TORRES DE ROSSO

**ESTUDO DE APLICABILIDADE DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO E
AVALIAÇÃO CONDICIONAL DE SERVENTIA PARA RODOVIAS NÃO
PAVIMENTADAS DA REGIÃO DA FRONTEIRA OESTE DO ESTADO DO RIO
GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Engenheiro Civil.

Orientador: Wilber Feliciano Chambi
Tapahuasco

**Alegrete
2015**

LUCAS TORRES DE ROSSO

**ESTUDO DE APLICABILIDADE DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO E
AVALIAÇÃO CONDICIONAL DE SERVENTIA PARA RODOVIAS NÃO
PAVIMENTADAS DA REGIÃO DA FRONTEIRA OESTE DO ESTADO DO RIO
GRANDE DO SUL**

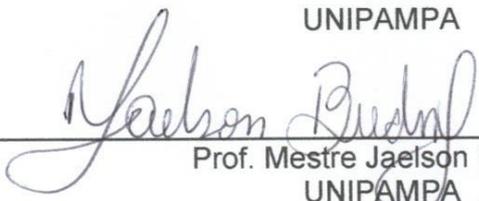
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Engenheiro Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 07 de Julho de 2015.

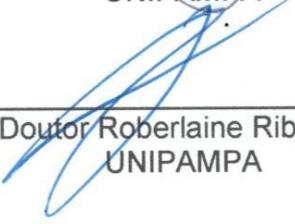
Banca examinadora:



Prof. Doutor Wilber Feliciano Chambi Tapahuasco
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Mestre Jaelson Budny
UNIPAMPA



Prof. Doutor Roberlaine Ribeiro Jorge
UNIPAMPA

Dedico este trabalho aos meus pais, Paulo e Fátima, à minha irmã Juliana, à toda minha família e a todos os meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Conseguir o título de Bacharel em Engenharia Civil, não foi uma tarefa fácil, nem perto disso, foi uma árdua batalha, com imensas dificuldades durante todo o percurso. Ciente disso escrevo estas palavras, para que fique registrado, o quanto é sincero e imenso meus agradecimentos para todos que me ajudaram a realizar este sonho.

Sendo assim, em primeiro lugar, à Deus, agradeço por sempre ter me dado forças quando eu não tinha, luz e sabedoria quando precisava, e por me guiar por este longo caminho de graduação, e que hoje posso concretizar este sonho.

À meu pai, Paulo, por ser uma grande inspiração como pessoa e que sempre me apoiou e acreditou que eu conseguiria realizar este sonho.

À minha mãe, Fátima, por seu grande amor e carinho dedicado durante toda esta etapa, e que mesmo diante de dificuldades sempre acreditou em mim.

À minha querida irmã, Juliana, que mesmo estando longe, nunca deixou de se preocupar comigo e acima de tudo, nunca deixou de acreditar no meu sonho.

À toda a minha família, por sempre terem me dado apoio, palavras de conforto, orações, e tudo mais que ajudou a chegar onde cheguei.

Agradeço ao meu primo Diogo e Matheus, que dividiram o apartamento comigo em Alegrete, e sempre me deram apoio nesta caminhada.

Aos amigos Vitória e Sérgio, que abriram as portas de sua casa e me acolheram, no início desta caminhada.

Agradeço ao Gilmar, Nilza, Iago e ao Ícaro, por ser a minha família aqui de Alegrete. Agradeço também aos grandes amigos que fiz na Faculdade durante a graduação, amigos pertencentes a todas as querências deste Rio Grande, aos quais peço desculpas por não citar nomes, pois a lista é grande e não quero esquecer de ninguém, mas saibam que sempre serei grato pelo companheirismo, risadas e ensinamentos que aconteceram durante esta trajetória.

Aos amigos do EJU, EPC, MCC e ABC, aos quais considero parte de minha família e que sou muito grato pelas experiências proporcionadas por estes Movimentos.

Ao Gean e ao Adriel, por me ajudarem nas saídas de campo para a coleta de amostras para o TCC.

Ao Ícaro, Gabriela e a Carla, que dedicaram parte do seu tempo a me ajudar na realização dos ensaios de laboratório.

Ao professor Wilber Tapahuasco, pela chance que me deu de trabalhar este tema, pela dedicação que teve em nossas reuniões, por sua excelente orientação e contribuição para a realização deste trabalho.

Aos professores Roberlaine Ribeiro, que me ajudou e me proporcionou adquirir grandes conhecimentos durante a elaboração deste trabalho e ao Jaelson Budny, que não mediu esforços para me ajudar a deixar este trabalho ainda melhor.

Aos membros que participaram da Banca de Avaliação deste meu Trabalho de Conclusão de Curso I que contribuíram com idéias e sugestões para que este trabalho fosse realizado da melhor maneira possível.

À CORSAN, pela grande oportunidade de estágio na empresa, pelos amigos que fiz na mesma e por ter me proporcionado um aprendizado em uma área de infraestrutura tão importante para uma cidade.

Ao DAER-Alegrete, por ter me auxiliado fornecendo dados estatísticos da rodovia estudada neste trabalho.

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder entusiasmo”.

Winston Churchill

RESUMO

Este trabalho pretende avaliar a aplicabilidade de diferentes métodos de dimensionamento de estradas de revestimento primários, juntamente com um método de avaliação condicional de serventia da rodovia não pavimentada, visando à aplicação nas rodovias de terra da região da Fronteira Oeste do Estado de Rio Grande do Sul. Para isso, inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica com o intuito de estabelecer a metodologia do trabalho, além disso, foi selecionada uma rodovia de revestimento primário, RS 566, a qual foi tomada como referência para o estudo de caso. Seguidamente, como parte da metodologia, realizou-se trabalhos de campo e laboratório, para caracterização da rodovia e de seus materiais constituintes. As atividades de campos consistiram na coleta de amostras de solos que compõem a estrutura de cada rodovia e análise das condições funcionais das rodovias. Posteriormente, no laboratório executaram-se, para os solos coletados, ensaios de caracterização geotécnica, juntamente com ensaios específicos demandados pelos métodos de dimensionamento estudados. Em relação às condições de superfície do pavimento, a avaliação foi realizada através da determinação do índice de condição da rodovia não pavimentada. Para o dimensionamento da estrada de terra, aplicaram-se quatro métodos de dimensionamentos diferentes, Webster & Alford, Giroud & Noray e Skorseth e Selim I e II. Finalmente, com este trabalho, determinou-se a condição de serventia do trecho da rodovia estudada, que foi classificada como “POBRE”, condizendo com a realidade da rodovia, podendo assim dizer, que o método de avaliação de serventia através do índice de condição da rodovia não pavimentada, gera resultados satisfatórios. Posteriormente, foram aplicados os métodos dimensionamento de estradas de revestimento primário, chegando a uma proximidade dos resultados encontrados para os diferentes métodos aplicados, quando dimensionados para as diferentes situações propostas de análise, podendo-se chegar à conclusão de que os métodos de dimensionamentos são confiáveis.

Palavras-Chave: rodovias não pavimentadas, métodos de dimensionamento, avaliação das rodovias não pavimentadas.

ABSTRACT

This work aims to evaluate the applicability of different methods of sizing primary coating roads, along with a conditional evaluation method usefulness of unpaved road, aiming at the application in dirt roads of the Border West of the State of Rio Grande do Sul region. To this, it was initially performed a literature search in order to establish the methodology of the work, moreover, we selected a primer coating highway, RS 566, which was taken as reference to a case study. Then, as part of the methodology, there was fieldwork and laboratory for characterization of the highway and its constituent materials. The fields of activities consisted of collecting soil samples that make up the structure of each highway and functional analysis of road conditions. Later, in the laboratory they were executed for the collected soil, geotechnical characterization tests, along with specific tests demanded by design methods studied. Regarding the pavement surface conditions, the evaluation was performed by determining the unpaved road condition index. For the design of the dirt road, they applied four different sizing methods, Webster & Alford, Giroud & Noray and Skorseth and Selim I and II. Finally, with this work, we determined the usefulness of condition of the studied stretch of highway that was classified as "POOR", matching the reality of the highway and can thus say that the usefulness of evaluation method by unpaved road condition index generates satisfactory results. Later, the methods sizing primer coating roads were applied, reaching a closeness of results for the different methods used when scaled to different situations analyzing proposals, being able to come to the conclusion that the sizing methods are reliable .

Keywords : unpaved roads, design methods, evaluation of unpaved roads.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Camadas de um Pavimento com Revestimento Asfáltico	26
Figura 2 – Camadas de Pavimento com Revestimento Primário	26
Figura 3 – Níveis de Severidade da Seção Transversal Imprópria	32
Figura 4 – Níveis de Severidade da Drenagem Inadequada	33
Figura 5– Níveis de Severidade das Corrugações	34
Figura 6 – Níveis de Severidade da Poeira	35
Figura 7 – Níveis de Severidade dos Buracos	36
Figura 8 – Níveis de Severidade das Trilha de Roda	37
Figura 9 – Níveis de Severidade das Perdas de Agregados	38
Figura 10 – Curva de Valor Dedutível para Seção Imprópria	39
Figura 11 – Curva de Valor Dedutível para Drenagem Inadequada	40
Figura 12 – Curva de Valor Dedutível para Corrugações	40
Figura 13 – Curva de Valor Dedutível para Buracos	41
Figura 14 – Curva de Valor Dedutível para Trilha de Roda	42
Figura 15 – Curva de Valor Dedutível para Perda de Agregados	42
Figura 16 – Curva de Valor Dedutível para Valores Totais	43
Figura 17 – Diagrama de expectativa de desempenho dos materiais	51
Figura 18 – ERS 566	60
Figura 19 – Trecho Selecionado para estudo da ERS 566	60
Figura 20 – Seção 1 da Rodovia RS 566	61
Figura 21 – Seção 1 da Rodovia RS 566	61
Figura 22 – Seção 2 da Rodovia RS 566	63
Figura 23 – Seção 3 da Rodovia RS 566	64
Figura 24 – Seção 3 da Rodovia RS 566	64
Figura 25 – Medição e Avaliação de Serventia da Rodovia	65
Figura 26 – Medição e Avaliação de Serventia da Rodovia	66
Figura 27 – Materiais de escavação para abertura de vala	69
Figura 28 – Abertura de vala e coleta de material	69
Figura 29 – Espessura da camada de revestimento primário	70
Figura 30 – Coleta de Material e Armazenagem	70
Figura 31 – Areia Média Graduada	71
Figura 32 – Martelo, formão e cápsula para coleta do material <i>in-loco</i>	71

Figura 33 – Régua com nível de bolha	72
Figura 34 – Balança graduada	72
Figura 35 – Equipamento do Frasco de Areia	72
Figura 36 – Amostra de solo para realização do ensaio	75
Figura 37 – Conjunto de peneiras	76
Figura 38 – Agitador mecânico	77
Figura 39 – Amostra de solo para determinação do Limite de Liquidez	77
Figura 40 – Concha de Casagrande usada no ensaio de Limite de Liquidez	78
Figura 41 – Moldagem dos cilindros para ensaio de limite de liquidez	79
Figura 42 – Preparação da amostra para o ensaio do CBR	81
Figura 43 – Quarteamento da Amostra	81
Figura 44 – Compactação da Amostra	82
Figura 45 – Imersão dos Corpos-de-Prova	83
Figura 46 – Prensa – Ensaio CBR	84
Figura 47 – Penetração do Pistão – Ensaio CBR	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valor Dedutível para o defeito de Poeira	41
Tabela 2 – Classificação dos solos TRB	47
Tabela 3 – Classificação dos solos TRB	48
Tabela 4 – Recomendações para a seleção de materiais	51
Tabela 5 – Resumo do Cálculo do ICRNP para cada Unidade Simples	97
Tabela 6 – Aferição da Areia	99
Tabela 7 – Massa específica seca do solo	100
Tabela 8 – Análise do Peneiramento da Amostra de Solo	101
Tabela 9 – Limite de Plasticidade do Solo	102
Tabela 10 – Índice de Plasticidade do Solo	103
Tabela 11 – Classificação TRB Geotécnica do solo	104
Tabela 12 – Classificação SUCS Geotécnica do solo	104
Tabela 13 – Teor de umidade e massa específica dos corpos-de-prova	105
Tabela 14 – Teor de umidade e massa específica dos corpos-de-prova para energia intermediária de compactação	107
Tabela 15 – Ensaio de Expansão Energia normal de compactação	108
Tabela 16 – Valores do Ensaio de Expansão para energia normal de compactação e umidade ótima	109
Tabela 17 – Valores do Ensaio de Expansão para energia intermediária	110
Tabela 18 – Valores do Índice de Suporte Califórnia para Energia Normal de Compactação	111
Tabela 19 – Valores do Índice de Suporte Califórnia para Corpos-de-prova moldados na umidade ótima	112
Tabela 20 – Valores do Índice de Suporte Califórnia para Energia Intermediária de Compactação	112
Tabela 21 – Resumo dos Resultados do Dimensionamento da Rodovia	120

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação MCT e Potencial de Utilização	28
Quadro 2 – Relação dos Defeitos-Tipos	31
Quadro 3 – Classificação das Rodovias, segundo o valor do ICRNP	43
Quadro 4 – Espessura (cm) para a camada de revestimento primário	52
Quadro 5 – Espessura (em polegadas) do revestimento primário	54
Quadro 6 – Período de duração das estações do ano para cada região climática ..	56
Quadro 7 – Qualidade relativa do solo do subleito	56
Quadro 8 – Relação entre o nível de serventia e aceitações dos usuários	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Granulometria da Amostra de Solo	101
Gráfico 2 – Limite de Liquidez do Solo	103
Gráfico 3 – Curva de Compactação	106
Gráfico 4 – Curva de Compactação para energia intermediária	107
Gráfico 5 – Comparativo entre o Índice de Suporte Califórnia e a Curva de Compactação	111
Gráfico 6 – Comparativo entre o Índice de Suporte Califórnia e a Curva de Compactação	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials
CASE - Condições Admissíveis da Superfície da Estrada
DER-PR - Departamento de Estradas de Rodagens do Estado do Paraná
DER-SP - Departamento de Estradas de Rodagens do Estado de São Paulo
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EDCR - Efeito da Duração do Clima na Região
FTP - Futuro Tráfego Previsto
ICRNP - Índice de Condição da Rodovia Não Pavimentada
LL - Limite de Liquidez
LP - Limite de Plasticidade
IP – Índice de Plasticidade
MRS - Módulo Resiliente do Subleito
PASE - Perda de Agregados da Superfície
PS - Perda de Serventia
SD-LTAP - Programa de Assistência ao Transporte Local de Dakota do Sul
SNV – Sistema Nacional de Viação
ST - Serventia Terminal
SUCS – Sistema Unificado de Classificação de Solos
VDF - Valor Dedutível Final
VVP – Volume diário de Veículos Pesados
US – Unidade Simples

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Contextualizações do Tema de Pesquisa	19
1.2 Definições do Problema e Questões de Pesquisa	21
1.3 Objetivos	22
1.3.1 Objetivo Geral	22
1.3.2 Objetivos Específicos	22
1.4 Justificativa	23
1.5 Estrutura do Trabalho	24
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1. Estradas Não Pavimentadas e sua importância	25
2.2. Especificações sobre camada de revestimento primário	26
2.2.1. Definição	26
2.2.2. Tipos de Materiais Empregados	27
2.2.3. Condições Técnicas Gerais	27
2.2.4. Condições Técnicas Específicas	27
2.2.5. Equipamentos	29
2.3. Exame das condições da rodovia e procedimentos de avaliação	29
2.3.1. Resumo do Método de Avaliação	29
2.3.2. Determinação do ICRNP	30
2.3.3. Ensaio de Laboratório para caracterização dos materiais constituintes da rodovia	44
2.3.3.1 Preparação de amostras para ensaios de compactação e caracterização	44
2.3.3.2 Ensaio do Frasco de Areia	44
2.3.3.3 Ensaio de Granulometria	44
2.3.3.3 Ensaio de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade	45
2.3.3.4 Ensaio de Compactação	45
2.3.3.5 Ensaio de CBR	45
2.3.4 Métodos de Classificação Geotécnica de Solos	46
2.3.4.1 Classificação Geotécnica TRB	46
2.3.4.2 Classificação Geotécnica SUCS	47
2.4. Métodos de dimensionamento de estradas de revestimento primário .	48

2.4.1. Método de Dimensionamento Webster & Alford (1978)	48
2.4.2. Método de Dimensionamento Giroud & Noray (1981)	49
2.4.3. Método de Dimensionamento Paige-Green (1990)	50
2.4.4. Método de Dimensionamento Skorseth e Selim (2000)	52
2.4.5. Método de Dimensionamento Skorseth e Selim (2000) II	52
2.4.6. Método de Dimensionamento SD – LTAP	54
3 METODOLOGIA	59
3.1. Definição, localização e divisão da rodovia em unidades simples a serem avaliadas	59
3.2. Atividades de campo a ser desenvolvidas	65
3.2.1. Avaliação das condições da rodovia	66
3.2.2. Coleta de amostras de solo	68
3.3. Ensaio de laboratório	73
3.3.1 Ensaio do Frasco de Areia	73
3.3.2 Preparação das Amostras	74
3.3.2.1 Preparação das amostras para ensaio de compactação	74
3.3.2.2 Preparação das amostras para ensaio de caracterização	75
3.3.3 Ensaio de Granulometria	75
3.3.4 Ensaio de Limite de Liquidez	77
3.3.5 Ensaio de Limite de Plasticidade	79
3.3.6 Classificação do Solo	80
3.3.7 Ensaio de Compactação	80
3.3.8 Ensaio de Expansão	82
3.3.9 Índice de Suporte de Califórnia – ISC	83
3.4. Dimensionamento do Pavimento	85
4 ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	87
4.1 Determinação do Índice de Condição da Rodovia Não Pavimentada através da Avaliação de Serventia da Rodovia	87
4.1.1 Cálculo do ICRNP para a US 1	87
4.1.2 Cálculo do ICRNP para a US 2	90
4.1.3 Cálculo do ICRNP para a US 3	92
4.1.4 Cálculo do ICRNP para a US 4	94
4.1.5 Cálculo do ICRNP das Seções	97

4.1.6 Cálculo do ICRNP do Trecho	98
4.2 Ensaio de Frasco de Areia para determinação da massa específica in-situ	99
4.3 Granulometria da Amostra de Solo	100
4.4 Limite de Liquidez e Plasticidade	102
4.5 Classificação do Solo	104
4.6 Ensaio de Compactação	105
4.7 Ensaio de Expansão	108
4.7.1 Ensaio de Expansão dos corpos de prova moldados para energia normal de compactação	108
4.7.2 Ensaio de Expansão dos corpos de prova moldados para energia normal de compactação e na umidade ótima	109
4.7.3 Ensaio de Expansão dos corpos de prova moldados para energia intermediária de compactação	110
4.8 - Índice de Suporte de Califórnia	110
4.9 Dimensionamento do Pavimento	114
4.9.1 Dimensionamento pelo método de Webster & Alford (1978)	114
4.9.2 Dimensionamento pelo método de Giroud & Noray (1981)	116
4.9.3 Dimensionamento pelo método de Skorseth e Selim (2000)	118
4.9.4 Dimensionamento pelo método de Skorseth e Selim II (2000)	118
5 CONCLUSÕES	122
6 SUGESTÕES	124
REFERÊNCIAS	125
ANEXO A – Tabela com o volume de tráfego da rodovia ERS 566	128
ANEXO B – Ficha de Inspeção de Rodovia Não Pavimentada	129

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualizações do Tema de Pesquisa

No Brasil, historicamente, o modal de transporte mais utilizado, seja no transporte de passageiros ou no transporte de cargas, é o rodoviário, pois, pode-se dizer que abrange quase todos os pontos do território do país, representando então, parcela importante na atividade econômica brasileira.

Porém, sabe-se também, que esta grande influência na economia que este modal de transporte representa, não é acompanhada pela malha rodoviária brasileira, que é deficitária e não condiz com a realidade de importância do mesmo.

Conforme o relatório do Sistema Nacional de Viação (SNV, 2014) de dezembro de 2014, retirado do site do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), que apresenta dados sobre a situação da malha rodoviária brasileira, da totalidade de rodovias, apenas 21,4% são pavimentadas e planejadas, enquanto as 78,6% restantes, não recebem uma última camada de pavimentação e nem a devida manutenção. A análise do relatório permite identificar que ocorre sim, a falta de compatibilidade entre a relevância deste modal de transporte e a realidade vista no Brasil.

Assim sendo, faz-se necessário uma atenção especial as rodovias não pavimentadas, também chamadas de estradas vicinais ou comumente conhecidas como estradas de terras ou de chão, pois além de representarem a grande parcela da malha rodoviária, permitem a ligação entre o meio rural e o meio urbano, e muitas vezes fazem a conexão de grandes centros urbanos com os demais pontos do país.

Um reflexo disto, é que a falta de conservação destas rodovias causa grande impacto na economia, o qual não pode ser ignorado, pois muitos destes impactos refletem no preço final do produto e são repassados para o consumidor.

Evidencia-se também, nas áreas de estudos e pesquisas, que apesar de sua vasta extensão, as rodovias não pavimentadas, quando comparadas com as rodovias pavimentadas, carecem destes estudos e pesquisas que visem melhorar e facilitar as técnicas de construção e manutenção das mesmas.

A pavimentação de rodovias é processo fundamental na melhoria da infraestrutura e de índices socioeconômicos de um País que busca crescimento e desenvolvimento, pois a mesma permite a melhoria das condições de trafegabilidade

através de uma pista de rodagem mais segura, facilitando o transporte de passageiros e/ou de cargas, desenvolvendo o sistema urbano.

Já para a zona rural, as vias não pavimentadas além de responsáveis pelo acesso da população rural, a serviços considerados básicos como saúde, educação e até mesmo lazer, que são disponibilizados nos centros urbanos, também tem importância no processo de escoamento da produção agropecuária (GUEDES et al.,2014).

Mesmo possuindo este papel fundamental nos índices socioeconômicos de um País juntamente com as rodovias pavimentadas, as vias não pavimentadas muitas vezes não recebem a devida atenção e investimento do Poder Público. Isto se deve, na maioria das vezes, porque estas estradas de terra são mal construídas e mal conservadas e demandam um alto investimento de conservação e sabe-se que a grande parte das Prefeituras, em muitos casos são elas as responsáveis pelas estradas vicinais, não dispõem de um orçamento que possa contemplar a demanda de serviços que exigem as rodovias não pavimentadas.

Outro aspecto que merece atenção, é que atualmente sabe-se muito pouco sobre estradas de terra e o seu comportamento estrutural. Se comparados, os dois tipos de pavimentos, trazendo o assunto apenas para âmbito nacional, existem muitas pesquisas sendo realizadas sobre as rodovias pavimentadas, sejam elas de asfalto ou de concreto, somando-se as já existentes, isto possibilita adquirir um conhecimento muito grande sobre este tipo de estrutura, tornando possível que as rodovias sejam bem planejadas e que atendam a critérios mínimos de segurança e dimensionamento.

O que já não acontece em rodovias não pavimentadas, onde sua construção é baseada principalmente em métodos empíricos de simples compactação do solo, onde muitas vezes não são levados em conta pontos básicos de qualquer dimensionamento de um pavimento, como seção transversal apropriada, drenagem corretamente executada, abaulamento que possibilite o escoamento da água e espessuras mínimas das camadas constituintes do pavimento.

1.2 Definições do Problema e Questões de Pesquisa

As definições dos problemas que este trabalho busca abranger, bem como as questões de pesquisa que a envolvem, parte do pressuposto que existe uma necessidade de ampliação de pesquisas e estudos que envolvem as rodovias não pavimentadas, mostrando a importância que as mesmas possuem, para evitar que sejam deixadas em segundo plano, ou consideradas sem importância. A pavimentação de todas as rodovias brasileiras, não precisa ser uma necessidade imediata, se as mesmas forem bem-construídas e bem-mantidas e se o tipo e volume de tráfego não exigirem uma superfície pavimentada (FERREIRA, 2004). Ou seja, é possível que existam rodovias não pavimentadas de boa qualidade, mas para que isso aconteça, as mesmas devem ser conservadas para que não ocorra a ruptura da estrutura do pavimento.

A necessidade de possuímos rodovias não pavimentadas de boa qualidade cresce se analisarmos o meio rural e a dependência que as áreas agrícolas possuem com estas rodovias, pois são elas que fazem a ligação do meio rural com as rodovias pavimentadas. Recuperação, manutenção e conservação são um conjunto de práticas que se fazem de grande importância para garantir a boa qualidade destas rodovias.

Qualidade essa, que hoje em dia, sabe-se que não é atendida, pois na grande maioria destas rodovias é comum encontrarmos diversos problemas, tais como: atoleiros; bancos de areia; trepidação, ou popularmente chamada de costela-de-vaca; buracos dos mais diversos tamanhos; poeira; erosões do solo; rebaixamento do leito da estrada e pista escorregadia que muitas vezes não apresenta condições mínimas de segurança (EMPAER, 200-?).

Conforme relatório do SNV de 2014, que mostra o contexto nacional de infraestrutura das rodovias, pode-se afirmar que o maior percentual é de estradas não pavimentadas, assim sendo, trazendo esta visão para o cenário estadual, mais precisamente, para a região da fronteira oeste do Rio Grande do Sul, observa-se que o percentual de estradas de terra é maior que o de rodovias pavimentadas, seguindo a tendência nacional. Nesta região, predomina grandes áreas agropecuárias, tais como lavouras de soja, arroz e criações de gado de corte. Esta característica faz com que o escoamento desta produção, seja feito através de

estradas de terra, que muitas vezes foram construídas sobre antigas passagens de tropas, sem o mínimo de estrutura de pavimentação, e que podem não estão em condições de receber o tráfego que esta demanda exige.

Diante deste contexto, onde fica clara a ausência de estudos e pesquisas que visam a análise do comportamento das rodovias não pavimentadas, surgem os questionamentos que regem este trabalho:

- Foram aplicados ensaios para determinação das características do solo utilizado como estrutura do pavimento e camada de rolamento?
- Foi cogitado algum estudo sobre métodos de dimensionamentos para estradas de terra?
- Qual seria o comportamento da rodovia não pavimentada, se fosse dimensionada através de um método de dimensionamento que não é apenas de fundamentação empírica?
- Depois de sua construção, ela recebeu manutenção adequada?
- Foi feito algum estudo na rodovia para avaliá-la e classificá-la em termos de funcionalidade?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consta em determinar a aplicabilidade de métodos de dimensionamento de estradas de revestimento primário visando à aplicação nas rodovias de terra da região da Fronteira Oeste do Estado de Rio Grande do Sul.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Aplicar na rodovia não pavimentada selecionada para este trabalho, os diferentes métodos de dimensionamentos;

- Avaliar os tipos de solos que compõem os perfis estruturais da rodovia selecionada por meio de ensaios de caracterização geotécnica;
- Classificar a Rodovia estudada quanto à funcionalidade;

1.4 Justificativa

Com base nos escritos anteriores, citou-se que existe um déficit de pesquisas e estudos sobre rodovias não pavimentadas, e é com esta intenção inicial, de suprir esta falta de informações referente a este tipo de pavimento, que se baseia uma das justificativas para a realização deste trabalho. Outras questões a serem usadas como justificativas, podem ser descritas como: a obtenção de resultados que provem que a utilização de métodos de dimensionamentos da camada primária, deixa o pavimento melhor, e que esta melhora pode significar ganhos para todos os usuários da via; uma rodovia não pavimentada de boa qualidade pode significar uma redução de orçamento destinado à sua manutenção.

Dito isso, pode-se dizer que o Brasil, utiliza uma grande fatia dos seus recursos, destinados ao setor rodoviário, na manutenção quase rotineira das vias não pavimentadas, manutenção essa, que muitas vezes, é feita pelos próprios moradores rurais e/ou produtores rurais, os quais não possuem um conhecimento técnico adequado para este tipo de serviço de manutenção, onde acabam aplicando um simples patrolamento a cada período de chuvas, para reconstrução de sua seção transversal. Sendo assim, investir em pesquisas que visem o melhoramento de desempenho destas rodovias, gerariam uma economia em gastos como esse, onde a construção de uma via não pavimentada, bem estruturada, com uma superfície de rolamento que atingisse resistência satisfatória aos esforços solicitantes que atuarão sobre a mesma, necessitaria de manutenções pontuais e racionais, para manter sua boa qualidade e bom desempenho. Também, economizar-se-ia com estradas de boa qualidade, em vez de esperar elevados montantes que seriam necessários para a implantação de uma rodovia pavimentada, que nem sempre é a necessidade da via em questão (DUQUE NETO, 2004).

É importante também, salientar que as vias não pavimentadas cumprem papel importante no desenvolvimento do meio rural, e como já dito anteriormente, é

importante no escoamento da produção agropecuária, por isso a necessidade de se melhorar cada vez mais este tipo de pavimento. Pode-se citar como exemplo desta necessidade, o preço final de um determinado produto, produzido em zona rural que é repassado ao consumidor, que muitas vezes sofre o acréscimo de preço devido aos gastos com manutenção dos equipamentos, que sofrem algum defeito devido à má qualidade das vias não pavimentadas.

1.5 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho foi elaborado em seis diferentes capítulos, com o intuito de alcançar todos os objetivos inicialmente propostos.

No primeiro capítulo, foram apresentados à contextualização do tema de pesquisa, as definições do problema e as questões de pesquisa, juntamente com os objetivos, geral e específico, e a justificativa do trabalho.

No segundo capítulo, foi mostrada a revisão bibliográfica do trabalho, abrangendo desde conceitos sobre o pavimento rodoviário não pavimentado e sua importância, a definição de rodovia não pavimentada, tipos de materiais empregados, condições técnicas gerais, condições técnicas específicas, equipamentos utilizados na construção de rodovias não pavimentadas, exame das condições da rodovia, método de avaliação da condição da rodovia, índice de condição da rodovia não pavimentada e ensaios de laboratório para caracterização dos materiais constituintes da rodovia e os métodos de dimensionamentos de estradas de terra.

No terceiro capítulo, foram descritos os procedimentos metodológicos para a realização do trabalho e houve a definição dos métodos escolhidos para análise e dimensionamento do estudo de caso.

No quarto capítulo, são apresentados os resultados obtidos e são realizadas as análises e discussões referentes ao tema abordado.

No quinto capítulo, são apresentadas as conclusões sobre o tema estudado.

No sexto capítulo, encerra-se este trabalho, colocando algumas sugestões para a realização de futuros trabalhos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estradas Não Pavimentadas e sua Importância

Estradas não pavimentadas são um importante meio de ligação entre às áreas rurais com áreas urbanas. Importante no escoamento de produtos e safras, proporcionando aos moradores da região, por exemplo, o acesso aos serviços de educação, saúde e lazer que se encontram nas cidades. Geralmente, a origem de vias não pavimentadas vem da evolução de trilhas e caminhos, antes precários, mas que com o passar do tempo e o eminente aumento do volume de tráfego, necessitam de melhorias nas condições de rolamento. Conseqüentemente, o traçado segue as curvas naturais do terreno, sofrendo desvios para evitar declividades acentuadas e obstáculos locais. Conforme o tráfego aumenta, essas estradas passam a receber ainda mais melhorias, melhorando a sua seção transversal e o seu traçado ficando mais definido. As vias não pavimentadas, estradas de terras, ou ainda estradas de chão, na maioria dos casos, tem em sua camada de superfície, solo local, podendo ou não, possuir um misto de agregado granular junto com este solo local, em conseqüência da manutenção. Pode ser considerada uma via não pavimentada, todas aquelas estradas que não são revestidas por um tipo de tratamento superficial ou de Solo-Cimento Portland. (ODA, 1995).

Sendo assim, estradas rurais são consideradas uma necessidade básica para prover desenvolvimento para uma região rural, através do fluxo de mercadorias e serviços, possibilitando que essas comunidades tenham uma melhor qualidade de vida. Contudo, não é possível afirmar que as vias rurais, sozinhas, podem acabar com as barreiras que causam o empobrecimento destas comunidades, mas elas podem, serem importantes fatores que induzam o crescimento das mesmas, ocasionando benefícios significativos, tanto sociais quanto econômicos.

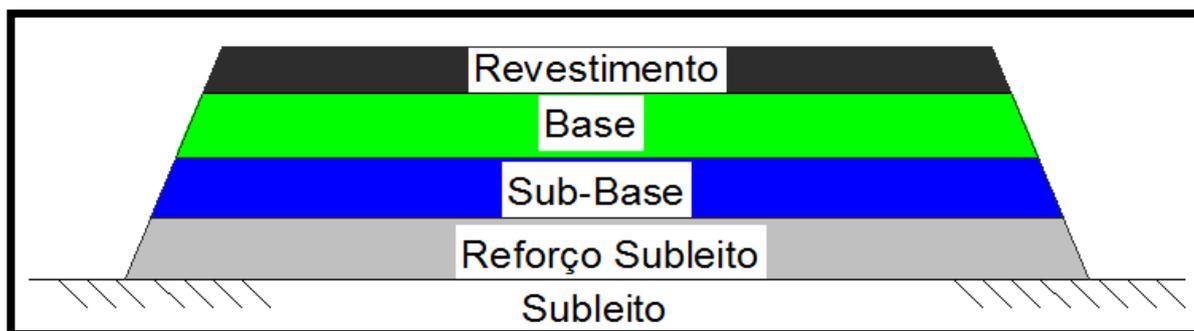
Seguindo esse ponto de vista, fica claro que a manutenção correta das redes de estradas rurais é importante. Porém, deve-se agir, fazendo esta manutenção dentro dos princípios recomendados pela boa técnica, pautados em um propósito sólido, de reduzir ao máximo os impactos ao meio ambiente, juntamente com o menor custo possível (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

2.2. Especificações sobre Camada de Revestimento Primário

2.2.1. Definição

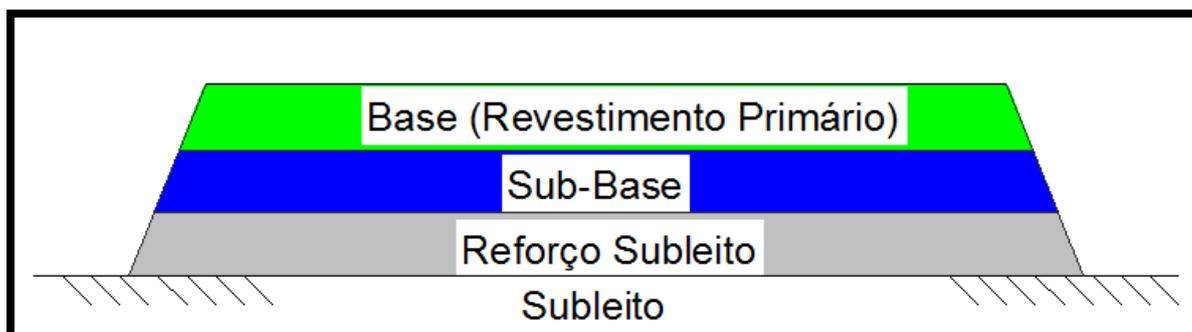
Seguindo uma denominação, da maneira mais completa possível, o pavimento possui as seguintes camadas, da mais externa para a mais interna: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito, sendo este ultimo a fundação e parte integrante da estrutura. Conforme o caso, o pavimento pode não apresentar a camada de sub-base ou de reforço, tudo irá depender dos valores do CBR de cada camada, mas a condição mínima para que a estrutura seja considerada um pavimento, será a existência de um revestimento, nem que seja primário, neste caso é a base que assume a função de revestimento. (BALBO, 2007; SILVA, 2008). Nas figuras (1) e (2) é apresentada a diferença entre os dois tipo de pavimento.

Figura 1 – Camadas de um Pavimento com Revestimento Asfáltico



Fonte: elaboração própria

Figura 2 – Camadas de Pavimento com Revestimento Primário



Fonte: elaboração própria

Segundo o Departamento de Estradas de Rodagens do Estado do Paraná (DER-PR), revestimento primário pode ser definido como:

Revestimento primário: é a camada granular, composta por agregados naturais e/ou artificiais, aplicada diretamente sobre o subleito compactado e regularizado em rodovias não pavimentadas, com a função de assegurar condições satisfatórias de tráfego, mesmo sob condições climáticas adversas. (DER-PR, 2005, p. 02).

2.2.2. Tipos de Materiais Empregados

Para execução do revestimento primário, os materiais que podem vir a ser utilizados, são listados como: saibro, cascalho, rocha decomposta, seixo rolado ou não, pedregulho, areia, material sílico-argilosos, subprodutos industriais, escórias ou uma mistura destes materiais citados (DER-SP, 2006).

2.2.3. Condições Técnicas Gerais

Com a finalidade de servir como camada de revestimento, para adequar vias rurais municipais e estaduais, o revestimento primário pode ser empregado para este fim, desde que obedeçam as especificações impostas pelo órgão responsável (DER-PR, 2005).

A execução dos serviços de compactação da camada primária não poderá ser executada: em dias de chuva; sem o devido licenciamento e autorização ambiental das jazidas indicadas em projeto; sem a implantação da sinalização adequada da obra; sem o prévio preparo do subleito. (DER-PR, 2005).

2.2.4. Condições Técnicas Específicas

As condições específicas se referem às características dos materiais que serão empregados, na execução da camada de revestimento primário, devendo também, obedecer a requisitos gerais, tais como a isenção de matéria orgânica; diâmetro máximo do agregado, deverá ser menor ou igual a 3"; a caracterização e a classificação dos materiais, deverá seguir o Método MCT (Nogami e Villibor), conforme designação, descrito no quadro 1 (DER-PR, 2005).

Quadro 1 – Classificação MCT e Potencial de Utilização

CLASSIFICAÇÃO MCT	POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO
LA	Aplicável como revestimento primário para estradas de baixo volume de tráfego médio diário (< 50 veículos/dia), greide plano a suave, em camadas de pequena espessura (< 2 cm), sobrejacente à camada coesiva com suporte adequado. Apresentam melhores características quanto mais bem graduados e menor a percentagem de areia fina.
NA	Aplicável como revestimento primário para estradas de baixo volume de tráfego médio diário (< 50 veículos/dia), com greide plano a suave, em camadas de pequena espessura (< 2 cm), sobrejacente a camada coesiva com suporte adequado. Apresentam melhores características quanto mais bem graduados e menor a percentagem de areia fina.
LA'	Aplicável com revestimento primário. Para valores de c' menores do que 1, a durabilidade deve ser avaliada.
NA'	Aplicável como revestimento primário. Zona limítrofe com NS' e NG' ($e' \geq 1,8 - 0,5 c'$) deve atender a critérios complementares. A durabilidade deve ser avaliada.
NS'	Não é aplicável como revestimento primário, exceto quando na faixa limítrofe com NA' ($e' \leq 2,1 - 0,5 c'$), onde podem ser utilizados desde que atendam aos critérios complementares. Nesse caso, a durabilidade deve ser avaliada.
LG'	Aplicável como revestimento primário desde que corrigida a deficiência de aderência com a cravação de agregado com dimensões entre 1,5 a 3,75 cm. Para $c' < 1,7$ pode ser utilizado sem aplicação de agregados, desde que o greide seja plano ou suave. Apresentam excelente durabilidade. Na faixa de limítrofe com NA' e NG' (e' entre 1,10 e 1,15) deve atender aos critérios complementares.
NG'	Não é aplicável como revestimento primário, exceto faixa limítrofe com LG' (e' entre 1,15 e 1,20) onde podem ser utilizados desde que atendam aos critérios complementares. Nesse caso, apresentam deficiência de aderência a ser corrigida com a cravação de agregado com dimensões entre 1,5 a 3,75 cm.

Fonte: DER-PR (2005, p.39)

Outras especificações gerais descritas são: avaliação da durabilidade menor ou igual a 12%, utilizando-se o método de ensaio DNER-ME 89/94; mini-CBR_{umidade ótima} $\geq 13\%$; a relação $(\text{mini-CBR}_{\text{umidade ótima}} - 3\%) / (\text{mini-CBR}_{\text{umidade ótima}}) \geq 1$; apresentar boa distribuição granulométrica (DER-PR 2005).

Segundo o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER-SP), no manual de especificações técnicas de estradas com revestimento primário, do ano de 2006, as condições técnicas específicas dos materiais a serem utilizados na camada de revestimento primário, devem atender as seguintes condições: os materiais devem ser isentos de matéria orgânica, restos vegetais ou outras substâncias prejudiciais; o diâmetro máximo do agregado deve ser menor ou igual a 25 mm; a fração retida na peneira nº 10, deve ser constituída de partículas duras e duráveis, de difícil desagregação, resistente às ações compactadoras e do próprio tráfego; a fração que passa na peneira nº 10 deve ser constituída de areia

natural; a fração que passa na peneira nº 40 deve apresentar limite de liquidez inferior a 35% e o limite de plasticidade deve ter valor máximo de 7%.

2.2.5. Equipamentos

Compreendendo basicamente as seguintes unidades: Escavadeira Hidráulica; Caminhões Basculantes; Motoniveladora pesada com escarificador; Grade de discos; Carro-Tanque distribuidor de água, equipado com barra distribuidora e bomba; tratores agrícolas; rolo compactador do tipo liso vibratório, ou outra unidade compatível com o tipo de material empregado. Os equipamentos devem ser capazes de executar todos os serviços obedecendo às condições exigidas e a produção requerida, devendo sempre, antes do início da execução dos serviços, serem aprovados e examinados minuciosamente pelo órgão responsável por emitir a autorização para o início dos trabalhos (DER-PR, 2005).

2.3. Exame das condições da rodovia e procedimentos de avaliação

2.3.1. Resumo do Método de Avaliação

O exame das condições da rodovia e os procedimentos de avaliação serão executados segundo o método apresentado por Baesso e Gonçalves (2003). O principal objetivo do sistema de avaliação é disponibilizar uma ferramenta de gerenciamento para a manutenção de estradas não pavimentadas, que venha auxiliar o administrador da rodovia, a priorizar os investimentos a serem aplicados na malha rodoviária, visto que em inúmeras vezes os recursos financeiros para dar a correta manutenção desta infraestrutura são escassos e necessitam ser aplicados de forma racional.

Este sistema de avaliação tem sua origem na experiência do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América. Contudo, pequenos ajustes no método, foram efetuados visando uma melhor adequação de sistemas métricos, bem como para uma melhor apresentação do sistema no seu todo.

O sistema de avaliação consiste nos seguintes componentes:

- Identificação da Rede – na qual estabelece que a rodovia não pavimentada deva ser dividida em segmentos como: rodovia (rede de rodovias como um todo), ramo (parte identificável da rede), seção (que é a divisão de um ramo em segmentos menores, contendo características que se repetem ao longo da sua extensão) e unidade simples (que é o menor componente da rede, contendo 50 m de extensão, podendo variar este comprimento para uma melhor representação da unidade simples).
- Determinação do Índice de Condição da Rodovia Não Pavimentada (ICRNP) – que é o parâmetro que mede a integridade e as condições de operação da rodovia.
- Determinação das prioridades de manutenção – que é baseada no ICRNP – e estabelece as rodovias que deverão ser priorizadas.
- Gerenciamento dos Dados – na qual orienta o usuário sobre o cadastramento das informações coletadas sobre as rodovias (BAESSO E GOLÇALVES 2003).

2.3.2. Determinação do ICRNP

A determinação do índice das Condições das Rodovias Não Pavimentadas (ICRNP) é feita através da medição dos defeitos de superfície da rodovia. Segundo Baesso e Gonçalves (2003) o método foi testado e aprovado em campo, tendo se mostrado eficiente na determinação das necessidades de manutenção das rodovias não pavimentadas. Como escrito anteriormente, a avaliação da rodovia será feita com base na subdivisão da mesma em ramos, seções e unidades simples.

Feita esta divisão, o método consiste em avaliar a rodovia de duas formas. A primeira delas consiste em fazer um exame rápido da rodovia utilizando um veículo em movimento, com velocidade em torno dos 45 Km/h, percorrendo todo o ramo da

rodovia, registrando todos os problemas que a mesma apresentar. A segunda forma consiste em avaliar a rodovia, utilizando uma medição detalhada dos defeitos de superfície de uma unidade simples (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

Os defeitos que são possíveis encontrar nas rodovias não pavimentadas são descritos na Quadro 2.

Quadro 2 – Relação dos Defeitos-Tipos

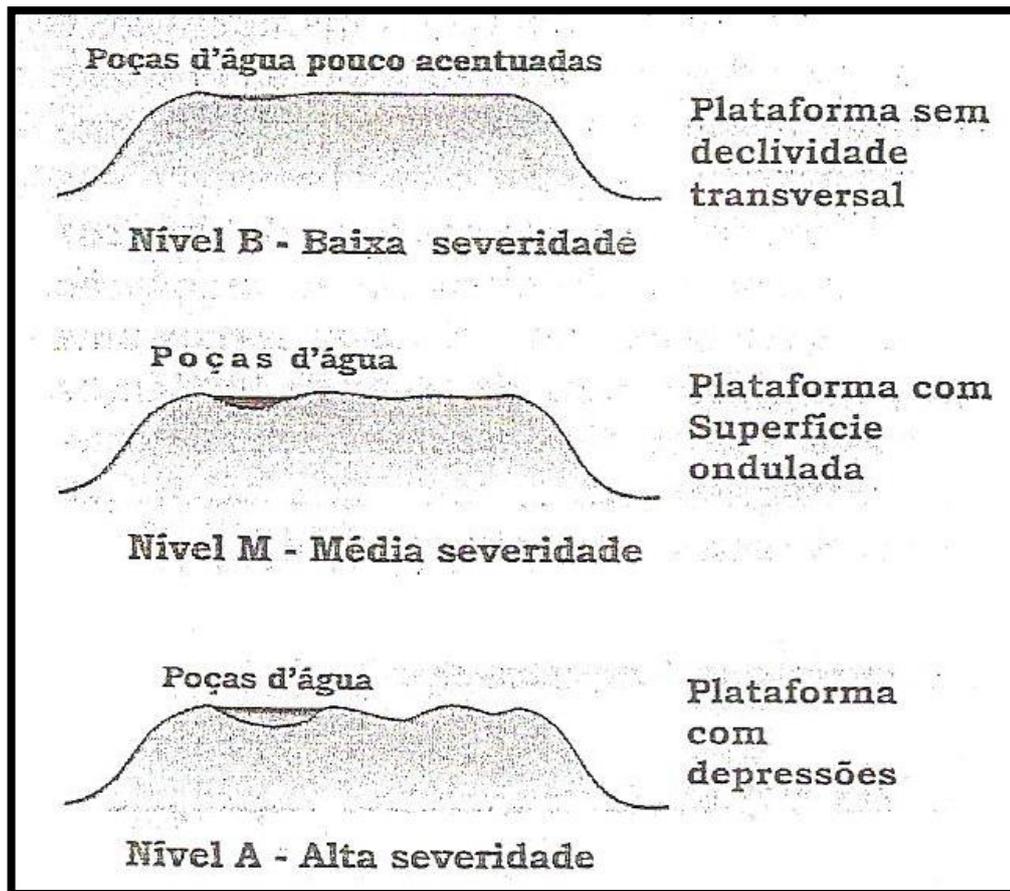
Defeito-Tipo	Denominação
Defeito 81	Seção Transversal Imprópria
Defeito 82	Drenagem Inadequada
Defeito 83	Corrugações
Defeito 84	Excesso de Poeira
Defeito 85	Buracos
Defeito 86	Trilha de Roda
Defeito 87	Perda de Agregados

Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

Conforme visto no quadro 2, ela apresenta a divisão em 7 tipos diferentes de defeitos que podem ser encontrados em um rodovia não pavimentada, e que podem ser descritos como:

• Defeito 81: Seção Transversal Imprópria – quando a rodovia não apresenta uma seção transversal, na qual as declividades transversais são suficientes para o escoamento das águas superficiais para fora do corpo da plataforma. Exceção ocorre em trechos com curva onde há superelevação. Na figura (3) é mostrada a classificação da severidade deste defeito.

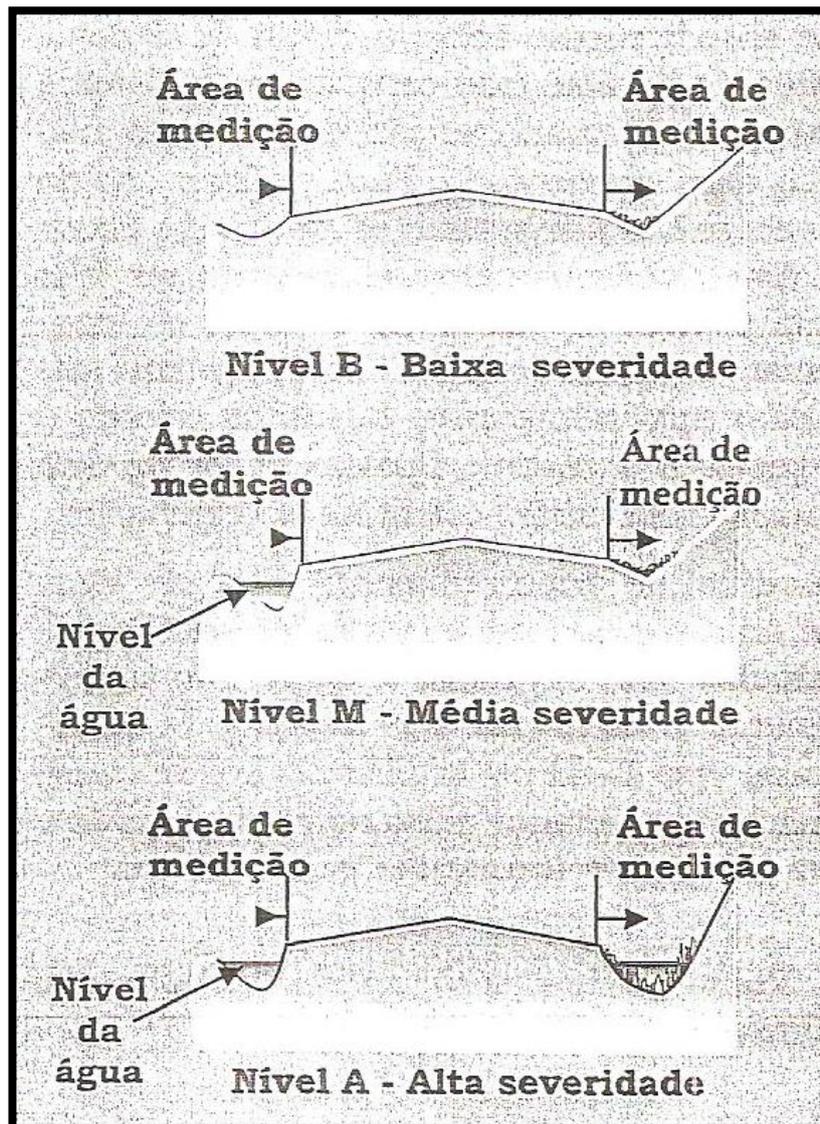
Figura 3 – Níveis de Severidade da Seção Transversal Imprópria



Fonte: Baesso e Gonçalves (2003, p.180)

- Defeito 82: Drenagem Inadequada – causa depósito de água em setores da rodovia. A drenagem passa a ser um problema quando a drenagem superficial e os bueiros não estão em condições de conduzir as águas captadas pela plataforma de rolamento. Na figura (4) é mostrada a classificação da severidade deste defeito.

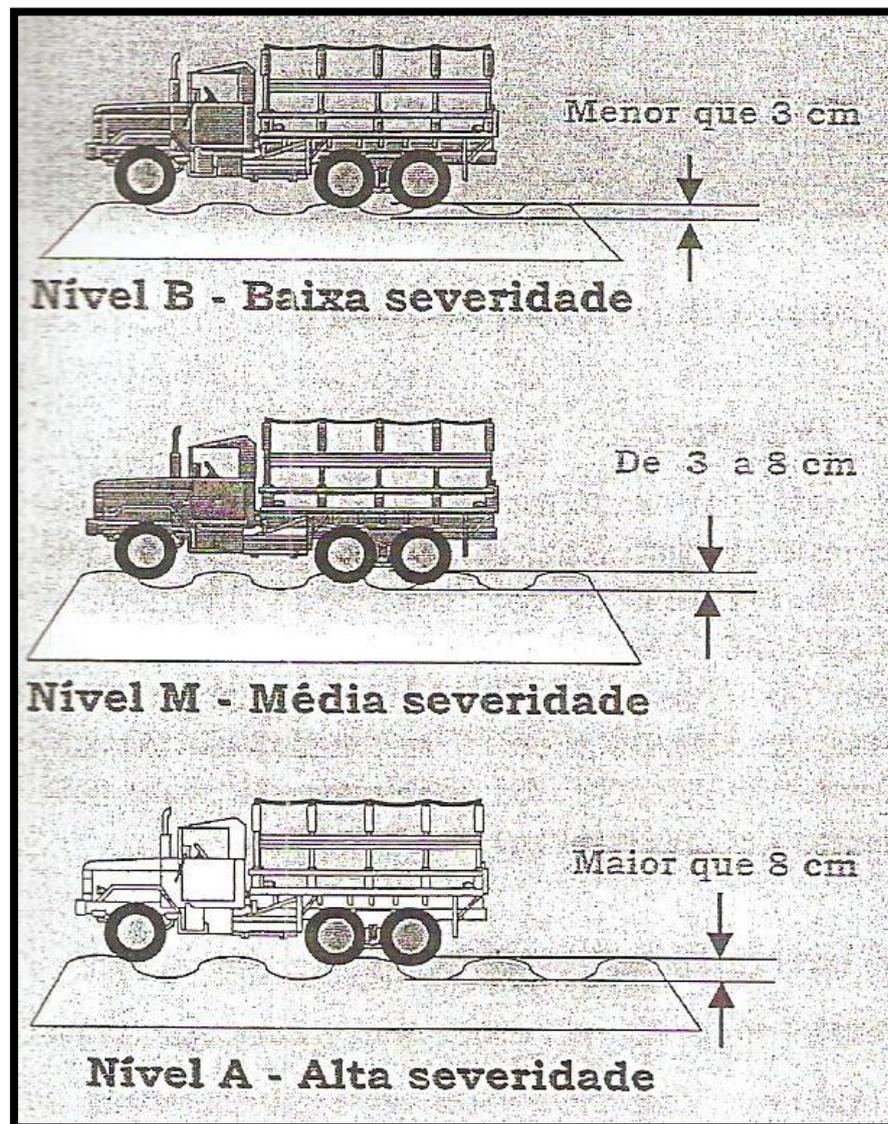
Figura 4 – Níveis de Severidade da Drenagem Inadequada



Fonte: Baesso e Gonçalves (2003, p.180)

- Defeito 83 – Corrugações – são depressões transversais à pista que ocorrem em intervalos regulares de distancias, causando desconforto ao usuário da pista. Na figura (5) é mostrada a classificação da severidade deste defeito.

Figura 5 – Níveis de Severidade das Corrugações



Fonte: Baesso e Gonçalves (2003, p.181)

- Defeito 84: Excesso de Poeira – é a perda das partículas finas, causada pela passagem do tráfego. Na figura (6) é mostrada a classificação da severidade deste defeito.

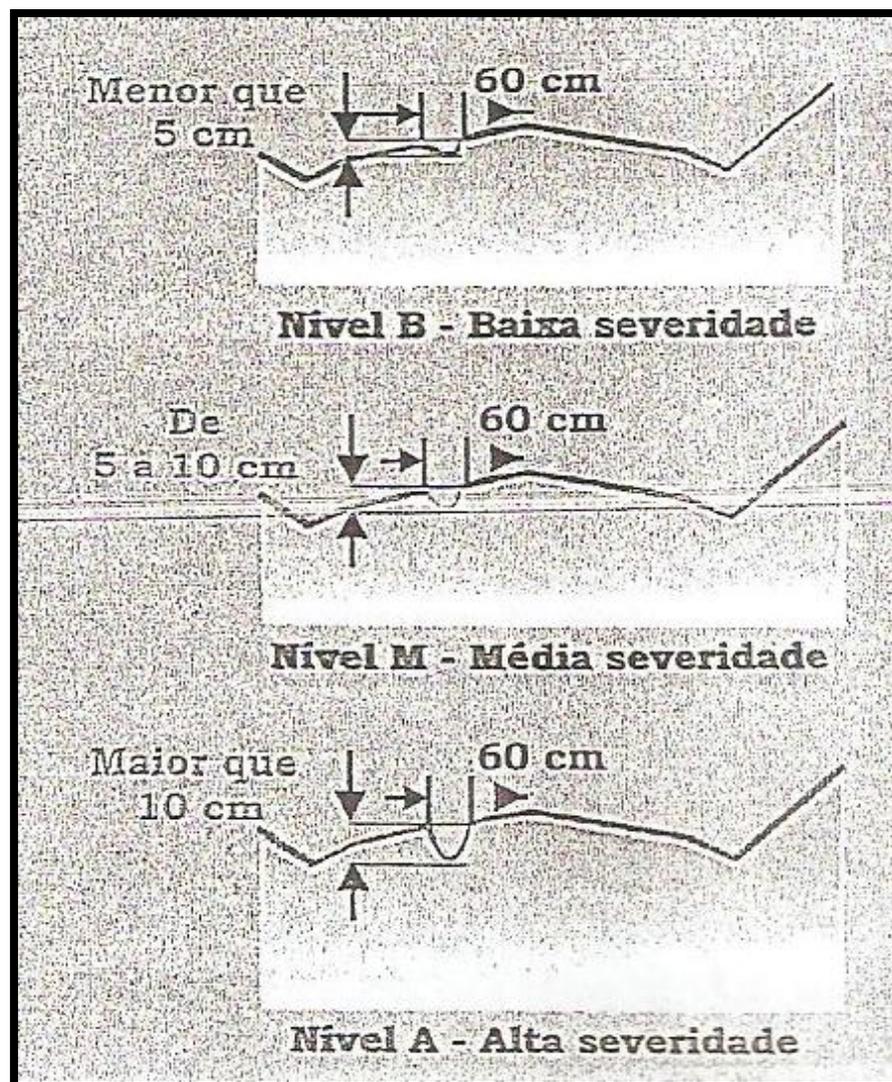
Figura 6 – Níveis de Severidade da Poeira



Fonte: Baesso e Gonçalves (2003, p.181)

- Defeito 85: Buracos – Depressões na superfície da rodovia, menores que 1 metro de diâmetro e se formam quando ocorre a perda dos materiais constituintes da camada. Na figura (7) é mostrada a classificação da severidade deste defeito.

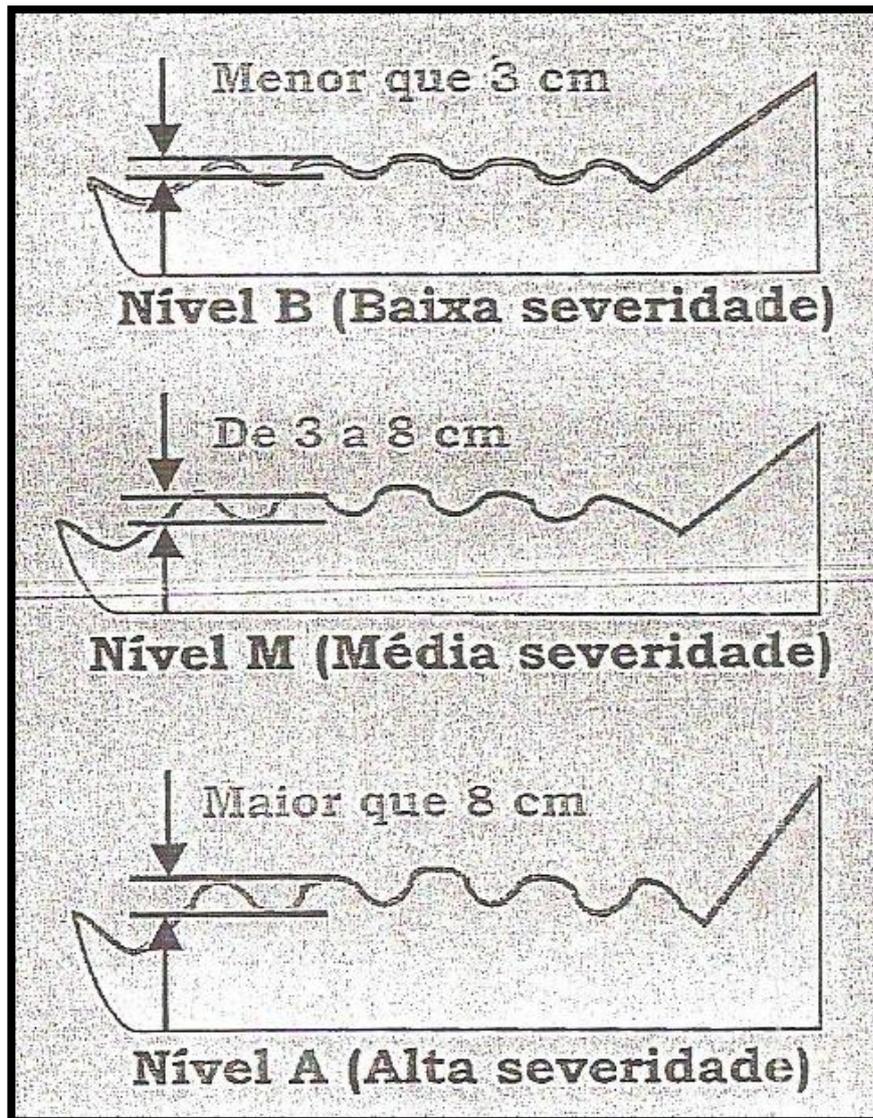
Figura 7 – Níveis de Severidade dos Buracos



Fonte: Baesso e Gonçalves (2003, p.182)

- Defeito 86: Trilha de Roda – Depressão que ocorre paralela ao eixo da pista, causando deformação na camada de revestimento. Sua origem é a repetição do tráfego pesado combinada com uma compactação ineficiente da camada. Na figura (8) é mostrada a classificação da severidade deste defeito.

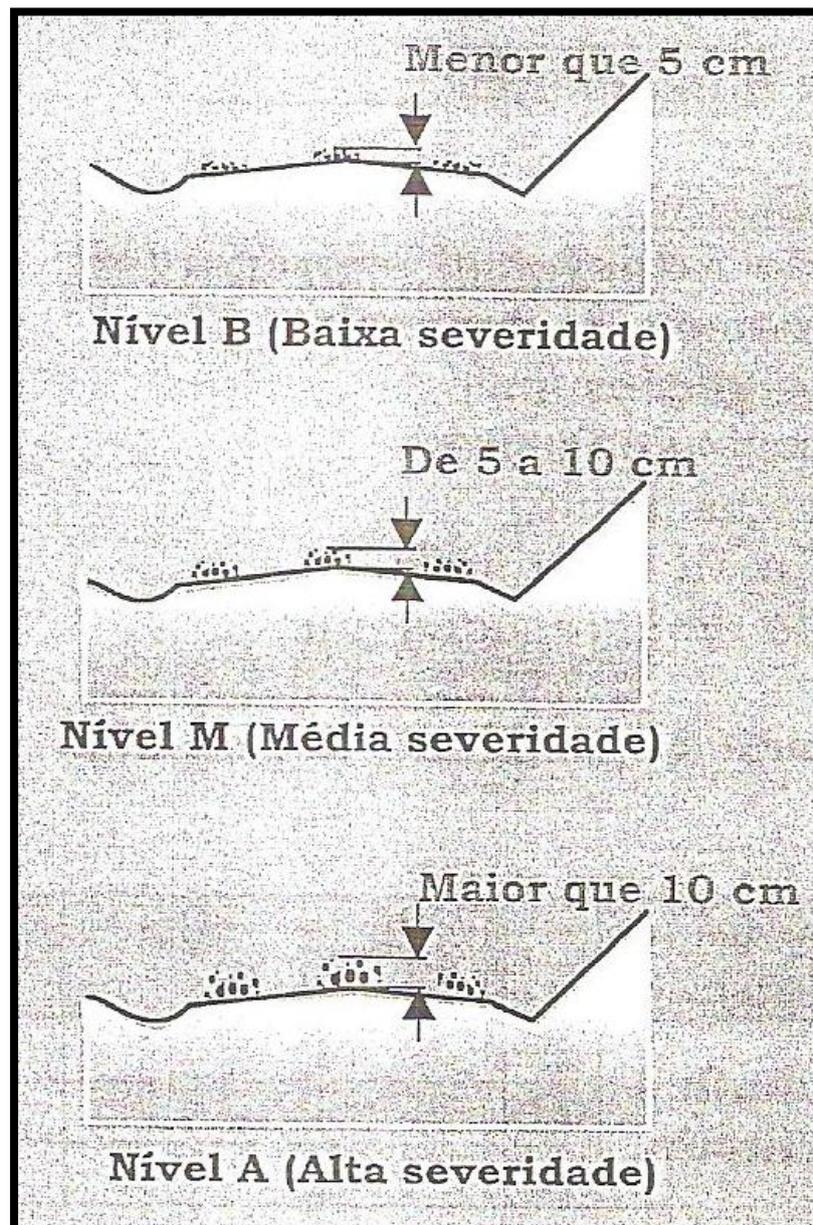
Figura 8 – Níveis de Severidade das Trilha de Roda



Fonte: Baesso e Gonçalves (2003, p.182)

- Defeito 87: Perda de Agregados – Quando o tráfego é intenso e contínuo neste tipo de rodovias, com o passar do tempo, ocorre a perda de agregados da superfície de rolamento. Na figura (9) é mostrada a classificação da severidade deste defeito. (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

Figura 9 – Níveis de Severidade das Perdas de Agregados



Fonte: Baesso e Gonçalves (2003, p.183)

Seguindo com a metodologia proposta por Baesso e Gonçalves (2003), após o estudo e análise dos tipos de defeitos encontrados na medição detalhada da unidade simples, parte-se para o cálculo do valor do ICRNP, que é feito obedecendo 4 etapas.

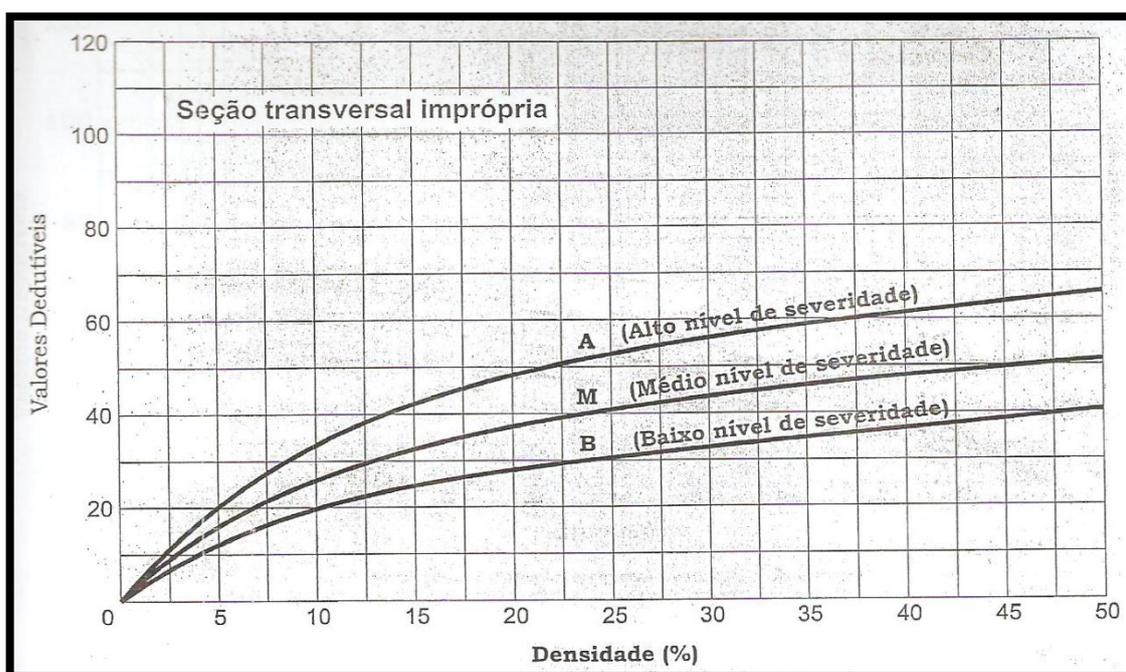
Cálculo da Densidade para cada tipo de defeito, feito através da Equação 1:

$$\text{Densidade} = \frac{\text{Quantidade de Defeitos} \times K \times 100}{\text{Área da Unidade Simples}} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde K é um coeficiente para correção de unidades métricas, cujo valor varia de acordo com o tipo de defeito. Defeito-Tipo 81 tem K = 3,281; Defeito-Tipo 82 tem K = 3,281; Defeito-Tipo 83 tem K = 1; Defeito-Tipo 84 não possui valor para o coeficiente K; Defeito-Tipo 85 tem K = 10,764; Defeito-Tipo 86 tem K = 1; Defeito-Tipo 87 tem K = 3,281.

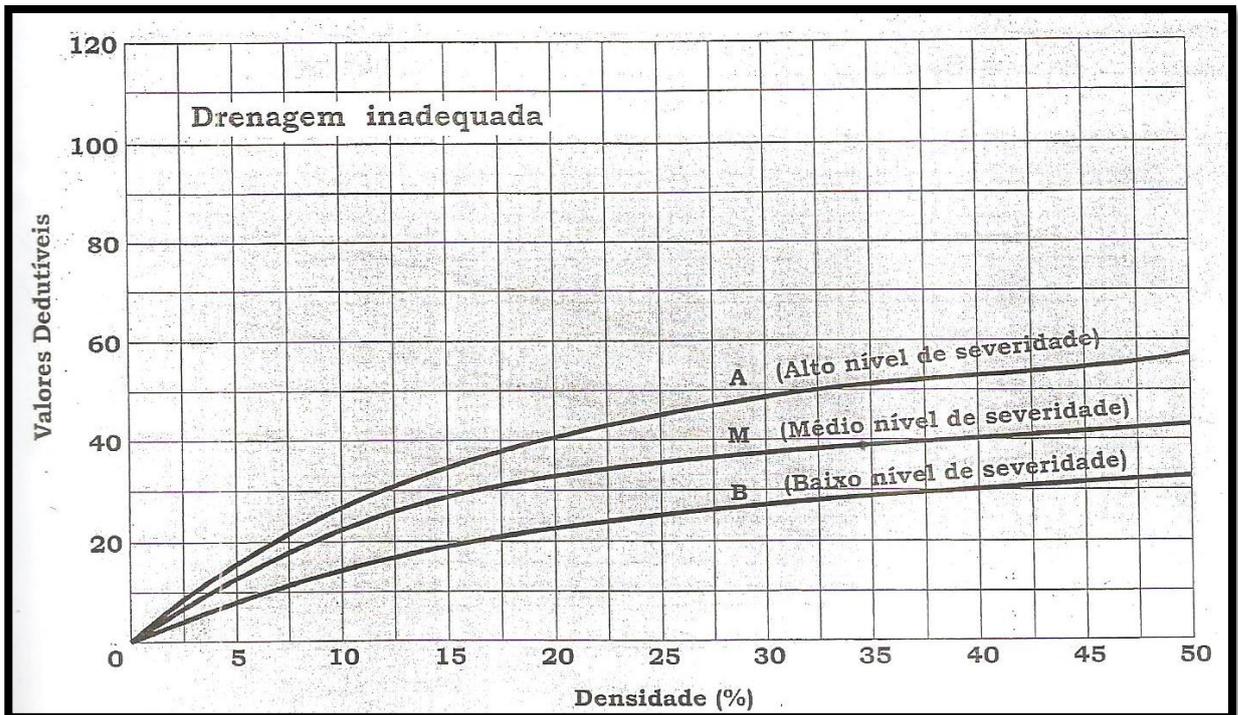
Determinada a Densidade, busca-se o valor dedutível para cada tipo de defeito, utilizando as curvas de valores dedutíveis, apresentadas nas figuras a seguir.

Figura 10 – Curva de Valor Dedutível para Seção Imprópria



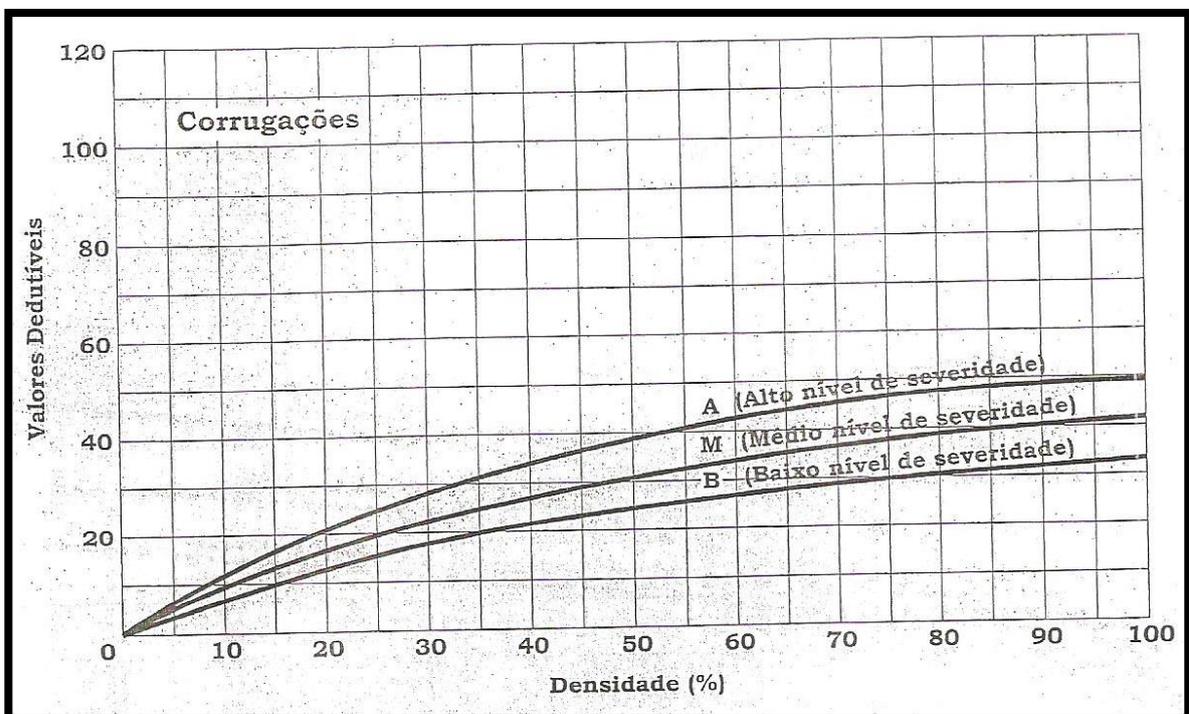
Fonte: Baesso e Goncalves (2003, p.185)

Figura 11 – Curva de Valor Dedutível para Drenagem Inadequada



Fonte: Baesso e Goncalves (2003, p.185)

Figura 12 – Curva de Valor Dedutível para Corrugações



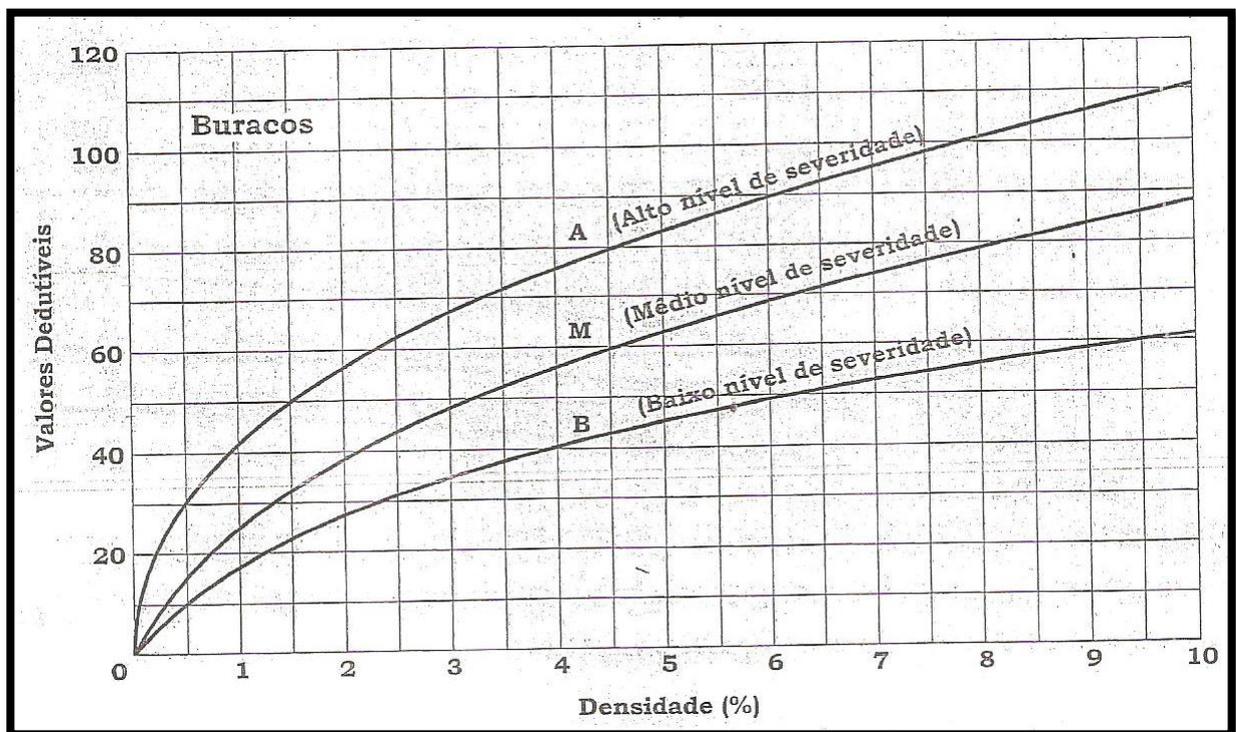
Fonte: Baesso e Goncalves (2003, p.186)

Tabela 1 – Valor Dedutível para o defeito de Poeira

Excesso de Poeira	
Nível de Severidade	Valores Dedutíveis
Baixo (B)	2 Pontos
Médio (M)	4 Pontos
Alto (A)	15 Pontos

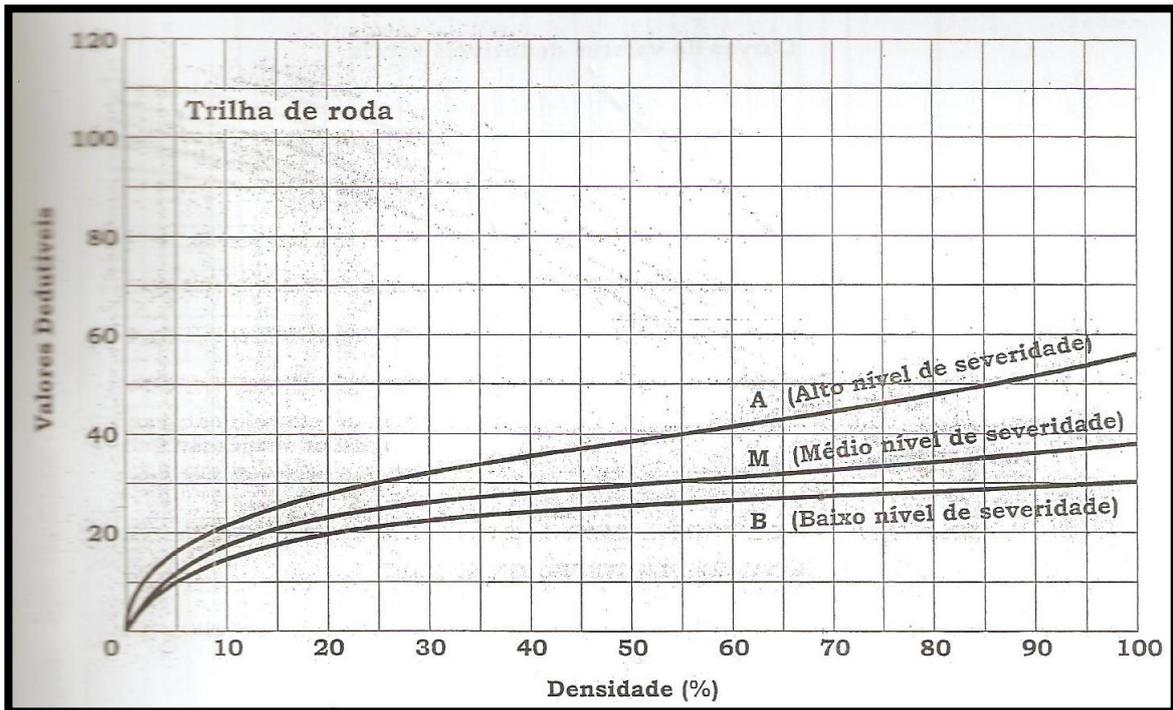
Fonte: Adaptado de Baesso e Goncalves (2003)

Figura 13 – Curva de Valor Dedutível para Buracos



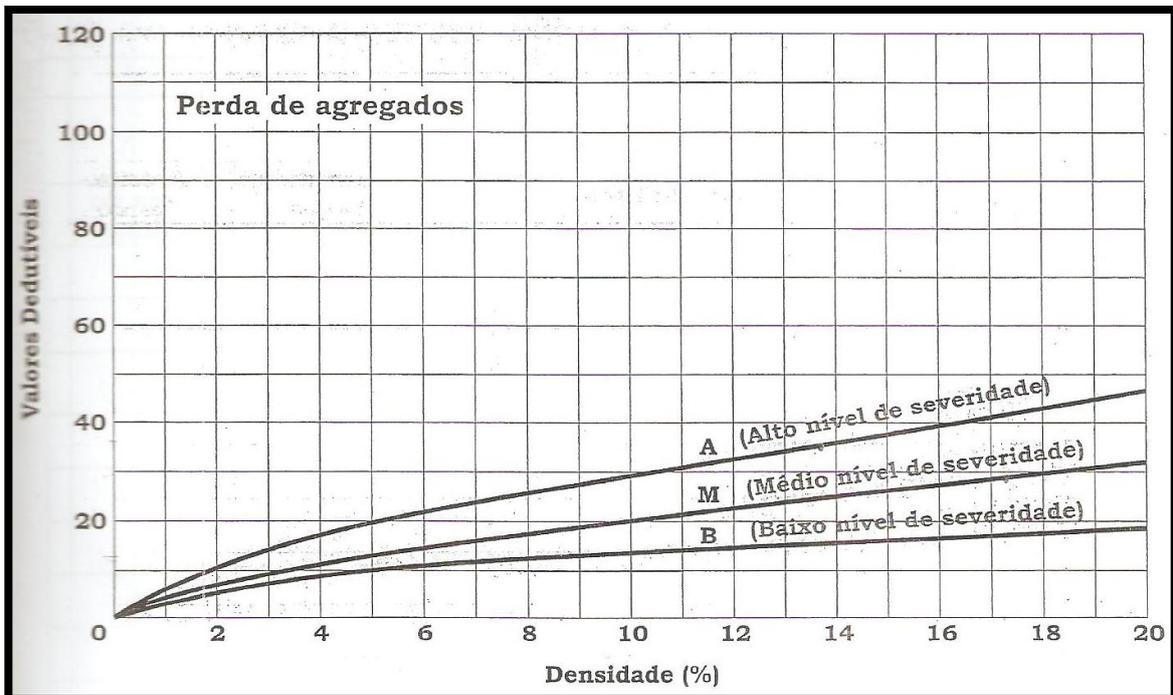
Fonte: Baesso e Goncalves (2003, p.186)

Figura 14 – Curva de Valor Dedutível para Trilha de Roda



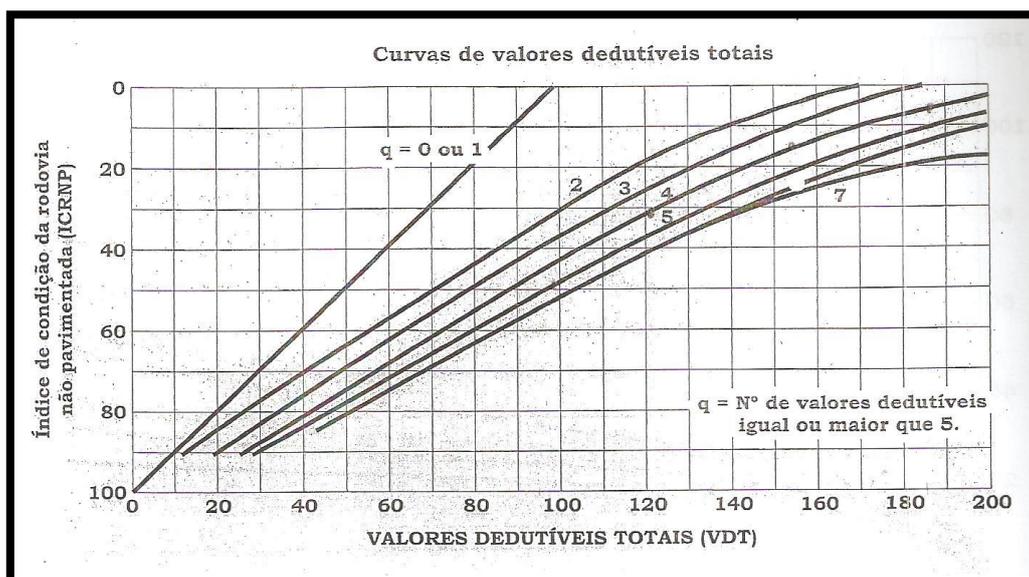
Fonte: Baesso e Gonçalves (2003, p.187)

Figura 15 – Curva de Valor Dedutível para Perda de Agregados



Fonte: Baesso e Gonçalves (2003, p.187)

Figura 16 – Curva de Valor Dedutível para Valores Totais



Fonte: Baesso e Goncalves (2003, p.188)

Para o início da etapa 3, é preciso já saber o resultado dos valores dedutíveis de cada defeito, para determinar o Valor Dedutível Final (VDF), que nada mais é que a soma de todos os valores dedutíveis e o valor de “q”, que é o número de valores dedutíveis maiores que 5. O valor de “q” varia de 0 à 7.

Na etapa 4, é onde ocorre a classificação da rodovia. Para isso, utiliza-se o valor do ICRNP, utilizando a curva de valores dedutíveis totais. Depois, é só comparar esse valor obtido com o Quadro 3, onde mostra a classificação final da rodovia.

Quadro 3 – Classificação das Rodovias, segundo o valor do ICRNP

ICRNP	Índice
100 a 85	Excelente
85 a 70	Muito Boa
70 a 55	Boa
55 a 40	Regular
40 a 25	Pobre
25 a 10	Muito Pobre
10 a 0	Péssima

Fonte: Adaptado de Baesso e Goncalves (2003)

2.3.3. Ensaios de Laboratório para caracterização dos materiais constituintes da rodovia

Os ensaios de laboratórios que serão realizados neste trabalho para caracterização dos materiais constituintes das camadas da rodovia não pavimentada são regidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e são descritos a seguir.

2.3.3.1 Preparação de amostras para ensaios de compactação e caracterização

A preparação de amostras de solo para ensaios de compactação e caracterização, segundo a NBR-6457, é descrito como o método para preparação de amostras de solos para os ensaios de compactação e de caracterização (ABNT, 1986).

2.3.3.2 Ensaio do Frasco de Areia

O ensaio de frasco de areia, segundo a NBR-7185, é descrito como o método de determinação da massa específica aparente do solo “in-situ”, com emprego do frasco de areia. Esta norma é aplicável a solos de qualquer granulação, com a presença ou não de pedregulhos, que possam ser escavados com ferramentas manuais, cujos vazios naturais sejam pequenos o suficiente, de modo que a areia não penetre nestes vazios. O material que está sendo ensaiado deve ser firme e coesivo, de maneira que as paredes da cavidade aberta permaneçam estáveis.(ABNT, 1986).

2.3.3.3 Ensaio de Granulometria

O ensaio de granulometria, segundo a NBR-7181, é descrito como o processo utilizado para determinar a porcentagem em peso, que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada. Com os resultados obtidos desse ensaio pode-se construir a curva de distribuição granulométrica, necessária para a classificação dos solos. A determinação da granulometria de um

solo pode ser feita através de peneiramento ou por peneiramento e sedimentação, se necessário (ABNT, 1984).

2.3.3.3 Ensaio de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade

O ensaio para determinar o Limite de Liquidez (LL), segundo a NBR-6459, pode ser feito de duas formas: com a concha de Casagrande, que é o aparelho padronizado de autoria própria do autor do ensaio, ou com o penetrometro de cone. O Limite de Liquidez é o teor em água acima do qual o solo adquire um comportamento de um liquido (ABNT, 1984).

O ensaio para determinar o Limite de Plasticidade (LP), segundo a NBR-7180 é o processo usado para determinar o teor de umidade do qual o solo passa do estado plástico para o estado semi-sólido, perdendo sua propriedade que possibilita moldá-lo e fica em estado quebradiço (ABNT, 1984).

O índice de plasticidade (IP) é determinado pela diferença entre os limites de liquidez e limite de plasticidade. Este índice possibilita definir a zona em que o terreno se encontra no estado plástico. Assume valor máximo para argilas e nulo para areias, podendo alguns solos apresentar matéria orgânica, causando a redução do IP. É classificado como fracamente plástico, solos que apresentem IP variando de 1 à 7; medianamente plástico para IP variando de 7 à 15; e altamente plástico para IP superiores a 15 (CAPUTO, 1988).

2.3.3.4 Ensaio de Compactação

O ensaio de Compactação, definido pela NBR-7182 é descrito como o método utilizado para determinar a relação entre o teor de umidade do solo e a sua massa especifica aparente seca, quando compactados.

2.3.3.5 Ensaio de CBR

O ensaio de CBR – Índice de Suporte Califórnia –, definido pela NBR-9895, é a capacidade de suporte de um solo compactado (ABNT, 1987).

2.3.4. Métodos de Classificação Geotécnica de Solos

Solos são materiais encontrados na natureza em suas mais diferentes formas, porém para serem utilizados como materiais de construção necessitam serem classificados de modo que possam ser baseadas algumas propriedades de cada tipo material. Desta forma foram desenvolvidos vários sistemas de classificação, cada qual adequado para uma utilização do solo ou a métodos de projeto (DNIT, 2006).

Para este trabalho, adotou-se a utilização do sistema de classificação TRB (antigo HRB) e o Sistema Unificado de Classificação de Solo (SUCS), ambos descritos e detalhados no Manual de Pavimentação do DNIT de 2006.

2.3.4.1 Classificação Geotécnica TRB

Na classificação TRB, os solos são reunidos em grupos e subgrupo, em função de sua granulometria, limites de consistência e do índice de grupo (DNIT, 2006). A tabela 3 mostra o quadro de classificação dos solos, segundo a classificação TRB.

Tabela 2 – Classificação dos solos TRB

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

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

Fonte: DNIT (2006, p.56)

A determinação do grupo o qual pertence o solo a ser classificado é feita por processo de eliminação da esquerda para a direita, no quadro de classificação. A correta classificação do solo será com o primeiro grupo, partindo-se da esquerda, que os valores do solo ensaiado coincidir (DNIT, 2006).

2.3.4.2 Classificação Geotécnica SUCS

O Sistema unificado de Classificação de Solos baseia-se na identificação dos solos de acordo com suas qualidades de textura e plasticidade, agrupando-os conforme seu comportamento quando usados em estradas, aeroportos, aterros ou fundações. A classificação SUCS leva em consideração características do solo como: porcentagem de pedregulhos, areia e finos; forma da curva granulométrica;

plasticidade e compressibilidade do solo. (DNIT, 2006). A tabela 4 mostra o quadro de classificação dos solos, segundo a classificação SUCS.

Tabela 3 – Classificação dos solos SUCS

SOLOS DE GRADUAÇÃO GROSSA: mais de 50% retido na peneira nº 200	Pedregulhos: 50% ou mais da fração graúda retida na peneira nº 4	Pedregulho sem finos	GW	Pedregulhos bem graduados ou misturas de areia de ped.com pouco ou nenhum fino.
			GP	Pedregulhos mau graduados ou misturas de areia e ped.com pouco ou nenhum fino.
		Pedregulho com finos	GM	Pedregulhos siltosos ou misturas de ped.areia e silte.
			GC	Pedregulhos argilosos, ou mistura de ped.areia e argila.
	Areias: 50% ou mais da fração graúda passando na peneira nº 4	Areias sem finos	SW	Areias bem graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
			SP	Areias mau graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
		Areias com finos	SM	Areias siltosas - Misturas de areia e silte.
			SC	Areias argilosas - Misturas de areia e argila.
SOLOS DE GRADUAÇÃO FINA: 50% ou mais passando pela peneira nº 200	SILTES e ARGILAS com LL ≤ 50		ML	Siltes inorgânicos - Areias muito finas - Areias finas siltosas e argilosas.
			CL	Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade - Argilas pedregulhosas, arenosas e siltosas.
			OL	Siltes orgânicos - Argilas siltosas orgânicas de baixa plasticidade.
	SILTES e ARGILAS com LL > 50		MH	Siltes - Areias finas ou siltes micáceos - Siltes elásticos.
			CH	Argilas inorgânicas de alta plasticidade.
			OH	Argilas orgânicas de alta e média plasticidade.
	Solos Altamente Orgânicos		PT	Turfas e outros solos altamente orgânicos.

Fonte: DNIT (2006, p.59)

2.4. Métodos de dimensionamento de estradas de revestimento primário

2.4.1. Método de Dimensionamento Webster & Alford (1978)

O primeiro método de dimensionamento apresentado utiliza a equação de Webster & Alford (1978) para estimar a altura da camada de revestimento primário. O método admite uma ruptura da rodovia não pavimentada, quando a trilha de roda, de um veículo que possui um eixo-padrão de 80 kN, atinge uma profundidade de 0,075m.

$$h_0 = \frac{0,19 \times \log(N)}{(CBR)^{0,63}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

h_0 – é a altura, em metros, da rodovia não pavimentada;

N – é o número de passadas do eixo-padrão de 80 kN, determinado através de um estudo de tráfego;

CBR – Índice de Suporte Califórnia do solo de fundação (%).

2.4.2. Método de Dimensionamento Giroud & Noray (1981)

Este segundo método é proposto por Giroud & Noray (1981), que adaptaram a equação de Webster & Alford (1978), e indicam o uso de outra equação, para estimar a altura da camada de revestimento primário. O método admite outros valores para a carga por eixo (diferente da adotada como padrão que é de 80 kN) e de profundidade da trilha de roda, e leva em consideração a resistência não drenada do solo, estimada através da equação:

$$C_u = 30 \times \text{CBR} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

C_u – é a resistência não drenada do solo (kPA);

CBR – Índice de Suporte Califórnia do solo de fundação (%).

$$h_0 = \frac{1,6193 \times \log(N) + 6,3964 \times \log(p) - (3,7892 \times r) - 11,8887}{(C_u)^{0,63}} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

h_0 – é a altura, em metros, da rodovia não pavimentada;

p – carga por eixo simples de rodas duplas (kN), obtido através de estudos do tráfego;

r – afundamento admissível na superfície da estrada (m);

N – é o número de passadas do veículo;

C_u – Resistência não-drenada do solo de fundação (%)

É importante salientar que os autores desta equação, não recomendam a utilização da equação 4, para valores de N que superem 10000.

2.4.3. Método de Dimensionamento Paige-Green (1990)

Método elaborado por Paige-Green (1990), na qual as especificações são do Departamento de Transportes da Republica Sul Africana, define a seguinte equação para a camada de revestimento primário:

$$T = t \times [1 + (C_t / 100)] + (GL_p \times L_d) \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

T – é a altura, em milímetros, da camada;

t – espessura mínima demandada para garantir a proteção do subleito (mm);

C_t – compactação induzida pelo tráfego (%);

GL_p – perda anual de material prevista (mm);

L_p – vida de projeto da via ou frequência de restauração.

De acordo com a especificação do Departamento de Transportes da Republica Sul Africana, “t” pode ser desprezado se o CBR do subleito for superior a 5%, e para CBR menores que 5%, usar t = 50 mm. A compactação induzida pelo tráfego pode ser adotada como 10% e 20%, para compactações feita com rolo pé-de-carneiro executadas perto da umidade ótima e abaixo da umidade ótima, respectivamente, e 5% para compactação executada com rolo pneumático, próxima a umidade ótima. A perda anual de material pode ser fixada em 11 mm, valor este que possui boa margem de segurança. Os materiais, que serão utilizados na camada de revestimento, devem seguir as especificações da Tabela 5 e da figura 19.

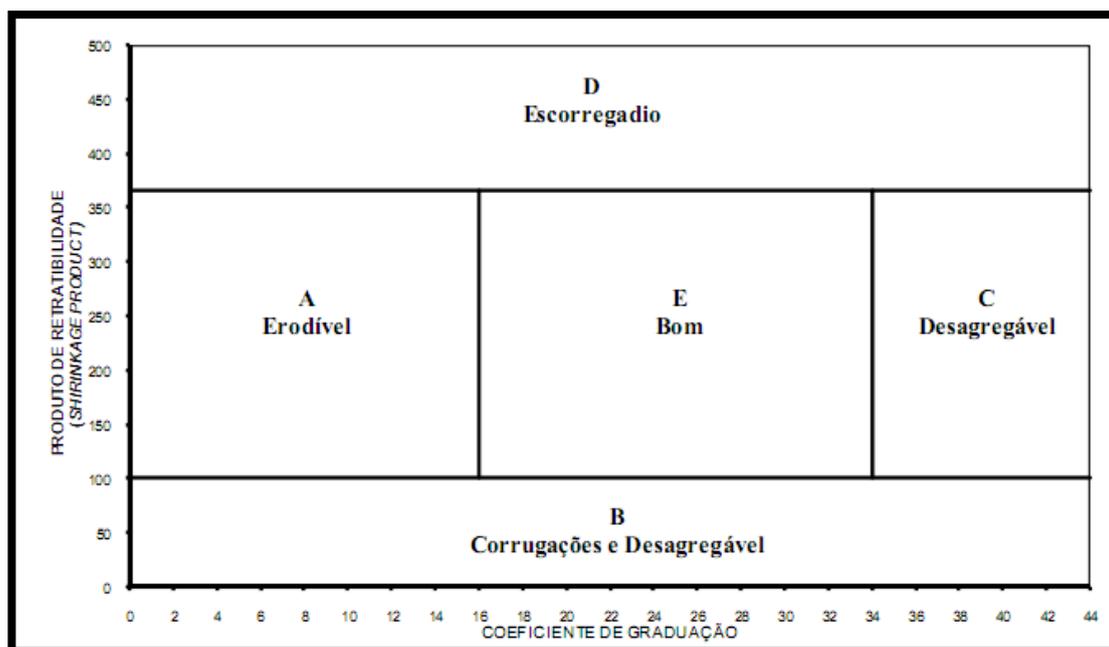
Tabela 4 – Recomendações para a seleção de materiais

Propriedade	Valor
Diâmetro máximo	37,5 mm
Quantidade máxima acima do diâmetro máximo	5%
Produto de Retratibilidade (<i>Shrinkage Product - S_p</i>)	100-365 (preferível até 240)
Coefficiente de Graduação (<i>G_c</i>)	16-34
CBR compactado (95% do proctor modificado)	>15%
Impacto Treton	20-65

Sp= retrabilidade linear x % passante na peneira de 0,425mm
Gc=(% passante na peneira de 26,5mm - % passante na peneira de 2,0mm) x % passante na peneira de 4,75mm/100

Fonte: Nervis (2010, p.53)

Figura 17 – Diagrama de expectativa de desempenho dos materiais



Fonte: Nervis (2010, p.54)

Conforme visto na Tabela 3, pode ser necessário determinar a retrabilidade linear do material. O ensaio para a determinação deste parâmetro é especificado pelo manual do *Texas Department of Transportation*, de 1999.

2.4.4. Método de Dimensionamento Skorseth e Selim (2000)

Este método foi desenvolvido por Skorseth e Selim (2000), é utilizado em algumas regiões de Dakota do Sul, e é considerado bastante simples, pois utiliza apenas dois parâmetros para determinar a espessura do revestimento primário. Parâmetros estes, que são o volume de tráfego pesado diário que pode ser estimado ou determinado através de estudos de tráfegos da rodovia e o CBR da camada de subleito que é determinado através de ensaios de laboratório. As espessuras estão indicadas no Quadro 1 (GUEDES et al.,2014).

Quadro 4 – Espessura (cm) para a camada de revestimento primário

Volume Estimado de Veículos Pesados Diariamente	CBR do Subleito (%)	Espessura Sugerida (cm)
0 a 5	≤ 3	16,5
	$3 \leq \text{CBR} \leq 10$	14
	$\text{CBR} > 10$	11,5
5 a 10	≤ 3	21,5
	$3 \leq \text{CBR} \leq 10$	18
	$\text{CBR} > 10$	14
10 a 25	≤ 3	29
	$3 \leq \text{CBR} \leq 10$	23
	$\text{CBR} > 10$	18
25 a 50	≤ 3	37
	$3 \leq \text{CBR} \leq 10$	29
	$\text{CBR} > 10$	21,5

Fonte: Adaptado de Guedes et al. (2014)

2.4.5. Método de Dimensionamento Skorseth e Selim (2000) II

Este método, que também é baseado na literatura estrangeira, determina a espessura do revestimento primário, baseado em 3 parâmetros.

O primeiro parâmetro relaciona-se com o tipo de carga do eixo-padrão (8,2 tf) e os níveis de tráfegos:

Os níveis de tráfego são caracterizados da seguinte forma:

- Tráfego Alto – 60 000 a 100 000 solicitações do eixo-padrão;
- Tráfego Médio – 30 000 a 60 000 solicitações do eixo-padrão;
- Tráfego Baixo – 10 000 a 30 000 solicitações do eixo padrão.

O segundo parâmetro é referente as seis condições climáticas Norte Americana. Conforme Skorseth e Selim (2000), a caracterização das regiões climáticas dos Estados Unidos, dão-se como:

- Região 1 – Clima úmido, sem gelo;
- Região 2 – Clima úmido, com ciclo de gelo e degelo;
- Região 3 – Clima úmido, com gelo intenso e degelo na primavera;
- Região 4 – Clima seco, sem gelo;
- Região 5 – Clima seco, com ciclo de gelo e degelo;
- Região 6 – Clima seco, com gelo intenso e degelo na primavera.

O terceiro parâmetro refere-se a qualidade do solo existente no subleito. Segundo Baptista (1980) as qualidades do solo do subleito, estão ligadas com os valores do CBR:

- Solo Muito Bom – CBR maior igual que 30%;
- Solo Bom – CBR entre 20% e 30%;
- Solo Regular – CBR entre 10% e 20%;
- Solo Fraco – CBR entre 5% e 10%;
- Solo Muito Fraco – CBR menor igual que 5%.

No Quadro 2 é mostrada a espessura mínima das camadas a serem utilizadas como revestimento primário (Skorseth e Selim, 2000).

Quadro 5 – Espessura (em polegadas) do revestimento primário

Relative Quality of Roadbed Soil	Traffic Level	U.S. Climatic Region					
		I	II	III	IV	V	VI
Very Good	High	8*	10	15	7	9	15
	Medium	6	8	11	5	7	11
	Low	4	4	6	4	4	6
Good	High	11	12	17	10	11	17
	Medium	8	9	12	7	9	12
	Low	4	5	7	4	5	7
Fair	High	13	14	17	12	13	17
	Medium	11	11	12	10	10	12
	Low	6	6	7	5	5	7
Poor	High	**	**	**	**	**	**
	Medium	**	**	**	15	15	**
	Low	9	10	9	8	8	9
Very Poor	High	**	**	**	**	**	**
	Medium	**	**	**	**	**	**
	Low	11	11	10	8	8	9

* Thickness of aggregate base required (in inches) ** Higher type pavement design recommended

Fonte: Skorseth e Selim (2000)

2.4.6. Método de Dimensionamento SD – LTAP

O presente método de dimensionamento de revestimento primário, foi desenvolvido pelo Programa de Assistência ao Transporte Local de Dakota do Sul (SD – LTAP), encontra-se no Manual de Dimensionamento e Manutenção de Estradas de Terra do Departamento de Transporte dos Estados Unidos. O método leva em consideração o futuro previsto para o tráfego, módulo resiliente do subleito e das camadas de base e sub-base, efeitos do clima de cada região, perda de serventia e de agregados da superfície da camada de rolamento (GUEDES et al., 2014).

Segundo Guedes et al. (2014), o conhecimento de alguns termos utilizados no método, é de suma importância para uma melhor compreensão do mesmo.

O primeiro destes termos é o Futuro Tráfego Previsto (FTP), que leva em consideração o volume de tráfego que atuará na rodovia, durante um determinado tempo de projeto pré-estabelecido. Como o tráfego não é uniforme na rodovia, pois é composto de diferentes tipos de veículos, adotou-se um eixo equivalente de carga, que tem as seguintes características:

- Carga por eixo = 18 Kips = 8,2 tf;
- Carga por roda = 4,5 Kips = 2041 Kgf;
- Pressão de enchimento dos Pneus = 80 lb/Pol² = 549 kPa;
- Pressão de contato Pneu/Pavimento = 80 lb/Pol² = 549 kPa;
- Raio da Área de contato pneu/pavimento = 0,108m;
- Afastamento entre pneus por roda = 0,324m.

Na sequencia, segundo Guedes et al. (2014), o segundo termo é o Módulo Resiliente do Subleito (MRS) que é a relação entre a tensão desvio axial e a deformação especifica vertical recuperável.

$$MR = \sigma_d / \varepsilon_r \quad \text{(Equação 6)}$$

Onde:

$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$ = é a tensão desvio aplicada repetidamente no eixo axial;

σ_1 = tensão principal maior;

σ_3 = tensão principal menor;

$\sigma_3 = \delta_r / L$ deformação específica axial resiliente (recuperável ou elástica);

δ_r = deslocamento recuperável;

L = altura do corpo de prova subtido às tensões.

O terceiro termo é o Efeito da Duração do Clima na Região (EDCR), que leva em consideração, como o nome já diz os efeitos que o clima pode causar na estrutura do pavimento. Aqui, nestas considerações sobre o clima, seguem valendo as seis divisões que Skorseth e Selim (2000) propuseram, já descritas no método de dimensionamento anterior. No Quadro 3, é mostrada o período de duração de cada estação do ano nos Estados Unidos e o Quadro 4 mostra a qualidade dos solos do subleito.

Quadro 6 – Período de duração das estações do ano para cada região climática

Estações do Ano com as Respectivas Condições do Subleito				
Regioes Climáticas	Inverno (Subleito Congelado)	Primavera/Desgelo (Subleito Saturado)	Primavera/Outono (Subleito Seco)	Verão (Subleito Úmido)
I	0,0	0,0	7,5	4,5
II	1,0	0,5	7,0	3,5
III	2,5	1,5	4,0	4,0
IV	0,0	0,0	4,0	8,0
V	1,0	0,5	3,0	7,5
VI	3,0	1,5	3,0	4,5

Nota - os números representam o período de duração da estação em meses por ano

Fonte: Adaptado de Guedes et al. (2014)

No Quadro 4, encontra-se as qualidades atribuídas ao solo do subleito em função dos valores dos módulos de resiliência para cada sequência de estações do ano.

Quadro 7 – Qualidade relativa do solo do subleito

Qualidade Relativa do Solo do Subleito	Inverno (Subleito Congelado)	Primavera/Desgelo (Subleito Saturado)	Primavera/Outono (Subleito Seco)	Verão (Subleito Úmido)
Muito Bom	20 000	2500	8000	20 000
Bom	20 000	2000	6000	10 000
Razoável	20 000	2000	4500	6500
Ruim	20 000	1500	3300	4900
Muito Ruim	20 000	1500	2500	4000

Nota - os valores me módulos de resiliência encontram-se em psi, onde 1 psi = 6894,8 Pa

Fonte: Adaptado de Guedes et al. (2014)

Dando continuidade no que se propõe o método, Guedes et al. (2014) cita o quarto termo que é o Módulo de Resiliência dos materiais das camadas de base (E_{Base}) e sub-base ($E_{sub-Base}$), podendo ser obtido através de dois modelos matemáticos.

O primeiro modelo relaciona o módulo de resiliência com a tensão confinante, visto que o MR aumenta com a pressão confinante e não sofre interferência pela tensão desvio:

$$MR = k_1 \times (\sigma_d)^{k_2} \quad \text{(Equação 7)}$$

Onde:

σ_3 = pressão confinante;

k_1 e k_2 = são coeficientes de regressão, derivados de ensaios de laboratório e dependem do tipo de material e das propriedades físicas da amostra durante o ensaio.

O outro modelo relaciona o módulo de resiliência de materiais granulares ao somatório das tensões principais. Propõe relacionar o MR com o primeiro invariante de tensões.

$$MR = k_1' \times (\theta)^{k_2'} \quad \text{(Equação 8)}$$

Onde:

θ = primeiro invariante das tensões sob máxima tensão desvio, no caso de compressão triaxial, ou seja, $\theta = \sigma_1 + 2\sigma_3$;

k_1' e k_2' = são coeficientes de regressão.

Perda de Serventia da Superfície da Estrada (PS) é definida como uma condição de conforto da pista de rolamento. Este parâmetro é útil para indicar a condição em que se encontra a rodovia atualmente. Existem alguns valores de Serventia Terminal (ST), que foram estabelecidos a partir de testes feitos pela *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*, especificados no Quadro 5.

Quadro 8 – Relação entre o nível de serventia e aceitações dos usuários

Nível de Serventia Terminal (ST)	3,0	2,5	2,0
Porcentagem de Pessoas Afirmando Inaceitável	12%	55%	85%

Fonte: Adaptado de Guedes et al. (2014)

O sexto termo, que é citado por Guedes et al. (2014) é Condições admissíveis da Superfície da Estrada (CASE), onde leva em consideração uma profundidade das ondulações que deve ser considerada pelo projetista. Deve ficar entre 1 polegada a 2 polegadas.

Perda de Agregado da Superfície da Estrada (PASE) é o sétimo termo que é citado, onde diz que é inevitável a perda de agregado na superfície da rodovia. Assim deve-se estabelecer uma espessura total perdida durante o período de vida útil estabelecido em projeto. Para isto, utiliza-se a premissa de que os danos totais serão igual a 1.

$$\text{Desagregação}_{\text{cam base}} = 0,5 \times \text{GL} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

$\text{Desagregação}_{\text{cam base}}$ = espessura total de perda de agregados (pol)

GL = Perda de Agregados (pol)

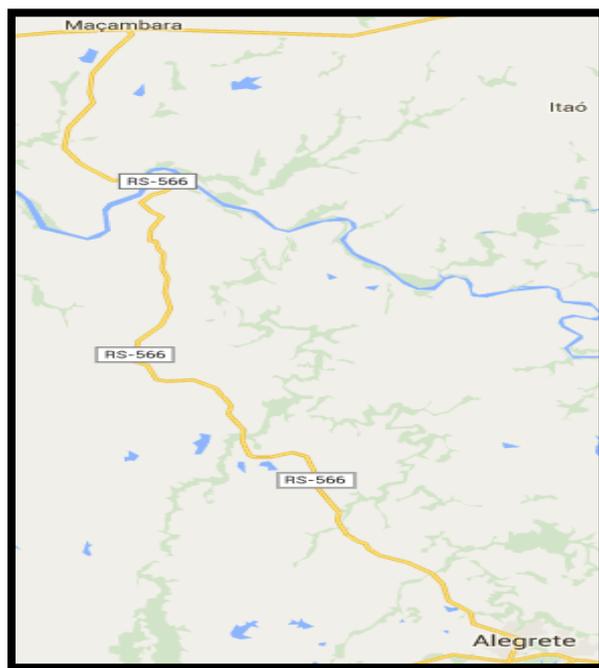
3 METODOLOGIA

3.1. Definição, localização e divisão da rodovia em unidades simples a serem avaliadas

O objetivo geral deste trabalho é analisar a aplicabilidade de métodos de dimensionamento e avaliação condicional de rodovias não pavimentadas da região da fronteira oeste do Rio Grande do Sul, e para isto, o primeiro passo é a definição de qual rodovia será analisada. Para ocorrer esta definição, o fator determinante foi a disponibilidade de dados, que fornecessem estudos de tráfego sobre as rodovias da região. Estes estudos foram fornecidos pelo Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem – DAER. Em princípio, as rodovias a serem avaliadas seriam as ERS 176 e a ERS 566.

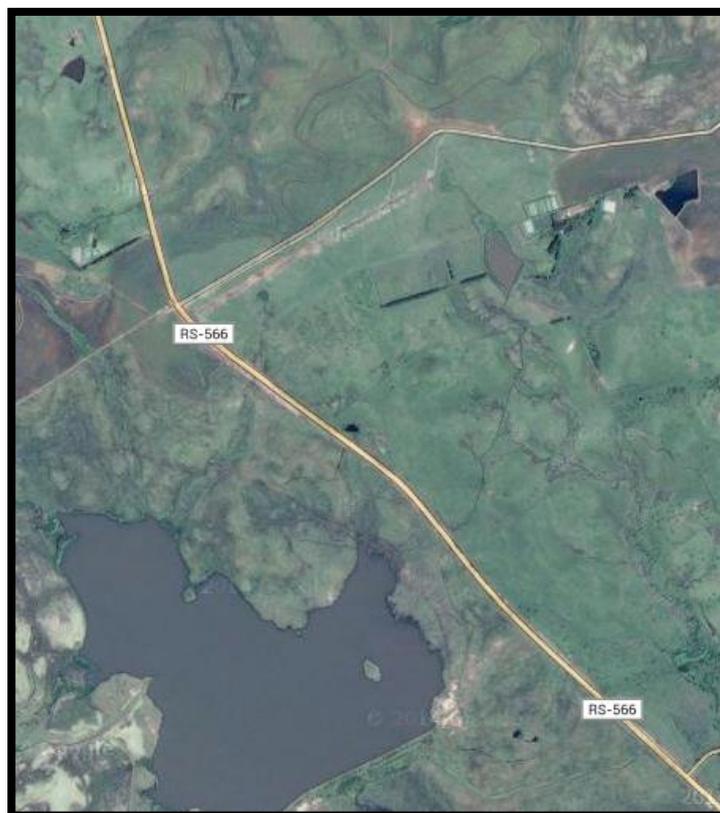
Por questões de prazo de entrega do trabalho, praticidade de locomoção e confiabilidade do estudo de tráfego, optou-se por selecionar a rodovia ERS 566 figura (18 e 19) apenas. O trecho a ser analisado desta rodovia, possui 5,1 km de extensão, tendo seu ponto inicial, na ponte sobre o arroio do Capivari, cujas coordenadas são S 29°43'17,7" e W 55°51'29", elevação de 86 m em relação ao nível do mar, e seu ponto final, que compreende o início da ERS 566 que ainda não é pavimentado, cujo ponto tem coordenadas S 29°45'35,8" e W 55°50'1,3", elevação de 92 m em relação ao nível do mar.

Figura 18 – ERS 566



Fonte: Google Maps 2015

Figura 19 – Trecho Selecionado para estudo da ERS 566



Fonte: Google Maps 2015

A partir da definição do trecho a ser estudado, divide-se agora, este trecho em seções de estudo. Esta divisão em seções foi feita onde ocorria a troca de materiais constituintes da superfície de rolamento, e a divisão ocorreu da seguinte maneira:

- Seção 1 → que tem seu início nas coordenadas S 29°43'17,7" e W 55°51'29", elevação de 86 m em relação ao nível do mar, e termina nas coordenadas S 29°43'17,7" e W 55°51'1,1", elevação de 112 m em relação ao nível do mar. Compreende do km 0 até o km 2,1. Figuras 20 e 21.

Figura 20 – Seção 1 da Rodovia RS 566



Fonte: Elaboração Própria

Figura 21 – Seção 1 da Rodovia RS 566



Fonte: Elaboração Própria

- Seção 2 → que tem seu início nas coordenadas S 29°43'17,7" e W 55°51'29", elevação de 112 m em relação ao nível do mar, e termina nas coordenadas S 29°44'47" e W 55°50'53,8", elevação de 112 m em relação ao nível do mar. Compreende do km 2,1 até o km 2,6. Figura 22

Figura 22 – Seção 2 da Rodovia RS 566



Fonte: Elaboração Própria

- Seção 3 → que tem seu início nas coordenadas S 29°44'47" e W 55°50'53,8", elevação de 112 m em relação ao nível do mar, e termina nas coordenadas S 29°45'7,4" e W 55°50'34,8", elevação de 110 m em relação ao nível do mar. Compreende do km 2,6 até o km 3,8. Figura 23.

Figura 23 – Seção 3 da Rodovia RS 566



Fonte: Elaboração Própria

- Seção 4 → que tem seu início nas coordenadas S 29°45'7,4" e W 55°50'34,8", elevação de 110 m em relação ao nível do mar, e termina nas coordenadas S 29°45'35,8" e W 55°50'1,3", elevação de 92 m em relação ao nível do mar. Compreende do km 3,8 até o km 5,1. Figura 24.

Figura 24– Seção 4 da Rodovia RS 566



Fonte: Elaboração Própria

Após a divisão da rodovia em seções, divide-se a mesma em unidades simples, para poderem ser analisadas e posteriormente utilizar os dados obtidos na avaliação condicional de serventia da rodovia não pavimentada. A divisão em Unidades Simples (US) obedece a seguinte forma:

- Unidade Simples 1 → Pertencente à Seção 1, inicia nas coordenadas S 29°43'26" e W 55°51'26,1", elevação de 83 m em relação ao nível do mar, e termina nas coordenadas S 29°43'27,9" e W 55°51'25,5", elevação de 82 m em relação ao nível do mar, possuindo 60 m de extensão.

- Unidade Simples 2 → Pertencente à Seção 2, inicia nas coordenadas S 29°43'50,6" e W 55°51'6,4", elevação de 120 m em relação ao nível do mar, e termina nas coordenadas S 29°43'53,4" e W 55°51'4,2", elevação de 120 m em relação ao nível do mar, possuindo 100 m de extensão.

- Unidade Simples 3 → Pertencente à Seção 3, inicia nas coordenadas S 29°44'24,2" e W 55°51'0,7", elevação de 107 m em relação ao nível do mar, e termina nas coordenadas S 29°44'27,3" e W 55°50'59,3", elevação de 106 m em relação ao nível do mar, possuindo 100 m de extensão.

- Unidade Simples 4 → Pertencente à Seção 4, inicia nas coordenadas S 29°45'33,7" e W 55°50'3,6", elevação de 83 m em relação ao nível do mar, e termina nas coordenadas S 29°45'36" e W 55°50'1", elevação de 86 m em relação ao nível do mar, possuindo 100 m de extensão.

3.2. Atividades de Campo Desenvolvidas

As atividades de campo realizadas neste trabalho podem ser divididas em duas etapas. A primeira etapa consistiu na avaliação da rodovia, que foi realizada de acordo com o método descrito anteriormente na revisão bibliográfica, no item 2.3.

A segunda etapa de atividades de campo realizada consistiu na coleta de amostras do solo constituinte da camada primária de revestimento, para avaliação e classificação do solo através de ensaios laboratoriais, obtendo-se os parâmetros do

solo, necessários para o dimensionamento do pavimento, utilizando os métodos de dimensionamento de revestimento primário, descritos no item 2.4 da revisão bibliográfica.

3.2.1. Avaliação das condições da rodovia

A avaliação da rodovia em estudo foi realizada com base no item 2.3 da revisão bibliográfica, onde é apresentado o modelo de avaliação que será utilizado, que descreve o processo de inspeção e o modo de determinação do ICRNP que é o parâmetro que mede a integridade e as condições de operação da rodovia.

Definiu-se o Trecho a ser avaliado, realizou-se a divisão deste trecho em Seções e posteriormente em Unidades Simples.

Utilizou-se o auxílio da Ficha de Inspeção de Rodovia Não Pavimentada, apresentada no Anexo B, juntamente com os materiais necessários para fazer a medição dos defeitos da rodovia: trenas de 5m e 50m; régua de madeira e haste de metal; máquina fotográfica; aparelho GPS Garmin. As figuras (25e 26) mostram o processo de medição e avaliação feitas em campo.

Figura 25 – Medição e Avaliação de Serventia da Rodovia



Fonte: Elaboração Própria

Figura 26 – Medição e Avaliação de Serventia da Rodovia



Fonte: Elaboração Própria

Para a determinação do ICRNP, foi realizado um estudo de caso na ERS 566, analisando cada defeito que o pavimento poderia apresentar. Estes defeitos, conforme descritos no ítem 2.3, dividem-se em 7 tipos, cada um com sua forma de medição:

- Defeito tipo 81: Seção Transversal Imprópria → O defeito é avaliado na US, para ver se a seção transversal apresenta uma uniformidade em sua construção, tais como superfície lisa e com inclinação adequada. É medido em metros lineares ao longo do eixo ou paralelamente ao eixo da rodovia. Pode haver mais de um nível de severidade coexistindo em uma mesma US.

- Defeito tipo 82: Drenagem Inadequada → O defeito é avaliado na US, para determinar qual a condição do sistema de drenagem e se o mesmo apresenta condições de escoar a água que vem da superfície da pista. É medido em metros lineares, paralelamente ao eixo da rodovia. O máximo valor de comprimento deste defeito é o dobro da extensão da unidade simples.

- Defeito tipo 83: Corrugações → O defeito é avaliado na US para determinar se existe a presença de ondulações transversais ao eixo da pista de rolamento, que podem causar desconforto ao usuário. É medido em m², e a quantidade medida não pode exceder a área da US. Diferentes níveis de severidade podem coexistir na mesma medição.

- Defeito tipo 84: Excesso de Poeira → O defeito é avaliado para determinar se a poeira que salta da estrada não prejudica a visibilidade do usuário. É medido visualmente, através da observação da passagem de veículos pela US.

- Defeito tipo 85: Buracos → O defeito é avaliado na US para saber qual a quantidade de buracos presentes na pista de rolamento e qual é a severidade causada no pavimento por estes buracos. É medido unitariamente, sendo que cada buraco tem seu diâmetro e profundidade anotados em uma ficha, para depois avaliar seu nível de severidade em conjunto.

- Defeito tipo 86: Trilha de Roda → O defeito é avaliado na US, para determinar se existe a presença de depressões paralelas ao eixo da pista de rolamento. É medido em m² ao longo da US. Diferentes tipos de severidade podem coexistir numa mesma medição.

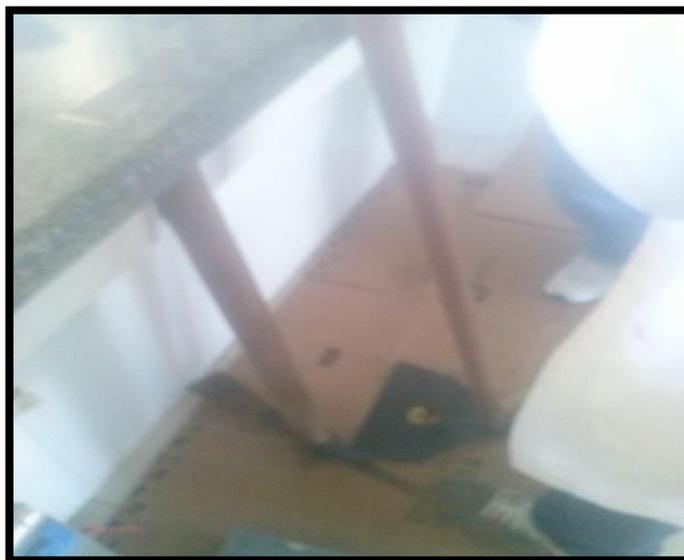
- Defeito tipo 87: Perda de Agregados → O defeito é avaliado para determinar se a pista perde material constituinte de sua camada de superfície de rolamento, formando bermas no centro e nos bordos ao longo da rodovia. É medido em metros lineares paralelamente ao eixo da rodovia. Diferentes níveis de severidade podem coexistir na mesma medição.

3.2.2. Coleta de amostras de solo

Foram coletadas amostras deformadas de solos a partir dos perfis estruturais das rodovias avaliadas. Para esta coleta, foram utilizados materiais de escavação como pá, picareta, enxada para realizar a abertura da vala, figura (27), para retirada do solo amostral e sacos plásticos para armazenagem deste solo retirado. A figura

(28) mostra a vala aberta e o material de solo sendo coletado. Já a figura (29) mostra a profundidade da camada de revestimento primário. A espessura do revestimento varia de 8 cm à 10 cm. A figura (30) mostra a armazenagem das amostras feitas em sacos plásticos, prontas para serem levadas ao laboratório.

Figura 27 – Materiais de escavação para abertura de vala



Fonte: Elaboração Própria

Figura 28 – Abertura de vala e coleta de material



Fonte: Elaboração Própria

Figura 29 – Espessura da camada de revestimento primário



Fonte: Elaboração Própria

Figura 30 – Coleta de Material e Armazenagem



Fonte: Elaboração Própria

Foram determinadas as massas específicas *in-situ* dos solos compactados correspondentes às camadas da rodovia, através da aplicação do ensaio do frasco de areia, figura (31). Para este ensaio foi utilizado areia média aferida, figura (32), para determinação do volume de solo escavado. Martelo, formão e pico, figura (33), usados na abertura do poço para coleta do solo a ser ensaiado. Régua com nível de bolha para garantir o nivelamento do equipamento, figura (34). Balança graduada para pesagem do material coletado, figura (35). Equipamento do frasco de areia para determinar a massa específica do solo, figura (36).

Figura 31 – Areia Média Graduada



Fonte: Elaboração Própria

Figura 32– Martelo, formão e cápsula para coleta do material *in-loco*



Fonte: Elaboração Própria

Figura 33 – Régua com nível de bolha



Fonte: Elaboração Própria

Figura 34 – Balança graduada



Fonte: Elaboração Própria

Figura 35 – Equipamento do Frasco de Areia



Fonte: Elaboração Própria

3.3. Ensaio de laboratório

Conforme caracterização dos ensaios descritos no item 2.2.4 e da necessidade de obtenção dos parâmetros técnicos dos solos para serem utilizados nos métodos de dimensionamentos de revestimento primário, os ensaios de laboratório realizados neste trabalho foram:

- Ensaio do Frasco de Areia, definido pela NBR 7185;
- Preparação de Amostras, definido pela NBR 6457;
- Ensaio de Granulometria, definido pela NBR 7181;
- Limite de Liquidez, definido pela NBR 6459;
- Limite de Plasticidade, definido pela NBR 7180;
- Ensaio de Compactação, definido pela NBR 7181;
- Ensaio de Expansão, definido pela NBR 7181;
- Índice de Suporte Califórnia ou CBR, definido pela NBR 9895.

3.3.1 Ensaio do Frasco de Areia

O objetivo da realização deste ensaio consiste na determinação da massa específica aparente *in-situ* do solo, e para isto, necessitou a determinação da massa específica aparente da areia utilizada no ensaio. O primeiro passo foi a determinação da massa da areia que preenche o funil e o orifício no rebaixo da bandeja. Montou-se o conjunto frasco + funil, e determinou-se a massa do conjunto, anotada como M1. Instalou-se o conjunto frasco + funil, colocando-o sobre uma superfície plana. O registro do funil foi aberto para que a areia escorresse livremente até cessar o seu movimento no interior do frasco. Fechou-se o registro, e pesou-se o conjunto frasco + funil, com a areia restante dentro do frasco e anotou-se a medida como M2. A massa de areia que preenche o funil, anotada como M3, é a diferença entre M1 e M2. Este processo foi repetido mais duas vezes, e a massa M3 a ser usada para os cálculos foi tomada como a média das 3 determinações.

$$M3 = M1 - M2$$

Após este processo, foi realizada a determinação da massa específica aparente da areia. Montou-se novamente o conjunto frasco + funil, estando o frasco cheio de areia, e anotou-se a massa do conjunto como M4. O conjunto foi instalado sobre a borda de um cilindro metálico de volume conhecido e anotado como V. O registro do funil foi aberto para que a areia escorresse livremente até cessar o seu movimento no interior do frasco. Fechou-se o registro, e pesou-se o conjunto frasco + funil, com a areia restante dentro do frasco e anotou-se a medida como M5. A massa de areia que preenche o volume do cilindro é anotada como M6, que é a diferença entre a massa do conjunto frasco + funil, menos a massa de areia que preenche o funil, menos a massa de areia que preenche o volume do cilindro.

$$M6 = M4 - M5 - M3$$

Conhecidos os valores de M6 e V, a massa específica aparente da areia é determinada por:

$$\rho_{\text{areia}} = M6 / V$$

3.3.2 Preparação das Amostras

3.3.2.1 Preparação das amostras para ensaio de compactação

A preparação das amostras para o ensaio de compactação ocorreu de acordo com a NBR 6457, onde a amostra foi seca até a umidade higroscópica e foi destorroada, evitando a quebra dos grãos, após foi misturada e homogeneizada. Pelo quarteamento, reduziu-se a quantidade de material até a obtenção de uma amostra representativa do material em quantidade suficiente para a realização do ensaio. A amostra foi passada pela peneira de 4,8 mm para verificar se passava integralmente pela mesma. O material retido na peneira de 4,8 mm passou pela peneira de 19,1 mm, como o objetivo de desmanchar os torrões ainda existentes. Após esses peneiramentos, foi procedido como indicado na NBR. O material retido na peneira de 19,1 mm foi passado na peneira de 76,2 mm e desprezou-se o material retido nesta última. Foi feita a substituição do material retido na peneira de 19,1 mm e que passou pela peneira de 76,2 mm, por uma mesma quantidade de

material que passou pela peneira de 19,1 mm e que ficou retido na peneira de 4,8 mm. A amostra resultante deste peneiramento foi utilizada nos ensaios de compactação.

3.3.2.2 Preparação das amostras para ensaio de caracterização

A preparação das amostras para o ensaio de caracterização ocorreu de acordo com a NBR 6457, onde a amostra foi seca até a umidade higroscópica e foi destorroada, evitando a quebra dos grãos, após foi misturada e homogeneizada. Pelo quarteamento, reduziu-se a quantidade de material até a obtenção de uma amostra representativa do material em quantidade suficiente para a realização dos ensaios. A amostra foi passada pela peneira de 76 mm, desprezando o material eventualmente retido.

3.3.3 Ensaio de Granulometria

O objetivo da realização deste ensaio foi obter a granulometria da amostra do solo. Para a execução do ensaio, foi necessário tomar uma quantidade de amostra, preparada devidamente conforme a NBR 6457, mostrada na figura 36.

Figura 36 – Amostra de solo para realização do ensaio.



Fonte: Elaboração Própria

O material foi destorroado e depois passado na peneira de 2,0 mm, para após ser lavado e assegurar que somente grãos maiores que a abertura da peneira ficasse retidos na peneira. Após lavagem, as amostras foram colocadas em estufa, à 105°C por um período de 24 horas, para realizar a secagem.

Do material passado na peneira de 2,0 mm, tomou-se quantidade suficiente e o mesmo foi passado na peneira de 0,075 mm, lavando o material retido com água à baixa pressão. Após realizar este processo, utilizando o jogo de peneiras indicados na NBR 7181 (figura 37) fez-se o peneiramento fino e o peneiramento grosso do material, com o auxílio do agitador mecânico (figura 38).

Figura 37 – Conjunto de peneiras



Fonte: Elaboração Própria

Figura 38 – Agitador mecânico



Fonte: Elaboração Própria

3.3.4 Ensaio de Limite de Liquidez

O objetivo da realização deste ensaio foi obter o limite de liquidez da amostra do solo. Para a execução do ensaio, foi necessário tomar uma quantidade de amostra, preparada devidamente conforme a NBR 6457, mostrada na figura 39.

Figura 39 – Amostra de solo para determinação do Limite de Liquidez



Fonte: Elaboração Própria

O material foi colocado num recipiente de porcelana, e aos poucos foi-se adicionando água destilada, mexendo continuamente, até a obtenção de uma pasta homogênea consistente que consiga aguentar 35 golpes na concha até fechar a ranhura.

Após isso, a pasta foi transferida para a concha (figura 40), moldando-a, de forma que a espessura na parte central seja na ordem de 10 mm e não fique bolhas de ar no interior da mistura, para a realização do ensaio. O excesso de solo foi recolocado no recipiente, para que se continue o ensaio. A massa de solo na concha foi dividida em duas partes utilizando o cinzel, de modo a abrir uma ranhura em sua parte central. Golpeou-se a concha, através do aparelho, contra a base, deixando-a cair em queda livre. Anota-se o número de golpes necessários para que as bordas inferiores se unam ao longo de 13 mm de comprimento, aproximadamente. Transfere-se imediatamente, uma pequena quantidade do material de junto das bordas que se uniram, para um recipiente adequado, a fim da determinação da umidade da amostra. O ensaio foi repetido, para obtenção de pelo menos mais três pontos de ensaio, para isto, continuou-se adicionando água destilada, obtendo-se diferentes tipos de consistência da pasta, afim de que a amostra cubra o intervalo de 35 a 15 golpes.

Figura 40 – Concha de Casagrande usada no ensaio de Limite de Liquidez



Fonte: Elaboração Própria

3.3.5 Ensaio de Limite de Plasticidade

O objetivo da realização deste ensaio foi obter o Limite de Plasticidade da amostra do solo para determinar seu Índice de Plasticidade. Para a execução do ensaio de limite de plasticidade, foi necessário tomar uma quantidade suficiente da pasta homogeneizada preparada no ensaio de limite de liquidez, com consistência suficiente para aguentar 35 golpes da concha de Casagrande até fechar a ranhura. Com esta quantidade de pasta, molda-se uma pequena bola, que é rolada sobre a placa de vidro com pressão suficiente da palma da mão, para dar a bola, uma forma cilíndrica (figura 41) com diâmetro de aproximadamente 3,0 mm. Quando a amostra começar a se fraturar ao ser moldada é um início de que o solo apresenta teor de umidade igual ou próximo ao limite de plasticidade.

Figura 41 – Moldagem dos cilindros para ensaio de limite de liquidez



Fonte: Elaboração Própria

3.3.6 Classificação do Solo

Após realizar os ensaios de peneiramento para determinar a granulometria da amostra, limite de liquidez e limite de plasticidade, foi realizada a classificação geotécnica do solo, segundo as metodologias SUS e TRB, descritas no item 2.3.3.

3.3.7 Ensaio de Compactação

O objetivo da realização deste ensaio foi obter o valor do Índice de Suporte Califórnia ou CBR da amostra do solo. Para a execução do ensaio, foi necessário tomar uma quantidade de amostra figura (42), preparada devidamente conforme a NBR 6457, explicada no item 3.3.2.1.

Para a moldagem dos corpos-de-prova, prepara-se o molde cilíndrico e divide-se o material através do quarteamento, de maneira que resulte em amostras representativas do material (figura 43).

Toma-se esta parte representativa do material, e com o auxílio de uma proveta, adiciona-se água gradativamente e mistura-se o material, de forma a obter uma mistura homogênea e com teor de umidade abaixo da umidade ótima presumível. Após a completa homogeneização do material, procede-se à compactação da amostra no molde (figura 44). Para este trabalho, utilizaram-se duas energias de compactação diferentes. Energia normal, onde os corpos-de-prova foram compactados com 5 camadas, sendo 12 golpes por camada e energia intermediária, onde os corpos-de-prova foram compactados com 5 camadas, sendo 26 golpes por camada. Este processo é repetido mais 3 vezes, sempre aumentando-se a quantidade de água adicionada nas amostras, a fim de se obter a curva de compactação.

Com base no teor de umidade ótima, obtido através da curva de compactação de energia normal, foram moldados mais outros três corpos-de-prova para se ter um resultado mais confiável.

Figura 42 – Preparação da amostra para o ensaio do CBR



Fonte: Elaboração Própria

Figura 43 – Quarteamento da Amostra



Fonte: Elaboração Própria

Figura 44 – Compactação da Amostra



Fonte: Elaboração Própria

3.3.8 Ensaio de Expansão

Terminadas as moldagens necessárias para caracterizar a curva de compactação, retira-se o disco espaçador de cada corpo-de-prova e inverte-se os moldes, fixando-os nos respectivos pratos-bases perfurados. Coloca-se para cada corpo de prova, o prato perfurado com a haste de expansão e sobre ele, dois discos anelares cuja massa total deve ser de aproximadamente 4500g. Sobre a haste de expansão, apoia-se a haste do extensômetro, o qual é acoplado na borda superior do cilindro. Anota-se a leitura inicial e após, é realizada a imersão dos corpos-de-prova, figura (45) nos recipientes com água. Cada corpo-de-prova permanece no banho durante no mínimo 4 dias.

Figura 45 – Imersão dos Corpos-de-Prova



Fonte: Elaboração Própria

3.3.9 Índice de Suporte de Califórnia - ISC

O ensaio de ISC é realizado através da Prensa Marshall, figura (46) no qual ocorre a penetração do pistão da prensa no corpo-de-prova. Para a realização do ensaio, o corpo-de-prova é retirado do recipiente em que estava imerso em água, deixando escorrer o excesso por 10 minutos. Coloca-se no topo de cada corpo-de-prova, dentro do molde cilíndrico, as mesmas sobrecargas de 4500 g utilizadas no ensaio de expansão. O conjunto corpo-de-prova + sobrecarga é colocado no prato da prensa e procede-se o assentamento do pistão de penetração, até o mesmo encostar no solo compactado. Zera-se o extensômetro do anel dinamométrico e o que mede a penetração do pistão no solo. Aciona-se a manivela da prensa, de modo que ocorra a penetração do pistão no tempo especificado para o ensaio, conforme mostra a figura (47).

Figura 46 – Prensa – Ensaio CBR



Fonte: Elaboração Própria

Figura 47 – Penetração do Pistão – Ensaio CBR

Tempo (min)	Penetração(mm)
0	0
0,5	0,63
1	1,27
1,5	1,9
2	2,54
2,5	3,17
3	3,81
3,5	4,44
4	5,08
5	6,35
6	7,62
7	8,89
8	10,16
9	11,43
10	12,7

Fonte: Elaboração Própria

3.4. Dimensionamento do Pavimento

Para o dimensionamento do pavimento, foram escolhidos 4 métodos, dos 6 citados na revisão bibliográfica, são eles:

- Método de Dimensionamento de Webster & Alford (1978), Equação 2, que para ser utilizada necessita do conhecimento do valor do número N, que está indicado na tabela presente no Anexo A, e do valor do índice do CBR, que foi determinado experimentalmente em laboratório.

- Método de Dimensionamento de Giroud & Noray (1981), Equação 4, que assim como o método anterior, para ser utilizada necessita do conhecimento do valor do número N, que está indicado na tabela presente no Anexo A, do valor da profundidade da trilha de roda, e do valor da resistência não drenada do solo, Equação 3, que é estimado através do valor do CBR, que foi determinado experimentalmente em laboratório.

- Método de Dimensionamento de Skorseth e Selim (2000), que para ser utilizado, faz o uso de tabela, necessitando do conhecimento do valor do número de veículos pesados que passem diariamente na rodovia, que está indicado na tabela presente no Anexo A, e do valor do índice do CBR, que foi determinado experimentalmente em laboratório.

- Método de Dimensionamento de Skorseth e Selim (2000) II, que para ser utilizado, faz o uso de tabela, necessitando do conhecimento do nível de tráfego da rodovia, do valor do índice do CBR, que foi determinado experimentalmente em laboratório e do tipo de clima da região em que a rodovia está localizada.

A escolha destes 4 métodos de dimensionamentos de rodovia não pavimentada, deu-se pelo fato dos mesmos utilizarem dados que poderiam ser obtidos através de ensaios de laboratório, sobre o solo que constitui a camada do pavimento, ao invés de utilizarem simples aproximações baseadas em outros dados que não representariam o solo que é utilizado nesta rodovia.

Uma ressalva deve ser feita, o método de dimensionamento SD – LTAP utiliza parâmetros do solo da rodovia e pode ser considerado o método mais completo dentre os 6 apresentados. Porém, sua utilização foi descartada devido à falta de condições de obtenção de todos os parâmetros necessários para poder utilizar o método.

Deve-se ressaltar também, que nenhum dos métodos de dimensionamentos pesquisados, apresentou em bibliografia especificações sobre o método de contagem de veículos para a determinação do número N. Os dados de estudo de tráfego utilizado no dimensionamento da rodovia, foram fornecidos pelo DAER-Alegrete, que determina o número N através do método USACE.

4 ANÁLISE E DISCUSSÕES DE RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos, os resultados de todas as coletas de dados feitos durante a elaboração deste trabalho e que foram elaborados com base nos métodos descritos anteriormente na metodologia.

4.1 Determinação do Índice de Condição da Rodovia Não Pavimentada através da Avaliação de Serventia da Rodovia

Neste item serão mostrados os valores finais do ICRNP, determinado para cada Unidade Simples (US) e também para o trecho onde foi realizado o estudo de caso. O primeiro índice de condição da rodovia não pavimentada a ser calculado, foi o da Unidade Simples 1, o qual será explicado mais detalhadamente. Para os demais, apenas mudam-se os parâmetros de entrada nas fórmulas.

4.1.1 Cálculo do ICRNP para a US 1

*Comprimento da US = 60 m

*Largura da Seção Transversal: 6,6 m / 6 m / 6,3 m

- Cálculo da Área da US:

$$A_{\text{unidade simples}} = \text{Comprimento} \times \text{Largura da Seção Transversal (m}^2\text{)} \quad (\text{Eq 10})$$

$$A_1 = 6,6 \times 60 = 396 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 6 \times 60 = 360 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 6,3 \times 60 = 378 \text{ m}^2$$

Para o cálculo da área, considerar a média das três áreas calculadas:

$$A_{\text{unidade simples}} = A_{\text{média}} = \underline{378} \text{ m}^2$$

- Defeitos a serem considerados no cálculo

Defeito Tipo 81 – Severidade Baixa, extensão de 60 m

Defeito Tipo 82 – Severidade Média, extensão de 40 m

Defeito Tipo 84 – Severidade Média

Defeito Tipo 86 – Severidade Baixa, área de 94,5 m²

Defeito Tipo 87 – Severidade Baixa, extensão de 10 m

- Densidade de cada defeito

A densidade de cada defeito é calculada utilizando a equação 1

- Para o defeito Tipo 81:

$$\text{Densidade} = \frac{60 \times 3,281 \times 100}{378} = 52,08\%$$

- Para o defeito Tipo 82:

$$\text{Densidade} = \frac{40 \times 3,281 \times 100}{378} = 34,72\%$$

- Para o defeito Tipo 84:

A densidade não é calculada para o excesso de poeira, apenas a severidade é levada em consideração no cálculo.

- Para o defeito Tipo 86:

$$\text{Densidade} = \frac{94,5 \times 1 \times 100}{378} = 25\%$$

- Para o defeito Tipo 87:

$$\text{Densidade} = \frac{10 \times 3,281 \times 100}{378} = 8,68\%$$

- Valores dedutíveis para cada defeito tipo

Leva-se em consideração o valor da Densidade de cada defeito e nível de severidade. Utilizam-se as curvas de valores dedutíveis de cada defeito, para obtenção do valor dedutível individual.

- Para o defeito Tipo 81:

Densidade = 52,08% e Severidade Baixa – utiliza-se a curva da figura 11

Valor dedutível = 40

- Para o defeito Tipo 82:

Densidade = 34,72% e Severidade Média – utiliza-se a curva da figura 12

Valor dedutível = 39,8

- Para o defeito Tipo 84:

Utiliza-se a Tabela 2 – Valor dedutível = 4

- Para o defeito Tipo 86:

Densidade = 25% e Severidade Baixa – utiliza-se a curva da figura 15

Valor dedutível = 25

- Para o defeito Tipo 87:

Densidade = 8,68% e Severidade Baixa – utiliza-se a curva da figura 16

Valor dedutível = 12

- Valor Dedutível Final

O valor dedutível final (VDF) é o somatório dos valores dedutíveis de cada defeito.

$$VDF = 40 + 39,8 + 4 + 25 + 12 = 120,8$$

O valor de “q” é definido pelo número de valores dedutíveis individuais maiores que 5.

$$q = 4$$

- Obtenção do ICRNP

Com o valor de VDF e o valor de q e o auxílio da figura 17, obtém-se o valor do ICRNP para a unidade simples.

$$\text{VDF} = 120,8 \text{ e } q = 4 \rightarrow \text{ICRNP} = 32$$

Baseado no valor do ICRNP e na classificação das rodovias (figura 18) pode-se afirmar que a US é considerada “POBRE”.

A obtenção do ICRNP das demais Unidades Simples segue o mesmo modelo calculado para a US1.

4.1.2 Cálculo do ICRNP para a US 2

*Comprimento da US = 100 m

*Largura da Seção Transversal: 9,3 m / 9,7 m

- Cálculo da Área da US:

$$A_{\text{unidade simples}} = A_{\text{média}} = \underline{950 \text{ m}^2}$$

- Defeitos a serem considerados no cálculo

Defeito Tipo 81 – Severidade Baixa, extensão de 50 m

Defeito Tipo 83 – Severidade Média, área de 475 m²

Defeito Tipo 84 – Severidade Média

Defeito Tipo 85 – Severidade Média, 6 unidades

Defeito Tipo 87 – Severidade Baixa, extensão de 20 m

- Densidade de cada defeito

- Para o defeito Tipo 81:

Densidade = 17,27%

- Para o defeito Tipo 83:

Densidade = 50%

- Para o defeito Tipo 84:

A densidade não é calculada para o excesso de poeira, apenas a severidade é levada em consideração no cálculo.

- Para o defeito Tipo 85:

Densidade = 6,8%

- Para o defeito Tipo 87:

Densidade = 6,9%

- Valores dedutíveis para cada defeito tipo

- Para o defeito Tipo 81:

Densidade = 17,27% e Severidade Baixa – utiliza-se a curva da figura 11

Valor dedutível = 21

- Para o defeito Tipo 83:

Densidade = 50% e Severidade Baixa – utiliza-se a curva da figura 13

Valor dedutível = 25

- Para o defeito Tipo 84:

Utiliza-se a Tabela 2 – Valor dedutível = 4

- Para o defeito Tipo 85:

Densidade = 6,8% e Severidade Média – utiliza-se a curva da figura 14

Valor dedutível = 73

- Para o defeito Tipo 87:

Densidade = 6,9% e Severidade Baixa – utiliza-se a curva da figura 16

Valor dedutível = 11

- Valor Dedutível Final

$$\text{VDF} = 21 + 25 + 4 + 73 + 11 = 134$$

$$q = 4$$

- Obtenção do ICRNP

$$\text{VDF} = 134 \text{ e } q = 4 \rightarrow \text{ICRNP} = 25$$

Baseado no valor do ICRNP e na classificação das rodovias (figura 18) pode-se afirmar que a US é considerada “POBRE”.

4.1.3 Cálculo do ICRNP para a US 3

*Comprimento da US = 100 m

*Largura da Seção Transversal: 9,5 m / 9,7 m / 9,4 m

- Cálculo da Área da US:

$$A_{\text{unidade simples}} = A_{\text{média}} = \underline{953 \text{ m}^2}$$

- Defeitos a serem considerados no cálculo

Defeito Tipo 81 – Severidade Baixa, extensão de 20 m

Defeito Tipo 82 – Severidade Baixa, extensão de 10 m

Defeito Tipo 84 – Severidade Média

Defeito Tipo 85 – Severidade Média, 5 unidades

Defeito Tipo 86 – Severidade Baixa, área de 200 m²

Defeito Tipo 87 – Severidade Baixa, extensão de 200 m

Defeito Tipo 87 – Severidade Média, extensão de 50 m

Defeito Tipo 87 – Severidade Baixa, extensão de 40 m

- Densidade de cada defeito

- Para o defeito Tipo 81:

Densidade = 6,89%

- Para o defeito Tipo 82:

Densidade = 3,44%

- Para o defeito Tipo 84:

A densidade não é calculada para o excesso de poeira, apenas a severidade é levada em consideração no cálculo.

- Para o defeito Tipo 85:

Densidade = 5,65%

- Para o defeito Tipo 86:

Densidade = 68,86%

- Para o defeito Tipo 87:

Densidade = 68,86% (baixa severidade)

Densidade = 17,21% (média severidade)

Densidade = 13,77% (alta severidade)

- Valores dedutíveis para cada defeito tipo

- Para o defeito Tipo 81:

Densidade = 6,89% e Severidade Baixa – utiliza-se a curva da figura 11

Valor dedutível = 15

- Para o defeito Tipo 82:

Densidade = 3,44% e Severidade Baixa – utiliza-se a curva da figura 12

Valor dedutível = 5

- Para o defeito Tipo 84:

Utiliza-se a Tabela 2 – Valor dedutível = 2

- Para o defeito Tipo 85:

Densidade = 5,65% e Severidade Baixa – utiliza-se a curva da figura 14

Valor dedutível = 48

- Para o defeito Tipo 86:

Densidade = 68,86% e Severidade Baixa – utiliza-se a curva da figura 15

Valor dedutível = 29

- Para o defeito Tipo 87:

Densidade = 68,86% e Severidade Baixa – utiliza-se a curva da figura 16

Valor dedutível = 19

Densidade = 17,21% e Severidade Média – utiliza-se a curva da figura 16

Valor dedutível = 29

Densidade = 13,77% e Severidade Alta – utiliza-se a curva da figura 16

Valor dedutível = 38

Para o defeito Tipo 87, o valor dedutível é 86

- Valor Dedutível Final

$$\text{VDF} = 15 + 5 + 2 + 48 + 29 + 86 = 185$$

$$q = 4$$

- Obtenção do ICRNP

$$\text{VDF} = 185 \text{ e } q = 4 \rightarrow \text{ICRNP} = 7$$

Baseado no valor do ICRNP e na classificação das rodovias (figura 18) pode-se afirmar que a US é considerada “MUITO POBRE”.

4.1.4 Cálculo do ICRNP para a US 4

*Comprimento da US = 100 m

*Largura da Seção Transversal: 8,4 m / 9,7 m / 8,8 m

- Cálculo da Área da US:

$$A_{\text{unidade simples}} = A_{\text{média}} = \underline{897} \text{ m}^2$$

- Defeitos a serem considerados no cálculo

Defeito Tipo 81 – Severidade Baixa, extensão de 20 m

Defeito Tipo 83 – Severidade Média, área de 179,2 m²

Defeito Tipo 84 – Severidade Média

Defeito Tipo 85 – Severidade Baixa, 3 unidades

Defeito Tipo 86 – Severidade Baixa, área de 70 m²

Defeito Tipo 87 – Severidade Baixa, extensão de 4 bermas de 80 m

- Densidade de cada defeito

- Para o defeito Tipo 81:

$$\text{Densidade} = 7,31\%$$

- Para o defeito Tipo 83:

$$\text{Densidade} = 20\%$$

- Para o defeito Tipo 84:

A densidade não é calculada para o excesso de poeira, apenas a severidade é levada em consideração no cálculo.

- Para o defeito Tipo 85:

$$\text{Densidade} = 3,6\%$$

- Para o defeito Tipo 86:

$$\text{Densidade} = 7,8\%$$

- Para o defeito Tipo 87:

Densidade = resulta num valor muito maior que o limite para este defeito. Utilizar o máximo valor dedutível

- Valores dedutíveis para cada defeito tipo

- Para o defeito Tipo 81:

Densidade = 7,31% e Severidade Baixa – utiliza-se a curva da figura 11

Valor dedutível = 15

- Para o defeito Tipo 83:

Densidade = 20% e Severidade Baixa – utiliza-se a curva da figura 13

Valor dedutível = 12

- Para o defeito Tipo 84:

Utiliza-se a Tabela 2 – Valor dedutível = 2

- Para o defeito Tipo 85:

Densidade = 3,6% e Severidade Média – utiliza-se a curva da figura 14

Valor dedutível = 38

- Para o defeito Tipo 86:

Densidade = 7,8% e Severidade Baixa – utiliza-se a curva da figura 15

Valor dedutível = 12

- Para o defeito Tipo 87:

Densidade = 20% e Severidade Baixa – utiliza-se a curva da figura 16

Valor dedutível = 19

- Valor Dedutível Final

$$\text{VDF} = 15 + 12 + 2 + 38 + 12 + 19 = 98$$

$$q = 5$$

- Obtenção do ICRNP

$$\text{VDF} = 98 \text{ e } q = 5 \rightarrow \text{ICRNP} = 49$$

Baseado no valor do ICRNP e na classificação das rodovias (figura 18) pode-se afirmar que a US é considerada “REGULAR”.

A tabela 5 apresenta um resumo dos valores obtidos para o cálculo do ICRNP.

Tabela 5 – Resumo do Cálculo do ICRNP para cada Unidade Simples

Defeito-Tipo	Unidade Simples 1		Unidade Simples 2		Unidade Simples 3		Unidade Simples 4	
	Densidade	VDF	Densidade	VDF	Densidade	VDF	Densidade	VDF
Defeito-Tipo 81	52,08%	40	17,27%	21	6,89%	15	7,31%	15
Defeito-Tipo 82	34,72%	39,8	-	-	3,44%	5	-	-
Defeito-Tipo 83	-	-	50%	25	-	-	20%	12
Defeito-Tipo 84	-	4	-	4	-	2	-	2
Defeito-Tipo 85	-	-	6,80%	73	5,65%	48	3,60%	38
Defeito-Tipo 86	25%	25	-	-	68,86%	29	7,80%	12
Defeito-Tipo 87	8,68%	12	6,90%	11	68,86 / 17,21 / 13,77	86	100%	19
ICRNP	32		25		7		49	

Fonte: Elaboração Própria

A tabela resume todos os valores encontrados das densidades de cada defeito-tipo bem como seus valores dedutíveis finais, para cada uma das diferentes Unidades Simples analisadas ao longo do trecho de estudo.

4.1.5 Cálculo do ICRNP das Seções

O ICRNP das seções é obtido através da média aritmética dos ICRNP das unidades simples, já calculados anteriormente.

$$\text{ICRNP}_{\text{Seções}} = \frac{\sum (\text{ICRNP}_{\text{unidades simples}})}{N^{\circ} \text{ unidade simples}} \quad (\text{Eq 11})$$

Para este caso, cada seção possui apenas uma Unidade Simples, por isso, o valor do ICRNP de cada seção é igual ao valor do ICRNP de cada unidade simples correspondente.

- $\text{ICRNP}_{\text{Seção 1}} = \text{ICRNP}_{\text{unidade simples 1}} = 32 \rightarrow$ classificada como “Pobre”

- $\text{ICRNP}_{\text{Seção}} = \text{ICRNP}_{\text{unidade simples 2}} = 25 \rightarrow$ classificada como “Pobre”

- ICRNP_{Seção 3} = ICRNP_{unidade simples 3} = 7 → classificada como “Muito Pobre”

- ICRNP_{Seção 4} = ICRNP_{unidade simples 4} = 49 → classificada como “Regular”

4.1.6 Cálculo do ICRNP do Trecho

O ICRNP do trecho é obtido através da média ponderada dos ICRNP das seções, calculados anteriormente.

$$\text{ICRNP}_{\text{trecho}} = \frac{\sum (\text{ICRNP}_{\text{seção}} \times \text{Extensão da Seção})}{\text{Extensão do Trecho}} \quad (\text{Eq 12})$$

$$\text{ICRNP}_{\text{trecho}} = \frac{[(32 \times 2,1) + (25 \times 0,5) + (7 \times 1,2) + (49 \times 1,3)]}{(2,1 + 0,5 + 1,2 + 1,3)}$$

$$\text{ICRNP}_{\text{trecho}} = \frac{(67,2 + 12,5 + 8,4 + 63,7)}{5,1}$$

$$\text{ICRNP}_{\text{trecho}} = \frac{(67,2 + 12,5 + 8,4 + 63,7)}{5,1}$$

$$\text{ICRNP}_{\text{trecho}} = \underline{29,76}$$

Pelo valor de ICRNP e pela tabela de classificação o trecho pode ser considerado “Pobre”.

Ao analisar todos os resultados obtidos neste item, chega-se a conclusão de que os valores encontrados para os ICRNP condizem com a realidade encontrada no estudo de caso da RS 566. As unidades simples do trecho analisado possuem uma grande quantidade de defeitos, embora muitas vezes estes defeitos possuíssem uma severidade considerada baixa, que acabam rebaixando a qualidade da pista de rolamento, ocasionando assim a redução do valor final do índice de serventia. Isso se reflete na classificação final do trecho, uma vez que o ICRNP do mesmo está diretamente relacionado com os valores de cada seção e

unidade simples, ou seja, se o valor do índice de serventia e a classificação da unidade simples forem baixos, o valor do índice e a classificação dos trechos que agregam estas unidades simples também será baixo.

4.2 Ensaio de Frasco de Areia e determinação da massa específica in-situ

Nesta seção serão demonstrados os resultados para o teste feito em campo do ensaio do frasco de areia. A tabela 6 mostra os dados de aferição da areia utilizada no ensaio.

Tabela 6 – Aferição da Areia

Massa de areia que preenche o funil	Teste 1	Teste 2	Teste 3
Conj frasco + areia + funil M1 (g)	9000,9	9000,9	9000,9
conj frasco + funil + areia restante M2 (g)	8468,6	8472,5	8471,7
Massa que preenche o funil e rebaixo da bandeja M3 (g)	532,3	528,4	529,2
Valor médio M3 (g)	529,97		
Ajuste individual (%)	-0,44	0,30	0,14
Massa específica seca aparente da areia (g/cm³)			
	medida 1	medida 2	medida 3
Diâmetro interno do molde (cm)	9,926	9,936	9,949
altura molde (cm)	12,701	12,694	12,704
Volume do molde (cm ³)	984,901		
	Teste 1	Teste 2	Teste 3
Conj frasco + areia + funil M4 (g)	9000,6	9000,5	9000,3
conj frasco + funil + areia restante M5 (g)	7079,2	7094	7094
Massa que preenche o cilindro M6 (g)	1391,43	1376,53	1376,33
Média M6 (g)	1381,43		
Ajuste individual (%)	-0,72	0,35	0,37
Massa específica seca aparente da areia (g/cm³)	1,40		

Fonte: Elaboração Própria

Com base na tabela, podemos observar que $M_3 = 529,97$ g que é o valor médio da massa que preenche o funil e o rebaixo da bandeja. A massa específica seca aparente da areia é $\rho = 1,4$ g/cm³. Após a realização da aferição da areia, o ensaio do Frasco de Areia foi realizado para a determinação da massa específica do solo *in-situ*. A tabela 7 mostra a massa específica seca do solo.

Tabela 7 – Massa específica seca do solo

Dados aferidos	Teste 1	Teste 2
Massa específica aferida da areia (g/cm ³)	1,4	1,4
Massa que preenche o funil "M3" (g)	529,97	529,97
Massa específica do solo "in-situ"		
massa úmida do solo (g)	730,10	953,88
Conj frasco + areia + funil M7 (g)	8902,2	7827,2
conj frasco + funil + areia restante M8 (g)	7827,20	6604,95
Massa da areia que preenche o orifício (g)	545,03	692,28
Volume do orifício escavado (cm ³)	389,31	494,49
Massa específica aparente natural do solo (g/cm³)	1,875	1,929
Massa específica aparente seca do solo natural (g/cm³)	1,732	1,731

Fonte: Elaboração Própria

Com a realização do ensaio do frasco de areia determinou-se a massa específica aparente seca do solo natural $\rho = 1,732$. Este resultado serviu como base para a posterior moldagem dos corpos-de-prova, pois determinou qual a energia de compactação seria utilizada no ensaio de compactação.

4.3 Granulometria da Amostra de Solo

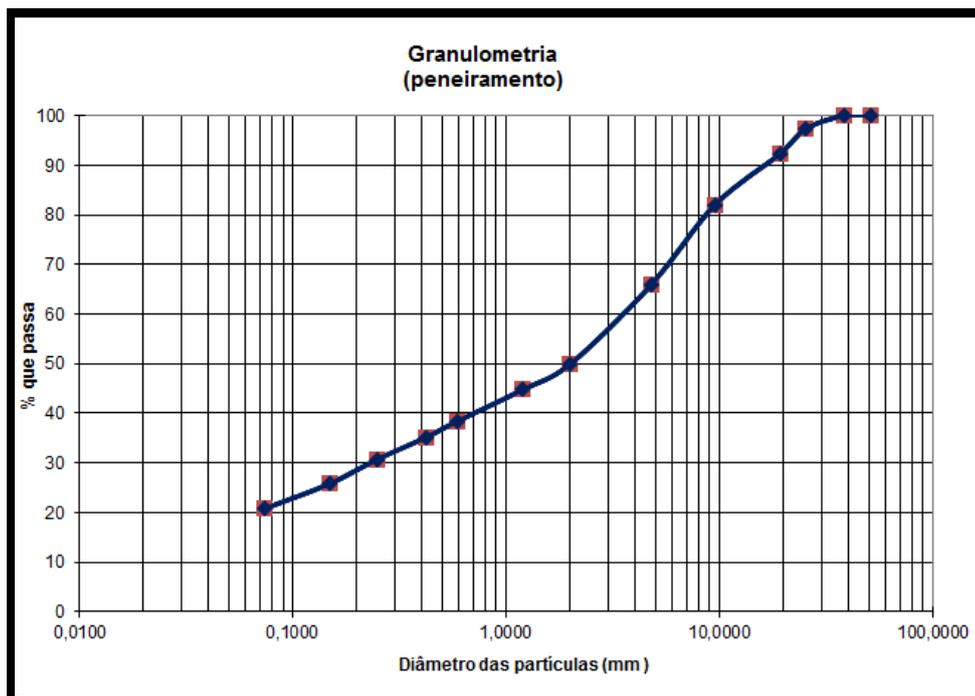
A análise granulométrica e a classificação da amostra de solo procederam-se após os ensaios de peneiramento realizados. A tabela 8 mostra os resultados dos peneiramentos grosso e fino e o gráfico 1 mostra a curva granulométrica da amostra.

Tabela 8 – Análise do Peneiramento da Amostra de Solo

Massa da amostra seca ao ar M_s (g) =		1744	Massa total da amostra seca M_t (g) =		1658,15
Peneiramento Grosso					
Peneira	Abertura(mm)	Solo retido(g)	Solo retido acumulado(g)	% de material que passa	
2"	50,8	0,000	0,00	100,000	
1 1/2"	38,1	0,000	0,00	100,000	
1"	25,4	42,400	42,40	97,443	
3/4"	19,1	85,460	127,86	92,289	
3/8"	9,5	169,310	297,17	82,078	
4	4,76	268,940	566,11	65,859	
10	2,00	262,810	828,92	50,009	
Peneiramento Fino					
Peneira	Abertura(mm)	Solo retido(g)	Solo retido acumulado(g)	% de material que passa	
16	1,19	12,200	12,200	44,751	
30	0,59	14,670	26,870	38,428	
40	0,42	7,590	34,460	35,157	
	0,25	10,120	44,580	30,795	
100	0,149	11,460	56,040	25,855	
200	0,074	11,680	67,720	20,821	

Fonte: Elaboração Própria

Gráfico 1 – Granulometria da Amostra de Solo



Fonte: Elaboração Própria

Ao analisarmos a tabela 8 e o gráfico 1, podemos observar que o solo apresenta uma granulometria elevada, pois ao realizar os ensaios de peneiramento

grosso e fino, a amostra apresentou 50,01% de solo que passa na peneira nº 2 mm representando a porcentagem de pedregulhos, 35,16% que passa na peneira nº 0,42 mm que representa a porcentagem de areia e 20,82% que passa na peneira nº 0,074 mm representando a porcentagem de finos do solo. Pelas normas da ABNT, a porcentagem presente dos finos deve ser tomada com base na peneira de abertura 0,06 mm. Como não há uma peneira com esta abertura, a peneira de abertura 0,075 mm é usada como referência.

4.4 Limite de Liquidez e Plasticidade

Para a amostra de solo, foram realizados os ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade. Na tabela 9 é mostrado o valor do limite de plasticidade. No gráfico 2 é mostrado o limite de liquidez. Na tabela 10 são apresentados os resultados do Índice de plasticidade.

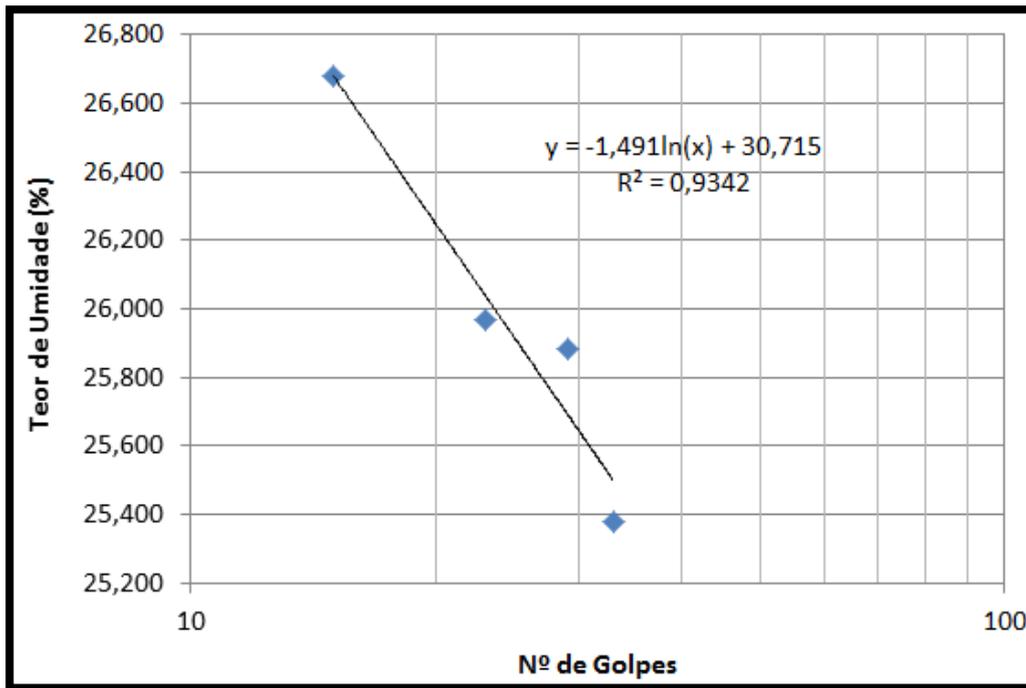
Tabela 9 – Limite de Plasticidade do Solo

LIMITE DE PLASTICIDADE			
Nº da capsula	37	242	13B
peso. cap (g)	17,520	22,310	18,490
Cap. + S.U (g)	18,970	23,610	19,860
Cap. + S.S (g)	18,730	23,390	19,630
Umidade (%)	19,835	20,370	20,175
		WP(%):	20,127

Fonte: Elaboração Própria

Ao analisarmos a tabela, podemos observar que a umidade da amostra manteve-se perto dos 20% para os 3 casos. A média destes 3 valores de umidade, resulta no limite de plasticidade, que é o limite de umidade que o solo começa a se fraturar ao ser moldado (Caputo, 1988). O limite de plasticidade da amostra é LP = 20,127.

Gráfico 2 – Limite de Liquidez do Solo



Fonte: Elaboração Própria

Este gráfico é obtido a partir dos valores do número de golpes pelo teor de umidade da amostra. Através do gráfico, é possível obter a equação que definirá o limite de liquidez. Aplicando a equação, o valor de “x” é fixado em 25 golpes, resultando em um limite de liquidez de LL = 25,92.

Tabela 10 – Índice de Plasticidade do Solo

Limite de Líquidez	25,92
Limite de Plasticidade	20,127
Índice de Plasticidade	5,789

Fonte: Elaboração Própria

Foram determinados os limites de liquidez e plasticidade, pois são parâmetros necessários para a classificação do solo. Analisando o Índice de Plasticidade do solo, segundo Caputo (1988), o solo pode ser considerado fracamente plástico, pois apresenta $1 < IP < 7$.

4.5 Classificação do Solo

Nas tabelas 11 e 12 são apresentados os resultados da classificação da amostra de solo.

Tabela 11 – Classificação TRB Geotécnica do solo

Classificação TRB	
% passa peneira nº 2 mm	50,01
% passa peneira nº 0,42 mm	35,16
% passa peneira nº 0,074 mm	20,82
Límite de Liquidez	25,92
Límite de plasticidade	20,127
Índice de Plasticidade	5,79
Índice de Grupo	0
Grupo Classificatório	A-1-a

Fonte: Elaboração Própria

A classificação TRB geotécnica do solo indica que a amostra pertence ao grupo A-1-a, composta por fragmentos de pedra, pedregulhos e areia. Seu comportamento como camada do pavimento é considerado de excelente a bom.

Tabela 12 – Classificação SUCS Geotécnica do solo

Classificação SUCS		
% retida peneira nº 4,8 mm	65,86	Solo grosso
% passa peneira nº 0,074 mm	20,82	Pedregulhos com finos
Classificação dos Finos	ML	
	MH	
Símbolo Grupo	GM	
Grupo Classificatório	Pedregulho Siltoso	

Fonte: Elaboração Própria

A classificação geotécnica SUCS do solo indica que a amostra pertence ao grupo dos solos grossos, composta por pedregulhos finos. Sua trabalhabilidade como material de construção é boa. A permeabilidade quando compactado varia de semipermeável a permeável. Resistência compactada e saturada é boa. A compressibilidade compactada e saturada pode ser desprezada. Tem bom valor como fundação e seu peso específico máximo pode variar de 19 à 22 kg/m³ (DNIT, 2006).

4.6 Ensaio de Compactação

Nesta seção serão apresentados os resultados para o ensaio de compactação. A tabela 16 mostra o teor de umidade e a massa específica dos corpos-de-prova compactados.

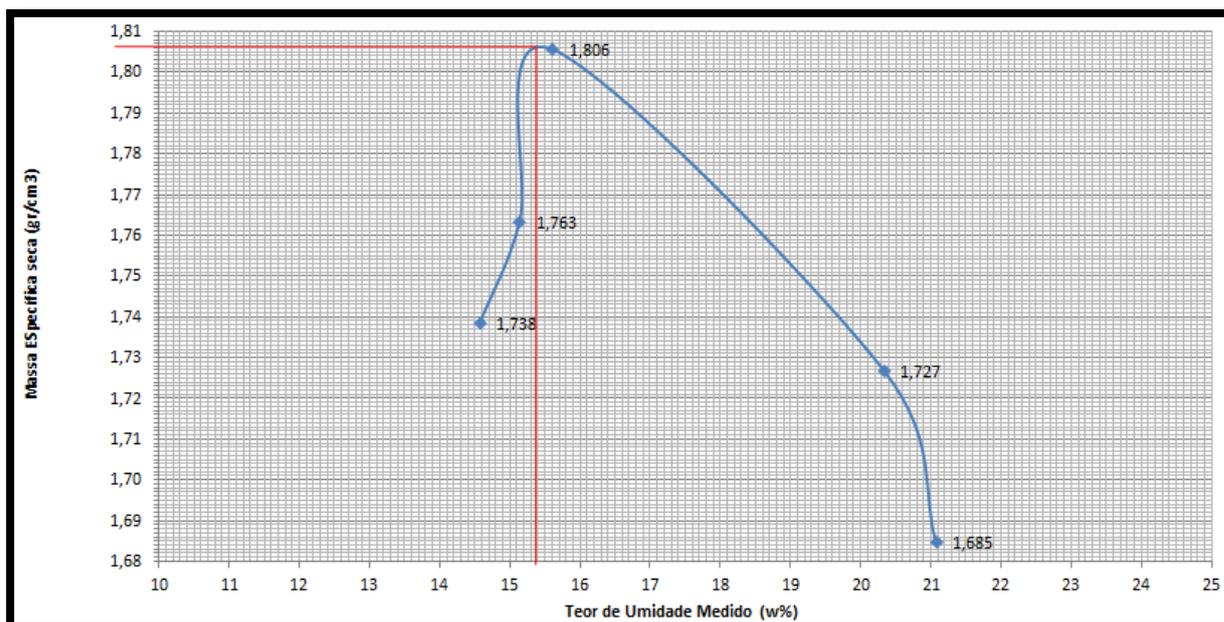
Tabela 13 – Teor de umidade e massa específica dos corpos-de-prova

Amostra	teor de umidade (%)	Massa esp. seca compct (g/cm ³)
Corpo-de-prova 1	14,57	1,738
Corpo-de-prova 2	15,14	1,763
Corpo-de-prova 3	15,61	1,806
Corpo-de-prova 4	20,33	1,727
Corpo-de-prova 5	21,07	1,685

Fonte: Elaboração Própria

Com estes valores do teor de umidade e da massa específica do corpo-de-prova, traçou-se a curva de compactação para a obtenção da umidade ótima, mostrada no gráfico 3.

Gráfico 3 – Curva de Compactação



Fonte: Elaboração Própria

A partir da curva de compactação, utilizando energia normal de compactação, foi possível determinar a umidade ótima de compactação $w = 15,4\%$ e a massa específica aparente seca correspondente $\rho = 1,807 \text{ g/cm}^3$. Este valor encontrado é maior que a massa específica aparente seca determinada através do ensaio de frasco de areia que é de $\rho = 1,732 \text{ g/cm}^3$ para o teste 1 e $\rho = 1,317 \text{ g/cm}^3$ para o segundo teste realizado.

Também foi determinada para a amostra, para fins comparativos, a curva de compactação, mostrada gráfico 4, utilizando a energia intermediária de compactação. A tabela 17 apresenta os valores de teor de umidade e massa específica correspondente.

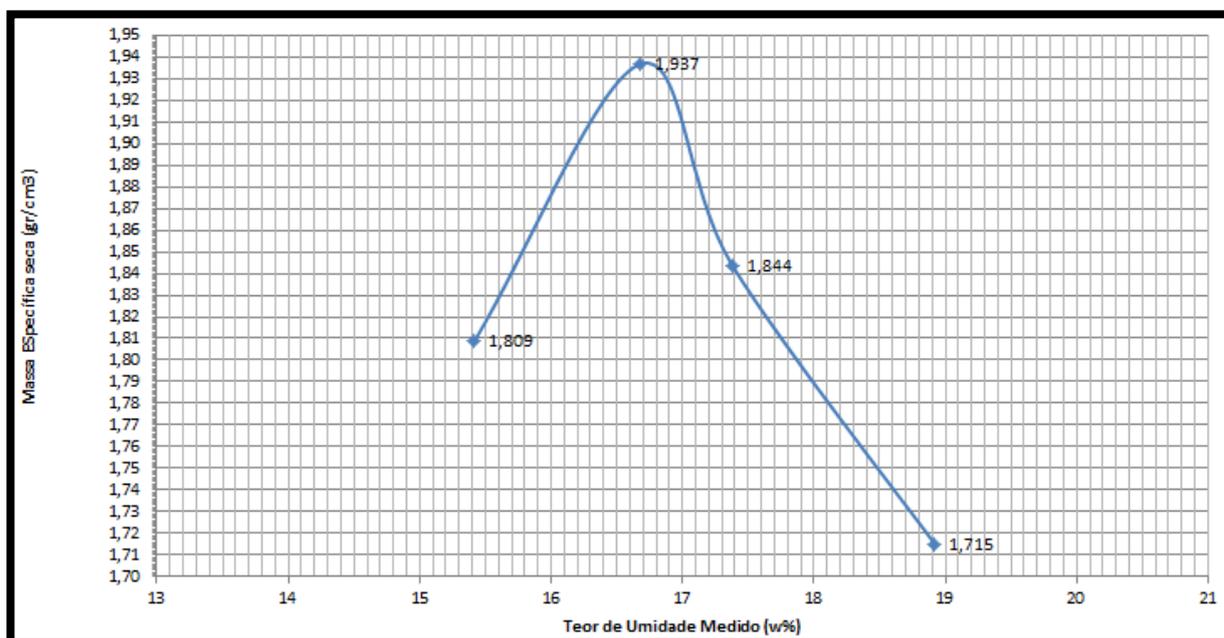
Tabela 14 – Teor de umidade e massa específica dos corpos-de-prova para energia intermediária de compactação

Amostra	umidade (%)	ρ (g/cm ³)
corpo de prova 1	15,41	1,809
corpo de prova 2	16,68	1,937
corpo de prova 3	17,38	1,844
corpo de prova 4	18,92	1,715

Fonte: Elaboração Própria

Com estes valores do teor de umidade e da massa específica do corpo-de-prova, traçou-se a curva de compactação para energia intermediária, mostrada no gráfico 4.

Gráfico 4 – Curva de Compactação para energia intermediária



Fonte: Elaboração Própria

A análise do gráfico permite observar que utilizando a energia intermediária de compactação, há um acréscimo nos valores da massa específica compactada. Esta comparação foi feita, visando o ensaio de CBR e os possíveis aumentos nos

resultados deste ensaio, visto que o CBR é um parâmetro necessário para aplicar nos métodos de dimensionamento. Este aumento da massa específica levaria ao aumento do CBR e isto acarretaria num aumento da resistência do solo utilizado como superfície de rolamento.

Pelo gráfico, a máxima massa específica seca é $\rho = 1,934 \text{ g/cm}^3$, maior que a massa específica seca determinada em campo, que é de $\rho = 1,732 \text{ g/cm}^3$, e o teor de umidade ótimo é de $w = 16,7\%$. Se compararmos com os outros valores encontrados para a massa específica e teor de umidade, veremos que há um acréscimo na máxima específica seca, pois o valor para a energia de compactação normal é $\rho = 1,807 \text{ g/cm}^3$ e $w = 15,4\%$.

4.6 Ensaio de Expansão

Nesta seção serão mostrados os resultados para os diferentes ensaios de expansão realizados, para os corpos de provas moldados com diferentes energias de compactação e umidades.

4.7.1 Ensaio de Expansão dos corpos de prova moldados para energia normal de compactação

Na tabela 15 são mostrados os resultados finais do ensaio de expansão realizado nos corpos de prova moldados com energia normal de compactação.

Tabela 15 – Valores do Ensaio de Expansão para energia normal de compactação

Ensaio de Expansão Energia Normal de Compactação			
Corpo de Prova	Massa esp. seca compacta (g/cm ³)	teor de umidade medido (%)	leitura final extensometro (mm)
1	1,738	14,57	10,33
2	1,763	15,14	3,45
3	1,806	15,61	0,13
4	1,727	20,33	10,63
5	1,685	21,07	-

Fonte: Elaboração Própria

Os resultados do ensaio de expansão realizado nos corpos de prova moldados com energia normal de compactação mostram que, para uma massa específica compactada pertencente ao ramo seco, tiveram uma significativa expansão. Já o corpo de prova moldado próximo ao teor de umidade ótimo, manteve uma baixa expansão. O corpo de prova 5, foi moldado apenas para determinação de sua massa específica compactada tendo um alto teor de umidade, não sendo submetido ao ensaio de expansão e nem ao ensaio de CBR.

4.7.2 Ensaio de Expansão dos corpos de prova moldados para energia normal de compactação e na umidade ótima

Na tabela 16 são mostrados os resultados finais do ensaio de expansão realizado nos corpos de prova moldados com energia intermediária de compactação.

Tabela 16 – Valores do Ensaio de Expansão para energia normal de compactação e umidade ótima

Ensaio de Expansão Energia Normal de Compactação			
Corpo de Prova	Massa esp. seca compacta (g/cm³)	teor de umidade medido (%)	leitura final extensometro (mm)
1	1,801	15,33	0,24
2	1,805	15,38	0,21
3	1,799	15,51	0,19

Fonte: Elaboração Própria

A tabela mostra os resultados do ensaio de expansão realizado nos corpos de prova moldados com energia normal de compactação e próximos da umidade ótima. As expansões dos corpos de provas são muito próximas, pois estão próximas da massa específica compactada máxima.

4.7.3 Ensaio de Expansão dos corpos de prova moldados para energia intermediária de compactação

Na tabela 17 são mostrados os resultados finais do ensaio de expansão realizado nos corpos de prova moldados com energia intermediária de compactação.

Tabela 17 – Valores do Ensaio de Expansão para energia intermediária

Ensaio de Expansão Energia Intermediária de Compactação			
Corpo de Prova	Massa esp. seca compacta (g/cm ³)	teor de umidade medido (%)	leitura final extensometro (mm)
1	1,809	15,41	0,023
2	1,937	16,68	0,012
3	1,844	17,38	0,018
4	1,715	18,92	0,009

Fonte: Elaboração Própria

Os resultados do ensaio de expansão realizado nos corpos de prova moldados com energia intermediária de compactação mostram que para uma massa específica compactada seca com um teor de umidade abaixo do ótimo, portanto ainda pertencente ao ramo seco, a sua expansão foi maior do que nos corpos de prova moldados já no ramo úmido.

4.8 - Índice de Suporte de Califórnia

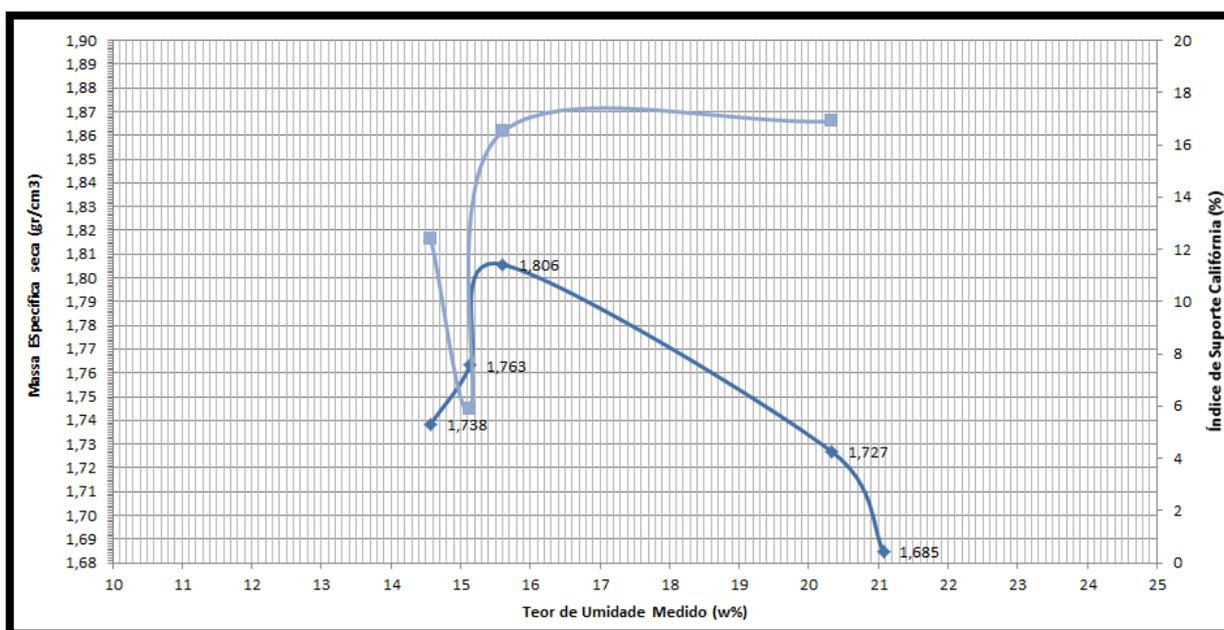
Conforme foi dito, a realização deste ensaio foi estabelecida para os dois tipos de energias de compactação, tanto para energia normal quanto para energia intermediária. Na tabela 18 são apresentados os valores do ISC para cada corpo de prova, moldado com a energia normal de compactação e no gráfico 5 é feito um comparativo do valor do ISC com a curva de compactação.

Tabela 18 – Valores do Índice de Suporte Califórnia para Energia Normal de Compactação

Corpos-de-prova	1	2	3	4	5
Massa esp. seca compacta (g/cm³)	1,738	1,763	1,806	1,727	1,685
teor de umidade medido (%)	14,57	15,14	15,61	20,33	21,07
Valores de ISC (%)	12,42	5,9	16,52	16,9	-

Fonte: Elaboração Própria

Gráfico 5 – Comparativo entre o Índice de Suporte Califórnia e a Curva de Compactação



Fonte: Elaboração Própria

Ao traçar o gráfico comparativo de valores podemos observar que as duas curvas mantem certa tendência, a exceção do segundo valor de ISC que causa um declínio na curva. Uma hipótese levantada para o declínio ocorrido na curva seria que durante a realização do ensaio de compactação, pode ter havido um acúmulo de finos na região central do corpo-de-prova, facilitando a penetração do pistão durante a realização do ensaio de CBR. Pois, a amostra de solo é composta de muito cascalho e a boa distribuição ou o acúmulo dos agregados em determinada região do molde, pode influenciar no resultado do CBR.

Tendo definido o teor de umidade ótima e a máxima massa específica seca compactada, foi possível obter os valores do ISC, expressos na tabela 19, para os três corpos-de-prova moldados na umidade ótima, com energia normal de compactação..

Tabela 19 – Valores do Índice de Suporte Califórnia para Corpos-de-prova moldados na umidade ótima.

Corpo-de-prova	1	2	3
Massa esp. seca compacta (g/cm ³)	1,801	1,805	1,799
teor de umidade medido (%)	15,33	15,38	15,51
Valores de ISC (%)	11,47	9,75	8,7
Valores médio ISC (%) adotado	9,97		

Fonte: Elaboração Própria

Conforme tabela 19 são fornecidos os valores do ISC para os corpos-de-prova moldados com energia normal de compactação e próximos da umidade ótima, que serão utilizados nos métodos de dimensionamentos. Como são três valores, utilizaremos para o dimensionamento a média entre os ISC, que é 9,97. Segundo Skorseth e Selim (2000), um solo com este valor de ISC, que é utilizado como camada de revestimento, é considerado fraco e de mau desempenho.

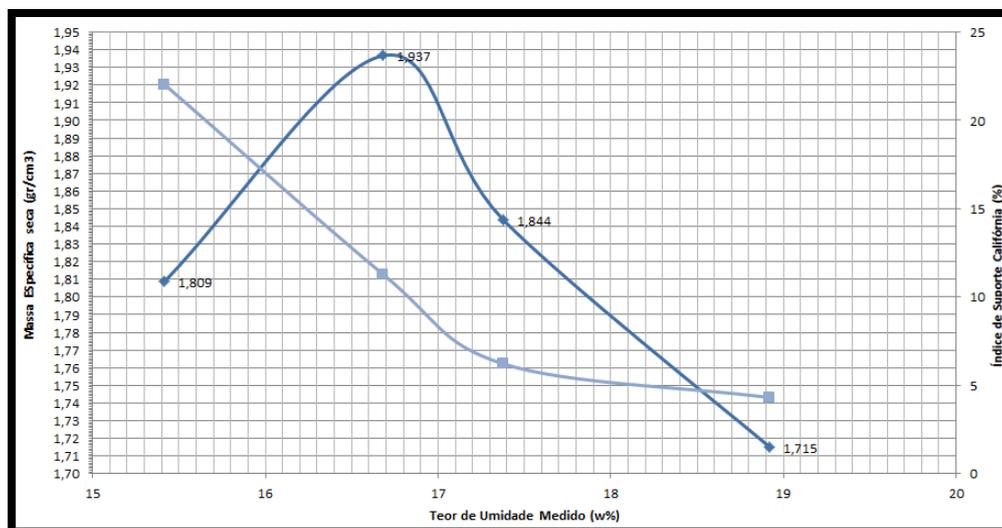
Na tabela 20 são apresentados os valores do ISC para cada corpo de prova, moldado com a energia intermediária de compactação e no gráfico 6 é feito um comparativo do valor do ISC com a curva de compactação.

Tabela 20 – Valores do Índice de Suporte Califórnia para Energia Intermediária de Compactação

Corpos-de-prova	1	2	3	4
Massa esp. seca compacta (g/cm ³)	1,809	1,937	1,844	1,715
teor de umidade medido (%)	15,41	16,68	17,38	18,92
Valores de ISC (%)	22,05	11,27	6,22	4,31

Fonte: Elaboração Própria

Gráfico 6 – Comparativo entre o Índice de Suporte Califórnia e a Curva de Compactação



Fonte: Elaboração Própria

Analisando o gráfico comparativo para a energia intermediária de compactação podemos observar que as duas curvas não apresentam uma similaridade. A curva de compactação apresenta uma curvatura definida, com seu ponto máximo. Já a curva do ISC, apresenta apenas um trecho em declínio. Isto pode ter ocorrido, se os valores de umidade utilizados para a moldagem dos corpos de prova não representam a curva de compactação real. Pode haver pontos contidos entre as umidades de 15% e 16,5% que ainda estejam no ramo seco que não foram representados no gráfico. Esse fato explicaria os valores de ISC estarem em declínio constante, uma vez que os valores apresentados na curva de compactação podem estar contidos no ramo úmido. O valor do ISC adotado para aplicação no dimensionamento do pavimento é o máximo valor encontrado $ISC = 22,05\%$. Segundo Skorseth e Selim (2000), um solo com este valor de ISC, que é utilizado como camada de revestimento, é considerado bom e pode ter um desempenho considerado aceitável.

4.9 Dimensionamento do Pavimento

Neste item, serão apresentados os cálculos do dimensionamento do pavimento, utilizando os quatro métodos definidos na metodologia, no item 3.4.

4.9.1 Dimensionamento pelo método de Webster & Alford (1978)

Este método fixa a carga por eixo padrão em 80 KN e a profundidade da trilha de roda em 7,5 cm.

Será considerado para o cálculo o valor do CBR = 9,97% que é a média de valores para energia de compactação Normal e CBR = 22,05% que é o máximo valor obtido para energia de compactação intermediária.

Será considerado para o cálculo um valor do número $N = 4,95 \times 10^5$ que representa o ano de 2015 e $N = 8,02 \times 10^5$ que representa o possível aumento de tráfego previsto para o ano de 2019.

- cálculo da espessura do pavimento para $N = 4,95 \times 10^5$ e $CBR = 9,97\%$

O cálculo detalhado da espessura do revestimento utiliza a equação 2, e será feita apenas uma vez, para os outros casos, muda-se apenas os valores de entradas, seguindo o mesmo procedimento.

$$h_0 = \frac{0,19 \times \log(N)}{(CBR)^{0,63}}$$

$$h_0 = \frac{0,19 \times \log(495000)}{(9,97)^{0,63}}$$

$$h_0 = \frac{0,19 \times 5,69}{4,25}$$

$$h_0 = \underline{26} \text{ cm}$$

- cálculo da espessura do pavimento para N = 4,95x10E5 e CBR = 22,05%

$$h_0 = \frac{0,19 \times \log(495000)}{(22,05)^{0,63}}$$

$$h_0 = \underline{16} \text{ cm}$$

- cálculo da espessura do pavimento para N = 8,02x10E5 e CBR = 9,97%

$$h_0 = \frac{0,19 \times \log(802000)}{(9,97)^{0,63}}$$

$$h_0 = \underline{27} \text{ cm}$$

- cálculo da espessura do pavimento para N = 8,02x10E5 e CBR = 22,05%

$$h_0 = \frac{0,19 \times \log(802000)}{(22,05)^{0,63}}$$

$$h_0 = \underline{16} \text{ cm}$$

Os resultados obtidos para este método de dimensionamento, não correspondem com o encontrado em campo, onde a camada de revestimento possuía espessura variando de 8 a 10 cm. Para a primeira hipótese de dimensionamento, a espessura da camada de revestimento encontrada, $h_0 = 26$ cm, mostra-se superior que a espessura medida em campo. O mesmo ocorre para a segunda hipótese de cálculo, onde $h_0 = 16$ cm. Na terceira e quarta hipótese, os valores encontrados para h_0 , 27 cm e 16 cm, respectivamente, também são superiores ao encontrado em campo. Ou seja, pelo método de dimensionamento Webster & Alford (1978), a rodovia não atende a espessura mínima requisitada.

4.9.2 Dimensionamento pelo método de Giroud & Noray (1981)

Este método, diferente do primeiro analisado, não fixa a carga por eixo padrão em 80 KN e a profundidade da trilha de roda em 7,5 cm, ele aceita diferentes valores para estes parâmetros.

Este método também irá considerar os dois valores possíveis para o CBR e o número N.

A profundidade da trilha de roda a ser utilizada terá como base, valores estipulados na avaliação de serventia da rodovia. Durante a inspeção da rodovia, o defeito trilha de roda teve ocorrência de baixa severidade, ou seja, a sua profundidade não ultrapassava os 3 cm. Este valor será usado como parâmetro neste dimensionamento. O método leva em consideração a resistência não drenada do solo, definida pela equação 3.

- cálculo da espessura do pavimento para $N = 4,95 \times 10^5$ e $CBR = 9,97\%$ $p = 80 \text{ kN}$

O cálculo detalhado da espessura do revestimento utiliza a equação 4, e será feita apenas uma vez, para os outros casos, muda-se apenas os valores de entradas, seguindo o mesmo procedimento.

Sendo:

$$C_u = 30 \times \text{CBR}$$

A expressão para o dimensionamento da espessura da camada é:

$$h_0 = \frac{1,6193 \times \log(N) + 6,3964 \times \log(p) - (3,7892 \times r) - 11,8887}{(30 \times \text{CBR})^{0,63}}$$

$$h_0 = \frac{1,6193 \times \log(495000) + 6,3964 \times \log(80) - (3,7892 \times 0,03) - 11,8887}{(30 \times 9,97)^{0,63}}$$

$$h_0 = \underline{26} \text{ cm}$$

- cálculo da espessura do pavimento para N = 4,95x10E5 e CBR = 22,05% p=80KN

$$h_0 = \frac{1,6193 \times \log(495000) + 6,3964 \times \log(80) - (3,7892 \times 0,03) - 11,8887}{(30 \times 22,05)^{0,63}}$$

$$h_0 = \underline{16} \text{ cm}$$

- cálculo da espessura do pavimento para N = 8,02x10E5 e CBR = 9,97% e p= 80KN

$$h_0 = \frac{1,6193 \times \log(802000) + 6,3964 \times \log(80) - (3,7892 \times 0,03) - 11,8887}{(30 \times 9,97)^{0,63}}$$

$$h_0 = \underline{27} \text{ cm}$$

- cálculo da espessura do pavimento para N = 8,02x10E5 e CBR = 22,05% p=80KN

$$h_0 = \frac{1,6193 \times \log(802000) + 6,3964 \times \log(80) - (3,7892 \times 0,03) - 11,8887}{(30 \times 22,05)^{0,63}}$$

$$h_0 = \underline{17} \text{ cm}$$

Para este método, os valores de espessura da camada de revestimento não correspondem com o encontrado em campo, onde a camada de revestimento possuía espessura variando de 8 a 10 cm. A primeira hipótese de dimensionamento, resulta numa espessura da camada de revestimento, $h_0 = 26$ cm, onde mostra-se superior que a espessura medida em campo. O mesmo ocorre para a segunda hipótese de cálculo, onde $h_0 = 16$ cm. Na terceira e quarta hipótese, os valores encontrados para h_0 , 27 cm e 17 cm, respectivamente, também são superiores ao encontrado em campo. Ou seja, assim como no método anterior, pelo método de dimensionamento Giroud & Noray (1981), a rodovia não atende a espessura mínima requisitada.

4.9.3 Dimensionamento pelo método de Skorseth e Selim (2000)

A utilização deste método depende da definição de dois parâmetros. Conforme dados retirados do anexo A, adota-se para este método de dimensionamento, o Volume de Veículos Pesados (VVP):

Para 2015 → VVP = 40 veículos

Para 2019 → VVP = 43 veículos

Os valores de CBR são 9,97% para energia normal de compactação e 22,05% para energia intermediária de compactação.

Com estes dois parâmetros definidos e com o auxílio do Quadro 2, define-se a espessura da camada de revestimento:

Para $25 < VVP \leq 50$ e $3\% < CBR \leq 10\%$ → $h_0 = \underline{29}$ cm

Para $25 < VVP \leq 50$ e $CBR > 10\%$ → $h_0 = \underline{21,5}$ cm

Os resultados obtidos para este método de dimensionamento, também não correspondem com o encontrado em campo, onde a espessura da camada de revestimento varia de 8 a 10 cm. Para a primeira hipótese de dimensionamento, a espessura da camada de revestimento encontrada é de $h_0 = 29$ cm, e mostra-se superior que a espessura medida em campo. O mesmo ocorre para a segunda hipótese de cálculo, onde $h_0 = 21,5$ cm. Ou seja, pelo método de dimensionamento Skorseth e Selim (2000) I, a rodovia não atende a espessura mínima requisitada.

4.9.4 Dimensionamento pelo método de Skorseth e Selim II (2000)

A utilização deste método depende da definição de três parâmetros, conforme descrito na metodologia. O nível de tráfego foi definido pelos dados retirados do anexo A, adota-se para este método de dimensionamento, um nível de tráfego alto, pois $N > 10E5$.

A qualidade do solo depende do valor do CBR adotado:

- Solo é considerado Fraco $\rightarrow 5\% < \text{CBR} \leq 10\%$ (valor de CBR para energia normal de compactação).

- Solo é considerado Bom $\rightarrow 10\% < \text{CBR} \leq 20\%$ (valor de CBR para energia intermediária de compactação).

Para definir a região climática, foi estabelecido que seriam utilizadas as regiões 1, clima úmido que representa o que acontece no período de inverno do Rio Grande do Sul, e a 4, clima seco, que representa o período de verão.

Com estes parâmetros definidos e com o auxílio do Quadro 2, define-se a espessura da camada de revestimento:

Nível de Trafego Alto, Solo Fraco e Região 1 \rightarrow Não é recomendado a utilização de uma estrada de terra, deve-se projetar um pavimento mais rígido.

Nível de Trafego Alto, Solo Bom e Região 1 $\rightarrow h_0 = \underline{28}$ cm

Nível de Trafego Alto, Solo Fraco e Região 4 \rightarrow Não é recomendado a utilização de uma estrada de terra, deve-se projetar um pavimento mais rígido.

Nível de Trafego Alto, Solo Bom e Região 4 $\rightarrow h_0 = \underline{26}$ cm

Os resultados obtidos para este método de dimensionamento são um pouco diferentes dos obtidos com os métodos anteriores, pois para a primeira e a terceira hipóteses, onde o solo é considerado fraco, não se recomenda a utilização de uma rodovia não pavimentada, deve-se portanto dimensionar um pavimento mais rígido ou mudar o CBR do solo. Já para a segunda e quarta hipóteses, onde o solo é considerado bom, pois leva em consideração um valor de CBR mais elevado, obtido através da energia intermediária de compactação, os valores de espessura da camada de revestimento são superiores que o encontrado em campo, onde a camada de revestimento possuía espessura variando de 8 a 10 cm. Vale ressaltar também, que estes valores de espessura encontrados, 28 cm e 26 cm, respectivamente, equivalem-se aos valores encontrados nos métodos anteriores

quando as hipóteses assumiam valores para o CBR, utilizando a energia normal de compactação. De modo geral, pelo método de dimensionamento Skorseth e Selim (2000) II, a rodovia não atende a espessura mínima requisitada.

Tabela 21 – Resumo dos Resultados Encontrados nos Dimensionamentos da Rodovia

Espessuras da camada final de revestimento da ERS 566			
Método Dimens.	Nível de Tráfego	Valor do CBR (%)	Espessura Revest. (cm)
Webster & Alford	N = 4,95x10E5	9,97	26
	N = 4,95x10E5	22,05	16
	N = 8,02x10E5	9,97	27
	N = 8,02x10E5	22,05	16
Giroud & Noray	N = 4,95x10E5	9,97	26
	N = 4,95x10E5	22,05	16
	N = 8,02x10E5	9,97	27
	N = 8,02x10E5	22,05	17
Skorseth e Selim I	25 < VVP ≤ 50	3 < CBR ≤ 10	29
	25 < VVP ≤ 50	CBR > 10	21,5
Skorseth e Selim II	Tráfego Alto	Solo Fraco	Não Recomendado
	Tráfego Alto	Solo Bom	28
	Tráfego Alto	Solo Fraco	Não Recomendado
	Tráfego Alto	Solo Bom	26

Fonte: Elaboração Própria

A tabela 21 fornece um resumo dos valores de espessuras da camada final de revestimento primário oriundos da aplicação dos diferentes métodos de dimensionamento para estradas de terra, determinados para a metodologia deste trabalho. Ao analisarmos os resultados obtidos neste capítulo a primeira constatação a ser feita é que todas as espessuras de revestimento finais encontradas depois da

aplicação dos métodos são maiores do que a espessura do pavimento encontrada *in situ*.

A massa específica encontrada em campo, corresponde a massa específica encontrada em laboratório quando utiliza a energia normal de compactação, isto significa, que para um melhor desempenho do pavimento a espessura da camada de revestimento verificada em campo, deveria ser próxima das encontradas pela aplicação do dimensionamento. Em campo, constatou-se que a espessura da camada de revestimento não era superior a 10 cm, em muitos casos encontrou-se 8,5 cm.

Tomando por base, que os valores encontrados são 26 cm e 27cm para o método de Webster & Alford (1978); 26 cm e 25 cm para o método de Giroud & Noray (1981); Skorseth e Selim (2000) resultou e 29 cm; Skorseth e Selim (2000) II não recomenda o uso de um pavimento com suporte fraco. Podemos perceber que os resultados dos métodos tem uma discrepância dos valores encontrados na rodovia. Essa diferença dos valores pode resultar num pavimento que não possui um desempenho aceitável, contendo falhas estruturais, o que condiz com a avaliação de serventia do trecho analisado, cujo é considerado POBRE.

Uma observação sobre o método de Giroud & Noray (1981) é que os autores não recomendam a utilização deste método para valores do número N maiores que $10E4$. Porém, observou-se que os valores encontrados utilizando este método são muito próximos dos valores encontrados utilizando os demais métodos.

Os métodos de dimensionamento também foram utilizados para os valores de CBR encontrados utilizando a energia intermediária de compactação, para constatar se ocorreria uma mudança significativa nas espessuras da camada de revestimento. Isto pôde-se constatar, uma vez que as espessuras encontradas utilizando um CBR mais alto, chegam a ser 10 cm menores que as calculadas para o CBR normal. Espessuras de revestimento menores, acarretam em volumes de materiais menores, em menor gasto com transporte deste material. Ainda, se a camada for compactada por uma energia maior, acarretaria no aumento do peso específico compactado, ocasionando uma maior resistência da camada de solo.

Outro aspecto que observado, é a proximidade dos resultados encontrados, podendo-se chegar à conclusão de que os métodos de dimensionamentos são confiáveis.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo de aplicabilidade de métodos de dimensionamento e avaliação condicional de serventia para rodovias não pavimentadas da região da fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul.

Evidenciou-se, ao longo do trabalho, a importância do conhecimento dos defeitos de severidade encontrados em rodovias não pavimentadas, para uma melhor análise das condições dos mesmos, e determinação dos trechos mais críticos.

A ERS 566 foi a rodovia estudada ao longo do trabalho, apresentando para o trecho analisado, uma avaliação da condição de serventia, utilizando o método de determinação do Índice de Condição da Rodovia Não Pavimentada, proposto por Baesso e Gonçalves (2003), considerada pobre, retratando a realidade encontrada no trecho, que não oferece condições satisfatórias de trafegabilidade para os usuários, embora esta rodovia seja muito utilizada pelos moradores e produtores rurais para o escoamento da safra agrícola, pois não possuem outra alternativa.

A determinação do Índice de Condição da Rodovia Não pavimentada pode trazer uma alternativa para representar o real estado de conservação das rodovias não pavimentadas. Isso ocorre, pois a metodologia está baseada em um método qualitativo e quantitativo, uma vez que leva em consideração a ocorrência simultânea das patologias por unidade simples.

A aplicação dos métodos de dimensionamento para estradas de terra compunha um dos objetivos gerais e ao analisarmos os resultados obtidos neste trabalho, uma conclusão que pôde ser feita, que a massa específica encontrada em campo, corresponde a massa específica encontrada em laboratório quando utilizada a energia normal de compactação e que todas as espessuras para a camada de revestimento, encontradas depois da aplicação dos métodos, resultaram em valores maiores do que a espessura do pavimento encontrada em campo. Isto significaria que para um melhor desempenho do pavimento a espessura da camada de revestimento verificada em campo, deveria ser próxima das encontradas pela aplicação do dimensionamento. Em campo, constatou-se que a espessura da camada de revestimento não era superior a 10 cm, em muitos casos encontrou-se 8,5 cm.

No meio rural, os pavimentos acabam não recebendo um tratamento superficial, muitas vezes, o solo que tem função estrutural de servir como camada de base atua como camada de rolamento, sendo que ele não foi dimensionado para cumprir esta função estrutural, o que ocasiona o aparecimento de defeitos que prejudicam a conservação da via, ocasionando com que se faça um serviço de manutenção antes do previsto em projeto. Para a cidade de Alegrete, assim como em outros locais do Brasil conforme literatura pesquisada, nota-se a falta de planejamento dos Órgãos responsáveis pelos serviços de manutenção e conservação das estradas de terra, ocasionando o agravamento dos defeitos neste tipo de rodovia.

Além disso, se a Prefeitura for a responsável por essa manutenção, a falta de verba faz com que a mesma não possua um programa de manutenção, ou seja, uma política de investimentos de manutenção preventiva, conhecida por Gerência de Pavimentos, e isto faz com que o pavimento apresente um número elevado de defeitos e causando danos que podem vir a se tornar irreversíveis e que poderiam ser prevenidos. Esses problemas que surgem nas rodovias não pavimentadas podem ser decorrentes de uma construção inadequada da via, da má drenagem da superfície de rolamento, dos próprios remendos que são realizados esporadicamente, do excesso de carga transportado pelos caminhões.

De uma maneira geral, a pesquisa contribui com estudos de levantamento para caracterização dos defeitos em rodovias não pavimentadas, e como elaborar um planejamento quanto à manutenção das vias, para que o pavimento proporcione boas condições de trafegabilidade, além de segurança e redução de gastos aos usuários das vias.

6 SUGESTÕES

Na presente pesquisa, algumas questões não foram respondidas e necessitam de estudos adicionais. Como visto o planejamento da manutenção e recuperação das rodovias não pavimentadas sendo feito de acordo com a avaliação de serventia e definindo o valor do ICRNP, juntamente com a aplicação de métodos de dimensionamentos para cada estrada de terra, podem ser de fundamental importância, pois fornecem algumas informações que seriam importantes para o estabelecimento de prioridades de investimentos na rodovia. Sendo assim, como sugestões para pesquisas futuras, podemos citar:

- Aplicação do método de dimensionamento SD - LTAP, que leva em consideração o módulo resiliente do solo e as tensões que atuam no solo devido ao tráfego, representando com mais confiabilidade as condições reais da rodovia, e comparar o resultado com os outros métodos propostos.
- Aplicar o modelo de Avaliação de Serventia das Rodovias Não Pavimentadas para outras estradas de terra da região.
- Aplicar os métodos de dimensionamento de estradas de terra, para tipos de materiais considerados ideais para camada final do revestimento primário de rodovias não pavimentadas e comparar os resultados da espessura do pavimento com a espessura encontrada em campo.

REFERÊNCIAS

- ABNT – 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 6508:** Grãos de Solo que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da Massa Específica. 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 7181:** Solo – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 1986.
- _____. **NBR 7185:** Solo – Determinação da Massa Específica Aparente, “IN SITU”, com emprego do Frasco de Areia. Rio de Janeiro, 1986.
- _____. **NBR 9895:** Solo – Índice de Suporte Califórnia. Rio de Janeiro, 1987.
- BAESSO, D. P.; GONÇALVES, F.L.R. **Estradas Rurais:** Técnicas Adequadas de Manutenção. Florianópolis. DER, 2003.
- BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica:** materiais, projetos e restauração. 1ª Edição, São Paulo:Editora Oficina de Textos, 2007.
- BALDAN – Maquinas Agrícolas e Implementos Agrícolas. Escarificador. Disponível em: <<http://www.baldan.com.br/produto/aeth-arado-escarificador-lificador-tubular-hidraulico.html>>. Acesso em: 10 janeiro 2015.
- BAPTISTA, C. N. **Pavimentação:** Tomo I. 4ª Edição, Porto Alegre:Editora Globo, 1980.
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações, volume 1:** fundamentos. 6ª Edição ver. E ampl, Rio de Janeiro: Editora LTC, 1988.
- CARDANLOG – CardanLogística de Componentes e Sistemas. Trator Agrícola. Disponível em: <<http://cardanlog.com.br/tratores-agricolas/>>. Acesso em: 10 janeiro 2015.
- DER. **Terraplenagem: Revestimento Primário.** Curitiba, Paraná. 2005. 9p.
- DER. **Revestimento Primário: Especificação Técnica.** São Paulo, São Paulo. 2006. 16p.
- DNIT. **Manual de Pavimentação.** Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2006. 274p.

DUQUE NETO, F. da S. **Proposição de Metodologia para Escolha de Solo e Dosagem de Antipó com Emulsão de Xisto**. 2004. 293 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

EMPAER – EMPRESA DE ASSISTENCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Adequação das Estradas Rurais**. Mato Grosso. 200-?. Disponível em: <<http://www.empaer.mt.gov.br/tecnologias/exibir.asp?cod=7/>>. Acesso em: 15 Dezembro 2014.

FERREIRA, F. M. **Uma Aplicação Comparativa de Métodos de Avaliação das Condições Superficiais de Estrada não-pavimentada**. 2004. 248 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2004.

GIROUD, J. P.; NOIRAY, L. **Geotextile-Reinforced Unpaved Road Design**. J. Of Geotech. Engng.Div., ASCE, Vol. 107, GT9, p. 1233 – 1254, 1981.

GUEDES, S.B.; COUTINHO, R.Q.; FONSECA, A.V. Método de Dimensionamento da Espessura do Revestimento das Estradas de Terra. **Revista Geotecnia**. Lisboa, Portugal, n 131, p. 113 – 134, julho 2014.

INPAL – Indústria e Comércio. Carro-Tanque Distribuidor de Água. Disponível em: <<http://www.inpal-to.com.br/portal/dlc-distribuidor-acoplado-a-caminhao//>>. Acesso em: 10 janeiro 2015.

LAFIETE – Locação de Máquinas. Caminhão Basculante. Disponível em: <<http://www.lafietelocacao.com.br/pt/equipamentos/caminhao-basculante//>>. Acesso em: 10 janeiro 2015.

LAVRALE - AGRITECH Lavrale S.A. Grade de Discos. Disponível em: <http://www.lavrale.com.br/lavrale/website/website.nsf/PROD?ReadForm&SECAO=PRODUTOS&IDPRODUTO=19075EA67B2EAC98032575900071B2FE&CHAVEPRODUTO=GRADE_DISCO_GVU_GXU/>. Acesso em: 10 janeiro 2015.

LOCAGYN – Máquinas e Equipamentos. Rolo Compactador Liso Vibratório. Disponível em: <<http://www.locagyn.com.br/maquinas/rolos-compactadores/rolo-compactador-jcb-vm-115/>>. Acesso em: 10 janeiro 2015.

NERVIS, L. O. **Estudo de Revestimento Primário para utilização em estradas vicinais da região de Santana do Livramento – RS**. 2010. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

ODA, S. **Caracterização de uma Rede Municipal de Estradas Não-Pavimentadas**. 1995. 230 f. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

PAIGE-GREEN, P. **Draft TRH 20 – The Structural Design, Construction and Maintenance of Unpaved Roads**. Departamento f TransportofRepublic South Africa. Pretória, 2009.

PALMEIRA, E. M. **Manual Técnico Geossintético BIDIM: Estradas de Acesso**. 1ª Edição. Brasília, DF, 201-?. 42 p.

RS 176 – Rio Gande do Sul. Disponível em: <<http://maps.google.com.br/>>. Acesso em: 20 Dezembro. 2014

RS 566 – Rio Gande do Sul. Disponível em: <<http://maps.google.com.br/>>. Acesso em: 20 Dezembro. 2014

SKORSETH, K.; SELIM, A. A. **Gravel Roads: Maintenance and Design Manual**. United States Dept. of Transportation, Federal Highway Administration, 2000. 104 p.

SNV – Sistema Nacional de Viação. **Relatório da Rede Rodoviária sob Jurisdição do Ministério dos Transportes**. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/snv-2014-1/snv-2014/?searchterm=SNV%202014/>>. Acessoem: 10 Outubro 2014.

Texas Departamento f Transportation. **Determining The Bar Linear Shrinkage of Soil**. Texas, USA. 1999. 3p.

VOLVO – Construction Equipment. Escavadeira. Disponível em: <<http://www.volvoce.com/constructionequipment/brazil/br-pt/products/excavators/crawlerexcavators/EC700C/Pages/featuresandbenefits.aspx/>>. Acesso em: 10 janeiro 2015.

VOLVO – Construction Equipment. Motoniveladora. Disponível em: <<http://www.volvoce.com/constructionequipment/brazil/br-pt/products/motorgraders/Pages/introduction.aspx/>>. Acesso em: 10 janeiro 2015.

WEBSTER, S. L.; ALFORD, S. J. **Investigation of Construction Concepts for Pavements Across Soft Ground**. Tech. Report S-77-1, USA Army Eng. Waterways Exp. Stn., Vicksburg, Mississippi. 1978.

Anexo A – Tabela com o volume de tráfego da rodovia ERS 566

A.3 - PROJEÇÃO DE TRÁFEGO E CÁLCULO DO NÚMERO N DE EQUIVALENTES PASSAGENS DO EIXO PADRÃO.

As contagens de tráfego foram realizadas pela EET/SPR/DAER, os resultados apresentados na planilha logo a seguir.

ANO	PASSEIO	COLETIVO	CARGA	TOTAL	N X 10 ³	N ACUM X 10 ⁴
1997	82	2	31	146	56.612	
1998	85	2	31	118	57.457	
1999	88	2	32	122	58.316	
2000	91	2	32	126	59.187	
2001	95	2	33	130	60.071	
2002	98	2	33	134	60.969	
2003	102	2	34	138	61.880	
2004	105	2	34	142	62.804	
2005	109	2	35	146	63.742	
2006	113	2	35	151	64.695	
2007	117	3	36	156	65.662	
2008	121	3	36	160	66.643	
2009	126	3	37	165	67.639	6,76E+04
2010	130	3	38	171	68.649	1,36E+05
2011	135	3	38	176	69.675	2,06E+05
2012	140	3	39	182	70.716	2,77E+05
2013	145	3	39	187	71.773	3,48E+05
2014	150	3	40	193	72.846	4,21E+05
2015	156	3	40	199	73.935	4,95E+05
2016	161	3	41	206	75.040	5,70E+05
2017	167	3	42	212	76.161	6,46E+05
2018	173	3	42	219	77.300	7,24E+05
2019	180	3	43	226	78.455	8,02E+05

Anexo B – Ficha de Inspeção de Rodovia Não pavimentada

Ficha de Inspeção de Rodovia Não Pavimentada

Sigla Rodovia:	
Ramo:	
Seção:	
Unidade Simples (US):	

Data:		
Inspetor:		
Área da US:		m ²

Tipos de Defeitos	
81	Seção Transversal Imprópria (m)
82	Drenagem Inadequada (m)
83	Corrugações (m ²)
84	Excesso de Poeira
85	Buracos (unid.)
86	Trilha de Roda (m ²)
87	Perda de Agradados (m)

Croquis

Quantidade de Defeitos e Severidade

Tipo de Defeito		81	82	83	84	85	86	87
Quantidade e Severidade	B							
	M							
	A							

(B - Severidade Baixa / M - Severidade Média / A - Severidade Alta)

Cálculo do ICRNP

Tipo de Defeito	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Observações
Total do Valor Dedutível:				
Valor "q" =				
Valor do ICRNP		Classificação		