

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA FARROUPILHA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CURSO ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ESTUDO DAS CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS DE ESTRADAS RURAIS
DO MUNICÍPIO DE ALEGRETE/RS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

Vanderson Pacholski Migliorin

Alegrete, 2019

ESTUDO DAS CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS DE ESTRADAS RURAIS DO MUNICÍPIO DE ALEGRETE/RS

Vanderson Pacholski Migliorin

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IFFar, RS) e da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Agrícola

Orientador: Prof. Dr. Wilber Feliciano Chambi Tapahuasco

Alegrete, RS, Brasil
2019

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha
Universidade Federal do Pampa
Curso de Engenharia Agrícola


A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova o Trabalho de Conclusão de Curso

**ESTUDO DAS CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS DE ESTRADAS RURAIS
DO MUNICÍPIO DE ALEGRETE/RS**

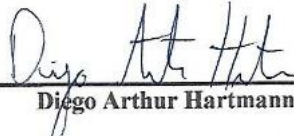
Elaborado por
Vanderson Pacholski Migliorin

Como requisito parcial para a obtenção de grau de
Bacharel em Engenharia Agrícola

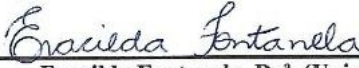
COMISSÃO EXAMINADORA



Wilber Feliciano Chambi Tapahuasco, Dr. (Orientador, Unipampa)



Diego Arthur Hartmann, D.Sc. (Unipampa)



Eracilda Fontanela, Dr^a. (Unipampa)

Alegrete, 09 de Dezembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sempre dar forças para seguir no curso, que em muitos momentos requerem muita força de vontade e persistência para seguir em frente.

Ao apoio dos meus pais Antonio Migliorin e Marlene Migliorin, que sempre me apoiam e ajudam nessa longa caminhada do curso de graduação.

Ao meu amigo Luis Eduardo Witt, que incansavelmente me motivou e aconselhou para que eu fosse estudar para as provas e trabalhos.

A Milena Prates que me acompanhou e ajudou na realização dos mais diversos ensaios de laboratório e nas saídas de campo, sendo sempre uma pessoa alegre e parceira no dia a dia.

Ao Fernando Dambrós que muito disposto e prontamente me ajudou nas vistorias de campo e no trabalho pesado de coleta de amostras de solo, percorrendo junto comigo grandes extensões de estradas rurais de terra do município.

Ao professor Wilber Feliciano Chambi Tapahuasco, que incentivou, ajudou e apoiou a realização do trabalho onde realizou, por diversas vezes, a correção dos trabalhos sempre que necessário, e por todo o apoio técnico para a realização dos estágios e trabalhos, sempre de forma cordial e atenciosa.

À Associação dos Arrozeiros de Alegrete, que fornece todo o apoio de logística e no que for necessário para a realização dos trabalhos de pesquisa. E entidade no qual participo de uma longa caminhada de estágios, agradecendo também a Presidente da entidade Fátima Marchezan que apoia e incentiva a realização do trabalho, e da colega do dia a dia Luciane Veiga que sempre motiva a realização das atividades.

RESUMO

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha
Universidade Federal do Pampa
Curso de Engenharia Agrícola

ESTUDO DAS CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS DE ESTRADAS RURAIS DO MUNICÍPIO DE ALEGRETE/RS

Autor: Vanderson Pacholski Migliorin

Orientador: Prof. Dr. Wilber Feliciano Chambi Tapahuasco

Alegrete, 09 de Dezembro de 2019

Este trabalho apresenta o estudo de serventia e análise das condições geotécnicas aplicadas às camadas de revestimento primário de quatro estradas rurais não pavimentadas, inseridas no município de Alegrete/RS. Para isso, inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica visando nortear e estabelecer a metodologia do trabalho. Como parte das atividades de campo foi aplicado o Índice de Conservação da Rodovia Não Pavimentada (ICRNP), o qual permitiu avaliar as patologias das estradas estudadas, quantificando e registrando o aparecimento dos principais defeitos que prejudicam a trafegabilidade dos veículos automotores. Após isso, nas camadas de revestimento primário executaram-se, o controle da massa específica aparente pelo método do frasco de areia, a verificação *in-situ* das suas respectivas espessuras e, coleta de amostras deformadas de solo. No laboratório, as amostras coletadas foram submetidas a ensaios de caracterização geotécnica, ensaios de compactação, expansão e Índice de Suporte de Califórnia (ISC). Utilizando os resultados dos testes experimentais de campo e laboratório, foram aplicados três métodos de dimensionamento de camadas de revestimento primário. As estradas estudadas foram classificadas segundo o ICRNP como muito pobre, concluindo assim, que a falta de um bom sistema de drenagem e seção transversal apropriada, pode causar sérios problemas de durabilidade e maior necessidade de manutenção. De forma geral, para as estradas estudadas, os métodos de dimensionamento mostraram que as camadas de revestimento primário apresentam espessuras abaixo dos valores sugeridos. Finalmente, o estudo mostrou a necessidade de utilizar técnicas que permitam a manutenção e dimensionamento apropriado que possam ser aplicados às estradas rurais do município de Alegrete/RS.

Palavras-chave: Estradas de terra. Serventia de estradas. Dimensionamento de estradas.

ABSTRACT

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha
Universidade Federal do Pampa
Agricultural Engineering Course

STUDY OF THE GEOTECHNICAL CONDITIONS OF RURAL ROADS IN THE MUNICIPALITY OF ALEGRETE/RS

Author: Vanderson Pacholski Migliorin

Advisor: Dr. Wilber Feliciano Chambi Tapahuasco

Alegrete, December 9, 2019

This paper presents the study of utility and analysis of the geotechnical conditions applied to the primary coating layers of 4 unpaved rural roads, inserted in the municipality of Alegrete / RS. For this, initially a bibliographic research was carried out aiming to guide and to establish the methodology of the work. As part of the field activities was applied the Unpaved Highway Conservation Index (ICRNP), which allowed to evaluate the pathologies of the studied roads, quantifying and recording the appearance of the main defects that affect the trafficability of motor vehicles. After that, in the primary coating layers, the control of the apparent specific mass by the sand bottle method, the in-situ verification of their respective thicknesses and the collection of deformed soil samples were performed. In the laboratory, the collected samples were submitted to geotechnical characterization tests, compaction, expansion and California Bearing Ratio (CBR) tests. Using the results of experimental field and laboratory tests, three methods of sizing primary coating layers were applied. The roads studied were classified by the ICRNP as very poor, thus concluding that the lack of a good drainage system and proper cross section can cause serious durability problems and greater need for maintenance. In general, for the studied roads, the sizing methods showed that the primary coating layers have thicknesses below the suggested values. Finally, the study showed the need to use techniques that allow proper maintenance and sizing that can be applied to rural roads in the municipality of Alegrete / RS.

Keywords: Dirt roads. Serviceability of roads. Pavement structural design.

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE QUADROS	10
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	12
1.1.1 Objetivo geral	12
1.1.2 Objetivos específicos	12
1.2 Justificativa	12
1.3 Partes constituintes do trabalho	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Estradas não pavimentadas	14
2.1.1 Definição e importância.....	14
2.1.2 Definição de camada de revestimento primário	14
2.1.3 Tipos de materiais empregados	15
2.2 Métodos de análise de serventia de rodovias não pavimentadas	15
2.2.1 Índice de Conservação da Rodovia Não Pavimentada - ICRNP	15
2.3 Ensaio de caracterização e controle geotécnico	20
2.3.1 Ensaio de Caracterização	20
2.3.2 Ensaio de Expansão e Índice de Suporte de Califórnia	20
2.4 Métodos de dimensionamento de estradas de revestimento primário	21
2.4.1 Método de Dimensionamento Webster & Alford (1978).....	21
2.4.2 Método de Dimensionamento Giroud & Noray (1981).....	22
2.4.3 Método de Dimensionamento Skorseth e Selim (2000).....	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Seleção e localização das estradas estudadas	24

3.2 Atividades de campo.....	25
3.2.1 Avaliação das condições da rodovia e escolha dos ramos.....	25
3.2.2 Aplicação da metodologia ICRNP.....	26
3.2.3 Análise estrutural do Revestimento Primário e coleta de amostras.....	28
3.3 Ensaios de laboratório.....	30
3.3.1 Preparação de amostras.....	30
3.3.2 Granulometria.....	30
3.3.3 Ensaios de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade.....	31
3.3.4 Massa específica dos grãos passantes na peneira 4,8 mm.....	32
3.3.5 Ensaio de Compactação.....	33
3.3.6 Ensaio de Expansão e Índice de Suporte Califórnia (ISC).....	34
3.4 Aplicação dos métodos de dimensionamento de revestimento primário.....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
4.1 Condições geotécnicas in-situ das estradas.....	37
4.2 Aplicação do ICRNP.....	37
4.3 Caracterizações geotécnicas.....	40
4.3.1 Granulometria.....	40
4.3.2 Limites de Atterberg e Massa Específica dos Grãos.....	41
4.4 Ensaios de compactação.....	43
4.5 Ensaios de expansibilidade e ISC.....	44
4.6 Dimensionamentos dos pavimentos primários.....	46
5 SOLUÇÕES PROPOSTAS.....	49
6 CONCLUSÕES.....	50
7 SUGESTÕES DE ESTUDO.....	52
REFERÊNCIAS.....	53
ANEXOS.....	55
APÊNDICE.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Camadas de uma estrada não pavimentada.....	15
Figura 2 – Gráfico padrão de ISC.....	21
Figura 3 – Localização das estradas do Rincão de São Miguel, Caverá, Silvestre e Angico.. ..	24
Figura 4 – Divisão dos ramos.....	26
Figura 5 – Levantamento dos defeitos, Método ICRNP.....	27
Figura 6 – Ensaio do Frasco de Areia.....	28
Figura 7 – Análise do Revestimento Primário.....	29
Figura 8 – Preparação de Amostras.....	30
Figura 9 – Ensaio de Granulometria.....	31
Figura 10 – Ensaio de LL e LP.....	32
Figura 11 – Ensaio de Massa específica.....	33
Figura 12 – Ensaio de Compactação.....	34
Figura 13 – Ensaio de ISC e Expansão.....	35
Figura 14 – Dados de granulometria.....	41
Figura 15 – Curvas de Compactação das 4 estradas estudadas.....	43
Figura 16 – Curvas de Compactação e ISC.....	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Denominação dos defeitos em estradas não pavimentadas.....	17
Quadro 2 – Valores do coeficiente K.....	18
Quadro 3 – Classificações das rodovias segundo valores de ICRNP.....	19
Quadro 4 – Espessura (cm) para a camada de revestimento primário.....	23
Quadro 5 – Coordenadas geográficas e extensão de cada ramo.....	25
Quadro 6 – Dados coletados à campo.....	37
Quadro 7 – Dados referentes a estrada do Silvestre Ramo 2, Seção 2 e U.S. 1.....	38
Quadro 8 – Dados referente a estrada do Rincão de São Miguel, Ramo 1, Seção 9 e U.S. 1.....	38
Quadro 9 – Resumo dos ICRNP de cada U.S. estudada.....	39
Quadro 10 – Dados referentes ao ensaio de LL, LP, IP e Massa Especifica dos Grãos.....	41
Quadro 11 – Classificação TRB e SUCS.....	42
Quadro 12 – Teor de umidade ótimo e massa especifica máxima.....	44
Quadro 13 – Resumo dos dados de compactação, ISC e Expansão.....	46
Quadro 14 – Cálculos referentes aos métodos de dimensionamento.....	47
Quadro 15 – Comparativo das espessuras encontradas à campo com as sugeridas pelos métodos de dimensionamento.....	48

1 INTRODUÇÃO

O meio de transporte rodoviário no Brasil é historicamente o mais utilizado, seja esse no transporte de passageiros ou de cargas, fazendo assim a ligação de todos os pontos do território brasileiro. Segundo o Anuário do Transporte (CNT, 2018), o Brasil tem 1,7 milhões de km de estradas, sendo 1,3 milhões não pavimentada, que representa 80% da malha brasileira composta por estradas de terra.

As estradas do interior dos municípios são de grande importância para o setor agropecuário, pois é por elas que é feito o escoamento dos produtos tanto de origem animal como vegetal, para os centros urbanos. Dessa forma, rodovias em boas condições de trafegabilidade levam a um custo menor de transporte. Porém, sabe-se que as estradas brasileiras rurais não acompanham a evolução do aumento do fluxo e, aumento da carga transportada, requerendo-se cada vez mais estruturas de pavimentos mais resistentes. Segundo Viviani (1998) as manutenções são feitas empiricamente, sem nenhum planejamento e por municípios que enfrentam situações precárias, tanto financeiramente quanto na parte técnica.

O município de Alegrete, localizado na fronteira oeste do Rio Grande do sul, caracteriza-se por ser o maior município em extensão territorial do estado, com 7.800 km² de área, e possui uma população de aproximadamente 74.173 habitantes (IBGE, 2010). De acordo com informações disponibilizadas pelos gestores municipais (ALEGRETE, 2019) a extensão das estradas de terra no município é em torno de 5.000 km. Devido ao volume dessa malha viária, gera-se uma grande dificuldade para que a sua conservação seja feita de forma adequada. Na maioria dos casos são corredores antigos que foram construídos para ligação entre propriedades rurais e entre meio rural à cidade. Com o decorrer dos anos viraram as estradas vicinais, sem levar em conta nenhum aspecto de relevo ou parâmetros de engenharia.

Nas estradas rurais mal dimensionadas, envolvendo camadas de revestimentos não apropriados, ocorrem problemas de erosão, decorrentes das chuvas e tráfego pesado. O acúmulo de água na pista ou na sarjeta, decorrentes de sistemas de drenagens inadequados são outros sérios problemas que levam a uma má qualidade das estradas, dificultando o seu uso. Dessa forma, há necessidade de buscar melhorias de manutenção, possibilitando a conservação e oferecendo condições apropriadas de trafegabilidade e escoamento da safra de grãos e demais produtos agropecuários, os quais são produzidos na zona rural do município.

Com base nas informações supracitadas, surge o interesse e necessidade de estudar os aspectos patológicos e geotécnicos de quatro estradas rurais não pavimentadas, localizadas no

município de Alegrete, no Rio Grande do Sul, as quais são: Angico, Caverá, Rincão de São Miguel e Silvestre.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Estudar as condições geotécnicas dos revestimentos primários e o método do Índice de Conservação da Rodovia Não Pavimentada - ICRNP, aplicados a quatro estradas rurais do município de Alegrete, localizadas nos subdistritos do Rincão de São Miguel, Inhanduí, Catimbau e Itapororó.

1.1.2 Objetivos específicos

- Fazer o levantamento das patologias das estradas, utilizando o método do Índice de Conservação da Rodovia Não Pavimentada (ICRNP);
- Conhecer as características geotécnicas dos solos utilizados na construção das camadas de revestimento primário das estradas;
- Aplicar métodos de dimensionamento de revestimento primário às estradas rurais não pavimentadas selecionadas;
- Propor soluções técnicas que permitam a conservação e manutenção apropriadas das estradas de terra estudadas.

1.2 Justificativa

O presente trabalho busca alertar sobre os maiores problemas encontrados nas estradas rurais do município de Alegrete, através disso, propor possíveis soluções técnicas de manutenção eficiente, visando combater os defeitos que geram maiores problemas, que em sua maioria, são resultados de má assistência técnica.

O projeto tem como mérito relevante atender à necessidade da problemática das estradas rurais do município de Alegrete/RS, sendo o setor agropecuário o mais afetado, já que utiliza essas estradas para fazer o escoamento da produção da agricultura e pecuária. O município de Alegrete se caracteriza pela agricultura de 49.641 ha de arroz equivalente a

372.705 toneladas do grão (IRGA, 2019). A pecuária é de 642.949 cabeças de gado, sendo o maior rebanho do estado, 231.914 cabeças de ovinos e 22.918 cabeças de equinos (IBGE, 2017). Além disso, os próprios moradores das áreas rurais sofrem com as condições precárias das estradas, os quais envolvem deslocamentos de até 70 km de estrada de chão.

1.3 Partes constituintes do trabalho

O presente trabalho foi elaborado em 7 capítulos buscando esclarecer todos os temas propostos.

No primeiro capítulo está apresentada a introdução com a contextualização do tema de pesquisa, o objetivo geral e específico, e a justificativa do projeto.

O segundo capítulo, aborda conceitos básicos de estradas rurais não pavimentadas, métodos de análise de serventia, ensaios geotécnicos e métodos de dimensionamento de revestimento primário.

O terceiro capítulo compreende a metodologia do trabalho, com as atividades realizadas no campo e no laboratório.

No quarto capítulo são destacados os resultados encontrados no trabalho.

No quinto capítulo estão apresentadas sugestões de melhorias para as estradas.

O sexto capítulo é referente às conclusões do estudo desenvolvido.

Por fim, no sétimo capítulo são sugeridos estudos futuros a serem realizados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Estradas não pavimentadas

Estradas não pavimentadas são vias cuja superfície de rolamento seja composta por materiais apresentando as seguintes características: agregados naturais, agregados artificialmente produzidos, solos naturalmente estabilizados, solos constituídos dos materiais da sua própria base ou subleito (BAESSO; GONÇALVES, 2003).

2.1.1 Definição e importância.

Segundo Baesso e Gonçalves (2003), as estradas rurais, também conhecidas como estradas vicinais, podem ser definidas como o conjunto de pequenas vias que compõem o sistema de transporte responsável pelo escoamento da produção agrícola.

As rodovias não pavimentadas são muito comuns principalmente em países em desenvolvimento e que tem sua economia gerada através de produtos primários. Assim se faz cada vez mais necessário uma malha viária mais eficiente, que possa ser usada com segurança, bem sinalizada, boas drenagens, e uma manutenção em dia, possibilitando um melhor desenvolvimento da região. Segundo Ferreira e Paiva (2007), as manutenções das estradas rurais não pavimentadas ficam a cargo dos municípios e estes não possuem, em sua maioria, pessoal técnico e especializado para execução da tarefa.

2.1.2 Definição de camada de revestimento primário

Revestimento primário é a camada superficial composta de agregados naturais. Aplicados sobre o subleito compactado de rodovias não pavimentadas, com a função de oferecer condições satisfatórias de tráfego (DER/PR, 2005).

Na Figura 1 a seguir, são ilustradas as camadas que compõem uma estrada não pavimentada:

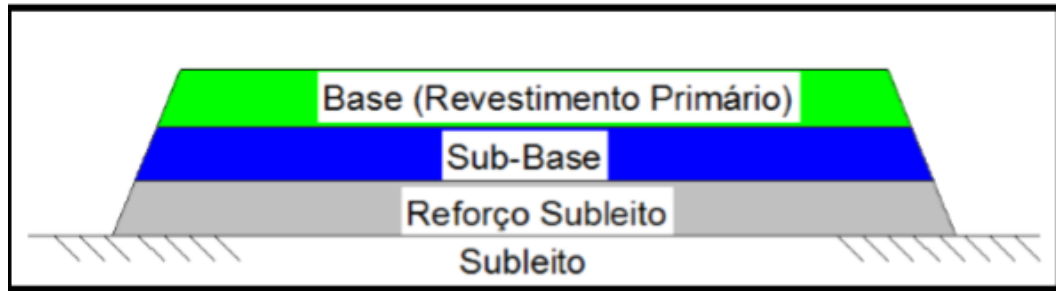


Figura 1 – Camadas de uma estrada não pavimentada.
Fonte: Rosso (2015).

2.1.3 Tipos de materiais empregados

Os materiais que podem ser utilizados em revestimentos primários são: 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 Métodos de análise de serventia de rodovias não pavimentadas

O uso de métodos de avaliação da condição superficial das estradas não pavimentadas permite verificar as condições da via, e a partir de seus resultados, proporcionar uma adequada seleção de atividades para manutenção e assim, uma melhor alocação dos recursos disponíveis. As estradas rurais vêm sofrendo ao longo dos anos a falta de investimentos e de estudos mais aprofundados referentes às suas condições de gerenciamento. Segundo o Anuário do Transporte (CNT, 2018), o Rio Grande do Sul possui 150 mil km de estradas, sendo 140 mil km não pavimentadas, o que representa 92% da malha viária.

2.2.1 Índice de Conservação da Rodovia Não Pavimentada - ICRNP

O Índice de Conservação da Rodovia Não Pavimentada é um valor numérico baseado numa escala variando de 0 a 100, e indica a integridade da rodovia e suas condições de operação (BAESSO; GONÇALVES, 2003).

2.2.1.1 Divisões da rodovia:

Segundo Baesso e Gonçalves (2003), para efetuar a análise para cálculo do ICRNP da estrada em estudo, deve ser feita uma divisão da mesma em ramos, seções e unidades simples.

Ramo: é uma parte identificável e distinta da rodovia o qual tem sua função definida, normalmente constituída por maiores extensões, e que dificilmente apresentam características uniformes em toda sua extensão.

Seção: a seção é a divisão de um ramo, o qual deve conter características que se repetem na sua extensão, tais características são como, composição do revestimento da via e ocorrência de defeitos, ou seja, quando a via muda seus aspectos patológicos, deve se mudar a seção.

Unidade simples: é uma pequena parte representativa da seção, em todos seus aspectos patológicos; por exemplo, se uma seção apresenta problemas de drenagem, a unidade simples deve ser num trecho que ocorra esse problema. É a menor parte que será efetuada a inspeção das condições da rodovia. Uma unidade simples é definida com 50 m de extensão.

2.2.1.2 Avaliação das condições da rodovia e defeitos a serem analisados

Um importante componente do sistema de gerenciamento da manutenção das rodovias é o exame das condições de superfície e os procedimentos para sua avaliação. Os dados obtidos nestas avaliações são elementos básicos para definição das necessidades de manutenção e de sua priorização na rede como um todo. Nesta fase tem se uma ideia de como melhor conduzir as inspeções de avaliação das condições da rodovia, bem como a determinação do ICRNP (BAESSO; GONÇALVES, 2003).

Segundo Baesso e Gonçalves (2003), a análise das condições de uma rodovia está relacionada a vários fatores, sendo que suas avaliações qualitativa ou quantitativa requer o uso de equipamentos dispendiosos e, por consequência, pessoal altamente treinado, mas os mesmos podem ser avaliados empiricamente pela observação e experiência de campo. Pode-se observar no Quadro 1, os defeitos que são divididos em 7 tipos diferentes, descritos como: seção transversal imprópria, drenagem inadequada, corrugações, excesso de poeira, buracos, trilha de roda e perda de agregados.

Quadro 1 – Denominação dos defeitos em estradas não pavimentadas.

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).

A definição dos defeitos a seguir, é de acordo com Baesso e Gonçalves (2003).

Defeito tipo 81. Seção transversal imprópria, quando a rodovia não pavimentada não apresenta uma seção transversal com declividade transversal suficiente, onde o eixo da pista deve ser em cota superior as suas laterais.

Defeito 82. Drenagem inadequada, drenagens ineficientes causam depósitos de água sobre a plataforma da pista, é quando a drenagem superficial e bueiros não estão em condições de conduzir a água para fora da estrada.

Defeito 83. Corrugações são depressões transversais à pista que ocorrem em intervalos regulares de distância, causadas pela ação combinada do tráfego de veículos e precipitações pluviométricas, acabam causando grande desconforto a quem utiliza a via.

Defeito 84. Excesso de poeira, a passagem de veículos causa o desprendimento de partículas finas decorrentes da mistura dos agregados da camada de revestimento primário, assim ocorre à poeira, que pode causar perigo a quem utiliza a rodovia.

Defeito 85. Buracos são depressões na superfície da pista normalmente menores que 1 metro de diâmetro, represa água proveniente das chuvas, ocasionando a desintegração da pista, e aumentando rapidamente de tamanho.

Defeito 86. Trilha de roda é uma depressão que ocorre paralelamente ao eixo da pista, assim ocasionando deformações na camada de revestimento primário, sua origem é decorrente da ação combinada de tráfego repetitivo junto de deficiências de compactação.

Defeito 87. Perda de agregados é causada pelo tráfego intenso e contínuo que acabam causando o desprendimento dos agregados da camada de revestimento superficial, e consequentemente as frações desagregadas se depositam nas laterais da pista.

Cada defeito é analisado visualmente, medido e classificado de acordo com sua severidade, que é definida como: baixa, média e alta severidade. Assim utilizando a ficha de

inspeção (Anexo A) são registradas as características e observações das unidades simples analisadas. Na sequência, são realizados os cálculos para o valor ICRNP, o qual obedece às seguintes etapas:

Cálculo da densidade de cada defeito através da equação 1:

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

Onde K é um coeficiente para correção de unidades métricas, cujos valores para cada defeito esta apresentado no Quadro 2 abaixo.

Quadro 2 – Valores do coeficiente K.

Defeitos	Valores de K
81	3,281
82	3,281
83	1,000
85	10,764
86	1,000
87	3,281

Fonte: adaptado de Baesso e Gonçalves (2003).

Obs.: Para o defeito tipo 84 não têm valores de K, pois não é necessário o cálculo da sua densidade.

Tendo a densidade de cada defeito calculada e sua severidade, é necessário encontrar o valor dedutível para cada defeito, para isso é utilizado às curvas de valores dedutíveis (Anexo B).

Determinados os valores dedutíveis para cada defeito é necessário encontrar o Valor Dedutível Final (VDF), que nada mais é que o somatório dos valores dedutíveis de todos os defeitos por unidade simples calculados.

Sabendo os valores dedutíveis de cada defeito, é encontrado o valor “q”, referente à quantidade de valores dedutíveis maiores ou iguais a 5.

Tendo o VDF e o valor “q”, são utilizadas as curvas de valores dedutíveis totais para encontrar o ICRNP. (Anexo C), a partir disso é possível fazer a classificação da rodovia não pavimentada através do Quadro 3.

Quadro 3 – Classificações das rodovias segundo valores de 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 Gonçalves (2003)

Sabendo o ICRNP de cada unidade simples, é possível realizar os cálculos para determinação do ICRNP das seções, dos ramos e da rodovia. Para isso, são utilizadas as equações 2, 3 e 4.

Para o cálculo do ICRNP das seções:

$$\text{ICRNP Seções} = \frac{\sum (\text{ICRNP Unidade Simples})}{\text{N}^\circ \text{ de Unidade Simples}} \quad (2)$$

Para cálculo do ICRNP dos ramos:

$$\text{ICRNP Ramo} = \frac{\sum (\text{ICRNP da Seção} \times \text{Extensão da Seção})}{\text{Extensão do Ramo}} \quad (3)$$

Para cálculo do ICRNP da rodovia:

$$\text{ICRNP Rodovia} = \frac{\sum (\text{ICRNP do Ramo} \times \text{Extensão da Seção})}{\text{Extensão da Rodovia}} \quad (4)$$

Destacando a aplicação do método ICRNP por outros autores, Rosso (2015) estudou a RS566 de Alegrete/RS, encontrando um ICRNP de 29,76, o qual classificou a rodovia como “pobre”. Oliveira (2008) aplicou o método para estradas florestais nos estados de Minas Gerais e Bahia, onde encontrou nota no ICRNP de 4 a 18, classificando as estradas como “péssima” e “muito Pobre”.

2.3 Ensaios de caracterização e controle geotécnico

2.3.1 Ensaios de Caracterização

Para este trabalho, foram realizados os seguintes ensaios de caracterização regidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):

- Controle da massa específica aparente pelo método do frasco de areia, NBR 7185 (ABNT, 1986).
- Preparação de amostras, NBR 6457 (ABNT, 1986)
- Granulometria, NBR 7181 (ABNT, 1984).
- Limite de Liquidez, NBR 6459 (ABNT, 1984).
- Limite de Plasticidade, NBR 7180 (ABNT, 1984).
- Massa específica dos grãos passantes na peneira 4,8 mm, NBR 6508 (ABNT, 1984)
- Compactação, NBR 7182 (ABNT, 1986).

2.3.2 Ensaio de Expansão e Índice de Suporte de Califórnia

O ensaio ISC – Índice de Suporte Califórnia, popularmente conhecido como CBR – California Bearing Ratio o qual foi desenvolvido por Porter em 1929, hoje é regido pela norma NBR 9895 (ABNT, 1987). É um ensaio voltado para o dimensionamento de pavimentos rodoviários, sendo um dos parâmetros de projeto mais utilizados atualmente. Este ensaio busca determinar a relação entre a pressão necessária para penetrar uma profundidade de 12,7 mm, com pistão cilíndrico padronizado de 49,6 mm de diâmetro, a uma velocidade de 1,27 mm/min, um corpo de prova de solo em análise. A relação (em termos de porcentagens) entre a pressão do solo e a pressão numa brita padrão, necessária para penetrar as profundidades de 2,54 mm e 5,08 mm, correspondem o valor do ISC do solo. Na Figura 2, é demonstrador o gráfico padrão das leituras de 2,54 mm e 5,08 mm com a correção de “c” na curva.

O ensaio de expansão está diretamente ligado ao ensaio de ISC, onde o corpo de prova após compactado no cilindro CBR, é montado com um conjunto porta extensômetro e relógio de expansão junto de sobre cargas com peso total de 4,5 kg. Os corpos de provas, são colocados submersos em água durante 4 dias, onde é realizada a leitura de sua expansão

diariamente. Terminado o período de ensaio, é retirado da imersão, deixado escoar a água durante 15 minutos, e levado para a prensa CBR para realizar o ensaio de ISC.

Rosso (2015) para a RS566 de Alegrete/RS encontrou para corpos de prova compactados sob energia normal, valores de ISC igual a 9,97%. Peraça (2007) analisou solos para revestimento primário nas cidades de São Martinho da Serra e Silveira Martins, localizadas na região central do Rio Grande do Sul, onde para energia normal de compactação, determinou valores de ISC igual a 24 % e 21 % respectivamente.

DER/SP (2006), recomenda que o ISC para revestimentos Primários de estradas de terra deve ser maior que 20% e a expansão menor que 1%.

Segundo o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006), para estradas com revestimento asfáltico, os materiais de base devem apresentar $CBR \geq 80 \%$ e expansão $\leq 0,5 \%$, Limite de Liquidez $\leq 25 \%$ e Índice de Plasticidade $\leq 6 \%$. E para sub-base $CBR \geq 20 \%$, $IG = 0$ e expansão $\leq 1 \%$.

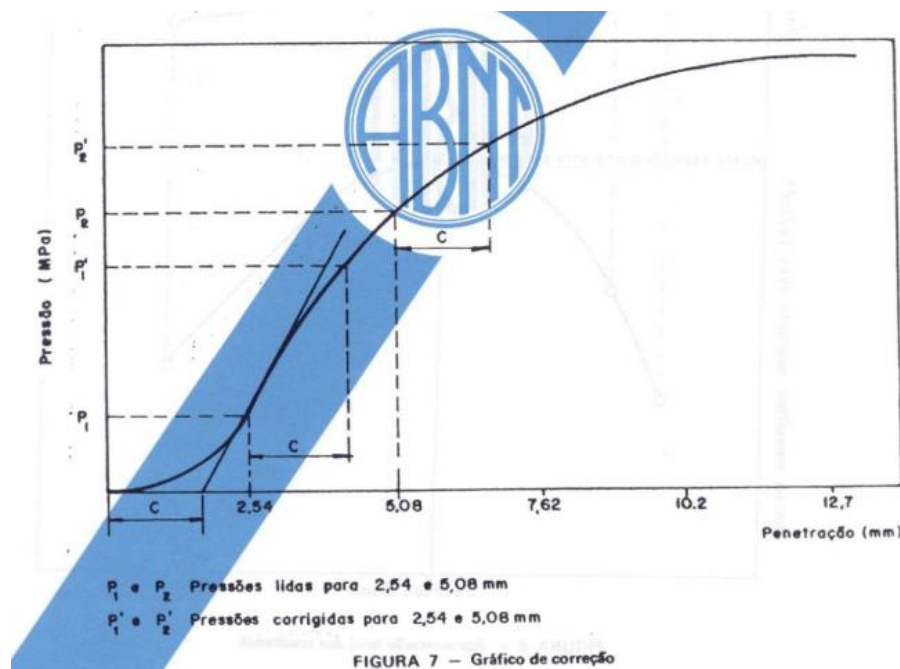


Figura 2 – Gráfico padrão de ISC.
Fonte: NBR 9895 (ABNT, 1987).

2.4 Métodos de dimensionamento de estradas de revestimento primário

2.4.1 Método de Dimensionamento Webster & Alford (1978)

A equação de Webster e Alford (1978) é utilizada para estimar a altura da camada de revestimento primário. O método admite uma ruptura da via não pavimentada, quando a trilha

de roda, de um veículo possuindo um eixo padrão de 80 kN, atinge uma profundidade de 0,075 m. Para isso é utilizada a equação 5.

$$h_o = \frac{0,19 \cdot \log(N)}{(CBR)^{0,63}} \quad (5)$$

Onde:

h_o – 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)

O método proposto por Giroud & Noray (1981), é uma adaptação da equação de Webster & Alford (1978), onde indicam o uso de uma nova equação para estimar a altura da camada de revestimento primário. No método admite-se outros valores de carga por eixo padrão e de profundidade de trilha de roda. Ainda leva em consideração a resistência não drenada do solo, estimada através da equação 6:

$$C_u = 30 \cdot CBR \quad (6)$$

Onde:

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

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

A camada de revestimento primário, é calculada através da equação 7.

$$h_o = \frac{1,6193 \cdot \log(N) + 6,3964 \cdot \log(p) - (3,7892 \cdot r) - 11,8887}{(C_u)^{0,63}} \quad (7)$$

Onde:

h_o – 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 de veículo por dia;

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

É importante salientar que não é recomendada pelos autores, a utilização da equação 7, para valores de N que superem 10.000 solicitações diárias.

2.4.3 Método de Dimensionamento Skorseth e Selim (2000)

O método de Skorseth e Selim (2000) é utilizado em algumas regiões de Dakota do Sul, o qual é considerado bastante simples, pois utiliza apenas dois parâmetros para determinar a espessura do revestimento primário. Parâmetros que são o volume de tráfego de veículos pesados diários da rodovia que pode ser estudado ou estimado, e o CBR da camada de subleito, que é determinado através de ensaios de laboratório. As espessuras das camadas de revestimento primário recomendadas pelo método, estão indicadas no Quadro 4.

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
	$3 < \text{CBR} \leq 10$	14,0
	$\text{CBR} > 10$	11,5
5 a 10	≤ 3	21,5
	$3 < \text{CBR} \leq 10$	18,0
	$\text{CBR} > 10$	14,0
10 a 25	≤ 3	29,0
	$3 < \text{CBR} \leq 10$	23,0
	$\text{CBR} > 10$	18,0
25 a 50	≤ 3	37,0
	$3 < \text{CBR} \leq 10$	29,0
	$\text{CBR} > 10$	21,5

Fonte: adaptado de Coutinho (2014)

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Seleção e localização das estradas estudadas

As 4 rodovias municipais não pavimentadas foram escolhidas por orientação da Associação dos Arrozeiros de Alegrete, levando como critério de escolha, o volume de escoamento de arroz na safra orizícola e sua importância para a produção agropecuária do município. Assim, o estudo foi aplicado para as seguintes estradas rurais não pavimentadas de Alegrete/RS:

- Estrada do Angico, localizada no 2º Subdistrito do Itapororó,
- Estrada do Caverá (ALE012), localizada no 6º Subdistrito do Catimbau.
- Estrada do Rincão de São Miguel (ALE170), localizada no 8º Subdistrito de São Miguel.
- Estrada do Silvestre (ALE010), localizada no 5º Subdistrito do Inhanduí.

Na Figura 3, pode-se visualizar a localização geográfica das estradas no município de Alegrete/RS, e também as coordenadas geográficas de início de cada uma.



Figura 3 - Localização das estradas do Rincão de São Miguel, Caverá, Silvestre e Angico.
Fonte: Google Earth pro 2018.

3.2 Atividades de campo

As atividades de campo foram divididas em 2 etapas:

A 1ª etapa visou colocar em prática a metodologia ICRNP (Índice de Conservação da Rodovia Não pavimentada). O método foi escolhido por abordar vários defeitos comumente encontrados nas estradas do município, e também, por ser o que melhor se adapta à realidade da região, contendo formas confiáveis de medição dos defeitos.

A 2ª etapa descreveu os procedimentos das vistorias realizadas nas camadas de revestimento primário e das coletas de amostras deformadas de solo.

Para este estudo de caso, buscando ter uma melhor representação das estradas como um todo, foram divididas em dois trechos, variando de 4 km a 8 km cada, denominadas aqui de ramos. Dessa forma, os ramos 1 estão localizados logo no início de cada estrada, os ramos 2 no fim das estradas. O Quadro 5 mostra as coordenadas de localização e extensão de cada Ramo.

Quadro 5 – Coordenadas geográficas e extensão de cada ramo.

Localização		Dados		
Estrada	Ramo	Coordenadas		Extensão (km)
		Início	Fim	
Angico	1	29°29'53.75"S 56° 7'45.57"O	29°31'32.39"S 56° 4'5.97"O	7,3
Angico	2	29°25'32.29"S 56°12'35.47"O	29°28'9.45"S 56° 9'11.29"O	7,9
Caverá	1	29°57'19.79"S 55°40'15.52"O	29°55'9.08"S 55°42'1.34"O	5
Caverá	2	30° 9'35.38"S 55°34'12.59"O	29°56'42.92"S 55°40'56.27"O	6
R. São Miguel	1	29°44'6.69"S 55°42'1.25"O	29°47'15.68"S 55°43'39.05"O	6,7
R. São Miguel	2	29°30'10.20"S 55°50'23.03"O	29°31'30.72"S 55°48'9.77"O	4,6
Silvestre	1	29°43'42.52"S 55°58'36.06"O	29°44'28.17"S 55°54'48.74"O	6,2
Silvestre	2	29°39'12.72"S 56°14'11.10"O	29°40'9.27"S 56°10'6.19"O	6,7

Fonte: Própria.

3.2.1 Avaliação das condições da rodovia e escolha dos ramos

Primeiramente, utilizando um veículo de passeio, foi realizada uma prévia vistoria visual das rodovias não pavimentadas em análise, onde foi percorrida toda sua extensão numa velocidade de 40km/h a 50km/h, com o intuito de conhecer seus aspectos de construção, relevos e patologias, para assim fazer a divisão dos seus ramos e seções.

Buscando ter uma melhor representação da estrada como um todo, cada estrada foi dividida em dois ramos, um logo no seu início e outro próximo ao seu fim. Cada ramo foi dividido em 10 seções aproximadamente, as quais são homogêneas em seus aspectos

patológicos. Todo o processo de divisão foi registrado através de imagens fotográficas, pontos de GPS (*eTrex 20*) e com suas devidas anotações de campo. Na figura 4, (4A) pode-se visualizar as estradas do Angico, (4B) Silvestre, (4C) Rincão de São Miguel e (4D) Caverá, durante o processo de divisão dos ramos.



Figura 4 – Divisão dos ramos. A) Ramo 2 da Estrada do Angico. B) Ramo 1 da Estrada do Silvestre. C) Ramo 2 da Estrada do Rincão de São Miguel. D) Ramo 2 da estrada do Caverá.

Fonte: Própria.

3.2.2 Aplicação da metodologia ICRNP

Para cada Seção, foi atribuída uma unidade simples (U.S.), a qual é a parte representativa da seção e deve ser aonde ocorre as principais patologias deste trecho. A U.S. tem uma extensão de 50 m, medida com o auxílio de uma trena são marcados os pontos de início e fim com o equipamento de GPS, e efetuado registros fotográficos do trecho.

Com o auxílio da ficha de inspeção e de acordo com a metodologia ICRNP, é realizado o levantamento de 7 defeitos, que são eles: seção transversal imprópria, medida em metros lineares na pista; drenagem inadequada, medida em metros nas laterais da pista; corrugações, medidos em metros quadrados; excesso de poeira, adotado de forma visual de

acordo com a poeira que levanta no decorrer do deslocamento do veículo; buracos medidos de acordo com sua dimensão; trilha de roda em metros quadrados; finalizando com a medição de perda de agregados em metros lineares.

Na figura 5, pode-se visualizar, a estrada do Caverá (5A), apresentando afloramento de rochas sobre a pista, perda de agregados nas laterais e obstrução da drenagem. Na estrada do Silvestre (5B), observa-se o acúmulo excessivo de água parada na drenagem, além do amontoado de agregados na lateral da rodovia. No Rincão de São Miguel (5C), a drenagem ineficiente e o acúmulo de agregados formando barreiras que impedem o escoamento da água para fora da estrada. Já na estrada do Angico (5D) é mostrado sérios problemas com a seção transversal da plataforma, apresentando formato côncavo.



Figura 5 – Levantamento dos defeitos, Método ICRNP. A) U.S. do ramo 1 da estrada do Caverá. B) U.S. do ramo 1 do Silvestre. C) U.S. do ramo 1 da estrada do Rincão de São Miguel. D) U.S. do ramo 1 do Angico. Fonte: Própria.

3.2.3 Análise estrutural do Revestimento Primário e coleta de amostras

Através de uma prévia vistoria visual de cada ramo das estradas, foi escolhida uma seção, visando que a mesma seja a mais representativa possível do local. Para cada ramo analisado, executou-se a verificação da massa específica aparente “in-situ”, coleta de amostras deformadas e verificação da espessura do revestimento primário.

A determinação da massa específica aparente seca “in situ” foi executada através do método do frasco de areia, regido pela norma NBR 7185 (ABNT, 1986). Primeiramente foi escolhido um local representativo do ramo, em seguida utilizando um nível de bolha, posicionou-se a bandeja de forma que ficasse nivelada. Com o auxílio de uma marreta e talhadeira é realizada a abertura de uma cavidade circular, limitada pelo orifício da bandeja e, de aproximadamente 0,12 m de profundidade (Figura 6A). O material escavado foi coletado e pesado numa balança portátil de gancho. Seguidamente, a amostra de solo foi identificada e armazenada em saco plástico para não perder a sua umidade até chegar à estufa. Após, utilizando uma areia previamente preparada e de massa específica conhecida, foi posto em prática a execução do ensaio, onde foi pesado o conjunto frasco de areia, instalado e deixado a areia escoar livremente até preencher a cavidade do terreno e, por fim, pesado novamente para saber qual a massa de areia que preencheu a cavidade (Figura 6B).

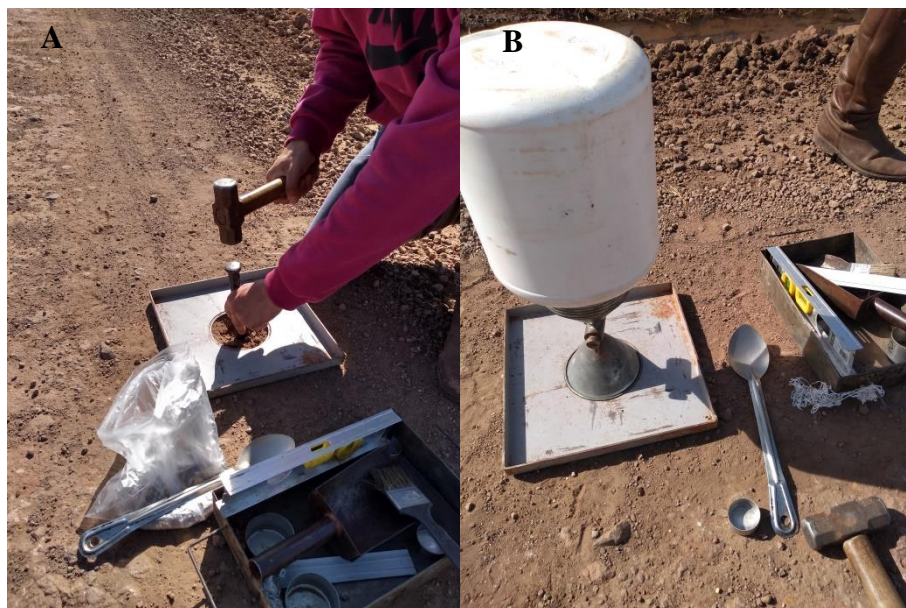


Figura 6- Ensaio do Frasco de Areia. A) Abertura da cavidade no terreno. B) Ensaio do Frasco de Areia sendo realizado.

Fonte: Própria.

De acordo com a norma NBR 9604 (ABNT, 1986), com o intuito de conhecer as características geotécnicas e as espessuras dos revestimentos primários das estradas estudadas, foram executadas coletas de amostras de solo deformadas do revestimento primário. Coletou-se em torno de 60 kg de solo da lateral da pista, no local aonde geralmente cruza as rodas dos veículos. Com o auxílio de picareta, pá e enxada, foi realizada a escavação e o solo foi acondicionado em bolsas. As amostras foram coletadas com o propósito de realizar ensaios geotécnicos no laboratório, para assim, obter os parâmetros necessários para os cálculos de dimensionamento da camada de revestimento primário. Por fim, mediu-se a espessura do revestimento primário e registrou o local através de fotografias e pontos de GPS. Na figura (7A) as amostras de revestimento primário acomodadas em sacos para encaminhamento de ensaios laboratoriais. (7B) trincheira de coleta de amostra e análise de perfil da estrada do Silvestre ramo 1. (7C) vista da seção transversal da rodovia, ilustrando lateral aonde foram realizadas as coletas e medições. (7D) vista da estrada do Angico ramo 2.



Figura 7 - Análise do Revestimento Primário. A) Amostras acondicionadas. B) Vista da trincheira no ramo 1 da estrada do Silvestre. C) Representação do local da pista analisado. D) estrada do Angico ramo 2.

Fonte: Própria.

3.3 Ensaio de laboratório

Os ensaios deste trabalho foram realizados no laboratório de solos da Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete, e foram regidos de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

3.3.1 Preparação de amostras.

Todas as amostras estudadas foram preparadas de acordo com a norma NBR 6457 (ABNT, 1986). Previamente as amostras foram homogeneizadas e colocadas em bandejas (Figura 8A), visando a secagem ao ar até sua umidade higroscópica. Após isso, foi realizado o quarteamento, e destorroamento dos solos no almofariz (Figura 8B).



Figura 8 – Preparação de Amostras. A) Bandeja com solo. B) Amostra sendo destorroadada no Almofariz. Fonte: Própria.

3.3.2 Granulometria

O ensaio de granulometria foi executado tomando como base a norma NBR 7181 (ABNT, 1984). Inicialmente foi preparada uma amostra de 8 kg de solo conforme a norma NBR 6457 (ABNT, 1986). Seguidamente a amostra foi passada na peneira 2,0 mm e, após, o material retido foi lavado na torneira à baixa pressão, com a finalidade de remover o material fino aderente nos agregados grossos. O solo lavado foi secado em estufa a 105°C por 24 horas,

logo após a amostra foi submetida ao peneiramento grosso, composta pelas peneiras com abertura de malha de 50 – 38 – 25 – 19 – 9,5 – 4,8 – 2,0 mm (Figura 9A).

Para o material passante na peneira 2 mm, coletou-se três amostras para determinar a umidade higroscópica, e 120 g para ser lavada na peneira 0,075 mm em água a baixa pressão. Após seco em estufa a 105°C por 24 horas, a amostra foi submetida ao peneiramento fino, composto pelas peneiras com abertura de malha de 1,2 – 0,6 – 0,42 – 0,25 – 0,15 – 0,075 mm.



Figura 9- Ensaio de Granulometria. A) Conjunto de peneiras.

Fonte: Própria.

3.3.3 Ensaio de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade

O ensaio para determinar o Limite de Liquidez (LL), é regido pela NBR 6459 (ABNT, 1984) e foi realizado utilizando a concha de Casagrande, que é o aparelho padronizado do autor do ensaio. Para isso, preparou-se uma amostra de 250 g sob adição de água destilada e misturada manualmente por 15 minutos, transferiu-se o solo para a concha de Casagrande. Utilizando o cinzel foi aberto uma ranhura de aproximadamente 1 cm, buscou-se encontrar pontos de umidades onde a ranhura fechasse entre 30 a 35 golpes, 25 a 30 golpes, 20 a 25 golpes e 15 a 20 golpes (Figura 10A). de cada ponto foram coletadas amostras que foram levadas para a estufa a 105°C por 24 horas. Os dados foram transferidos para uma planilha de cálculo e com auxílio da ferramenta de gráfico foi encontrado o LL referente a 25 golpes.

O ensaio para determinação do Limite de Plasticidade (LP) é regido pela NBR 7180 (ABNT, 1984), onde utilizando água destilada é realizado o preparo de uma amostra de 120g em estado plástico. É pega uma pequena porção de aproximadamente 10 g de solo, o mesmo é rolado manualmente sobre uma placa de vidro esmerilhada, buscando que fique com medidas próximas ao gabarito cilíndrico de 3 mm e em estado quebradiço (Figura 10B), então, leva-se o solo para a estufa a 105°C por 24 horas para conhecimento de sua umidade. O procedimento é repetido 4 vezes, para assim ter uma representatividade do LP.

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 solo se encontra no estado plástico.

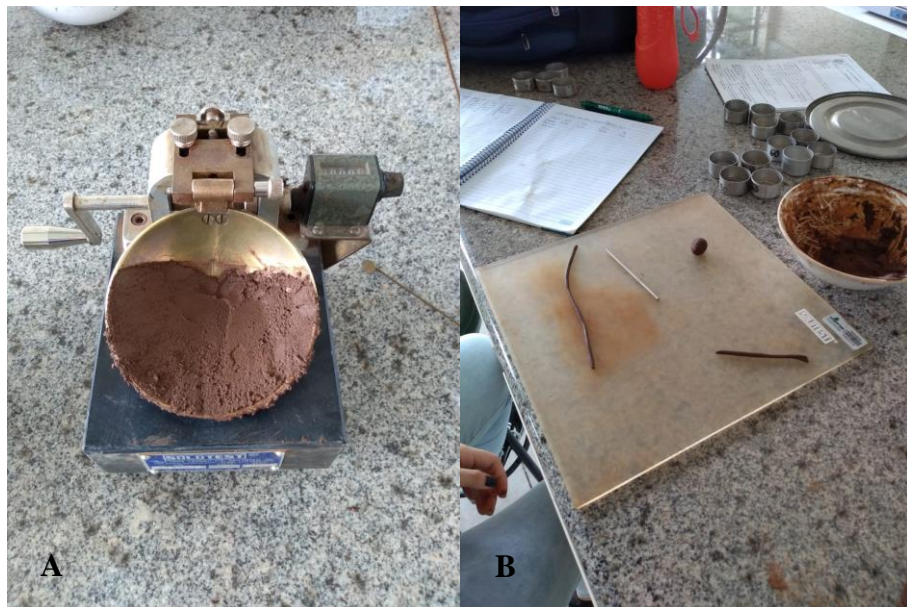


Figura 10 – Ensaio de LL e LP. A) Concha de Casagrande durante o ensaio de LL. B) Amostra durante o ensaio de LP.

Fonte: Própria.

3.3.4 Massa específica dos grãos passantes na peneira 4,8 mm

O ensaio de massa específica dos grãos passantes na peneira 4,8 mm é regido pela norma NBR 6508 (ABNT, 1984). As amostras de solo foram passadas na peneira 4,8 mm, e coletadas amostras para determinação da umidade higroscópica. Para o ensaio foi pega três amostras de 50 g cada, as quais ficaram em completa imersão em água destilada por no mínimo 12 horas (Figura 11A). Cada amostra foi levada ao dispersor durante 15 minutos, colocadas em balões volumétricos de 500 ml, tomando cuidado para que não se perca as partículas de solo, e aplicado duas seções de vácuo de 15 minutos cada (Figura 11B). O

picnômetro foi preenchido com água destilada até 1 cm abaixo de sua marca e levado a banho maria a 80°C por no mínimo 30 minutos. Por fim, foi deixado esfriar até o dia seguinte onde foi completado o volume do picnômetro até a sua marca, medido sua temperatura e pesado. Devido à variação de temperatura do ambiente, foi deixado um recipiente com água destilada junto às amostras para que a água permanecesse na mesma temperatura da amostra e assim, os picnômetros foram completados com água destilada com devido cuidado para que não houvesse bolhas de ar, e efetuado a leitura da temperatura e do seu peso logo após as leituras das soluções.



Figura 11 – Ensaio de massa específica. A) Ensaio de Massa específica. B) Picnômetro sendo submetido a vácuo.

Fonte: Própria.

3.3.5 Ensaio de Compactação

O ensaio de compactação é regido pela NBR-7182 (ABNT, 1986). É o método utilizado para determinar a relação entre o teor de umidade do solo e a sua massa específica aparente seca.

Primeiramente foi separada uma amostra de 35 kg previamente preparada segundo a NBR 6457 (ABNT, 1986), logo foi passada na peneira de 19,1 mm para saber qual a porcentagem de material retido. O material retido menor que 10% era desprezado, quando o material retido era maior que 10%, a mesma proporção de massa era substituída por um material passante na peneira 19,1 mm e que ficasse retido na peneira de 4,8 mm. Da amostra pronta para o ensaio coletava-se testemunhas para conhecer a umidade hidrocópica, logo foi

dividida em 5 porções. A cada porção de aproximadamente 7 kg foi adicionado água e uniformizada buscando pontos próximos a umidade ótima presumível.

Com os conjuntos de cilindros montados (base perfurada + cilindro CBR + disco separador + colarinho), foi efetuada a compactação sob energia normal, envolvendo 5 camadas com aplicação de 12 golpes do soquete grande por camada (Figura 12A). Após a compactação da segunda camada, eram coletadas três amostras da bandeja para conhecimento da umidade. Para o cálculo da massa específica aparente seca, foi necessário também anotar o volume do cilindro, massa do cilindro vazio e peso do cilindro com solo compactado (Figura 12B).



Figura 12 – Ensaio de Compactação. A) Compactação sendo realizada. B) Conjunto compactado.
Fonte: Própria.

3.3.6 Ensaio de Expansão e Índice de Suporte Califórnia (ISC)

O ensaio de ISC foi executado seguindo orientações da norma NBR-9895 (ABNT, 1987), a qual busca determinar o valor do Índice de Suporte Califórnia e da expansão de solos. Para isso foram utilizadas amostras de solo deformadas não reusadas, de material passante na peneira de 19,1 mm.

Com o molde já compactado (solo compactado + cilindro CBR + base perfurada) é realizada a montagem dos equipamentos para o ensaio de expansão, onde é adicionado um prato perfurado, dois discos anelares de carga total de 4,5 kg, haste de expansão junto do relógio de leitura (Figura 13A). Após isso, o conjunto é deixado imerso em água durante 4 dias, realizando a leitura diária da expansão dos corpos de prova (Figura 13B).

Terminado o período de imersão em água, retira-se cada corpo de prova e deixa-se a água escoar por 15 minutos, após isso é levado para realizar o ensaio de ISC (Figura 13C).

Para realização do ensaio ISC foram montados sobre uma prensa hidráulica automatizada, o corpo de prova com as sobrecargas do ensaio de expansão e, mais o pistão de penetração padrão. Inicialmente aplicou-se uma carga para assentamento do pistão, seguidamente o ensaio foi realizado sob uma velocidade de penetração de 1,27 mm/min até obter uma penetração total de 12,7 mm. Devido à prensa ser automatizada, o ensaio durou exatamente 10 minutos e as leituras foram geradas instantaneamente. Os dados gerados pela prensa foram exportados para planilhas de cálculo onde gerou-se as curvas para obtenção de ISC.



Figura 13 – Ensaio de ISC e Expansão. A) conjunto cilindro CBR montado para o ensaio de expansão. B) Conjuntos de Corpos de provas imersos em água durante o ensaio de expansão. C) Prensa hidráulica automatizada realizando o ensaio de ISC.

Fonte: Própria.

3.4 Aplicação dos métodos de dimensionamento de revestimento primário

Com os dados levantados a campo e tomando como base os resultados obtidos através do ensaio de ISC, colocou-se em prática os cálculos dos métodos de dimensionamento citados na bibliografia. Dessa forma, pretende-se conferir através dos métodos de Webster e Alford (1978), Giroud e Noray (1981) e Skorseth e Selim (2000), se as estradas têm a espessura do material do revestimento primário adequado para suportar a carga que lhe é imposta. Com isso, propor soluções técnicas de melhorias a serem empregadas nas 4 estradas estudadas do município de Alegrete/RS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Condições geotécnicas in-situ das estradas

No Quadro 6, apresenta-se os resultados de massa específica seca aparente “in-situ” e a espessura de cada camada de revestimento primário.

Quadro 6 – Dados coletados a campo.

Dados coletados a campo			
Estrada	Ramo	Massa específica aparente do solo "in situ" (g/cm ³)	Espessura do revestimento primário (cm)
Angico	1	1,81	20
Angico	2	2,17	12
Caverá	1	1,58	8
Caverá	2	1,66	11
R. São Miguel	1	1,69	5
R. São Miguel	2	2,03	8
Silvestre	1	1,47	20
Silvestre	2	1,87	16

Fonte: Própria

Vale destacar que a estrada do Silvestre, na qual foram encontradas boas espessuras de revestimento primário, de 16 cm a 20 cm e sua base era composta por pedregulhos, sendo considerado um bom material.

No Rincão de São Miguel, foram encontradas camadas de revestimento menores, de 5 cm no ramo 1, e a base era composta por pedras de “mão”. Já no ramo 2 havia 8 cm de camada de revestimento sobre uma base de solo natural.

Na estrada do Angico, o qual é um lugar de bastante cascalho na região, foram encontradas espessuras de 12 cm à 20 cm de revestimento primário. Vale ressaltar que no ramo 1 existia uma grande presença de cascalho, e no ramo 2 somente o revestimento sobre uma base de solo natural.

No Caverá foram encontrados valores de espessuras de revestimento primário, entre 8 cm e 11 cm, sobre base de solo natural.

4.2 Aplicação do ICRNP

Juntamente com os dados dos defeitos encontrados para cada unidade simples das estradas estudadas, foi realizado o cálculo da densidade e do valor dedutível, segundo o

método ICRNP. Além disso, o valor “q” é o número de defeitos com valor dedutível maior que 5.

Nos Quadros 7 e 8, estão apresentadas demonstrativamente as tabelas referentes aos cálculos realizados para duas Unidades Simples (U.S.). Os cálculos referentes às demais unidades encontram-se no Apêndice (A, B,C e D) deste trabalho.

Quadro 7 – Dados referentes a estrada do Silvestre Ramo 2, Seção 2 e U.S. 1.

Silvestre - Ramo 2 - Seção 2 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
81	43,75	B	38	253	4	4
82	43,75	A	52			
84		B	2			
85	11,48	B	60			
85	5,74	A	82			
87	131,24	B	19			
					Área da U. S. (m²)	375

Fonte: Própria.

Quadro 8 – Dados referente a estrada do Rincão de São Miguel, Ramo 1, Seção 9 e U.S. 1.

R. São Miguel - Ramo 1 - Seção 9 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
82	17,9	B	20	77	3	52
82	11,93	M	22			
83	23,64	B	12			
84		M	4			
87	29,83	B	19			
					Área da U. S. (m²)	550

Fonte: Própria.

No Quadro 9 estão apresentados os resultados de ICRNP encontrados em cada unidade simples, ramo e estrada, junto de sua Classificação.

Cada estrada possui dois ramos, cada ramo possui seções. As seções não possuem número definido, as mesmas podem variar de acordo com as patologias e homogeneidade dos ramos. Cada seção possui uma unidade simples.

Quadro 9 – Resumo dos ICRNP de cada U.S. estudada.

Estrada	Angico	Angico	Caverá	Caverá	R. São Miguel	R. São Miguel	Silvestre	Silvestre
Ramo	1	2	1	2	1	2	1	2
Seção 1 U.S. 1	0	42	3	4	11	0	32	37
Seção 2 U.S. 1	0	10	4	12	2	62	38	4
Seção 3 U.S. 1	21	3	48	30	2	3	4	0
Seção 4 U.S. 1	5	3	4	0	0	42	4	4
Seção 5 U.S. 1	18	58	4	10	8	8	38	0
Seção 6 U.S. 1	9	12	13	4	3	0	31	42
Seção 7 U.S. 1	0	11	31	8	3	10	18	53
Seção 8 U.S. 1	38	3	20	4	3	0	4	5
Seção 9 U.S. 1	45	3	*	*	52	*	0	*
Seção 10 U.S. 1	3	22	*	*	*	*	0	*
ICRNP Ramo	15	15	14	9	12	26	12	19
ICRNP Estrada	15		11		18		16	
Classificação	Muito Pobre		Muito Pobre		Muito Pobre		Muito Pobre	
Legenda: * Não possui Seção e Unidade Simples								

Fonte: Própria.

Para as estradas não pavimentadas que foram estudadas neste trabalho (inseridas no município de Alegrete/RS), foram encontrados níveis muito baixos de índice ICRNP; apresentando a estrada do Angico ICRNP =15, estrada do Caverá ICRNP = 11, estrada do Rincão de São Miguel ICRNP = 18 e a estrada do Silvestre ICRNP = 16. As quatro rodovias não pavimentadas em análise receberam a classificação “Muito Pobre”.

Com base na classificação do ICRNP e nas vistorias de campo realizadas nos locais, podemos confirmar o real estado das estradas rurais do município de Alegrete/RS, as quais se encontram em situações precárias, comprometendo a eficiência do conforto à trafegabilidade dos veículos e segurança dos motoristas.

Nas vistorias de campo, ao trafegar pelas rodovias, notou-se que existem graves defeitos de construção e manutenção, que levam a má qualidade da estrada e ao agravamento da sua condição de trafegabilidade. O principal problema encontrado nas rodovias estudadas foi decorrente da falta de um bom sistema de drenagem, onde as valetas deveriam ser feitas em cotas menores que da plataforma da pista e dimensionadas hidraulicamente de forma apropriada, tendo sua manutenção e limpeza sempre em boas condições. A drenagem tem como finalidade levar as águas que escorrem superficialmente o mais rápido possível para fora da estrada, lembrando que não pode ocorrer estanqueidade da água nos sistemas de drenagens, o qual pode provocar infiltrações nas camadas da rodovia. É comumente visto durante o deslocamento pelas estradas, que muitos locais com lavouras de arroz adjacentes acabam deixando as drenagens das estradas cheias de água, o qual é extremamente prejudicial para a mesma. O excesso de umidade no maciço da rodovia (revestimento de solo compacto)

pode causar uma deficiência no suporte de carga, onde ao ser imposto sobre a pista causaria o aparecimento de buracos, corrugações e trilhas de roda, e assim, suscetivelmente, causando grandes estragos.

Seguidamente, também foram observadas seções transversais impróprias, as quais são decorrentes da falta e/ou da má manutenção da estrada. A perda de agregados encontrados principalmente na estrada do Caverá é decorrente do desprendimento de partículas que compõem a camada de revestimento, sendo acumuladas nas extremidades e no centro da pista, causando aparecimento de trilhas de roda. Tais agregados soltos acabam tornando a rodovia muito perigosa, pois ao conduzir o veículo pode ocorrer à perda do controle do mesmo.

Em pequenos locais onde a pista de rolamento é constituída de camada rochosa, as superfícies são irregulares e com aspecto de corrugações, causando desconforto ao tráfego. O excesso de poeira está geralmente presente em baixa severidade, chegando em alguns trechos à média severidade, influenciando assim, na visibilidade das estradas e em alguns casos comprometendo a segurança dos motoristas. Finalmente, embora os buracos encontrados na maioria das estradas apresentam baixos níveis de tamanho, mas em grande quantidade, acabam causando desconforto ao tráfego, além de formar depósitos de água sobre a pista de rolamento, e assim, cada vez mais, aumentando em quantidade e severidade.

4.3 Caracterizações geotécnicas

4.3.1 Granulometria

Na Figura 14, apresenta-se os resultados de granulometria das 4 estradas estudadas, onde representa-se cada estrada por uma cor, os Ramos 1 em linha continua e Ramos 2 em linha tracejada, conforme a legenda.

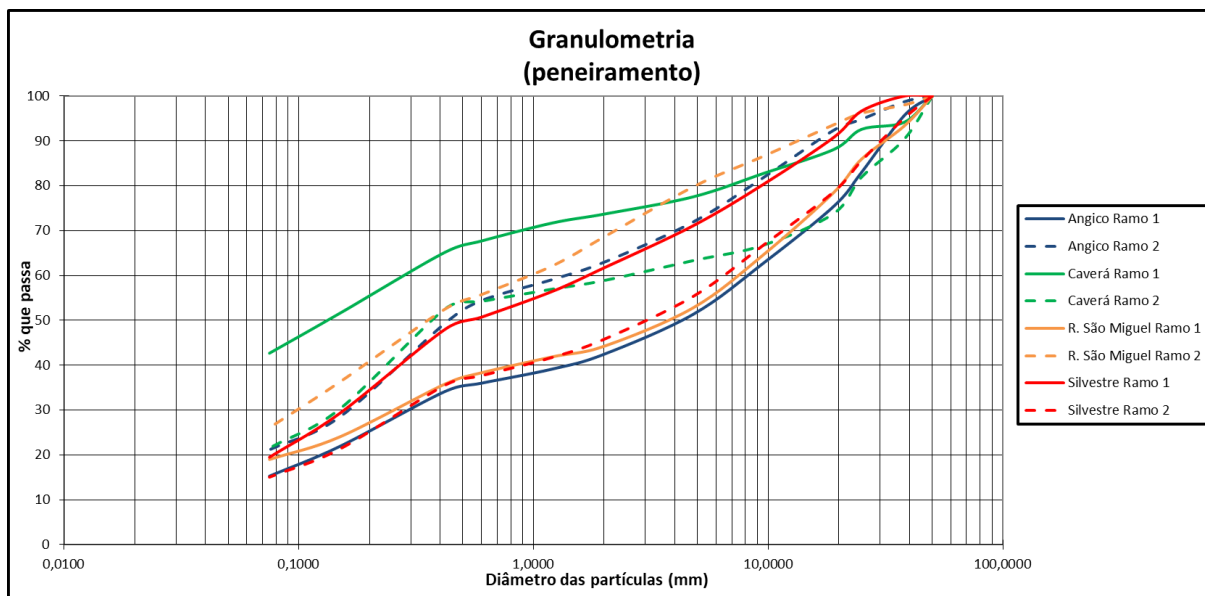


Figura 14 – Dados de granulometria.

Fonte: Própria.

Nota-se certa similaridade nas curvas de granulometria, percebendo-se que quase todas as amostras apresentam proporções menores a 30% que passam na peneira de abertura 0,074 mm, com exceção do ramo 1 da estrada do Caverá que passa 43 %. Já na peneira de abertura 2 mm, temos uma maior variação do material, que passa de 42 a 72 %.

4.3.2 Limites de Atterberg e Massa Específica dos Grãos

No Quadro 10, apresenta-se os resultados referentes ao ensaio de Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP) e Massa Específica dos Grãos Passantes na peneira de abertura 4,8mm.

Quadro 10 – Dados referentes ao ensaio de LL, LP, IP e Massa Específica dos Grãos, para as estradas rurais do município de Alegrete/RS.

Estrada	Ramo	LL %	LP %	IP %	M. Esp. Dos Grãos g/cm ³
Angico	1	20,29	18,12	2	2,86
Angico	2	22,92	19,63	3	2,70
Caverá	1	54,08	36,34	18	2,71
Caverá	2	28,24	19,54	9	2,66
R. São Miguel	1	21,01	18,34	3	2,90
R. São Miguel	2	24,24	18,65	6	2,92
Silvestre	1	27,49	21,03	6	2,73
Silvestre	2	23,81	20,62	3	2,84

Fonte: Própria

Praticamente todas as amostras de revestimento primário obtiveram resultados próximos, com LL variando de 20,29% a 28,24%, LP de 18,12% a 21,03% e IP de 2 a 9%. O único solo que se destacou dos demais, foi a do Ramo 1 da estrada do Caverá, com LL 54,08%, LP 36,34 e IP 18%, sendo o maior dos resultados. Para estradas não pavimentadas o DER/SP (2006), recomenda $LL \leq 35\%$ e $IP \leq 7\%$ para camadas de revestimento primário. De acordo com esta norma, o solos dos ramos 1 e 2 da estrada do Caverá não são recomendáveis para utilização em camadas de revestimento primário, por conter $IP \geq 7\%$.

Em relação a massa específica dos grãos, pode se dizer que as amostras tiveram pouca variação, pois ficaram entre $2,66 \text{ g/cm}^3$ e $2,92 \text{ g/cm}^3$.

4.3.3 Classificação TRB e SUCS

No Quadro 11, temos as classificações TRB e SUCS dos solos analisados.

Quadro 11 – Classificação TRB e SUCS.

Localização		% Que passa nas Peneiras				Limites de Atterberg			IG	Classificação	
Estrada	Ramo	4	10	40	200	LL %	LP %	IP %		TRB	SUCS
Angico	1	51,38	42,46	34,15	15,28	20	18	2	0	A-2-4 pedregulho ou areias siltosos ou argilosos (excelente a bom)	Areia argilosa com Pedregulho (SC)
Angico	2	71,96	62,97	49,37	21,16	23	20	3	0	A-2-4 pedregulho ou areias siltosos ou argilosos (excelente a bom)	Areia argilosa com pedregulho(SC)
Caverá	1	77,55	73,69	65,19	42,68	54	36	18	4	A-7-5 solos argilosos (sofrível a mau)	Areia siltosa com pedregulho (SM)
Caverá	2	63,33	58,89	52,55	21,55	28	20	8	0	A-2-4 pedregulho ou areias siltosos ou argilosos (excelente a bom)	Areia argilosa com Pedregulho (SC)
R. São Miguel	1	52,83	44,24	35,82	19,00	21	18	3	0	A-2-4 pedregulho ou areias siltosos ou argilosos (excelente a bom)	Areia argilosa com Pedregulho (SC)
R. São Miguel	2	79,79	68,62	52,53	26,07	24	19	5	0	A-2-4 pedregulho ou areias siltosos ou argilosos (excelente a bom)	Areia argilo-siltosa com pedregulho (SC-SM)
Silvestre	1	71,12	61,72	48,01	19,49	27	21	6	0	A-2-4 pedregulho ou areias siltosos ou argilosos (excelente a bom)	Areia argilo-siltosa com pedregulho (SC-SM)
Silvestre	2	55,36	45,79	35,57	15,05	24	21	3	0	A-2-4 pedregulho ou areias siltosos ou argilosos (excelente a bom)	Areia argilosa com pedregulho(SC)

Fonte: Própria.

A classificação TRB baseia-se na granulometria, no Limite de Liquidez, no Índice de Plasticidade e no Índice de Grupo (IG), sendo recomendada para analisar materiais de base e sub-base de pavimentos (DNIT, 2006). A classificação de praticamente todos os solos segundo a TRB foram, A-2-4 pedregulho ou areias siltosos ou argilosas, possuindo comportamento como subleito de excelente a bom. Apenas o solo do Caverá ramo 1, classificou-se como A-7-5 solos argilosos, que possui comportamento como subleito de sofrível a mau.

A classificação SUCS baseia-se na granulometria e plasticidade de solos para sua classificação, sendo amplamente usada em estradas, aeroportos, aterros e fundações (DNIT,

2006). As amostras dos ramos 1 e 2 do Angico, ramo 2 do Caverá, ramo 1 do Rincão de São Miguel e ramo 2 do Silvestre, classificaram-se como areia argilosa com pedregulho (SC). O solo da estrada do Caverá ramo 2, classificou-se como areia siltosa com pedregulho (SM). As amostras do Rincão de São Miguel ramo 2 e Silvestre Ramo 1, classificaram-se como areia argilo-siltosa com pedregulho (SC-SM),

4.4 Ensaio de compactação

Na figura 15, apresenta-se as curvas de compactação referentes as 4 estradas, sendo divididas conforme a legenda. Cada estrada está representada por uma cor, os Ramos 1 pela linha continua e Ramos 2 pela linha tracejada.

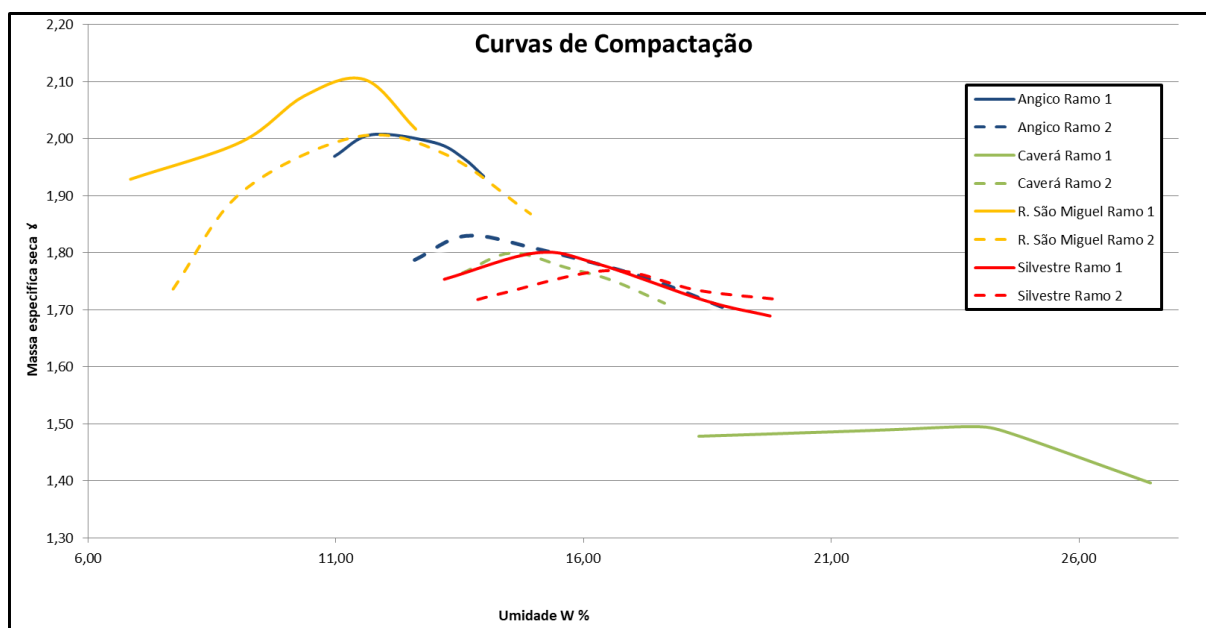


Figura 15 – Curvas de Compactação das 4 estradas estudadas.

Fonte: Própria

Podemos notar certa similaridade entre as curvas de compactação do Ramo 1 e Ramo 2 nas estradas do Rincão de São Miguel e do Silvestre. Enquanto nas estradas do Angico nota-se uma pequena distância entre as curvas de compactação dos seus ramos. Na estrada do Caverá as curvas de seus Ramos estão bem distante uma da outra, destacando o ramo 1 que está bastante deslocada das demais.

No Quadro 12, podem-se observar os resultados de umidade ótima e massa específica seca máxima de cada estrada.

Quadro 12 – Teor de umidade ótimo e massa específica máxima

Localização		Ensaio de compactação		Massa específica aparente do solo "in situ" (g/cm ³)
Estrada	Ramo	W %	M. Esp. Seca. g/cm ³	
Angico	1	11,73	2,01	1,81
Angico	2	13,63	1,83	2,17
Caverá	1	23,82	1,50	1,58
Caverá	2	14,54	1,80	1,66
R. de São Miguel	1	11,57	2,10	1,69
R. de São Miguel	2	11,44	2,00	2,03
Silvestre	1	15,05	1,80	1,47
Silvestre	2	16,52	1,77	1,87

Fonte: Própria

Pode-se dizer que todas as amostras de revestimento primário submetidas ao ensaio de compactação ficaram com valores de massa específica seca máxima entre 1,77 g/cm³ a 2,10 g/cm³. Apenas o Ramo 1 da estrada do Caverá ficou com valores distantes dos demais, sendo a menor com 1,50 g/cm³ e umidade ótima mais alta de 23,82%. Na estrada do Silvestre pode-se destacar a proximidade dos resultados nos ramos 1 e 2, onde encontrou-se 15,05% e 1,80 g/cm³, 16,52% e 1,77 g/cm³ de umidade ótima e massa específica seca respectivamente.

Na estrada do Angico ramo 1, Caverá ramo 2, Rincão de São Miguel ramo 1 e Silvestre ramo 1, as massas específicas secas encontradas a campo foram bem menores que as encontradas em laboratório, com energia normal de compactação. Na estrada do Angico ramo 2, a massa específica seca "in-situ", é maior que a encontrada no laboratório. No Caverá ramo 1, Rincão de São Miguel ramo 2, e Silvestre ramo 2, em bora as massas específicas secas medidas à campo pelo método do frasco de areia foram maiores, são bem próximas as encontradas em laboratório durante o ensaio de compactação. Pela inconsistência dos dados de campo em comparação aos do laboratório, pode-se concluir que não houve um controle e uso de energia de compactação definido nas estradas.

4.5 Ensaio de expansibilidade e ISC

Na figura 16 (A, B C e D), apresenta-se as curvas de ISC junto com as curvas de Compactação referentes aos Ramos de cada estrada estudada. Cada ramo possui uma cor, a curva de compactação em linha tracejada e o ISC em Linha contínua, conforme a legenda.

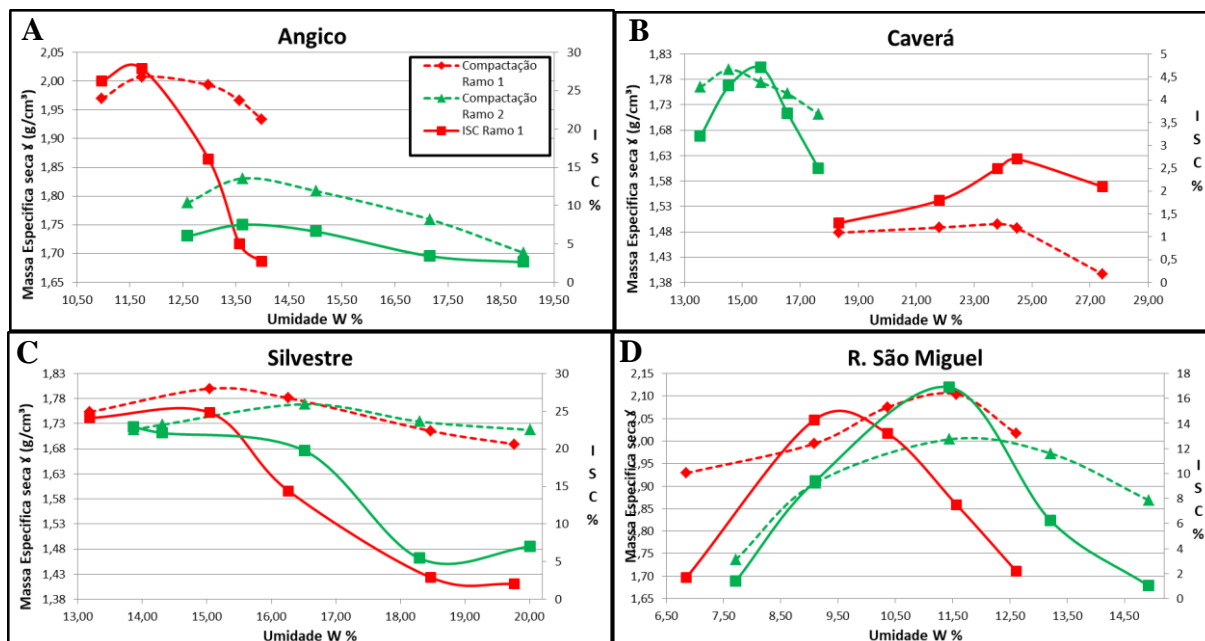


Figura 16 – Curvas de Compactação e ISC. A) Estrada do Angico. B) Estrada do Caverá. C) Estrada do Silvestre. D) Estrada do Rincão de São Miguel.

Fonte: Própria

Pode-se dizer que na estrada do Rincão de São Miguel e do Silvestre, o comportamento das curvas de Compactação e de ISC tem certa similaridade entre os ramos de cada rodovia. Já na estrada do Angico e do Caverá, as curvas de seus ramos têm comportamento bem distintos entre si.

No Quadro 13, são apresentados os resultados referentes aos corpos de prova moldados na umidade ótima e massa específica seca máxima. Os resultados de ISC são referentes ao teor de umidade ótimo. Vale ressaltar que nem todos são os maiores valores de ISC, como podemos ver nas curvas do ramo 2 da estrada do Caverá (Figura 16B) e nas curvas do ramo 1 do Rincão de São Miguel (Figura 16D), onde o maior valor de ISC não é no ponto de umidade ótima na curva de compactação. Sendo assim, favorecendo a segurança e buscando padronizar os valores utilizados nos cálculos de dimensionamento, optou-se por utilizar o valor de ISC referente à umidade ótima, mesmo que nem sempre este valor seja o maior valor de ISC.

Quadro 13 – Resumo dos dados de compactação, ISC e Expansão.

Localização		Ensaio de compactação		Ensaio ISC	Ensaio de Expansão	
Estrada	Ramo	W %	M. Esp. Seca. g/cm ³	ISC %	Deslocamento (mm)	Expansão (%)
Angico	1	11,73	2,01	27,9	0,20	0,2
Angico	2	13,63	1,83	7,5	0,97	0,8
Caverá	1	23,82	1,50	2,5	1,59	1,4
Caverá	2	14,54	1,80	4,3	1,95	1,7
R. de São Miguel	1	11,57	2,10	7,5	0,16	0,1
R. de São Miguel	2	11,44	2,00	16,9	0,21	0,2
Silvestre	1	15,05	1,80	24,8	0,17	0,1
Silvestre	2	16,52	1,77	19,7	0,23	0,2

Obs: Dados referentes ao corpo de prova da umidade ótima

Fonte: Própria

Os resultados de ISC referentes à estrada do Silvestre são os melhores encontrados, onde os dois ramos possuem valores maiores, O ramo 1 da estrada do Angico, teve um ISC de 27,9 %, sendo o maior encontrado nos ensaios, provavelmente devido a maior presença de materiais granulares, os quais indicam serem provenientes dos cascalhos abundantes na região. Enquanto a estrada do Rincão de São Miguel possui valores médios em relação às demais amostras. Por fim, a estrada do Caverá apresenta o pior material para revestimento primário, destacando o ramo 1 com o valor mais baixo de ISC = 2,5%.

DER/SP (2006), recomenda que o ISC para revestimentos primários de estradas de terra deve ser maior que 20% e a expansão menor que 1%. Dessa forma só as estradas do Silvestre e o ramo 1 da estrada do Angico se encaixariam como adequados, os demais não se encaixariam pelo ISC baixo, e a estrada do Caverá além do ISC baixo, tem a expansibilidade $\geq 1\%$ portando sendo inadequada.

Segundo o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006), para estradas com revestimento asfáltico, os materiais de base devem apresentar $ISC \geq 80\%$ e $expansão \leq 0,5\%$, Limite de Liquidez $\leq 25\%$ e Índice de Plasticidade $\leq 6\%$. E para sub-base $ISC \geq 20\%$, $IG = 0$ e $expansão \leq 1\%$.

4.6 Dimensionamentos dos pavimentos primários

Para aplicar os métodos de dimensionamento do revestimento primário, é necessário possuir o valor do número “N”, que refere-se ao número de repetições de um eixo padrão de 80 kN, o qual pode ser calculado através de um estudo de tráfego. Devido não ser possível realizar o estudo de tráfego para este trabalho, foi utilizado o número N referente à estrada RS566 localizada em Alegrete/RS, a qual é uma rodovia estadual não pavimentada que tem um maior volume de veículos que as estradas municipais estudadas, e também, pelo fato de

estar localizada dentro do município. Portanto favorecendo a segurança utilizou-se o número N referente à RS566 e o qual é disponibilizado pelo DAER-RS e encontra se no Anexo D deste trabalho. Os ISC utilizados nos cálculos são referentes à média das leituras obtidas no teor de umidade ótimo de cada ramo.

No Quadro 14 estão os cálculos referentes aos 3 métodos de dimensionamento de revestimento primário aplicados às estradas do Angico, Caverá, Rincão de São Miguel e Silvestre, baseado nas referências de Webster e Alford (1978), Giroud e Noray (1981) e Skorseth e Selim (2000).

Quadro 14 – Cálculos referentes aos métodos de dimensionamento.

Dados das estradas				Webster & Alford (1978)	Giroud & Noray (1981)				Skorseth & Selim (2000)	
Estrada	Ramo	ISC %	N	ho (cm)	Cu	P (KN)	r (m)	ho (cm)	VVP	ho (cm)
Angico	1	27,9	802000	0,14	837	80	0,03	0,14	25 a 50	21,5
Angico	2	7,5	802000	0,32	225	80	0,03	0,32	25 a 50	29
Caverá	1	2,5	802000	0,63	75	80	0,03	0,64	25 a 50	37
Caverá	2	4,3	802000	0,45	129	80	0,03	0,46	25 a 50	29
R. de São Miguel	1	8	802000	0,30	240	80	0,03	0,31	25 a 50	29
R. de São Miguel	2	16	802000	0,20	480	80	0,03	0,20	25 a 50	21,5
Silvestre	1	24,8	802000	0,15	744	80	0,03	0,15	25 a 50	21,5
Silvestre	2	19,7	802000	0,17	591	80	0,03	0,17	25 a 50	21,5

Fonte: Própria

O método de Webster e Alford (1978) é uma fórmula simples de ser aplicada, que utiliza os dados de ISC % e número “N”. No método proposto por Giroud e Noray (1981) é necessário calcular a resistência não drenada do solo (Cu) que é igual a 30 vezes o ISC%, também é necessário atribuir uma carga de eixo padrão (P), a qual utilizou-se 80 kN que é a mesma utilizada de forma fixa pelo método de Webster e Alford (1978). O “r” refere-se ao afundamento de trilha de roda, foi utilizado 0,03 m, que é referente ao defeito trilha de roda de baixa severidade encontrados na metodologia ICRNP. Por fim o método proposto pro Skorseth e Selim (2000) o qual é bem prático e muito fácil de aplicar, leva em conta o volume de veículos pesados diários (VVP) e o ISC % da estrada, com isso, basta utilizar a tabela do método que informa a espessura do revestimento. O VVP foi atribuído à faixa de 25 a 50 veículos por dia, devido ao grande volume de caminhões e carretas durante a safra de grãos de verão no município.

No Quadro 15, temos o comparativo das espessuras encontradas a campo durante as vistorias realizadas, com os resultados referentes aos métodos aplicados.

Quadro 15 – Comparativo das espessuras encontradas à campo com as sugeridas pelos métodos de dimensionamento

Dados coletados a campo			Espessura pelos métodos (cm)		
Estrada	Ramo	Espessura do revestimento primário (cm)	Webster & Alford (1978)	Giroud & Noray (1981)	Skorseth & Selim (2000)
Angico	1	20	13,8	14,0	21,5
Angico	2	12	31,5	32,1	29,0
Caverá	1	8	63,0	64,1	37,0
Caverá	2	11	44,8	45,6	29,0
R. São Miguel	1	5	30,3	30,8	29,0
R. São Miguel	2	8	19,6	19,9	21,5
Silvestre	1	20	14,8	15,1	21,5
Silvestre	2	16	17,2	17,5	21,5

Fonte: Própria

A estrada do Silvestre pode-se considerar bem dimensionada, pois os resultados encontrados a campo são muito parecidos com os sugeridos pelos métodos. O ramo 1 da estrada do Angico também encontra-se com valores bons de espessura de revestimento, bem coerentes com os métodos, provavelmente atribuído por possuir grande quantidade de cascalho no local. Os demais ramos das estradas possuem espessuras de revestimento bem abaixo do sugerido. Vale ressaltar o ramo 1 da estrada do Caverá o qual tem o menor ISC, onde os métodos sugeriram espessuras de até 64,1 cm o que pode se considerar um valor bem alto, o que indica a necessidade de um estudo detalhado sobre suas condições e melhorias para um ISC maior.

5 SOLUÇÕES PROPOSTAS

Com base nos resultados obtidos pelos ensaios de caracterização, classificação de solos, compactação, aplicação do Índice de Suporte Califórnia, método ICRNP de serventia e dos métodos de dimensionamento de revestimento primário, são sugeridas algumas possíveis soluções de melhorias.

Angico, é classificado como sendo um bom solo para utilização em obras de terra, é um local de maior facilidade de encontrar material derivado de cascalheiras, o ICRNP nos apontou que existem problemas de seção transversal imprópria e de drenagem. Dessa forma, é recomendado que nos pontos críticos se faça manutenção na seção transversal através da adição de material, terraplanagem e compactação, assim melhorando e facilitando o escoamento da água para fora da pista. Lembrando, que as drenagens necessitam de melhorias e manutenções, pois é o ponto crítico de todas as rodovias estudadas. Também recomenda se através do dimensionamento maiores espessuras de revestimento para o ramo 2.

No Caverá existe a falta de uma melhor fundação da estrada, onde constatou-se durante a análise do revestimento, que o mesmo está sobre o solo natural, desta forma pode causar uma instabilidade ao suporte de carga, o qual foi especificado pelos baixos valores de ISC (2,5% a 4,3%). O ramo 1 desta estrada, apresentou os piores resultados em todos os ensaios de laboratório. Os quais nos indicam uma necessidade de melhoria do revestimento primário, e também de uma melhor compactação, buscando obter-se um ISC mais elevado. Além dos problemas de perda de agregados que ocorrem em vários locais da estrada, a drenagem é um dos maiores problemas, precisando realizar melhorias e manutenções periódicas.

O Rincão de São Miguel possui uma boa classificação de solos, onde considera-se adequado para o devido fim. A mesma possui boa fundação no ramo 1, composta por pedras de mão, já no ramo 2 é sobre o solo natural. É necessário uma melhoria no revestimento primário, onde deve-se adicionar mais material de revestimento e compacta-lo, pois segundo os métodos está bem abaixo do necessário. E voltando a destacar a drenagem, como sendo a maior necessidade quanto à melhoria, a qual é bastante obstruída e mal dimensionada.

O solo da estrada do Silvestre possui boa classificação para obras de terra, obteve os melhores resultados de ISC, os resultados encontrados nos métodos de dimensionamento condizem com o encontrado a campo. No entanto é necessária uma melhora nos dispositivos de drenagem, o qual prolongaria a vida útil da estrada e diminuiria a sua manutenção.

6 CONCLUSÕES

O estudo das condições de serventia e dimensionamento das estradas rurais não pavimentadas é muito importante, para conhecer quais os pontos que mais influenciam na sua conservação e qualidade. Com isso, é possível ter melhores informações e conhecimentos para uma manutenção eficiente, que venham agregar em durabilidade e redução de gastos em manutenção.

A aplicação do Índice de Conservação da Estrada Não Pavimentada (ICRNP) classificou as estradas do Angico, Caverá, Rincão de São Miguel e Silvestre, como “muito pobre”. O método permitiu identificar os defeitos que mais influenciam na conservação das rodovias estudadas, sendo esses, a falta de sistemas de drenagem eficientes e de seções transversais adequadas. Em alguns casos foram encontrados trechos com seção transversal em formato côncavo, causando o acúmulo de água na pista. Verificou-se também, a ocorrência de barreiras de agregados soltos sobre a pista de rolamento, a qual acaba dificultando o escoamento da água até os sistemas de drenagens. Finalmente, foram encontrados na maioria dos trechos analisados, buracos em baixos níveis de tamanho, mas em quantidade considerável. Dessa forma, os defeitos supracitados podem causar o aparecimento de outras patologias, comprometendo às condições estruturais de resistência, à segurança e trafegabilidade das rodovias não pavimentadas.

A estrada do Caverá, possui um material inadequado para revestimento primário. As amostras de solo coletadas nas estradas do Angico, Rincão de São Miguel e Silvestre, resultaram ser apropriadas para o uso em camadas de revestimento primário. As informações citadas foram confirmadas através dos métodos de classificação de solos.

Apenas os solos compactados sob energia normal, das estradas do Silvestre e do Angico ramo 1, atingiram o mínimo recomendado de ISC (20%).

A massa específica seca máxima encontrada no ensaio de compactação sob energia normal, quando comparada às massas específicas medidas “in-situ” pelo frasco de areia, nos mostram uma amplitude de variação de resultados, o que nos indica que na maioria dos trechos estudados, não foram empregados nenhum tipo de compactação.

O estudo da camada de revestimento primário através da aplicação dos métodos de dimensionamento, indicou que somente a estrada do Silvestre e o ramo 1 da estrada do Angico, apresentaram espessuras de camadas proporcionais as recomendadas pelos métodos.

Finalmente, o estudo mostrou a necessidade de utilizar técnicas de dimensionamento e melhorias, que permitam a manutenção e dimensionamento apropriado que possam ser aplicadas às estradas rurais do município de Alegrete/RS, possibilitando um melhor conforto à trafegabilidade e segurança dos seus usuários.

7 SUGESTÕES DE ESTUDO

Durante o desenvolvimento desse estudo de caso, notou-se a necessidade de informações adicionais sobre as 4 estradas estudadas do município de Alegrete/RS, os quais seriam de grande importância para uma melhor representação da conservação e qualidade das rodovias rurais não pavimentadas da região.

- Aplicar a metodologia ICRNP antes e depois da safra de grãos de verão do município.
- Realizar o estudo de tráfego para determinar o número “N” de cada estrada.
- Coletar amostras de mais pontos das estradas, para estudos em laboratório, buscando uma melhor representação da mesma.
- Repetir os ensaios de ISC para energia intermediária e modificada de compactação.

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 9604: **Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retiradas de amostras deformadas e indeformadas**. 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 7182: 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.

ALEGRETE. **Prefeitura Municipal de Alegrete**. Alegrete/RS. 2019.

BAESSO, D. P. GONÇALVES, F.L.R. **Estradas Rurais: Técnicas Adequadas de Manutenção**. Florianópolis. DER, 2003.

CNT. **Anuário CNT do transporte**. Confederação Nacional do Transporte, 2018.

DEPARTMENT OF THE ARMY, TM 5-626, **Unsurfaced Road Maintenance Management, Washington** 16 January 1995.

DER/PR. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná. **Terraplenagem: Revestimento Primário**. Curitiba, Paraná, 2005.

DER/SP. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. **Revestimento Primário: Especificação Técnica**. São Paulo, 2006.

DNIT. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2006.

FERREIRA, M. F. PAIVA, C.E.L. **Avaliações comparativas de métodos de avaliação das condições superficiais de estrada não pavimentada**. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2007.

FERREIRA, M. F. **Uma aplicação comparativa de métodos de avaliação das condições superficiais de estrada não pavimentada**. Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2004.

GIROUD, J. P.; NORAY, L. **Geotextile-Reinforced Unpaved Road Design**. *J. Of Geotech. Engng.Div.* ASCE, Vol. 107, 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.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística, 2010, 2017. **Panorama de Alegrete/RS**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/alegrete/panorama>>. Acesso em Julho de 2019.

IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. **Dados referentes a safra 2018/2019**, 2019. Disponível em: <<https://irga-admin.rs.gov.br/upload/arquivos/201906/07134923-colheita-18-19.pdf>>. Acesso em julho de 2019.

OLIVEIRA, R.J. **Uso de Redes Neurais Artificiais na Avaliação Funcional de Estradas Rurais**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas gerais. 2008.

PERAÇA, V. **Qualificando solos para revestimentos primários de rodovias: uma abordagem baseada na mecânica dos solos e dos pavimentos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre 2007.

ROSSO. L. T. **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**. Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2015.

SUPORTE SONDAGENS. **Compactação de Solos - Ensaio Geotécnicos - O Ensaio e as Energias de Compactação**. Disponível em: <<http://www.suportesolos.com.br/blog/ensaios-geotecnico-compactacao-de-solos-o-ensaio-e-as-energias-de-compactacao/68/>>. Acesso em Novembro de 2019.

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

VIVIANI, E. **A utilização de um Sistema de Informação Geográfica como auxílio à gerência de manutenção de estradas rurais não pavimentadas**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

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.

ANEXOS

ANEXO A

FICHA DE INSPEÇÃO DE RODOVIA NÃO PAVIMENTADA (ICRNP) Baesso e Gonçalves (2003)

Estrada: _____

Sigla da Rodovia: _____ Data: __/__/__

Ramo: _____ Inspetor: _____

Seção: _____ Comprimento da US: _____ m

Unidade Simples (US): _____ Largura da US: _____ m

Coordenadas: _____

Anotações

Tipo de defeitos

81- Seção Transversal Imprópria (m)

82- Drenagem Inadequada (m)

83- Corrugações (m²)

84- Excesso de Poeira

85- Buracos (unid)

86- Trilha de Roda (m²)

87- Perda de Agregados (m)

--

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)

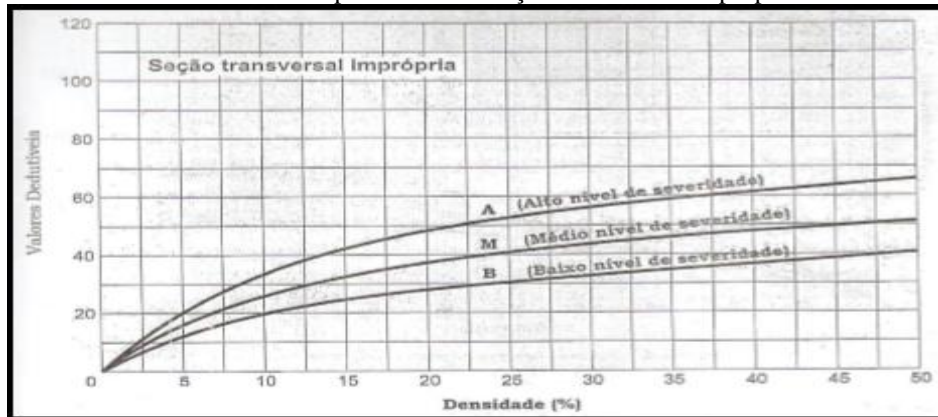
Cálculo do ICRNP

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

ANEXO B

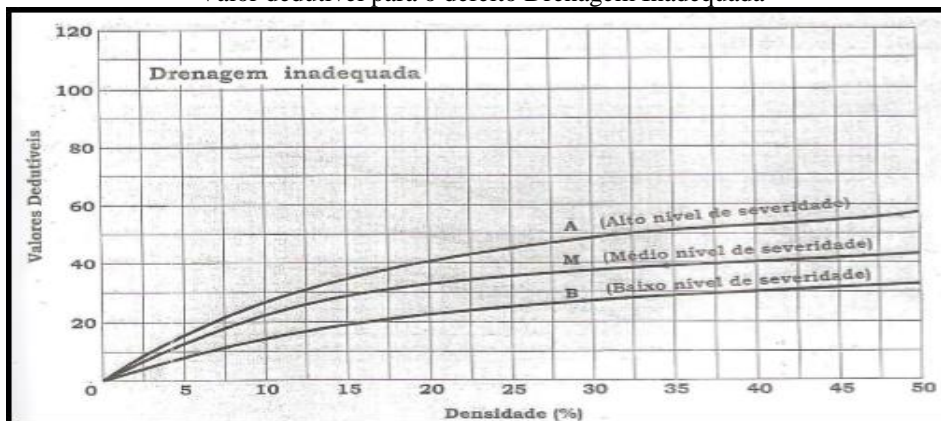
Valores dedutíveis para os defeitos em estradas

Valor dedutível para o defeito Seção Transversal Imprópria



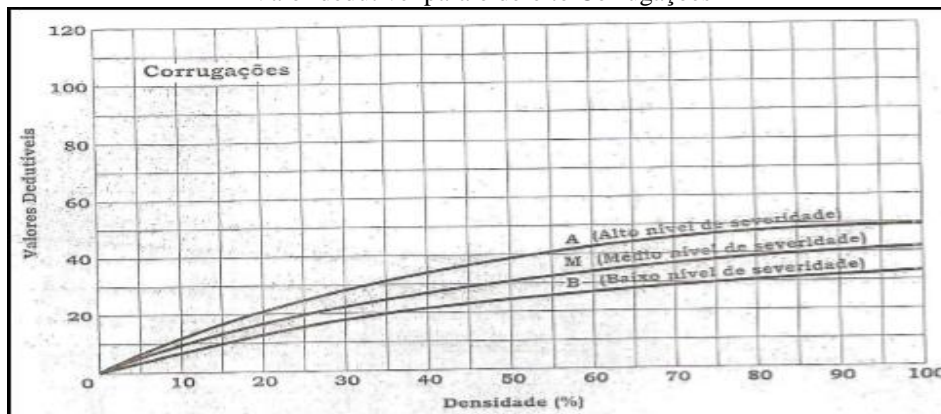
Fonte: Baesso e Gonçalves (2003, pág. 185).

Valor dedutível para o defeito Drenagem Inadequada



Fonte: Baesso e Gonçalves (2003, pág. 185).

Valor dedutível para o defeito Corrugações



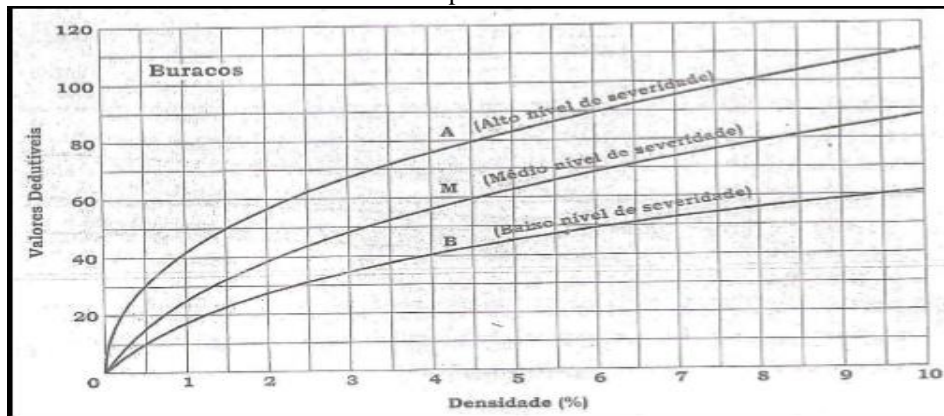
Fonte: Baesso e Gonçalves (2003, pág. 186).

Valor dedutível para o defeito Excesso de Poeira

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

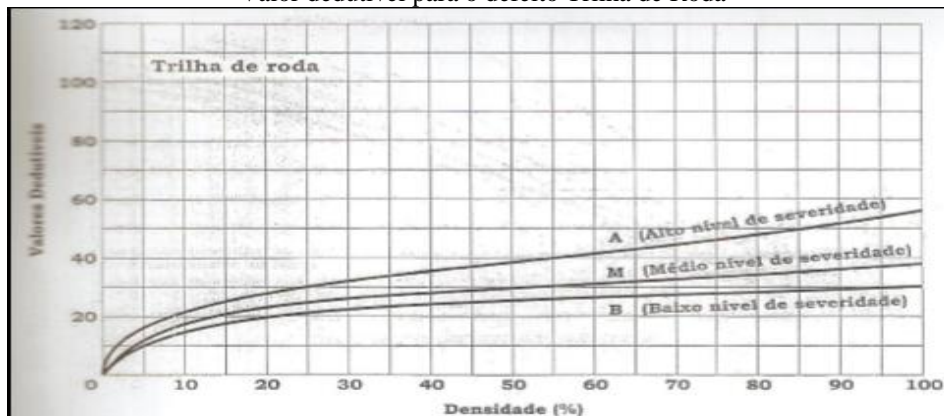
Fonte: Adaptado de Baesso e Gonçalves (2003)

Valor dedutível para o defeito Buracos



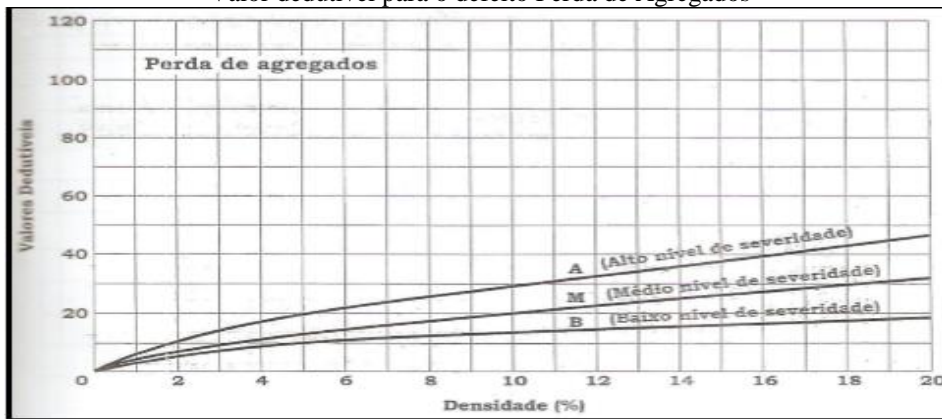
Fonte: Baesso e Gonçalves (2003, pág. 186).

Valor dedutível para o defeito Trilha de Roda



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

Valor dedutível para o defeito Perda de Agregados

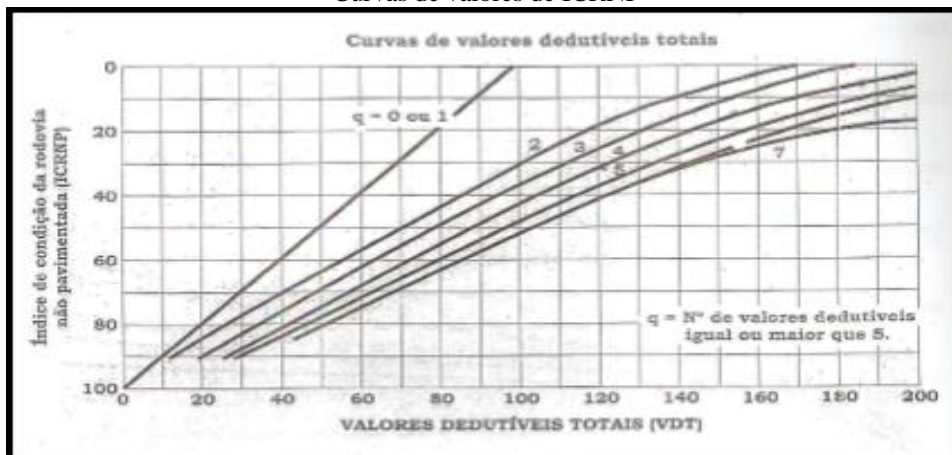


Fonte: Baesso e Gonçalves (2003, pág. 187).

ANEXO C

Valores dedutíveis totais

Curvas de valores de ICRNP



Fonte: Baesso e Gonçalves (2003, pág. 188).

ANEXO D

Estudo de Tráfego da RS566.

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 ⁶
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	38	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

Fonte: Daer/RS

APÊNDICE

Planilhas referentes aos levantamentos realizados do Método ICRNP.

Apêndice A

Planilhas de dados referentes aos Cálculos do ICRNP da estrada do Angico.

Angico - Ramo 1 - Seção 1 - U. S. 1							Angico - Ramo 2 - Seção 1 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
84		B	2	186	1	0	82	54,68	B	32	91	3	42
85	10,76	B	60				84		B	2			2
85	5,38	M	62		Comp. Seção (m)	1200	85	3,59	B	38		Comp. Seção (m)	1200
85	2,69	A	62		Área da U. S. (m²)	400	87	54,68	B	19		Área da U. S. (m²)	300
Angico - Ramo 1 - Seção 2 - U. S. 1							Angico - Ramo 2 - Seção 2 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
81	41,01	B	40	246	5	0	82	10,10	B	15	157	3	10
82	41,01	B	30										
82	41,01	M	40				84		B	2			
84		B	2				85	6,62	B	50			
85	8,07	A	100				85	6,62	M	71		Comp. Seção (m)	700
86	10,00	B	15		Comp. Seção (m)	200	87	50,48	B	19		Área da U. S. (m²)	325
87	41,01	B	19		Área da U. S. (m²)	400							
Angico - Ramo 1 - Seção 3 - U. S. 1							Angico - Ramo 2 - Seção 3 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
81	46,87	B	38	129	3	21	81	54,68	B	40	277	4	3
82	46,87	B	31		Ramo	1	84		B	2			
82	46,87	M	41		Unid. S.	3	85	10,764	B	60			
84		B	2		Comp. Seção (m)	500	85	3,59	M	52			
87	18,75	B	17		Área da U. S. (m²)	350	85	3,59	A	72		Comp. Seção (m)	1000
							87	54,68	B	19		Área da U. S. (m²)	300
Angico - Ramo 1 - Seção 4 - U. S. 1							Angico - Ramo 2 - Seção 4 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
81	43,75	B	38	190	5	5	81	54,68	M	50	396	4	3
82	43,75	B	30				82	54,68	B	32			
82	17,5	M	30				82	54,68	A	58			
84		B	2				84		B	2			
85	11,48	B	60				85	7,18	B	52			
86	8	B	13		Comp. Seção (m)	600	85	7,18	M	73			
87	12,25	B	17		Área da U. S. (m²)	375	85	28,7	A	110		Comp. Seção (m)	1200
							87	54,68	B	19		Área da U. S. (m²)	300
Angico - Ramo 1 - Seção 5 - U. S. 1							Angico - Ramo 2 - Seção 5 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
81	52,27	B	40	151	4	18	81	46,87	B	39	60	2	58
82	10,25	B	15				84		B	2		Comp. Seção (m)	400
82	25,63	M	25				85	6,73	B	50		Comp. Seção (m)	1600
84		B	2				87	51,25	B	19		Área da U. S. (m²)	320
85	6,73	B	50		Comp. Seção (m)	1600							
87	51,25	B	19		Área da U. S. (m²)	320							
Angico - Ramo 1 - Seção 6 - U. S. 1							Angico - Ramo 2 - Seção 6 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
81	41,0125	B	38	159	4	9	82	100,95	B	32	153	3	12
82	41,0125	M	40				84		B	2			
84		B	2				85	6,62	B	50			
85	10,764	B	60		Comp. Seção (m)	700	85	3,31	M	50		Comp. Seção (m)	900
87	82,025	B	19		Área da U. S. (m²)	400	87	50,48	B	19		Área da U. S. (m²)	325
Angico - Ramo 1 - Seção 7 - U. S. 1							Angico - Ramo 2 - Seção 7 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
82	41,01	B	30	180	2	0	81	54,68	A	68	167	4	11
84		B	2				82	109,37	A	58			
85	13,46	B	60		Comp. Seção (m)	600	84		B	2			
85	16,15	M	88		Área da U. S. (m²)	400	86	22,67	B	20		Comp. Seção (m)	200
							87	54,68	B	19		Área da U. S. (m²)	300
Angico - Ramo 1 - Seção 8 - U. S. 1							Angico - Ramo 2 - Seção 8 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
82	41,0125	B	30	92	2		81	43,75	A	65	237	4	3
84		B	2				82	17,5	B	20			
85	21,528	B	60		Comp. Seção (m)	900	82	26,25	M	33			
					Área da U. S. (m²)	400	82	43,75	A	53			
							84		B	2			
Angico - Ramo 1 - Seção 9 - U. S. 1							Angico - Ramo 2 - Seção 9 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
84		B	2	57	1	45	86	19,2	B	20			
85	7,69	B	55		Comp. Seção (m)	600	86	24	M	25		Comp. Seção (m)	700
					Área da U. S. (m²)	420	87	43,75	B	19		Área da U. S. (m²)	375
Angico - Ramo 1 - Seção 10 - U. S. 1							Angico - Ramo 2 - Seção 10 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
81	43,17	B	38	231	4	3	82	46,87	M	42	177	3	3
82	43,17	B	30				82	46,87	A	54			
84		B	2				84		B	2			
85	17,00	B	60				85	18,45	B	60		Comp. Seção (m)	350
85	8,50	M	82		Comp. Seção (m)	600	87	46,87	B	19		Área da U. S. (m²)	800
87	43,17	B	19		Área da U. S. (m²)	380							
							Angico - Ramo 2 - Seção 10 - U. S. 1						
							Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
							81	30,29	B	32	136	4	22
							82	100,95	B	32			
							84		B	2			
							85	16,56	B	60		Comp. Seção (m)	325
							86	3,69	B	10		Área da U. S. (m²)	800

Fonte: Própria.

Apêndice B

Planilhas de dados referentes aos Cálculos do ICRNP da estrada do Caverá.

Caverá - Ramo 1 - Seção 1 - U. S. 1							Caverá - Ramo 2 - Seção 1 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
81	46,87	M	50	171	3	5	81	54,68	A	68	238	4	4
82	34,68	M	39				82	109,37	A	58			
84		B	2				84		M	2			
87	37,5	M	32		Comp. Seção (m)	462	85	7,18	M	78		Comp. Seção (m)	462
87	34,68	A	48		Área da U. S. (m²)	350	87	54,68	M	32		Área da U. S. (m²)	300
Caverá - Ramo 1 - Seção 2 - U. S. 1							Caverá - Ramo 2 - Seção 2 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
81	36,46	B	38	282	4	4	81	72,91	A	68	166	4	12
82	2,19	M	5				82	72,91	B	32			
84		B	2				84		M	4			
85	4,78	B	40				86	100	B	30		Comp. Seção (m)	262
85	7,18	M	72				87	145,82	M	32		Área da U. S. (m²)	225
85	2,39	A	58				Caverá - Ramo 2 - Seção 3 - U. S. 1						
87	72,91	B	19		Comp. Seção (m)	562	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
87	36,46	A	48		Área da U. S. (m²)	450	81	59,65	M	51	116	3	30
Caverá - Ramo 1 - Seção 3 - U. S. 1							82	58,65	M	42			
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	84		M	4		Comp. Seção (m)	666
83	15,71	B	10	84	3	48	87	178,96	B	19		Área da U. S. (m²)	275
84		B	2				Caverá - Ramo 2 - Seção 4 - U. S. 1						
86	28,57	B	21				Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
87	93,74	B	19		Comp. Seção (m)	366	81	65,62	A	68	197	3	0
87	93,74	M	32		Área da U. S. (m²)	350	82	26,25	A	58			
Caverá - Ramo 1 - Seção 4 - U. S. 1							84		M	4			
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	87	131,24	B	19		Comp. Seção (m)	862
82	23,16	B	22	234	4	4	87	65,62	A	48		Área da U. S. (m²)	250
83	18,12	B	11				Caverá - Ramo 2 - Seção 5 - U. S. 1						
84		B	2				Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
85	7,6	B	43				81	54,62	B	40	188	5	10
85	7,6	M	76				82	54,62	M	42			
85	2,53	A	61		Comp. Seção (m)	362	84		M	4			
87	77,2	B	19		Área da U. S. (m²)	425	85	14,35	B	60			
Caverá - Ramo 1 - Seção 5 - U. S. 1							86	41,67	B	23		Comp. Seção (m)	1162
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	87	109,37	B	19		Área da U. S. (m²)	300
81	41,01	B	38	237	4	4	Caverá - Ramo 2 - Seção 6 - U. S. 1						
82	41,01	B	30				Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
84		B	2				81	54,68	M	51	261	4	4
85	43,06	B	60				82	54,68	A	58			
85	10,76	M	88		Comp. Seção (m)	1162	84		B	2			
87	164,05	B	19		Área da U. S. (m²)	400	85	17,94	B	60			
Caverá - Ramo 1 - Seção 6 - U. S. 1							85	3,59	A	71		Comp. Seção (m)	662
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	87	109,37	B	19		Área da U. S. (m²)	300
81	41,01	B	38	159	4	13	Caverá - Ramo 2 - Seção 7 - U. S. 1						
82	41,01	M	40				Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
84		B	2				81	54,68	A	68	335	5	8
85	10,76	B	60		Comp. Seção (m)	962	82	54,68	M	42			
87	82,03	B	19		Área da U. S. (m²)	400	82	54,68	A	58			
Caverá - Ramo 1 - Seção 7 - U. S. 1							84		M	4			
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	85	25,12	B	60			
84		M	2	111	3	31	85	3,59	A	71			
85	9,57	B	58				86	9	B	13		Comp. Seção (m)	1062
87	72,91	B	19				87	164,05	B	19		Área da U. S. (m²)	300
87	36,46	M	32		Comp. Seção (m)	662	Caverá - Ramo 2 - Seção 8 - U. S. 1						
					Área da U. S. (m²)	450	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
Caverá - Ramo 1 - Seção 8 - U. S. 1							81	50,48	M	51	372	4	4
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	82	100,95	A	58			
82	32,81	A	50	131	3	20	84		M	4			
83	60,8	B	28				85	19,57	B	60			
84		B	2				85	16,56	M	88			
87	32,81	B	19		Comp. Seção (m)	462	85	6,62	A	92		Comp. Seção (m)	962
87	32,81	M	32		Área da U. S. (m²)	500	87	151,43	B	19		Área da U. S. (m²)	325

Fonte: Própria.

Apêndice C

Planilhas de dados referentes aos Cálculos do ICRNP da estrada do Rincão de São Miguel.

Rincão de São Miguel - Ramo 1 - Seção 1 - U. S. 1							Rincão de São Miguel - Ramo 2 - Seção 1 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
82	47,39	B	32	156	3	11	82	46,87	B	30	269	2	0
84		B	2				84		B	2			
85	21,53	B	61				85	9,23	B	59			
85	2,39	M	42		Comp. Seção (m)	622	85	12,3	M	88		Comp. Seção (m)	400
87	36,46	B	19		Área da U. S. (m²)	450	85	6,15	A	90		Área da U. S. (m²)	350
Rincão de São Miguel - Ramo 1 - Seção 2 - U. S. 1							Rincão de São Miguel - Ramo 2 - Seção 2 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
81	16,77	B	27	277	4	2	82	43,75	B	30	51	2	62
82	30,62	B	28				84		B	2		Comp. Seção (m)	1300
82	42,29	M	40				87	26,25	B	19		Área da U. S. (m²)	374
84		B	2				Rincão de São Miguel - Ramo 2 - Seção 3 - U. S. 1						
85	9,57	B	59				Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
85	23,92	M	89		Comp. Seção (m)	222	81	54,68	B	40	341	4	3
87	36,46	M	32		Área da U. S. (m²)	450	82	54,68	B	30			
Rincão de São Miguel - Ramo 1 - Seção 3 - U. S. 1							Rincão de São Miguel - Ramo 2 - Seção 4 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
81	41,01	B	25	350	4	2	82	8	M	5			
82	82,03	B	32				84		B	2			
84		B	2				85	14,36	B	60			
85	16,15	B	61				85	14,35	M	88		Comp. Seção (m)	200
85	32,29	M	89				85	3,59	A	76		Área da U. S. (m²)	300
85	2,69	A	62				Rincão de São Miguel - Ramo 2 - Seção 4 - U. S. 1						
87	41,01	M	31		Comp. Seção (m)	422	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
87	41,01	A	48		Área da U. S. (m²)	400	81	39,53	B	32	64	2	42
Rincão de São Miguel - Ramo 1 - Seção 4 - U. S. 1							Rincão de São Miguel - Ramo 2 - Seção 5 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
82	6,56	B	8	328	3	0	81	41,01	B	28	254	5	8
84		B	2				82	41,01	B	30			
85	10,76	B	61				82	41,01	M	40			
85	6,46	M	70				84		B	2			
85	10,76	A	110				85	2,69	M	78			
87	29,53	B	19				85	8,07	M	78			
87	3,28	M	10		Comp. Seção (m)	622	86	37,5	M	28		Comp. Seção (m)	200
87	32,81	A	48		Área da U. S. (m²)	500	87	41,01	A	48		Área da U. S. (m²)	400
Rincão de São Miguel - Ramo 1 - Seção 5 - U. S. 1							Rincão de São Miguel - Ramo 2 - Seção 6 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
81	18,75	B	27	373	5	8	82	9,02	A	27	231	3	0
81	28,12	M	42				84		B	2			
82	93,74	B	32				85	10,76	B	60			
84		B	2				85	2,69	M	45			
85	6,15	B	50				85	2,69	A	62			
85	12,3	M	88				87	16,41	B	17		Comp. Seção (m)	300
85	3,08	A	68				87	8,2	M	18		Área da U. S. (m²)	400
86	14,57	B	17		Comp. Seção (m)	522	Rincão de São Miguel - Ramo 2 - Seção 7 - U. S. 1						
87	93,74	A	47		Área da U. S. (m²)	350	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
Rincão de São Miguel - Ramo 1 - Seção 6 - U. S. 1							Rincão de São Miguel - Ramo 2 - Seção 8 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
82	27,34	B	25	205	4	3	81	46,87	M	50	423	6	10
82	10,94	M	22				82	46,87	M	41			
83	54,83	B	25				84		B	2			
84		B	2				85	12,3	B	60			
85	7,18	B	51				85	6,15	M	68			
85	5,38	M	61		Comp. Seção (m)	922	85	24,6	A	110			
87	27,34	B	19		Área da U. S. (m²)	600	86	42,86	B	25			
Rincão de São Miguel - Ramo 1 - Seção 7 - U. S. 1							Rincão de São Miguel - Ramo 2 - Seção 8 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
82	72,91	M	42	240	4	3	84		B	2	225	2	0
83	33,33	B	19				85	17,73	B	60			
84		M	4				85	5,07	M	62			
85	16,74	B	61				85	5,07	A	82		Comp. Seção (m)	600
85	9,57	M	86		Comp. Seção (m)	722	87	38,6	B	19		Área da U. S. (m²)	425
87	72,91	B	28		Área da U. S. (m²)	450							
Rincão de São Miguel - Ramo 1 - Seção 8 - U. S. 1													
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP							
82	29,83	M	38	239	4	3							
83	72,73	B	28										
84		M	4										
85	21,53	B	60										
85	1,96	M	35										
85	1,96	A	55		Comp. Seção (m)	1522							
87	59,65	B	19		Área da U. S. (m²)	550							
Rincão de São Miguel - Ramo 1 - Seção 9 - U. S. 1													
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP							
82	17,9	B	20	77	3	52							
82	11,93	M	22										
83	23,64	B	12										
84		M	4		Comp. Seção (m)	1124							
87	29,83	B	19		Área da U. S. (m²)	550							

Fonte: Própria.

Apêndice D

Planilhas de dados referentes aos Cálculos do ICRNP da estrada do Silvestre.

Silvestre - Ramo 1 - Seção 1 - U. S. 1							Silvestre - Ramo 2 - Seção 1 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
81	19,3	B	28	109	3	32	82	36,46	B	30	103	3	37
84		B	2				84		B	2			
85	86,11	B	60		Comp. Seção (m)	440	85	7,18	B	52		Comp. Seção (m)	537
87	77,2	B	19		Área da U. S. (m²)	425	87	72,91	B	19		Área da U. S. (m²)	450
Silvestre - Ramo 1 - Seção 2 - U. S. 1							Silvestre - Ramo 2 - Seção 2 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
82	2,92	B	5	99	3	38	81	43,75	B	38	253	4	4
84		B	2				82	43,75	A	52			
85	11,96	B	60		Comp. Seção (m)	340	84		B	2			
87	36,46	M	32		Área da U. S. (m²)	450	85	11,48	B	60			
Silvestre - Ramo 1 - Seção 3 - U. S. 1							Silvestre - Ramo 2 - Seção 3 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
81	36,46	B	36	288	4	4	85	5,74	A	82		Comp. Seção (m)	375
82	36,46	A	51				87	131,24	B	19		Área da U. S. (m²)	537
84		B	2				Silvestre - Ramo 2 - Seção 3 - U. S. 1						
85	28,7	B	60				Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
87	36,46	M	19		Comp. Seção (m)	340	82	43,75	A	52	195	3	0
87	36,46	M	32		Área da U. S. (m²)	450	84		B	2			
Silvestre - Ramo 1 - Seção 4 - U. S. 1							Silvestre - Ramo 2 - Seção 4 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
81	38,6	M	48	250	4	4	81	41,01	M	48	275	4	4
82	38,6	M	40				82	57,42	A	58			
82	38,6	A	52				84		B	2			
84		B	2				85	10,76	B	60			
85	30,39	B	60		Comp. Seção (m)	240	85	10,76	M	88		Comp. Seção (m)	337
87	38,6	A	48		Área da U. S. (m²)	425	87	123,04	B	19		Área da U. S. (m²)	400
Silvestre - Ramo 1 - Seção 5 - U. S. 1							Silvestre - Ramo 2 - Seção 5 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
82	14,58	B	18	99	3	38	81	50,48	B	40	261	3	0
84		B	2				82	50,48	B	32			
85	33,49	B	60		Comp. Seção (m)	240	84		B	2			
87	36,46	B	19		Área da U. S. (m²)	450	85	6,62	B	50			
Silvestre - Ramo 1 - Seção 6 - U. S. 1							Silvestre - Ramo 2 - Seção 6 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
81	36,46	B	36	110	3	31	85	9,94	M	87		Comp. Seção (m)	325
82	36,46	M	40		R1 S6		85	3,31	A	50		Área da U. S. (m²)	837
84		B	2		Comp. Seção (m)	540	Silvestre - Ramo 2 - Seção 6 - U. S. 1						
87	72,91	M	32		Área da U. S. (m²)	450	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
					450m²	540	84		B	2	81	2	42
							85	21,53	B	60		Comp. Seção (m)	737
							87	82,02	B	19		Área da U. S. (m²)	400
Silvestre - Ramo 1 - Seção 7 - U. S. 1							Silvestre - Ramo 2 - Seção 7 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
82	41,01	A	52	133	3	18	81	46,87	B	39	72	3	53
84		B	2		R1 S7		82	9,37	B	12			
85	16,15	B	60		Comp. Seção (m)	1040	84		B	2		Comp. Seção (m)	1237
87	24,61	B	19		Área da U. S. (m²)	400	Silvestre - Ramo 2 - Seção 8 - U. S. 1						
Silvestre - Ramo 1 - Seção 8 - U. S. 1							Silvestre - Ramo 2 - Seção 8 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
81	7,72	B	18	342	4	4	82	38,6	B	30	173	3	5
82	77,2	A	58				84		B	2			
84		B	2				85	20,26	B	60			
85	20,26	B	60				85	5,07	M	62		Comp. Seção (m)	1241
85	5,07	M	62				87	115,8	B	19		Área da U. S. (m²)	425
85	12,66	A	110		Comp. Seção (m)	740							
87	38,6	M	32		Área da U. S. (m²)	425							
Silvestre - Ramo 1 - Seção 9 - U. S. 1							Silvestre - Ramo 2 - Seção 9 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
82	36,46	A	51	217	3	0							
84		B	2										
85	23,92	B	60										
85	7,18	M	72		Comp. Seção (m)	940							
87	36,46	M	32		Área da U. S. (m²)	450							
Silvestre - Ramo 1 - Seção 10 - U. S. 1							Silvestre - Ramo 2 - Seção 10 - U. S. 1						
Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP	Defeitos	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Total V. D.	Valor "q"	ICRNP
81	34,54	B	33	215	3	0							
82	34,54	A	50										
84		B	2										
85	13,6	B	60		Comp. Seção (m)	1340							
85	6,8	M	70		Área da U. S. (m²)	475							

Fonte: Própria.