

LAURA CARINE PEREIRA RIBEIRO

**AVALIAÇÃO FUNCIONAL DA SUPERFÍCIE DE ROLAMENTO
E PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO COM VIÉS AMBIENTAL
APLICADAS A UMA ESTRADA DE TERRA DE VIÇOSA-MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

LAURA CARINE PEREIRA RIBEIRO

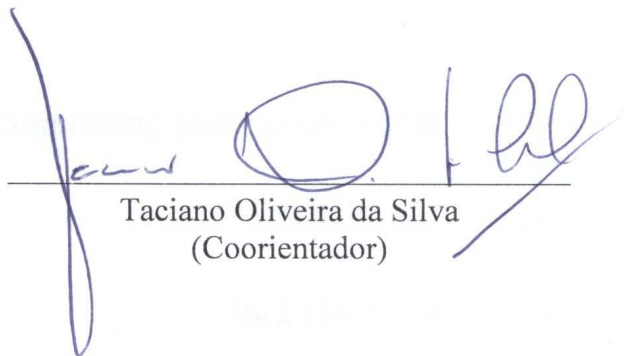
**AVALIAÇÃO FUNCIONAL DA SUPERFÍCIE DE ROLAMENTO E
PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO COM VIÉS AMBIENTAL APLICADAS
A UMA ESTRADA DE TERRA DE VIÇOSA-MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 19 de fevereiro de 2016.



Carlos Cardoso Machado



Taciano Oliveira da Silva
(Coorientador)



Dario Cardoso de Lima
(Orientador)

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

R484a
2016
Ribeiro, Laura Carine Pereira. 1989-
Avaliação funcional da superfície de rolamento e práticas de
manutenção com viés ambiental aplicadas a uma estrada de terra de
Viçosa-MG / Laura Carine Pereira Ribeiro. - Viçosa, MG, 2016.
xiv, 83f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Dario Cardoso de Lima.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.75-77.

1. Estradas de terra. 2. Estradas de terra - Manutenção e reparos.
3. Pavimentos. 4. Proteção ambiental. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-
graduação em Engenharia Civil. II. Título.

CDD 22. ed. 625.76

Something good gonna come your way

Just look out your door

Red Hot Chili Peppers

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre me iluminando a cada tomada de decisão.

À minha mãe Vilma por ser a minha inspiração, minha heroína, minha base e por sempre estar torcendo pela minha vitória. Ao meu Pai Pedro que infelizmente não pôde estar presente em vida pra comemorar mais uma etapa, mas tenho certeza que está me acompanhando de onde estiver. E à minha família, em geral, por sempre me apoiar.

Ao meu orientador, professor Dario Cardoso de Lima, pela orientação e apoio dado desde antes do meu ingresso no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da UFV, bem como pela paciência, ensinamentos, competência e incentivo.

Ao professor Taciano Oliveira da Silva, pela coorientação, pelos grandes ensinamentos e por estar sempre presente e solícito.

Ao professor Carlos Cardoso Machado, por me acompanhar desde a graduação, pela paciência e incentivo e por agora fazer parte de mais uma etapa.

À bolsista Mariana Silva Bernardo, pela grande ajuda, companhia e bom humor durante todo o trabalho de campo. Aos graduandos Athos e Paulo Henrique, pela ajuda nas avaliações de campo.

Ao Laboratório de Engenharia Civil e servidores, pela ajuda, cafezinhos e conselhos que foram e serão sempre levados em consideração.

Aos colegas do PPGEC, pela convivência, amizade e ajuda sempre que solicitadas.

Aos meus amigos que direta ou indiretamente, longe ou perto me deram apoio, afago nos momentos difíceis e que acreditaram e me incentivaram para que tudo desse certo.

Ao Paulo Henrique, pela imensurável paciência e companheirismo, dedicação e compreensão, e à minha segunda família que sempre me recebeu de braços abertos com muito carinho.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma maneira, puderam contribuir para que este trabalho fosse finalizado.

BIOGRAFIA

Laura Carine Pereira Ribeiro, filha de Pedro Arimateia Ribeiro e Vilma Maria Pereira, nasceu no dia 28 de Abril de 1989, na cidade de Viçosa – MG.

Em Março de 2007 iniciou o curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa – UFV tendo concluída a graduação em Julho de 2012.

Em Janeiro de 2011, participou de um intercâmbio na Hochschule Weihenstephan Triesdorf (University of Applied Sciences) – Alemanha, onde iniciou o trabalho para a execução da monografia.

Em Março de 2014 ingressou no curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, área de concentração em Geotecnia, ao nível de mestrado, na Universidade Federal de Viçosa – UFV, submetendo-se a defesa da dissertação em Fevereiro de 2016.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	XII
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	XIV
RESUMO	
ABSTRACT	
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações Gerais	1
1.2. Objetivo Geral	2
1.3. Objetivos Específicos	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Necessidade do estudo das condições de serventia em estradas de terra	4
2.2. Estradas de Terra	5
2.3. Manutenção das Estradas de Terra	7
2.4. Avaliação das condições de serventia de estradas	9
2.5. O Método de Eaton para a avaliação funcional de estradas de terra	12
2.6. Tipos de Defeitos	15
2.7. Metodologia de Fontenele e Sória (2003) para a avaliação subjetiva de estradas de terra	21
2.8. Manutenção de estradas de terra sob o viés ambiental	23
2.9. Classificação dos solos	32
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1. Escolha da rodovia em estudo	38
3.2. Coleta de amostras e caracterização geotécnica dos solos de subleito	39
3.3. Aplicação da avaliação subjetiva e do Método de Eaton à rodovia europeia	40

3.4. Análise dos defeitos: aplicação das avaliações subjetiva e objetiva às estradas de terra de Viçosa	42
3.4.1. Avaliação subjetiva	42
3.4.2. Avaliação objetiva	43
3.5. Análise dos resultados e calibração do Modelo de Eaton	43
3.6. Abordagem de práticas com o viés ambiental para a manutenção de estradas de terra	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1. Detalhamento dos trechos escolhidos e unidades amostrais	45
4.2. Resultados dos ensaios de Granulometria, Limites de Atterberg, Compactação e CBR e Classificação TRB	52
4.3. Resultados dos ensaios de MCT	55
4.4. Resultados obtidos na avaliação funcional da via alemã	57
4.5. Resultados das avaliações objetiva e subjetiva realizadas na via de terra brasileira logo após as estações de seca e de chuva	58
4.6. Nova proposição: Introdução de dois novos defeitos nas avaliações e suas análises	60
4.7. Nova proposição: Adequação dos valores dedutíveis dos defeitos	64
4.8. Levantamento da situação atual e das necessidades dos trechos da via, segundo as recomendações do PDT (2007)	67
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	71
5.1. Conclusões	71
5.2. Sugestões para Trabalhos Futuros	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXO	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Escala de serventia da avaliação subjetiva de superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos (DNIT, 2003b).....	11
Figura 2: URCI –Modelo de planilha para avaliação funcional objetiva, conforme o Método de Eaton	15
Figura 3: Ilustração de seção transversal de alta severidade	16
Figura 4: Ilustração de corrugações em estradas de terra.....	16
Figura 5: Ilustração da ocorrência de poeira em estradas de terra.....	17
Figura 6: Pista de rolamento com buracos vista transversalmente.....	18
Figura 7: Ilustração do defeito trilhas de roda.....	19
Figura 8: Ilustração do defeito segregação de agregados em estradas de terra.....	19
Figura 9: Ilustração do defeito drenagem inadequada com entulho nas sarjetas.....	20
Figura 10: Ilustração do defeito areião de espigão em estrada de terra.....	21
Figura 11: Ilustração do defeito areião de espigão em estrada de terra.....	22
Figura 12: Barreiras de fardos de palha (<i>Straw Bale Barriers</i>) aplicados numa situação em que o sistema de fardos de palha está entrando em colapso.....	25
Figura 13: Barreira para o controle de silte (<i>Silt fence barrier</i>), segundo recomendação do Departamento de Transportes da Pensilvânia (Modificado de PDT, 2007).....	25
Figura 14: (a) seções comumente empregadas; (b) seção com operação de corte no sentido do pé do talude; e (c) seção com operação de corte realizada seguindo a inclinação da encosta.	27
Figura 15: Sarjetas nas formas trapezoidal (a) e parabólica (b) recomendadas pelo Departamento de Transportes da Pensilvânia (Modificado de PDT, 2007).....	28
Figura 16: Geomanta recobrimdo a sarjeta até a estabilização da cobertura vegetal.....	30

Figura 17: Ilustração e exemplos de saídas laterais em sarjetas.....	30
Figura 18: Ilustração de solução de quebra de declividade longitudinal de via de terra, conforme recomendado pelo Departamento de Transportes da Pensilvânia (PDT, 2007).....	31
Figura 19: Esquema de implantação das depressões na pista para facilitar o escoamento da água (PDT, 2007).	32
Figura 20: Ilustração de sequência do rebaixamento do greide por processos naturais e de manutenção.....	33
Figura 21: Ilustração de sugestões de reconstituição de via de terra com elevação do greide e seção transversal (PDT, 2007).....	33
Figura 22: Etapas do ensaio de compactação mini-MCV (Portal de Tecnologia, 2010).	36
Figura 23: Ilustração do ensaio de perda de massa por imersão dos corpos de prova (Portal de Tecnologia, 2010).....	37
Figura 24: Croqui esquemático da sequência empregada na classificação de solos segundo a Metodologia MCT.	37
Figura 25: Ábaco para classificação de solos segundo a Metodologia MCT.....	38
Figura 26: Ilustração de solo residual maduro, classificado pedologicamente como Latossolo Vermelho-Amarelo.....	40
Figura 27: Ilustração de solo residual jovem, classificado pedologicamente como residual jovem ou saprolítico.	41
Figura 28: Mapa da localização da cidade alemã de Rattenkirchen, Bayern.	42
Figura 29: Vista aérea da estrada de terra investigada	46
Figura 30: Marcação do trecho 1 na estrada de terra investigada no município de Viçosa-MG.....	47
Figura 31: Foto do trecho 1 em seu ponto inicial (Estaca 0 + 0,00).....	47
Figura 32: Marcação do trecho 2 na estrada de terra no município de Viçosa-MG.....	48

Figura 33: Foto do Trecho 2, com detalhamento de unidade em solo residual jovem, em aclive e em curva.....	48
Figura 34: Marcação do trecho 3 na estrada de terra no município de Viçosa-MG.....	49
Figura 35: Trecho 3, apresentando-se unidade em solo residual jovem e em curva.	49
Figura 36: Marcação do trecho 4 na estrada de terra no município de Viçosa-MG.....	50
Figura 37: Trecho 4, com unidade em solo do horizonte b e em tangente.....	50
Figura 38: Marcação do trecho 5 na estrada de terra investigada no município.	51
Figura 39: Trecho 5, em corte e com declive com sulcos erosivos acentuados, ilustrando-se a ocorrência de unidade em solo residual jovem.....	51
Figura 40: Marcação do trecho 6 na estrada de terra no município de Viçosa-MG.....	52
Figura 41: Trecho 6, apresentando-se as unidades em tangente com solo residual maduro. ...	52
Figura 42: Valores de índices dos índices das condições das superfícies de rolamento ($URCI_{EQUIPE}$ e $URCI_{EATON}$) obtidos em Rattenkirchen, Oberbayern, Alemanha.....	59
Figura 43: Valores de índices dos índices das condições das superfícies de rolamento ($URCI_{EQUIPE}$ e $URCI_{EATON}$) obtidos em Viçosa na estação seca -2014.....	60
Figura 44: Valores de índices dos índices das condições das superfícies de rolamento ($URCI_{EQUIPE}$ e $URCI_{EATON}$) obtidos em Viçosa durante a estação chuvosa 2015.....	61
Figura 45: Novo nomograma de curvas de valor-dedução – VDu: ARE – Areião.....	63
Figura 46: Novo nomograma de curvas de valor-dedução – VDu: SER – Sulcos Erosivos....	64
Figura 47: Novo nomograma para determinação do URCI.....	64
Figura 48: Valores de índices dos índices das condições das superfícies de rolamento ($URCI_{EQUIPE}$ e $URCI_{EATON}$) obtidos em Viçosa na estação seca -2014.....	65
Figura 49: Valores de índices dos índices das condições das superfícies de rolamento ($URCI_{EQUIPE}$ e $URCI_{EATON}$) obtidos durante a estação chuvosa 2015.....	65

Figura 50: Valores de índices dos índices das condições das superfícies de rolamento ($URCI_{EQUIPE}$ e $URCI_{EATON}$) obtidos em Viçosa na estação seca -2014.	67
Figura 51: Valores de índices dos índices das condições das superfícies de rolamento ($URCI_{EQUIPE}$ e $URCI_{EATON}$) obtidos em Viçosa durante a estação chuvosa 2015.	68
Figura 52: Condições de rolamento do trecho 1 em janeiro de 2016.	69
Figura 53: Condições de rolamento do trecho 2 em janeiro de 2016.	70
Figura 54: Condições de rolamento do trecho 3 em janeiro de 2016.	70
Figura 55: Condições de rolamento do trecho 4 em janeiro de 2016.	70
Figura 56: Condições de rolamento do trecho 5 em janeiro de 2016.	71
Figura 57: Condições de rolamento do trecho 6 em janeiro de 2016.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de manutenção e atividades para estradas de terra (TRRL, 1987)	7
Tabela 2: Níveis de severidade em função da profundidade e do diâmetro do buraco	17
Tabela 3: Escala de classificação em avaliação funcional subjetiva para os trechos e unidades amostrais (Fontenele e Sória, 2003)	22
Tabela 4: Velocidade máxima para os variados tipos de coberturas de sarjetas	29
Tabela 5: Escala de classificação dos trechos e respectivas unidades amostrais.	43
Tabela 6: Resultados dos ensaios geotécnicos de granulometria conjunta, limites de Atterberg.(LL, LP e respectivoIP) e atividade da fração argila (Ac)	53
Tabela 7: Resultados dos ensaios de compactação realizados na energia Proctor normal.....	53
Tabela 8: Resultados dos ensaios CBR realizados na energia Proctor normal	54
Tabela 9: Resultados da Classificação TRB.....	56
Tabela 10: Índices classificatórios e classificação das amostras de solo segundo a Metodologia MCT.	56
Tabela 11: Correlação entre as classificações TRB e MCT	57
Tabela 12: Resultado do Teste de Tukey a 5% de significância após o período de seca	62
Tabela 13: Resultado do Teste de Tukey a 5% de significância após o período de chuvas.....	62
Tabela 14: Resultado do Teste de Tukey a 5% de significância após o período de seca	66
Tabela 15: Resultado do Teste de Tukey a 5% de significância após o período de chuvas.....	66
Tabela 16: Resultado do Teste de Tukey a 5% de significância após o período de seca	68
Tabela 17: Resultado do Teste de Tukey a 5% de significância após o período de chuvas.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ARE - Areião
CBR - California Bearing Ratio
DEC – Departamento de Engenharia Civil
DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EUA – Estados Unidos da América
EPA – United States Environmental Protection Agency
ICRNP - Índice da Condição da Rodovia Não Pavimentada
IGG - Índice de Gravidade Global
IP – Índice de Plasticidade
LL – Limite de Liquidez
LP – Limite de Plasticidade
MCT - Miniatura Compactado Tropical
MG – Minas Gerais
NACE - National Association of County Engineers
PDT – Pennsylvania Transportaion Department
SER – Sulcos Erosivos
TRB - Transportation Research Board
UFV – Universidade Federal de Viçosa
URCI - Unsurfaced Road Condition Index
USACE - United States Army Corps of Engineers
USC - Unified Soil Classification System
VD – Valor Dedutível
VSA – Valor de Serventia Atual

RESUMO

RIBEIRO, Laura Carine Pereira, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2016 **Avaliação funcional da superfície de rolamento e práticas de manutenção com viés ambiental aplicadas a uma estrada de terra de Viçosa- MG.** Orientador: Dario Cardoso de Lima. Coorientador: Taciano Oliveira da Silva.

Neste estudo, buscou-se comparar os resultados de avaliação funcional das condições de rolamento de uma estrada de terra da área de influência da cidade de Viçosa, no estado de Minas Gerais, Brasil, logo após as estações de seca e de chuvas, utilizando-se as avaliações subjetiva, através de procedimento modificado de Fontenele e Sória, e objetiva, com o emprego do procedimento de Eaton. Abordou-se, também, a aplicação de práticas com viés ambiental para a manutenção da via em estudo, com base nas recomendações do Departamento de Transportes da Pensilvânia, dos Estados Unidos da América. Realizou-se a caracterização geotécnica de amostras coletadas no subleito da via em estudo, assim como ensaios de compactação, CBR e aqueles relativos à metodologia MCT. Os resultados indicaram a existência de diferença significativa ao nível de significância de 5% entre as médias das avaliações subjetiva e objetiva realizadas após o período de seca e a não existência de diferença no caso das avaliações realizadas após o período de chuvas. Buscou-se, então, propor modificações no método de avaliação objetiva empregado, com a adição de dois novos defeitos (areíões e sulcos erosivos) e a proposição de modificações nos seus valores dedutíveis, obtendo-se resultado satisfatório apenas no segundo caso. Com base nos resultados do estudo geotécnico realizado e nas recomendações do Departamento de Transportes da Pensilvânia, EUA, recomendou-se a implantação de estruturas de drenagem na via, conformação da seção transversal, bem como do greide com a inclusão de quebras de declividade longitudinal.

ABSTRACT

RIBEIRO, Laura Carine Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2016. **Functional evaluation of surface conditions and environmental maintenance practices applied to an unpaved road of Viçosa- MG.** Advisor: Dario Cardoso de Lima. Co-advisor: Taciano Oliveira da Silva.

In this study it is compared the results of functional analysis of the surface conditions of a unpaved road in the area of influence of the city of Viçosa, Minas Gerais state, Brazil, just after the dry and the rainy seasons using subjective evaluation, using a modified Fontenele and Soria procedure, and objective evaluation, using the Eaton procedure. It is also discussed the application of environmental maintenance practices to the analyzed road based on recommendations of the Pennsylvania Department of Transportation, from the United States of America. The laboratory testing program encompassed the geotechnical characterization of samples collected in the subgrade of the road under study, as well as compaction tests, CBR and those related to the MCT methodology. The results indicated a significant difference between the means of the subjective and objective evaluations carried out after the dry season, and no significant difference in the case of evaluations carried out after the rainy season, at a significance level of 5%. Based on these results, it is proposed modification in the objective evaluation procedure, including two new defects (sandy banks and erosion) and changes in the Eaton procedure's deductible values, obtaining satisfactory results only in the second case. Based on the results of the geotechnical study and on the recommendations of the Pennsylvania Department of Transportation, it was recommended the establishment of drainage structures, reshaping of the cross section, and inclusion of longitudinal grade breaks on the road.

1. Introdução

1.1 Considerações gerais

Em fins de 2012, estimava-se que a extensão da rede viária brasileira era de 1.691.215,9 km, com 1.359.060,6 km em vias não pavimentadas (DNIT, 2014) ou estradas de terra, em geral, com a função de transportar produtos do setor primário aos centros e unidades de consumo ou às vias de categorias superiores.

Na maioria das vezes, os órgãos responsáveis por essas vias, as prefeituras municipais, não dispõem de recursos financeiros suficientes e conhecimentos técnicos adequados para a sua manutenção e reabilitação, o que resulta em superfícies de rolamento com condições inadequadas de tráfego, dificulta a circulação de pessoas e bens de capital e acarreta danos ambientais consideráveis, como o assoreamento de corpos d'água e o lançamento de sedimentos provenientes de material carreado pelas águas das chuvas sobre áreas agricultáveis (SILVA, 2009).

Um dos instrumentos utilizados nos trabalhos de manutenção e reabilitação de uma via é a avaliação funcional, que engloba os processos de identificação e caracterização de aspectos da sua superfície de rolamento ligados ao conforto e segurança do usuário, desempenhos dos veículos e custo do transporte, compreendendo as modalidades objetiva e subjetiva.

Silva (2009) e Machado et al. (2013) entendem que, no Brasil, os trabalhos de avaliação funcional de estradas de terra não têm sido extensivos, como se desprende, também, das publicações de Oda (1995), Viviani (1998) e Baesso e Gonçalves (2003), em geral, fundamentados nos procedimentos desenvolvidos pelo *United States Army Corps of Engineers* – USACE (EATON et al., 1987a, 1987b; EATON, 1988; EATON; BEAUCHAM, 1992) e aqui denominado Método de Eaton. Portanto, há carência de estudos de avaliação funcional que levem em conta particularidades das estradas de terra brasileiras, em especial quanto à susceptibilidade à erosão, traçado geométrico e sistemas de drenagem existentes.

Neste estudo, buscou-se avaliar a aplicabilidade do Método de Eaton a uma estrada de terra da área de influência do município de Viçosa, Minas Gerais, tomando-se por base os resultados de uma avaliação subjetiva realizada na mesma via segundo metodologia adaptada de Fontenele e Sória (2003). Abordou-se, também, a aplicação de práticas com viés ambiental

para a manutenção da via em estudo, com base nas recomendações preconizadas pelo Departamento de Transportes da Pensilvânia (PDT, 2007), dos Estados Unidos da América.

1.2 Objetivos gerais

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho foi: (i) aplicar a técnica de avaliação funcional subjetiva para estradas não pavimentadas, segundo um procedimento adaptado de Fontenele e Sória (2003), como base de comparação para o emprego de um procedimento de avaliação objetiva, com o emprego do Método de Eaton, a uma estrada de terra da área de influência do município de Viçosa, Minas Gerais, Brasil; e (ii) analisar aspectos da implantação de práticas de engenharia com viés ambiental à via em estudo.

1.2 Objetivos específicos

Nesse contexto, os objetivos específicos foram estabelecidos, como segue:

- realizar a caracterização geotécnica do solo de subleito da via através de: (i) ensaios de caracterização (análise granulométrica e limites de plasticidade e de liquidez), para fins de classificação dos solos segundo o sistema do TRB (*Transportation Research Board*); (ii) ensaios da Metodologia MCT (Miniatura Compactado Tropical); (iii) ensaios de compactação, para determinação dos parâmetros ótimos de compactação; e (iv) ensaios CBR (*California Bering Ratio*), para se aferir a capacidade de suporte dos solos em estudo;
- realizar a avaliação funcional subjetiva da estrada de terra em estudo, segundo a metodologia empregada por Fontenele e Sória (2003), com as modificações necessárias ao seu enquadramento à realidade da estrada de terra em análise;
- realizar a avaliação funcional objetiva da referida estrada de terra, com o emprego do Método de Eaton (EATON; BEAUCHAM, 1992) ;
- comparar os resultados obtidos em ambas as avaliações funcionais (subjetiva e objetiva) anteriormente realizadas, tomando-se como elemento básico de análise os dados obtidos com o emprego da metodologia modificada de Fontenele e Sória (2003), de modo a se caracterizar a adequabilidade do Método de Eaton (EATON; BEAUCHAM, 1992) como ferramenta para a caracterização da estrada de terra em estudo. Complementarmente, vai-se analisar o conjunto de resultados obtidos nesse item, tendo como elemento comparador um banco de dados oriundo de um estudo

realizado recentemente em estradas de terra do município alemão de Rattenkirchen, na Alta Baviera; e

- abordar práticas com viés ambiental para a manutenção da estrada de terra em estudo, tomando por base as recomendações do Departamento de Rodovias da Pensilvânia (PDT, 2007).

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Necessidade do estudo das condições de serventia em estradas de terra

Classicamente, a avaliação funcional de uma via engloba os processos de identificação e caracterização de aspectos da sua superfície de rolamento ligados ao conforto e segurança do usuário, desempenho dos veículos e custo do transporte, compreendendo como já se referiu as modalidades de avaliação subjetiva e objetiva.

Na avaliação objetiva, quantificam-se os defeitos da superfície do pavimento, com o detalhamento técnico do seu estado de deterioração (DNIT, 2003a). Como exemplo de índice de avaliação dessa modalidade em vias pavimentadas, refere-se ao Índice de Gravidade Global (IGG) proposto pelo antigo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, em 1978 (DNIT, 2003a).

Na avaliação subjetiva, tem-se o estudo das condições de rolamento da via por usuários, através do Valor de Serventia Atual (VSA), que simboliza o valor médio das opiniões individuais emitidas por um grupo de observadores treinados e calibrados para a aferição dos parâmetros em análise, quando registram suas opiniões sobre a capacidade do pavimento de atender às exigências do tráfego quanto à suavidade e ao conforto (DNIT, 2003b).

Com relação às estradas de terra, no Brasil, os trabalhos de avaliação funcional têm sido na modalidade objetiva, mas de pequena monta e em geral fundamentados no Método de Eaton. Nesse método, as considerações principais na avaliação funcional das estradas de terra têm sido a identificação da malha viária e a sua divisão posterior em ramos, seções e unidades simples. Na metodologia de trabalho, dá-se importância ao exame das condições da superfície da via e aos procedimentos para a sua avaliação, bem como à determinação do *Unsurfaced Road Condition Index (URCI)*, sendo estes dados os elementos básicos para definição das necessidades e priorização de serviços de manutenção da rede viária como um todo.

Um estudo de interesse que envolveu a análise comparativa dos resultados de avaliações funcionais subjetiva e objetiva foi desenvolvido por Ribeiro (2012), com direcionamento a trechos de uma estrada de terra alemã, localizada na malha vicinal da cidade de Rattenkirchen, distrito Mühldorf e membro da Comunidade de Gestão Heldenstein, na Alta Baviera, cujos resultados serão utilizados complementarmente no presente trabalho.

Por outro lado, destaca-se o interesse na manutenção de estradas de terra, com direcionamento à interface rodovia e meio ambiente, tema este atual, principalmente nos Estados Unidos da América. Nesse sentido, pode-se referir à publicação do Departamento de Transportes da Pensilvânia (PDT, 2007), que será utilizada como base para o desenvolvimento deste tópico no presente estudo.

2.2. Estradas de terra

As estradas de terra, ou vias não pavimentadas, devem apresentar capacidade de suporte e condições de rolamento e aderência adequadas, como características técnicas essenciais. Para que essas condições funcionais ocorram, deve-se ter um desenho adequado da plataforma (composta pela pista de rolamento, acostamentos e sarjetas), implantação da infraestrutura de drenagem e execução do revestimento primário em toda a extensão do trecho com material de qualidade e em espessura suficiente para suportar o tráfego existente, como destacam Santos et al. (1985) e Baesso e Gonçalves (2003).

Quando as estradas apresentam as características técnicas essenciais ao seu bom funcionamento, a atividade de manutenção, via de regra, limita-se à reconformação da pista de rolamento utilizando-se motoniveladora, execução de serviços básicos, como limpeza das estruturas de drenagem superficial e profunda, roçada dos acostamentos e reposição, se necessário, do revestimento primário (BAESSO; GONÇALVES, 2003). Por outro lado, no caso da ocorrência de defeito, recomenda-se localizar a causa do problema, empregando-se métodos de avaliação das condições superficiais da via, e escolher a técnica mais adequada para o serviço de manutenção.

Para se classificar as condições de serventia de uma via de terra, uma observação a se fazer é verificar se a mesma apresenta algum tipo de tratamento em sua estrutura. Caso se constate a ocorrência de apenas solo local na estrutura da estrada, dá-se o nome de estrada não tratada, mas quando se observa interferência técnico-construtiva em sua estrutura, têm-se as vias com tratamentos. Storino et al. (1982) referem-se a três possíveis tratamentos de estradas de terra, a saber:

- revestimento primário, que abrange a execução de uma camada compactada de material granular e argila sobre a superfície de terraplenagem, formando uma camada com espessura variável entre 10 a 20 cm, de acordo com o volume e o tipo de tráfego.

Em geral, o material argiloso representa 20 a 30% da mistura e a dimensão máxima ideal do material granular é de 2,5 cm. A mistura pode ser executada no próprio leito da via, empregando-se uma grade de discos para se produzir uma boa homogeneização;

- agulhamento, que é um tipo de tratamento primário indicado para estradas de menor porte e baixo volume de tráfego ou em casos em que o emprego de revestimento primário seja de custo elevado. A sua característica é a cravação de materiais granulares com dimensões superiores a 2,5 cm, utilizando-se o processo de compactação diretamente em uma camada de material argiloso colocada sobre o subleito; e
- mistura de areia com argila, que é um tratamento primário indicado para o caso de subleito bem arenoso, os chamados “areióes”, em que se adiciona cerca de 30% de argila, na busca de se produzir uma camada de material com característica coesiva, conjugando as vantagens de boa condição de rolamento e considerável capacidade de suporte. A argila pode ser distribuída destorroada sobre o leito de areia em volume que possibilite obter uma relação 1:2,5 (argila:areia), procedendo-se à sua homogeneização com grade de discos, umedecimento, nova homogeneização e compactação.

Sob o prisma técnico-econômico, Ferreira (2004) considera que a pavimentação de estradas de terra só se justifica quando as cargas e o volume de tráfego das mesmas respaldarem técnica e economicamente este tipo de serviço.

No caso específico da área de influência da cidade de Viçosa, Minas Gerais, recomenda-se lançar o greide das estradas de terra nos solos classificados geotecnicamente como residuais maduros, em geral, provenientes do intemperismo de granitos e gnaisses, com textura argilo-areno-siltosa e predominância de argilominerais 1:1 e de óxidos de ferro e alumínio, em detrimento dos solos geotecnicamente classificados como residuais jovens, com textura areno-silto-argilosa a silto-areno-argilosa, devido à maior capacidade de suporte e menor susceptibilidade às ações erosivas dos primeiros.

2.3. Manutenção de estradas de terra

Ferreira (2004) refere que a manutenção da superfície de rolamento de estradas de terra é um dos mais importantes serviços de engenharia, pois com ela preserva-se e busca-se manter a integridade das características físicas da seção transversal e contribui-se para a eficiência do sistema de drenagem da via.

Em termos de serventia, podem-se elencar cinco fatores principais que afetam a qualidade de uma estrada de terra, a saber: carga do tráfego; qualidade mecânica do subleito; práticas construtivas e de uso do solo; ação da água; e programa de manutenção adotado para a via. Segundo o TRRL (1987), recomenda-se definir os tipos de manutenção das estradas de terra de acordo com as sugestões apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Tipos de manutenção e atividades para estradas de terra (TRRL, 1987)

Tipo de Manutenção	Atividades
Urgente Rotina	Reparos emergenciais para estradas bloqueadas e intransitáveis Superfície: patrolagem, regularização ou remendos; estruturas de drenagem: limpeza externa e reconformação de valetas e sangras, limpeza externa de pontes e bueiros, remendos de áreas erodidas, construção de controle de erosão e reparos nas estruturas de drenagem
Periódica	Recascalhamento
Outros trabalhos de rotina	Remendos dos acostamentos e rampas, corte de vegetação e limpeza, reparo e recolocação de sinalização da estrada
Especial	Restauração e reconstrução

Ferreira (2004) destaca que as práticas de manutenção de estradas de terra mais comuns englobam a regularização, reconformação, patrolamento, remendos e recomposição superficial, com os seguintes princípios técnicos:

- regularização: os procedimentos técnicos para a prática da regularização têm por objetivos melhorar a superfície de rolamento das estradas de terra em leito natural e com revestimento primário, restaurando-se a declividade transversal da pista. Esse é um dos principais modos de manutenção, sendo realizada praticamente por meios mecanizados (motoniveladora ou nivelador rebocável por trator), principalmente após a estação chuvosa, quando se corrigem os defeitos maiores por ela provocados. Pode-se referir a duas modalidades de regularização, a saber: (i) leve, quando se controla as irregularidades e as ondulações (corrugações); e (ii) pesada, quando se corta a parte de baixo das deformações para, em seguida, se reconstituir a superfície;

- reconformação: segundo o *National Association of County Engineers – NACE (1990)*, este serviço não se caracteriza por uma simples regularização da superfície da via, mas abrange os procedimentos para realizar a mistura de materiais de granulometrias diferentes, de modo a se produzir misturas compostas por materiais de diferentes diâmetros de partículas, bem como compactar e nivelar as mesmas até se atingir uma declividade transversal apropriada para a via. A reconformação manual, por exemplo, é uma prática utilizada em grande escala em países em desenvolvimento, sendo considerada como manutenção de rotina para vias de pequena extensão e periódica para vias de grande extensão, nos casos de tráfego inferior a 50 veículos/dia;
- patrolamento: tem por objetivo aplainar os defeitos menores da superfície da via, por meio de operação de corte ou pelo preenchimento de irregularidades com material solto da lateral da pista ou agregados, sendo, geralmente, realizada por equipamentos mecânicos (motoniveladora ou nivelador rebocável por trator). Nessa modalidade de serviço, tem-se a correção de defeitos leves da pista, como no caso de ondulações, mas não serve para corrigir perda de declividade transversal e outros defeitos mais severos, que precisam ser realizados pela regularização. Por outro lado, No caso da operação de corte, não há a necessidade de se compactar a superfície de rolamento, pois o material solto, via de regra, é removido deixando uma camada rígida;
- remendos: são conhecidos, também, como operações tapa-buraco, que são práticas de manutenção empregadas no caso da existência de buracos e, ou panelas isoladas ou não, nas situações em que não se justifica o emprego dos serviços de regularização ou reconformação;
- recomposição/recascalhamento: trata-se de uma manutenção periódica da via que engloba a realização de um novo revestimento antes que ocorra o desgaste daquele existente, realizando-se, para tanto, um serviço de recomposição. Recomenda-se que a espessura da camada de recomposição seja determinada por método de dimensionamento, não se empregando valor menor do que 15 cm, a ser recolocado em toda superfície ou em trechos com defeitos graves. Nesse serviço, podem-se corrigir defeitos, tais como, perda do material superficial, perda de declividade transversal, afundamento longitudinal, panelas e canais de erosão, que, se graves, recomenda-se empregarem serviços preliminares, como remendos e outros, bem como reparar e, ou melhorar o sistema de drenagem da via. Geralmente, esse serviço é executado com o

uso de equipamentos mecânicos, englobando motoniveladora, caminhão-pipa, rolo compactador e trator.

2.4. Avaliação das condições de serventia de estradas

Na avaliação das condições de serventia de estradas vai-se se referir às modalidades objetiva e subjetiva.

O DNIT apresenta norma técnica para a avaliação objetiva de rodovias, com direcionamento maior às vias pavimentadas (DNIT, 2003a), em que se estabelece o conjunto de condições para a avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos para inventário e classificação de ocorrências aparentes e deformações permanentes em trilhas de roda. Nessa publicação, descreve-se a aparelhagem necessária e estabelecem-se conceitos de degradação de pavimento com base em cálculos de frequências absolutas e relativas das ocorrências inventariadas e fixação do Índice de Gravidade Global (IGG).

No que tange à avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos (DNIT, 2003b), a serventia refere-se à capacidade de um trecho específico de pavimento proporcionar ao usuário condições de rolamento suave e confortável, sob qualquer condição de tráfego, sendo medida através do Valor de Serventia Atual (VSA), que varia de 0 a 5, associando-se o valor 0 a uma avaliação péssima e o valor 5 a uma avaliação ótima. No texto, descrevem-se as condições gerais e específicas para a avaliação, o processo para preenchimento da ficha de avaliação e o cálculo para a determinação quantitativa e qualitativa do valor da serventia atual da superfície do pavimento. Nessa publicação, com direcionamento maior às vias pavimentadas, especificam-se condicionantes para a determinação do VSA, dentre os quais citam-se:

- o grupo responsável pela determinação do VSA deve ser constituído de cinco membros perfeitamente conhecedores dos propósitos desta Norma técnica;
- o avaliador deve considerar somente o estado atual da superfície e, conseqüentemente, pode classificar um pavimento como “bom”, embora suspeite que o mesmo possa romper-se em futuro próximo;
- a avaliação não deve ser feita sob condições climáticas desfavoráveis, como chuva, neblina, nevoeiro etc.;

- o avaliador deve ignorar os aspectos do projeto geométrico do trecho da rodovia que está sendo avaliada (alinhamento, largura do acostamento, largura do revestimento, etc.), sendo os trechos avaliados como se o projeto geométrico fosse adequado para qualquer tipo de tráfego;
- o avaliador não deve considerar, na avaliação, a resistência à derrapagem do revestimento;
- os avaliadores devem considerar, principalmente, os “buracos”, saliências, irregularidades transversais e longitudinais da superfície, sendo que grandes depressões resultantes do recalque de aterros devem ser ignoradas;
- os avaliadores devem desprezar os cruzamentos ferroviários, irregularidades nos acessos das pontes e irregularidades ocasionais devidas a recalques de bueiros, sendo que na avaliação de uma série de trechos pavimentados, o avaliador não deve levar em conta os valores assinalados para os trechos anteriormente avaliados, devendo cada trecho ser avaliado independentemente; e
- o avaliador não deve comentar nada de sua avaliação com outro avaliador, nem procurar o auxílio de ninguém sobre as condições de projeto de qualquer trecho.

Complementarmente, no processo de avaliação subjetiva recomenda-se que o avaliador tenha em mente as seguintes considerações (DNIT, 2003b):

- como se portaria este trecho de pavimento em um período de 24 horas por dia, se ele estivesse localizado em uma rodovia principal?
- qual o conforto que este pavimento me proporcionaria se tivesse que utilizá-lo dirigindo um veículo durante 8 horas?
- como me sentiria dirigindo ao longo de por exemplo 800 quilômetros sobre este pavimento?

Na ficha de avaliação subjetiva, deve-se informar o nome ou número de código do avaliador, data, sigla da rodovia e trecho, bem como, imediatamente após ter-se percorrido o trecho, deve-se assinalar a nota dada ao pavimento, marcando-a na escala vertical em números decimais, como se indica na Figura 1.

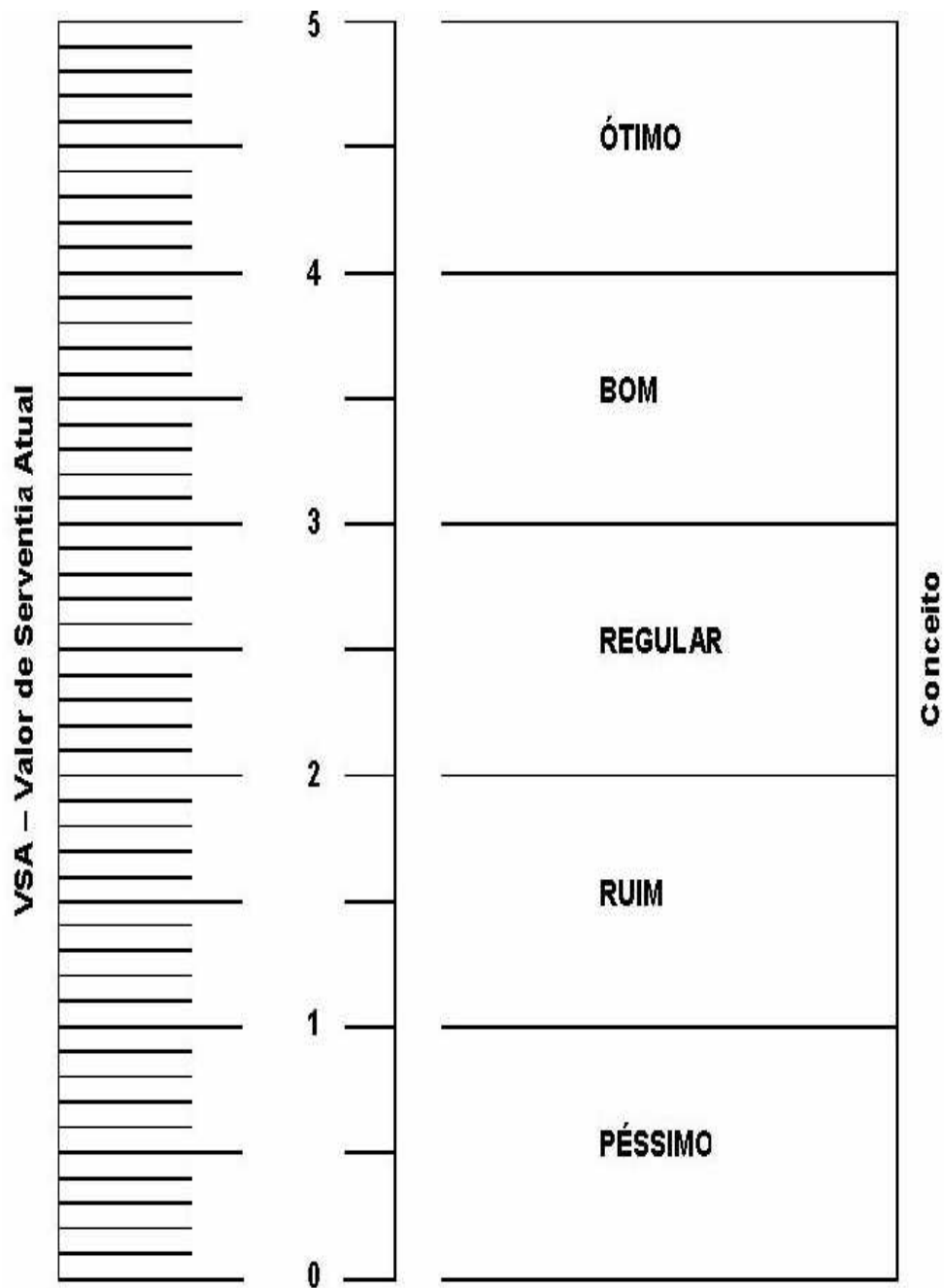


Figura 1: Escala de serventia da avaliação subjetiva de superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos (DNIT, 2003b).

Com relação à avaliação funcional de estradas de terra, que é o objeto do presente trabalho, vai-se focar no emprego do Método de Eaton, para a avaliação objetiva, e em uma adaptação do procedimento utilizado por Fontenele e Sória (2003), para a avaliação subjetiva da via em estudo.

2.5. O Método de Eaton para a avaliação funcional de estradas de terra

As considerações principais relativas ao emprego do Método de Eaton para a avaliação funcional das estradas de terra são a identificação da malha viária e a sua divisão posterior em: (i) ramos, abrangendo partes identificáveis da malha viária com funções distintas, como estradas, por exemplo; (ii) seções, como sendo um elemento da subdivisão de um ramo, com características específicas, seja de natureza estrutural, construtiva ou de tráfego; e (iii) unidade simples, como sendo uma área identificável de uma seção, que foi subdividida para fins de inspeção. Em rodovias de terra, uma unidade simples é definida como uma área de, aproximadamente, 139 a 323 m².

No Método de Eaton, um componente importante da metodologia de trabalho é o exame das condições da superfície da via e os procedimentos para a sua avaliação, bem como a determinação do *Unsurfaced Road Condition Index (URCI)*, sendo estes dados os elementos básicos para definição das necessidades e priorização de serviços de manutenção da rede de vias como um todo. O índice *URCI* (EATON et al., 1987b) é determinado através da quantificação e análise de defeitos-tipo, a saber: seção transversal imprópria; drenagem inadequada; corrugações; excesso de poeira; buracos; trilha de roda; e perda de agregados.

Basicamente, o *URCI* indica a funcionalidade da rodovia e reflete as suas condições de operação, sendo representado por um valor numérico que varia numa escala de 0 (zero), para uma condição péssima, até 100 (cem), para uma condição excelente. Assim, a prioridade da manutenção e, ou intervenção em uma estrada de terra pode ser definida em função do seu *URCI* e da sua categoria, a qual está diretamente relacionada ao seu respectivo volume médio diário de tráfego.

Denomina-se defeito em uma estrada de terra a qualquer alteração na superfície de rolamento que tem influência negativa nas condições de tráfego. No Método de Eaton, essas alterações foram hierarquizadas em níveis de severidades que variam de acordo com as suas interferências na utilização da via. Na prática, os níveis de severidade são determinados pela ocorrência de limites pré-definidos para medidas ou classificações sobre defeitos identificados em levantamentos de campo, sendo agrupados quanto ao nível de severidade nas categorias *não aplicável, baixa, média e alta*.

No Método de Eaton, infere-se que a avaliação completa dos defeitos-tipo de uma estrada de terra compreende duas etapas, a saber: (i) avaliação subjetiva, onde se atribui a cada tipo de ocorrência um determinado grau de severidade, que varia entre baixo, médio e alto; e (ii)

avaliação quantitativa ou objetiva dos defeitos, com exceção do excesso de poeira, que é somente estimado quanto ao seu nível de severidade.

Assim, no Método de Eaton os defeitos são medidos separadamente em cada unidade simples em função da densidade e do nível de severidade observado, utilizando-os para a determinação do valor-dedução em gráficos específicos (nomogramas onde se atribuem valores predeterminados para os níveis de severidade, como segue: baixa = 2 pontos; média = 4 pontos; e alta = 15 pontos), conforme se ilustra no *Anexo A*.

Em relação ao procedimento de cálculo do URCI de uma unidade amostral, refere-se aos seguintes passos (EATON e BEAUCHAM, 1992):

- cada unidade simples selecionada para medição de defeitos é inspecionada, registrando-se os defeitos em uma planilha de inspeção, conforme se ilustra na Figura 2 (MACHADO et al., 2013). Adota-se nesse caso, a terminologia empregada no Setor de Transportes do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), que denomina o URCI de *Índice da Condição da Rodovia Não Pavimentada (ICRNP)*;
- com a extensão do defeito definida, calcula-se a sua densidade como segue: extensão/área da unidade simples. Por exemplo, se o defeito corrugação encontra-se em 150 m² para uma severidade baixa e a área da unidade simples é de 300 m², então a densidade é 0,5 ou 50%;
- com os valores da densidade calculada em 50%, por exemplo, e com a severidade do defeito, no caso baixa, obtém-se o valor dedução – VDu, que será de 24, conforme o *Anexo A*;
- emprega-se esse procedimento para cada um dos defeitos que apresentem gráficos de curvas de VDu, exceto para o defeito poeira;



Universidade Federal de Viçosa
 Departamento de Engenharia Civil
 Setor de Estradas e Transportes

**Inspeção de
 Rodovia Não
 Pavimentada**

Sigla da Rodovia: _____ Data: _____
 Ramo: _____ Inspetor: _____
 Seção: _____ Área da US: _____ m²
 Unidade Simples: _____

Tipos de Defeitos

- 1 - Seção Transversal Imprópria (m)
- 2 - Drenagem Inadequada (m)
- 3 - Corrugações (m)
- 4 - Excesso de Poeira
- 5 - Buracos (unid.)
- 6 - Trilha de Roda (m²)
- 7 - Perda de Agregados (m)

Croquis



Quantidade de Defeitos e Severidade

Tipo de Defeito		1	2	3	4	5	6	7
Quantidade e Severidade	B							
	M							
	A							

Nota: B = Severidade baixa; M = Severidade média; e A = Severidade alta.

Cálculo do ICRNP

Tipo de Defeito	Densidade	Severidade	Valor Dedutível	Observações:
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
Total do Valor Dedutível =				
Valor "q" =				
Valor do ICRNP =		Classificação		

Nota: ICRNP = Índice da Condição da Rodovia Não Pavimentada

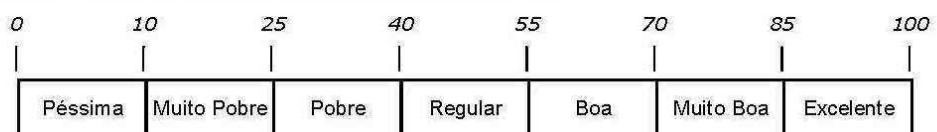


Figura 2: URCI – Modelo de planilha para avaliação funcional objetiva, conforme o Método de Eaton

- com o total de valores deduções, TVDu, e com os valores totais de defeitos com valores deduções, VD, maiores que 5, denominados de q, no Gráfico da Curva do URCI, obtém-se o valor de URCI, no eixo das ordenadas;
- a partir do valor do URCI, classifica-se a unidade simples da via; e
- para cada unidade simples, realiza-se o cálculo de acordo com os passos supracitados com uma planilha para se obter a classificação da seção em estudo, o que pode ser realizado pelo somatório do URCI de cada unidade, dividindo-se pela quantidade de unidades, isto é, pelo cálculo da média aritmética simples dos valores das unidades.

2.6. Tipos de Defeitos

Como já se citou no Método de Eaton, a avaliação do nível de severidade de uma estrada de terra se processa por meio de levantamento dos seus defeitos no campo, envolvendo os mais significativos, como segue (EATON et al., 1987a, 1987b; EATON, 1988; EATON; BEAUCHAM, 1992):

- **Seção transversal inadequada**

A seção transversal inadequada é o resultado de uma superfície sem declividade transversal para direcionar as águas para as sarjetas. Esta condição é evidenciada pela água escoando ao longo da superfície de rolamento e conseqüentemente pela erosão causada pela intensidade da chuva. As condições da seção transversal são avaliadas pela facilidade de escoamento da água da superfície da estrada para um local que não influencie as condições de rolamento. Classifica-se a qualidade da estrada de terra de acordo com os níveis de severidade e extensão do defeito, como segue: (i) baixo: superfície completamente plana (sem declividade transversal); (ii) médio: superfície em forma de bacia; e (iii) alto: grandes depressões nas trilhas de rodas na superfície da estrada. A Figura 3 ilustra essa situação de alta severidade:

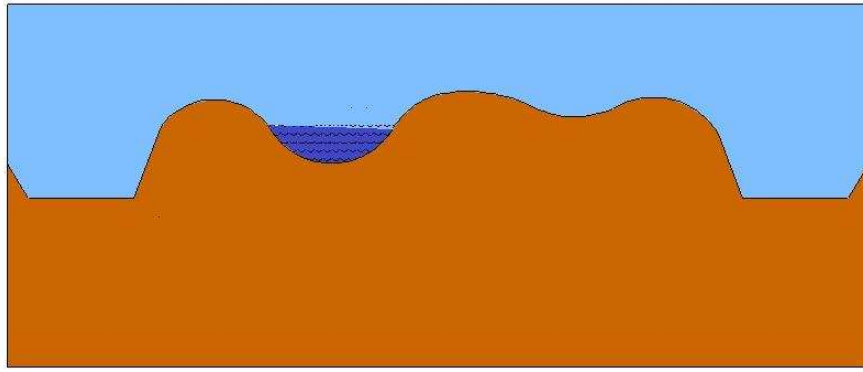


Figura 3: Ilustração de seção transversal de alta severidade

- **Corrugações (ou ondulações)**

Identificam-se as corrugações como defeitos que ocorrem perpendicularmente à direção do tráfego, em intervalos relativamente regulares. Sua ocorrência se deve à ação do tráfego e à existência de material (agregado) solto na pista. Os níveis de severidade considerados são: (i) baixo, com profundidades menores que 2,5 cm; (ii) médio, com profundidades entre 2,5 e 7,5 cm; e (iii) alto, com profundidades maiores que 7,5 cm. A Figura 4 ilustra o defeito corrugações em estradas de terra.

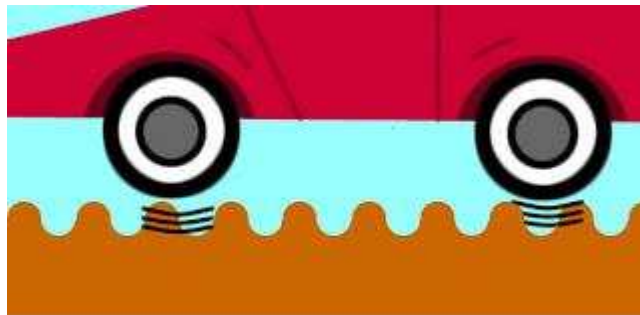


Figura 4: Ilustração de corrugações em estradas de terra.

Por outro lado, Santos *et al.* (1988) entendem que as corrugações podem ocorrer tanto de forma regular como irregular, associando as primeiras às estradas planas com o subleito formado por solos arenosos e as segundas àquelas com subleitos argilosos que, ao se secarem, se contraem formando o defeito.

- **Excesso de Poeira**

A ocorrência de poeira deve-se à ação abrasiva do tráfego na camada superficial da estrada de terra, que gera material solto da superfície de rolamento e pode formar nuvens de densidade variável, como segue: (i) baixa, com a ocorrência de nuvem pouco densa que não obstrui a visibilidade; (ii) média, com a ocorrência de nuvem medianamente densa, que obstrui parcialmente a visibilidade e reduz a velocidade do tráfego; e (iii) alta, com a ocorrência de nuvem densa, que obstrui severamente a visibilidade e reduz significativamente a velocidade de tráfego ou causa a sua interrupção. A Figura 5 apresenta a ocorrência de poeira.



Figura 5: Ilustração da ocorrência de poeira em estradas de terra.

- **Buracos**

Buracos são depressões produzidas pela perda contínua de partículas sólidas da superfície de rolamento da estrada de terra, sob a ação do tráfego, que crescem rapidamente com a presença de água no seu interior, conforme ilustração apresentada na Figura 6. A formação de buracos se dá pela contínua expulsão de partículas sólidas do leito quando da passagem de veículos sobre um local onde há acúmulo de água. Ocorrem na forma de bacias, em geral, com menos de 91,2 cm (3'') de diâmetro. A forma de avaliação do grau de severidade se processa pela profundidade e diâmetro médio dos buracos, como se ilustra na Tabela 2.

Tabela 2: Níveis de severidade em função da profundidade e do diâmetro do buraco

Profundidade (cm)	Diâmetro médio do buraco (cm)			
	$\leq 30,4$	30,4 a 60,8	60,8 a 91,2	$> 91,2$
1,27 a 5,08	B*	B	M	M
5,08 a 10,16	B	M**	A	A
$> 10,16$	M	A	A***	A

*B = baixo nível de severidade; **M = médio nível de severidade; e ***A = alto nível de severidade.



Figura 6: Pista de rolamento com buracos vista transversalmente.

- **Trilhas de Roda**

Uma trilha de roda é uma depressão longitudinal que ocorre no sentido da ação do tráfego e paralelamente ao eixo da via. Em geral, esse tipo de defeito origina-se na ação do fluxo repetido de veículos, que causa deformação permanente nas camadas do pavimento ou no subleito da estrada de terra, estando comumente associado à baixa capacidade de suporte das camadas ou do material de fundação e a períodos de chuva. Sua classificação se processa por meio dos seguintes níveis de severidade e extensão das trilhas de rodas: (i) baixo, com sulcos de profundidade menor que 2,5 cm; (ii) médio, com sulcos com profundidade entre 2,5 e 7,5 cm; e (iii) alto, com sulcos com profundidade maior que 7,5 cm. A Figura 7 ilustra o defeito trilhas de roda.

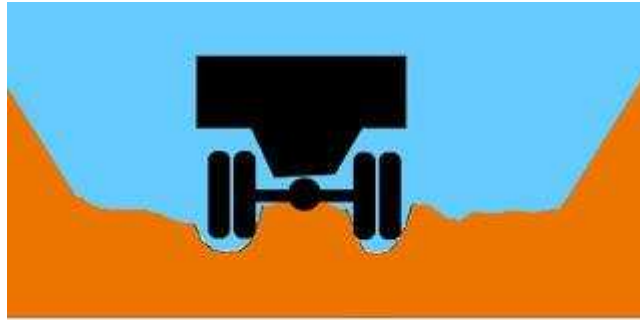


Figura 7: Ilustração do defeito trilhas de roda.

Segregação de agregados

A ocorrência de segregação de agregados deve-se à ação do tráfego, que libera partículas maiores do material granular da superfície de rolamento da via, formando leiras superficiais de agregados soltos que se formam no centro e, ou ao longo do eixo da pista, conforme ilustrado na Figura 8. A segregação ocorre devido à adição de material granular para aumentar o atrito entre os pneus e a superfície, sem a adequada compactação. Devido à má compactação, o material acaba se desagregando e ficando solto e com a passagem contínua dos veículos os agregados são movidos para as áreas menos trafegáveis. A forma de avaliação do nível de severidade do defeito obedece a: (i) baixo, com bermas menores que 5,0 cm de altura; (ii) médio, com bermas entre 5,0 e 10,0 cm de altura; e (iii) alto, com bermas maiores do que 10,0 cm de altura.

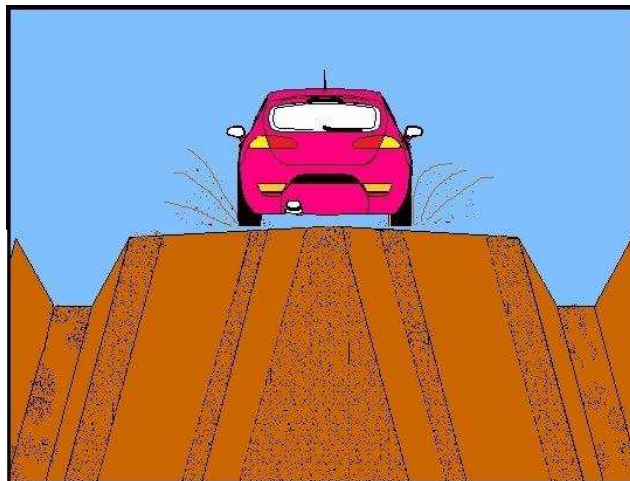


Figura 8: Ilustração do defeito segregação de agregados em estradas de terra

- **Drenagem Inadequada**

A ocorrência de drenagem inadequada na via deve-se ao funcionamento irregular de sarjetas e bueiros, devido a problemas relacionados com geometria inadequada da via ou falta de manutenção do sistema de drenagem que levam ao empoçamento de água na superfície de rolamento, como apresentado na Figura 9. Classifica-se o nível de severidade desse defeito, como segue: (i) baixo, com valetas com muito pouco entulho; (ii) médio, com valetas com pequena quantidade de entulhos; e (iii) com valetas cobertas de entulho.

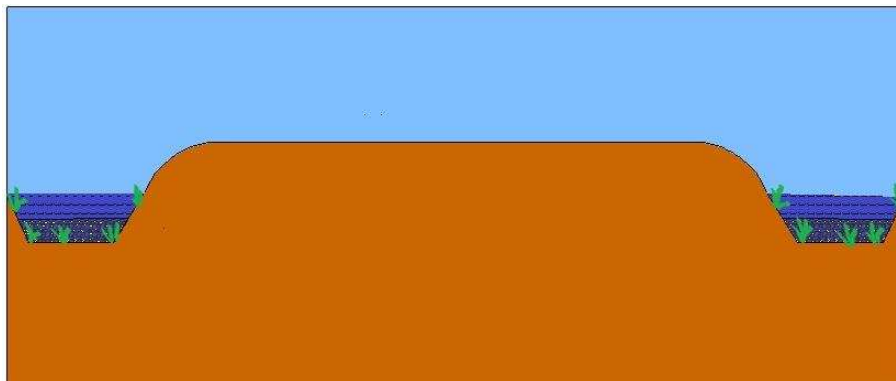


Figura 9: Ilustração do defeito drenagem inadequada com entulho nas sarjetas

- **Areiões (de Espigão ou de Baixada):**

A causa principal do defeito areião de espigão é a falta de material ligante na pista de rolamento. Já nos areiões de baixada, ocorre sedimentação da areia trazida de trechos altos, sem presença de material ligante ou compactação, como ilustra a Figura 10. Seria importante combater a erosão dos trechos altos e compactar o material já trazido para diminuir a sua intensidade.

Este defeito não é considerado na avaliação do método EATON e por consequência não tem os seus resultados medidos em severidades.



Figura 10: Ilustração do defeito areião de espigão em estrada de terra

- **Erosão**

Assim como no caso de buracos, as erosões são provocadas dentre outros fatores, principalmente pela falta do sistema de drenagem no greide. As erosões se iniciam na forma de sulcos e evoluem para ravinas onde o solo tem baixa resistência, conforme apresentado na Figura 11. Se a erosão atinge o lençol freático, é denominada “voçoroca”. Neste caso, faz-se o preenchimento dos sulcos ou ravinas com solo local compactado, sendo os últimos 30 cm com material de revestimento primário, fazendo sua compactação com rolo. As erosões pequenas são tratadas como buracos.

Christopher (2002 apud CORRÊA, 2005), sugere em seu trabalho que as maiores perdas de solo em estradas vicinais ocorrem durante e imediatamente após a construção dessas estradas, devido à sua instabilidade e aos distúrbios causados pela passagem de tráfego pesado.

Este defeito também não é considerado na avaliação do método EATON e, por consequência, não têm os seus resultados medidos em severidades.

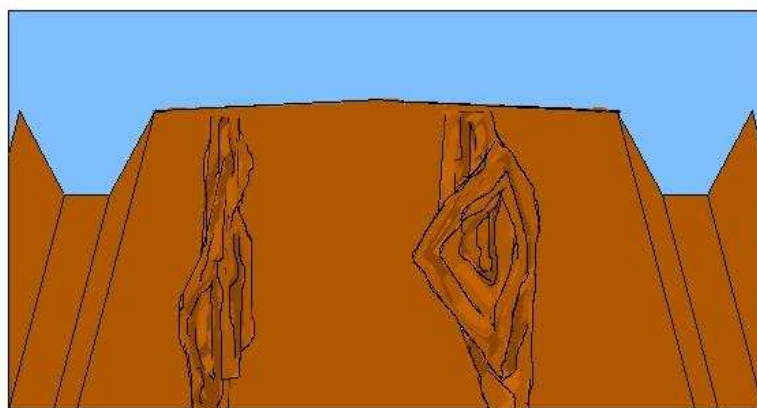


Figura 11: Ilustração do defeito areião de espigão em estrada de terra

2.7. Metodologia de Fontenele e Sória (2003) para a avaliação subjetiva de estradas de terra

Fontenele e Sória (2003) realizaram um estudo dirigido à análise de coerência dos resultados de avaliações subjetivas realizadas por um painel de avaliadores em seções e unidades simples de estradas de terra do município de São Carlos, estado de São Paulo, Brasil.

Em termos de metodologia, Fontenele e Sória (2003) selecionaram 5 (cinco) estradas de terra (ramos) com base na sua localização em relação à cidade de São Carlos, São Paulo, Brasil, e diversidade de ocorrência de solos do subleito. Nessas estradas, foram escolhidos 14 (quatorze) seções homogêneas e problemáticas das vias selecionadas, com extensão individual de 300 m, as quais foram subdivididos em 10 (dez) unidades simples consecutivas de 30 m de comprimento. Para fins da avaliação subjetiva, dividiu-se o trabalho de campo em duas etapas, a saber: (i) todos os avaliadores percorreram cada seção de 300 m em um mesmo veículo, à velocidade de 40 km/h, atribuindo-lhe uma nota que representou a qualidade de viagem no mesmo; e (ii) percurso a pé dos avaliadores por cada unidade simples de 30 m, analisando-se a sua condição superficial e atribuindo-lhe uma nota que representasse a opinião individual sobre esta característica da via, conforme escala apresentada na Tabela 3, que repete a escala referida por Eaton e Beaucham (1992) para a *URCI*.

Tabela 3: Escala de classificação em avaliação funcional subjetiva para os trechos e unidades amostrais (Fontenele e Sória, 2003)

Classificação	Notas
Péssima	0 – 10
Muito Ruim	11 – 25
Ruim	26 – 40
Regular	41 – 55
Boa	56 – 70
Muito Boa	71 – 85
Excelente	86 – 100

Na análise dos resultados, os referidos autores compararam os desempenhos dos avaliadores individualmente em face à avaliação do grupo, bem como entre as avaliações subjetivas das seções e suas unidades simples, concluindo que “... as dispersões observadas entre os avaliadores eram aceitáveis.”, bem como que “... a avaliação subjetiva global do trecho tem uma boa correlação com a avaliação subjetiva do conjunto das unidades amostrais que o compõem, indicando a coerência das avaliações e a validade de uso de um painel para avaliar as condições da superfície de rolamento de estradas não pavimentadas.”

2.8. Manutenção de estradas de terra sob o viés ambiental

Atualmente, pouco se aborda em relação à interface rodovia e meio ambiente. Uma publicação que trata desse viés foi desenvolvida pelo Departamento de Transportes da Pensilvânia (PDT, 2007), que será utilizada como base sumarizada para o desenvolvimento deste tópico.

Como em toda manutenção e projetos de manutenção de estradas de terra, precisa-se fazer inspeções de campo, avaliar as condições e decidir sobre o que deve ser realizado na via. Quanto mais práticas ou ferramentas disponíveis para o trabalho, melhor será o desempenho da manutenção para prevenir tanto a poluição causada pela obra, quanto para prolongar a vida da estrada.

Sabe-se que a ação de fenômenos erosivos em estradas de terra, com a conseqüente liberação de sedimentos, é um dos principais poluidores dos cursos naturais de água. Nesse sentido, ao se abordar os temas fenômenos erosivos e formação de sedimentos em estradas de terra, deve-se enfatizar a importância da prevenção de ocorrência dos primeiros, pois, na sua ausência,

esvai-se a preocupação com os sedimentos e, conseqüentemente, com esta modalidade de poluição ambiental.

No contexto de ações mitigadoras do volume de sedimentos oriundos de estradas de terra, técnicas preventivas podem apresentar características de caráter temporário ou permanente. As primeiras são, comumente, empregadas antes ou durante a construção da via e, dentro das circunstâncias, podem se transformar em ações de caráter permanente, sendo que as segundas envolvem as técnicas de controle de longo prazo, que requerem, em geral, manutenção reduzida ao longo do tempo na via.

A prevenção contra a erosão e a liberação de sedimentos, pode ser dividida em duas práticas já mencionadas anteriormente:

- práticas temporárias: são práticas usadas antes ou durante a construção ou ainda durante o trabalho de manutenção preventiva. São caracterizadas por situações emergenciais. Algumas práticas servem tanto como temporárias como permanentes, enquanto outras se tornam permanentes depois do trabalho de manutenção; e
- práticas permanentes: são práticas usadas como de longa duração, frequentemente requeridas em áreas de pouca a baixa manutenção. Estas práticas podem ser simples ou complexas e com custos diversos.

Como prática temporária 1 (não recomendada pela Agência Federal de Proteção Ambiental – EPA - dos EUA), o emprego de barreiras de fardos de palha (“*Straw Bale Barriers*”) é somente utilizado como técnica temporária. Os fardos não devem ser usados por mais de três meses e também não devem ser utilizados quando se tem um fluxo de água concentrado e contínuo. Devem ser usados somente com fluxo de água baixo ou laminado, como se ilustra na Figura 12.



Figura 12: Barreiras de fardos de palha (*Straw Bale Barriers*) aplicados numa situação em que o sistema de fardos de palha está entrando em colapso.

Como prática temporária 2, pode-se referir ao emprego de barreiras para o controle de silte (“*silt fence barrier*”), que são estruturas construídas com o uso de manta de geossintético com as funções de filtração e controle temporário de sedimentos, como se apresenta na Figura 13. Refere-se que essa solução é comumente empregada no pé de encostas, na forma de lençol de controle do fluxo de sedimentos, recomendando-se que se realize limpeza sempre que o volume de sedimentos atinja a metade da altura da manta. Por outro lado, a mesma não deve ser empregada nas condições de ocorrência de fluxo concentrado de água.

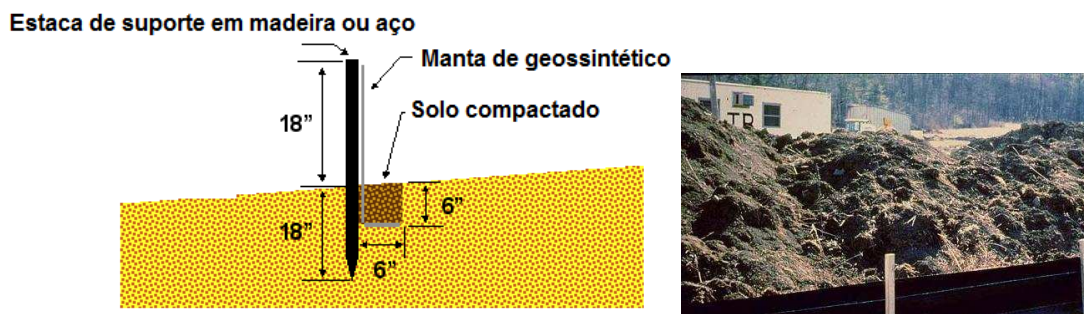


Figura 13: Barreira para o controle de silte (*Silt fence barrier*), segundo recomendação do Departamento de Transportes da Pensilvânia (Modificado de PDT, 2007).

Quanto às práticas de caráter permanente, elas englobam os cuidados com o perfil transversal da via, vias de entroncamento com a estrada de terra, sarjetas, valetas laterais, bueiros e galerias para a transposição de cursos de água, dentre outros serviços. Neste texto, vai-se abordar alguns desses aspectos, como segue:

- perfil transversal da via: no caso de seção meia encosta com inclinação expressiva da encosta, é comum se adotar a seção transversal com declividades laterais ou o emprego

conjugado de berma, como ilustrado na Figura 14 (a). Nesse caso, na ocorrência de chuvas, pode haver a concentração do fluxo de água na saia do aterro, erodindo-o e carreando sedimentos para os cursos de água próximos, assim como no caso do uso de berma pode-se levar à formação de sarjeta secundária, com o conseqüente carregamento de finos do material do subleito da via. Uma solução nessas situações é realizar uma operação de corte na seção transversal da via, com inclinação para o lado do talude de corte, como ilustrado na Figura 14 (b), lembrando o emprego de uma superelevação na via (“*insloping*”). Destaca-se que essa solução não produz aumento expressivo do volume de água na sarjeta de pé de talude, mas recomenda-se utilizar inclinações mínimas, de modo a se garantir a segurança dos veículos em operação na estrada. Por outro lado, no caso de inclinação suave da encosta, pode-se adotar a seção transversal com realização de corte no sentido da declividade existente (“*outsloping*”), como ilustrado na Figura 14 (c). Nesse caso, deve-se, também, utilizar inclinações mínimas, de modo a se garantir a segurança dos veículos em operação na via;



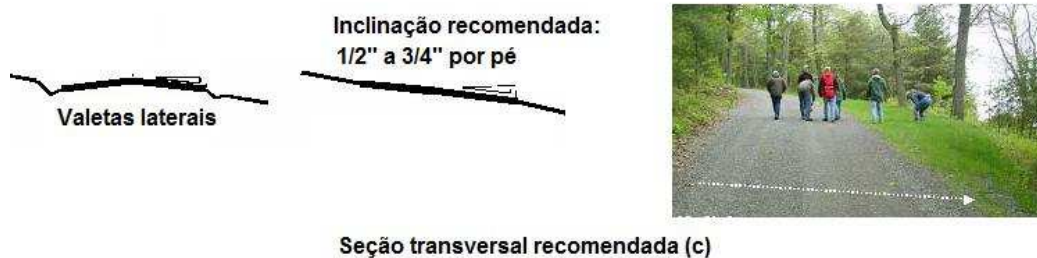


Figura 14: (a) seções comumente empregadas; (b) seção com operação de corte no sentido do pé do talude; e (c) seção com operação de corte realizada seguindo a inclinação da encosta.

- sarjetas: a primeira pergunta a se fazer é se sarjetas são necessárias na via ? Se a superfície da via consegue drenar a água sem causar danos a própria superfície e ao relevo entorno dela (como a erosão e deposição de sedimentos), as sarjetas se tornam inúteis e desnecessárias. No entanto, em muitos casos essa infiltração natural da superfície da via não acontece ou não é suficiente para escoar toda a água que incide na pista, então nestes casos se faz necessário o uso de sarjetas. Na Figura 15, tem-se uma seção transversal típica de uma sarjeta em uma seção transversal de uma estrada de terra. Em um caso de exceção, se as águas que incidem na superfície da via chegam numa baixa velocidade não produzem ações erosivas, por exemplo, torna-se desnecessário o uso de sarjetas. Caso seja necessário o uso das mesmas, refere-se que elas devem ter inclinação longitudinal suficiente e saída lateral para a movimentação da água de chuva coletada, bem como se recomenda que as suas seções transversais tenham forma trapezoidal ou parabólica, como ilustrado na Figura 15, com inclinação lateral da valeta de 4:1, ou 14° , por questões de estabilidade lateral da via e segurança ao tombamento dos veículos que utilizem a mesma, e inclinação longitudinal de, pelo menos, 1%;



Figura 15: Sarjetas nas formas trapezoidal (a) e parabólica (b) recomendadas pelo Departamento de Transportes da Pensilvânia (Modificado de PDT, 2007).

- revestimento das sarjetas: devido ao grande volume de água e à elevada velocidade com que esta percorre uma sarjeta, deve-se executar o seu revestimento para evitar a degradação e a deformação da mesma. Quanto maior for a velocidade com que a água atinge a sarjeta, maior será a necessidade de revestimento; mas, para se seleccionar o tipo de camada de revestimento, deve-se saber qual a velocidade que cada tipo de cobertura suporta, conforme dados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Velocidade máxima para os variados tipos de coberturas de sarjetas

Velocidade Máxima para os Variados Tipos de Coberturas de Sarjetas	
Cobertura de Solos Naturais	Vel. Máxima (m/s)
Cascalho	1,83 - 2,13
Silte com cascalho	0,61 - 1,52
Areia	0,30 - 0,61
Silte com areia	0,61 - 0,91
Argila com areia	0,91 - 1,22
Cobertura vegetativa	Vel. Máxima (m/s)
Turfa resistente à erosão	1,22 - 1,52
Turfa com facilidade de erosão	0,91 - 1,22
Turfa densa resistente à erosão	1,83 - 2,44
Fundo de cascalho	1,22 - 1,52
Ervas daninhas densas	1,52 - 1,83
Cobertura pavimentada	Vel. Máxima (m/s)
Fundo de cascalho com laterais concretadas	2,44 - 3,05
Rip-rap	4,57 - 5,49
Concreto ou asfalto	5,49 - 6,10

Para o revestimento de uma sarjeta, podem-se empregar redes de geossintéticos biodegradáveis que irão prevenir a erosão enquanto a vegetação da sarjeta se estabiliza, como ilustrado na Figura 16.



Figura 16: Geomanta recobrimdo a sarjeta até a estabilização da cobertura vegetal.

- Saída lateral com faixa vegetativa: os trechos com sarjeta não podem simplesmente acabar em uma foz, lançando-se a água diretamente nas partes laterais mais baixas da pista. A sarjeta transporta sedimentos na água, que se depositam nos pontos mais baixos do greide; assim, torna-se necessário realizar as alterações requeridas, de modo a se mudar a direção da água, encaminhando-a para fora da pista. A Figura 17 mostra a execução dessa prática, que consiste no corte da sarjeta antes do ponto mais baixo para o escoamento da água. Para se evitar a erosão provocada pela velocidade com que a água escoar no solo, pode-se empregar uma faixa de vegetação que barre e filtre a água, possibilitando que parte desta água se infiltre no subleito, antes de escorrer pelo entorno da via.

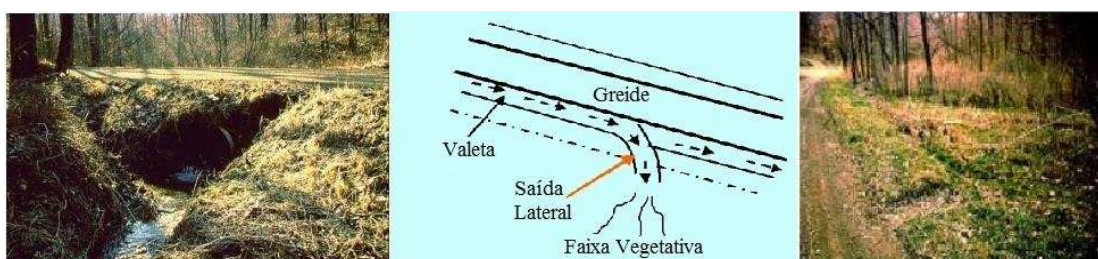


Figura 17: Ilustração e exemplos de saídas laterais em sarjetas

- quebra na declividade longitudinal da via: em longos trechos em declive, uma solução que pode ser empregada é a quebra na declividade, reduzindo-se, em diferentes trechos, a declividade longitudinal, de modo a decrescer a concentração e a velocidade da água e, conseqüentemente, diminuir o seu volume na via. No caso do uso dessa solução em seções meia encosta, às vezes é interessante utilizar condutos transversais à pista (bueiro de greide), para a saída de água acumulada, de modo a garantir o seu escoamento do lado do pé do talude para a meia encosta, conforme apresentado na Figura 18;



Figura 18: Ilustração de solução de quebra de declividade longitudinal de via de terra, conforme recomendado pelo Departamento de Transportes da Pensilvânia (PDT, 2007).

- depressões na pista: com pistas em declive, deve-se atentar ao fato da água correr com velocidade elevada até a parte mais baixa juntamente com o volume de água (como já foi visto no item anterior). Para tanto, além da quebra de declividade longitudinal, pode-se também modificar a direção em que a água será encaminhada fazendo pequenas depressões transversais na pista, como apresentado na Figura 19, de modo a auxiliar a retirada de águas da superfície de rolamento da estrada.

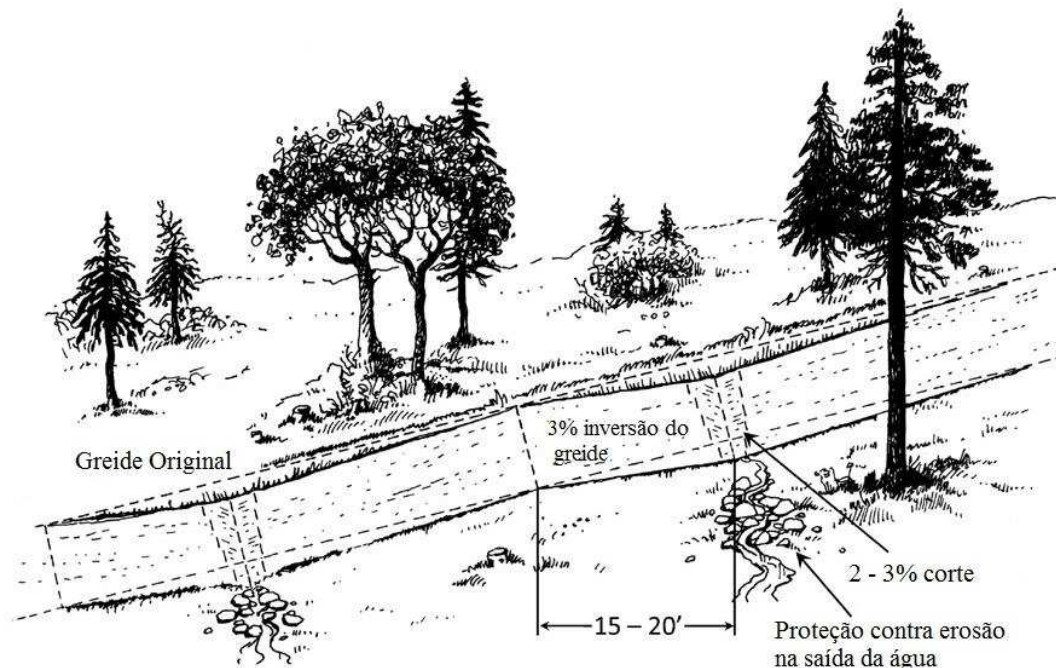


Figura 19: Esquema de implantação das depressões na pista para facilitar o escoamento da água (PDT, 2007).

- elevação do greide da via: ao longo dos anos, têm-se a ocorrência de fenômenos erosivos extensos na via, que levam à necessidade de práticas de manutenção do seu greide (patrolagem, limpeza de sarjetas, limpeza da pista, etc). Com isso, a situação da pista de rolamento que antes foi construída numa cota de greide de projeto, passa a sofrer um rebaixamento, como ilustrado na Figura 20. Uma solução para esse problema pode ser o uso da prática de reconstituição do greide e da seção da via, alcançando-se uma cota de greide ideal, como ilustrado na Figura 21.

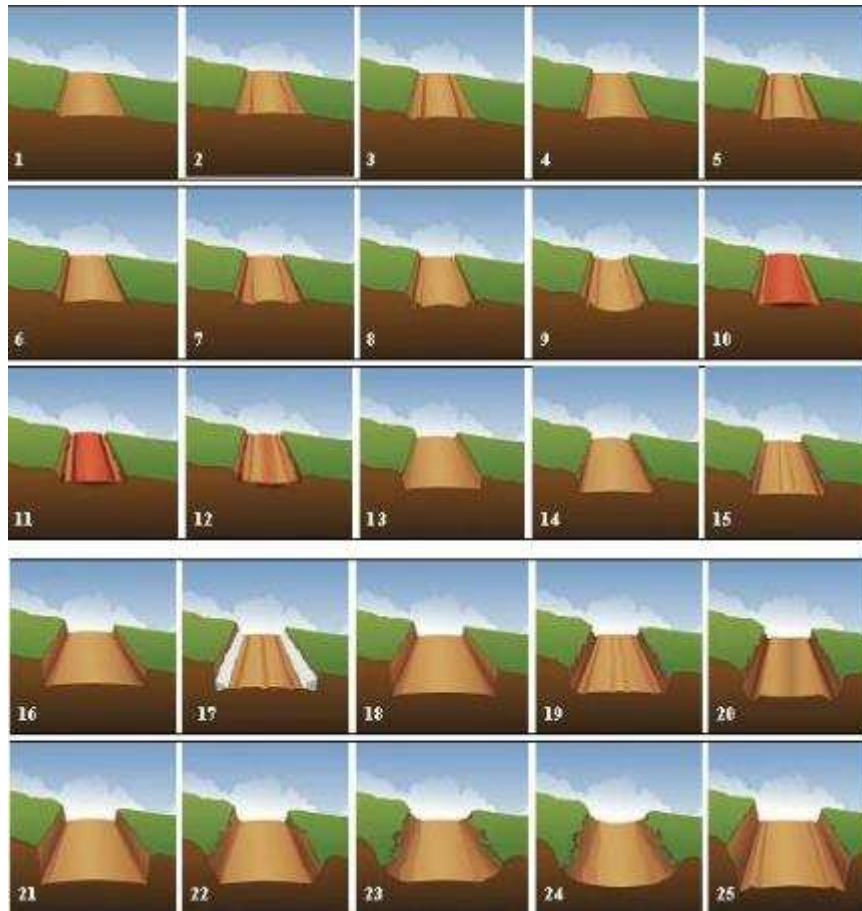


Figura 20: Ilustração de seqüência do rebaixamento do greide por processos naturais e de manutenção.



Figura 21: Ilustração de sugestões de reconstituição de via de terra com elevação do greide e seção transversal (PDT, 2007).

2.9. Classificação de solos

Tradicionalmente, os sistemas de classificação geotécnica de solos abrangem a classificação USC ou classificação unificada (*Unified Soil Classification System*) e a classificação do TRB

(*Transportation Research Board*), esta última de maior aplicação em estradas, com origem nos Estados Unidos da América. Mais recentemente, no Brasil foi proposto o emprego da Metodologia MCT (Miniatura Compactado Tropical) para a classificação geotécnica de solos tropicais (NOGAMI; VILLIBOR, 1981; COZZOLINO; NOGAMI, 1993; NOGAMI; VILLIBOR, 1995). As duas primeiras classificações estão bem difundidas no Brasil, razão pela qual, presentemente, vai-se detalhar os procedimentos para a realização dos ensaios mini-MCV e perda de massa por imersão da Metodologia MCT.

De acordo com Cozzolino e Nogami (1993), o uso das classificações tradicionais supracitados para os solos de comportamento tropical leva a resultados não condizentes com o desempenho real dos mesmos nas obras de engenharia. Peculiaridades observadas nestes tipos de solos influem na efetividade de tais classificações, com destaque para a ocorrência dos fenômenos relacionados à agregação dos finos e à natureza físico-química da fração argila em solos lateríticos, bem como para a influência dos macrocristais das micas e da caolinita e à natureza porosa e fragmentável dos grãos de silte e areia dos solos saprolíticos.

Originariamente, a Metodologia MCT foi proposta por Nogami e Villibor (1981), com critérios classificatórios relacionados com as propriedades mecânicas e hidráulicas de solos compactados. A classificação agrupa os solos tropicais em duas classes principais: (i) solos de comportamento laterítico, designados pela letra L; e (ii) solos de comportamento não laterítico, identificados pela letra N. Os procedimentos para a classificação se baseiam em resultados dos ensaios mini-MCV (*mini-Moisture Condition Value*) e de perda de massa por imersão. Assim, os solos são classificados através de dois índices, determinados através da realização dos ensaios supracitados.

No ensaio mini-MCV, realizado com energia de compactação variável e massa úmida de solo constante, obedece-se à sequência:

- pesar no mínimo 5 porções de solo, cada uma com 1 kg;
- adicionar água a cada porção, de modo que a umidade seja crescente;
- colocar cada porção de solo umedecido e homogeneizado em um saco plástico hermeticamente fechado e deixar por no mínimo 10 horas;
- iniciar a compactação pelo ponto mais úmido, pesando 200 g de solo;

- posicionar o cilindro no pistão inferior do aparelho de compactação, colocando um disco de polietileno no topo desse pistão;
- colocar os 200 g de solo no cilindro, apertando o topo dessa porção de solo com um dispositivo adequado;
- colocar outro disco espaçador de plástico sobre a parte superior do corpo de prova a ser compactado;
- aplicar o primeiro golpe e medir a altura A_1 do corpo de prova, utilizando um extensômetro posicionado na vertical;
- aplicar números de golpes sucessivos, de forma que totalizem, somados com os golpes anteriormente aplicados, números de golpes n iguais a 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192, 256;
- após totalizar cada uma dessas quantias de golpes, fazer as leituras das alturas correspondentes;
- o processo de compactação termina quando: $(A_n - A_{4n}) < 0,1$ mm ocorrência de exsudação total de golpes = 256;
- repetir o processo de compactação para as cinco porções de solo, com teores de umidade decrescentes;
- montar planilha de cálculo do ensaio mini-MCV;
- para cada teor de umidade, traçar uma curva de afundamento ou curva de mini-MCV. Essas curvas são lançadas em um diagrama onde o eixo das abscissas está em escala logarítmica e representa o número de golpes, e o eixo das ordenadas representa o valor correspondente à diferença de leitura $A_n - A_{4n}$, sendo n o número de golpes aplicados ao corpo de prova;
- determinar o coeficiente c' , que é o coeficiente angular da parte mais inclinada e retilínea da curva MiniMCV, que correspondente à condição Mini-MCV = 10 (ou ao teor de umidade que resulta em Mini-MCV = 10). Excepcionalmente obtém-se, durante execução do ensaio, a curva nessa condição, razão pela qual geralmente há necessidade de obter essa curva por interpolação gráfica apropriada; e
- determinar o coeficiente d' , que representa o coeficiente angular da parte mais inclinada do ramo seco da curva de compactação (teor de umidade \times massa específica aparente seca máxima) correspondente a 12 golpes, devendo ser expresso em kg/m^3 .

Na Figura 22, ilustram-se os passos necessários para a execução do ensaio de compactação mini-MCV.

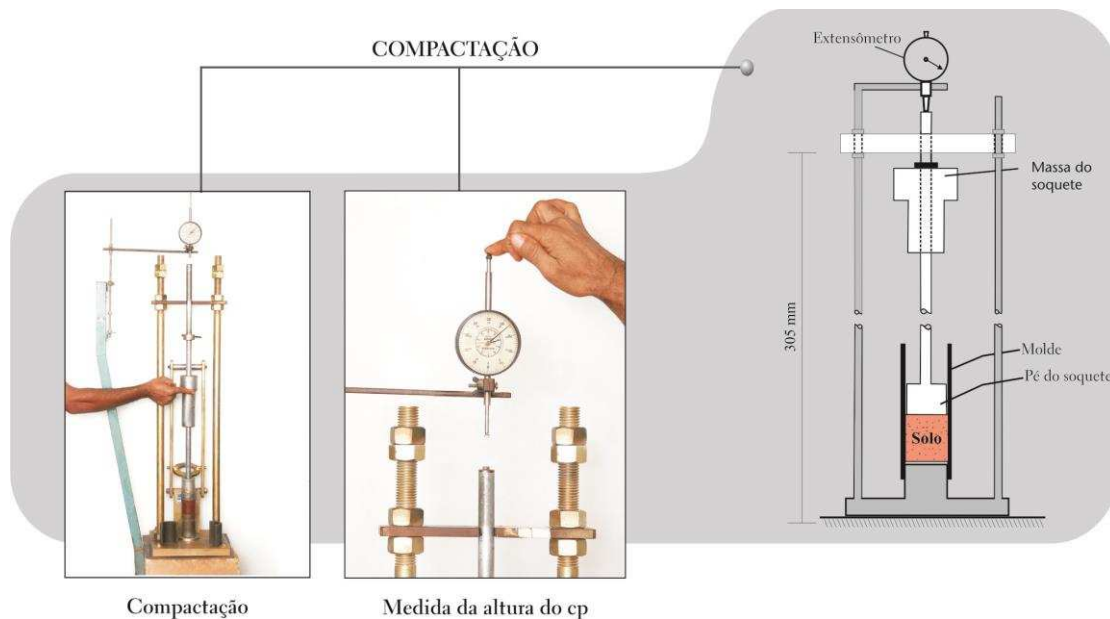


Figura 22: Etapas do ensaio de compactação mini-MCV (Portal de Tecnologia, 2010).

Com relação ao ensaio de perda de massa por imersão, tem-se que se busca avaliar a erodibilidade dos solos, sendo realizado em corpos de prova resultantes do ensaio de compactação mini-MCV. O procedimento de ensaio obedece às seguintes etapas:

- extrudar 1 cm do corpo de prova do ensaio Mini-MCV para fora do molde de compactação e colocar o conjunto (molde e corpo de prova) na posição horizontal, dentro de um tanque de imersão, com uma cuba disposta de modo que possa coletar o material que se desprenda após, no mínimo, 20 horas de imersão. Posteriormente retirar o material desprendido e secá-lo em estufa.
- calcular o peso (P) para cada teor de umidade. Na Figura 23, tem-se a representação dessa etapa do ensaio;

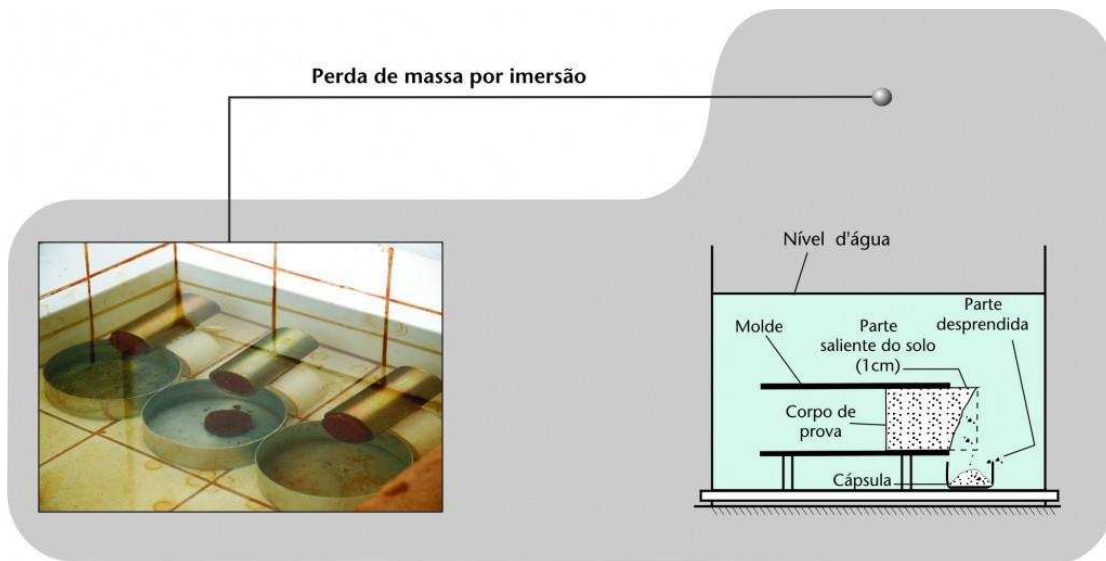


Figura 23: Ilustração do ensaio de perda de massa por imersão dos corpos de prova (Portal de Tecnologia, 2010).

- com os valores de P para cada teor de umidade, traçar a curva Mini-MCV $\times P$;
- o coeficiente P_i do solo é retirado dessa curva, para:
 - ❖ mini-MCV = 10 (quando os solos são de densidade baixa, ou seja, a altura final do corpo de prova para Mini-MCV = 10 é maior que 48 mm); e
 - ❖ mini-MCV = 15 (quando os solos são de densidade alta, ou seja, a altura final do corpo de prova para Mini-MCV = 10 é menor que 48 mm);

Com a obtenção dos dois parâmetros (c' e e'), realiza-se a classificação do solo segundo o croqui esquemático apresentado na Figura 24, empregando-se o ábaco de classificação ilustrado na Figura 25.

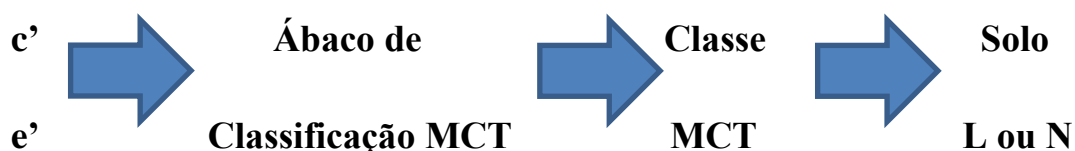


Figura 24: Croqui esquemático da sequência empregada na classificação de solos segundo a Metodologia MCT.

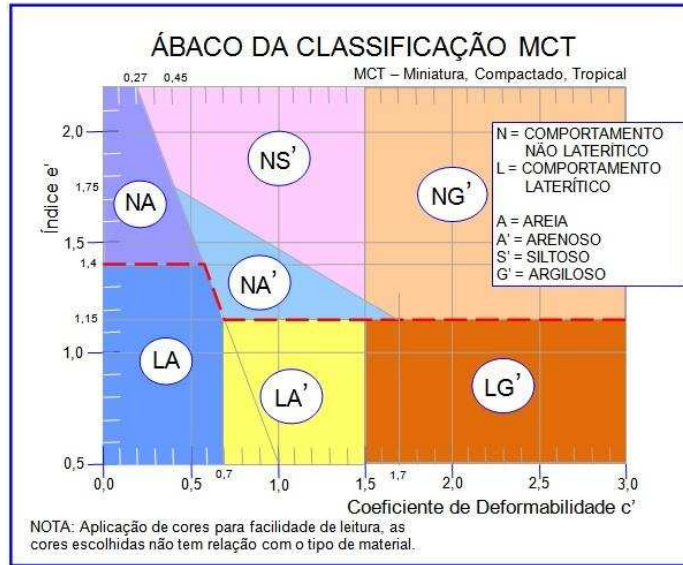


Figura 25: Ábaco para classificação de solos segundo a Metodologia MCT.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Escolha da rodovia em estudo

O presente trabalho aborda o emprego de metodologia de avaliação subjetiva modificada de Fontenele e Sória (2003) e da avaliação objetiva com o uso do Método de Eaton para a análise funcional de seis seções ou trechos de uma estrada de terra localizada na malha viária do município de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, que foram posteriormente subdivididas em (três unidades simples. Adicionalmente, buscou-se: (i) incorporar ao estudo os resultados da análise de um conjunto de dados obtidos em uma avaliação comparativa desta natureza realizada pela mestranda em uma via de terra do município alemão de Rattenkirchen, na Alta Baviera; e (ii) considerar a aplicação de práticas de manutenção da estrada em estudo com o viés ambiental, segundo procedimentos recomendados pelo Departamento de Transportes da Pensilvânia (PDT, 2007).

Destaca-se que a adoção dos resultados da avaliação funcional subjetiva nos moldes de Fontenele e Sória (2003) como base de comparação com os resultados da avaliação funcional objetiva empregando-se o Método de Eaton fundamenta-se nos bons resultados obtidos por estes autores em estradas de terra da área de influência da cidade de São Carlos, São Paulo.

Na Zona da Mata Norte de Minas Gerais, onde se situa o município de Viçosa, tem-se ocorrência de subleitos de estradas de terra em solos residuais jovens, saprolíticos, e em solos residuais maduros, estes últimos representados majoritariamente por Latossolos e Argissolos. Assim, foi realizado um reconhecimento preliminar das vias da malha de estradas de terra do município de Viçosa, para a escolha da área de estudo, visando o atendimento as seguintes exigências: (i) proximidade com a área urbana da cidade; (ii) presença de solos de subleito classificados como residuais jovens e residuais maduros; e (iii) via que contivesse, em uma visão preliminar, ramos problemáticos e relativamente uniformes em rampa e em região plana, bem como com deficiência significativa no sistema de drenagem.

A escolha recaiu na estrada de terra localizada entre o hospital Veterinário e a antiga Usina de Álcool da UFV, classificada como rodovia local e sem número na classificação das vias municipais, e tendo-se como ponto de partida para o estudo (estaca zero) o seu início nas proximidades do Hospital Veterinário da UFV.

Nessa via foi realizada, também, contagem de tráfego, para a determinação do seu volume médio diário, resultando em número de passadas do eixo padrão de 80 KN inferior a 10^4 , para um período de projeto de 10 anos.

3.2. Coleta de amostras e caracterização geotécnica dos solos de subleito

O subleito da via em análise é constituído por solos residuais de gnaiss. No horizonte B, tem-se a predominância do solo residual maduro, classificado pedologicamente como Latossolo Vermelho-Amarelo, e no horizonte C, do solo residual jovem ou saprolítico. As Figuras 26 e 27 trazem ilustrações de solos que representam os subleitos da estrada de terra investigada.

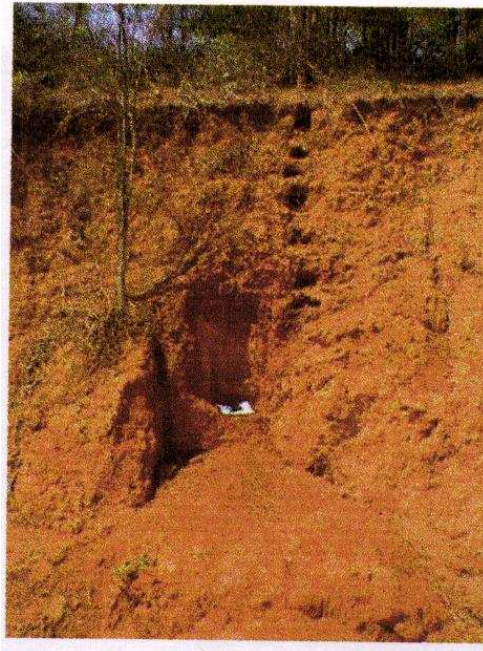


Figura 26: Ilustração de solo residual maduro, classificado pedologicamente como Latossolo Vermelho-Amarelo



Figura 27: Ilustração de solo residual jovem, classificado pedologicamente como residual jovem ou saprolítico.

Foram coletadas uma amostra de solo em cada unidade simples dos trechos analisados, totalizando dezoito amostras de solo. Os ensaios de caracterização geotécnica, compactação, CBR e os relativos à Metodologia MCT realizados em cada amostra de solo coletada obedeceram aos seguintes procedimentos: (i) caracterização geotécnica: granulometria conjunta, segundo a NBR 7181 (ABNT, 1982a); limite de liquidez, segundo a NBR 6459 (ABNT, 1984a), e limite de plasticidade, segundo a NBR 7180 (ABNT, 1984b); (ii) compactação, segundo a NBR 7182 (ABNT, 1982b); (iii) CBR, de acordo com a NBR 9895 (ABNT, 1987); e (iv) Metodologia MCT, conforme a norma técnica CLA 259 (DNER, 1994a), com necessárias consultas complementares à PRO 003 (DNER, 1994b); ME 228 (DNER, 1994c); ME 256 (DNER, 1994d) e ME 258 (1994e).

Quanto às classificações geotécnicas dos solos de subleito, trabalhou-se com os sistemas TRB (DNIT, 2006) e com a Metodologia MCT (NOGAMI; VILLIBOR, 1995).

3.3. Aplicação da avaliação subjetiva e do Método de Eaton à rodovia européia

Como elemento complementar de comparação dos resultados obtidos na estrada de terra de Viçosa-MG, empregou-se um banco de dados obtido através do emprego das avaliações subjetiva e objetiva em uma estrada de terra europeia, representada pelos ramos analisados previamente pela mestranda na cidade de Rattenkirchen, Alta Baviera, na Alemanha, distrito Mühldorf e membro da Comunidade de Gestão Heldenstein. A cidade em questão localiza-se na parte sudeste da Baviera, com área de 19,9 km², com população de 962 pessoas e altitude

média de 474 metros conforme apresentado na Figura 28. Os trabalhos de campo e de escritório foram desenvolvidos durante um estágio técnico realizado anteriormente pela mestranda na Alemanha.



Figura 28: Mapa da localização da cidade alemã de Rattenkirchen, Bayern.

No planejamento do trabalho desenvolvido na Alemanha foram definidas cinco seções de uma estrada de terra que foram inspecionados pela equipe de avaliação em duas épocas do ano, sendo uma ao fim da estação seca e outra ao término da estação de chuvas. Na análise, o ramo ou estrada escolhida foi dividida em cinco seções de 1.000 m, e dentro de cada uma, escolheu-se uma unidade simples de 50 m de comprimento como a mais representativa dos seus tipos de defeitos.

Após a classificação das unidades simples pela equipe de avaliação, os defeitos existentes em cada uma foram verificados e registrados segundo o Método de Eaton. Para a verificação das dimensões de cada defeito e suas severidades e densidades, foram realizadas medições para a determinação do *URCI* das unidades simples. Já o *URCI* de cada seção foi obtido através da média aritmética dos *URCI* das suas unidades simples.

3.4. Análise dos defeitos: aplicação das avaliações subjetiva e objetiva à estrada de terra de Viçosa-MG

Com base no critério de oportunidade, os procedimentos de avaliação subjetiva e objetiva da estrada de terra selecionada foram aplicados em duas épocas distintas do ano, respectivamente, logo após as estações de seca (em outubro e novembro de 2014) e logo após a estação de chuvas (em maio e junho de 2015), considerando-se que durante o período chuvoso a Pró-Reitoria de Administração da UFV realizou operação de patrolamento na via em estudo, através de sua divisão de obras.

3.4.1. Avaliação subjetiva

Para fins de avaliação funcional, Weaver e Clark (1977) justificam a necessidade de divisão de uma via de terra em segmentos menores, pela não uniformidade de suas características superficiais. Nesse contexto, há que se trabalhar com uma extensão de via que se enquadre entre: (i) uma extensão mínima de trecho, que venha a possibilitar ao avaliador tempo suficiente para adquirir uma percepção adequada da condição da sua superfície de rolamento; (ii) uma extensão máxima que não possibilite ao avaliador se perder na análise e se concentrar apenas no julgamento dos últimos metros do trecho em estudo. Com base nessas considerações, na estrada selecionada foram escolhidas seis seções ou trechos de 150 m, classificadas em uma análise preliminar nas escalas *bom*, *médio* e *ruim*, sendo posteriormente subdivididas em três unidades simples consecutivas de 50 m.

Essas seções e respectivas unidades simples foram submetidas à avaliação funcional subjetiva por um grupo de cinco técnicos que as percorreram com um veículo de passeio Peugeot à velocidade de 40 km/h, atribuindo-se notas que expressaram os seus índices de satisfação em obediência à escala apresentada na Tabela 5. Em uma segunda etapa, em concordância com o aspecto geral da metodologia adotada por Fontenele e Sória (2003), os avaliadores percorreram a pé as unidades simples de cada seção, atribuindo-lhes notas que expressassem as suas percepções subjetivas sobre os seus estados de superfície.

Tabela 5: Escala de classificação dos trechos e respectivas unidades amostrais.

Notas	Classificação
0-10	Péssima
11-25	Muito Ruim
26-40	Ruim
41-55	Regular
56-70	Boa
71-85	Muito Boa
86-100	Excelente

Fonte: (FONTENELE e SÓRIA, 2003).

3.4.2. Avaliação objetiva

Empregou-se o Método de Eaton na avaliação objetiva das unidades simples das seções da via em estudo, adotando-se o *URCI* de cada seção como o valor médio das *URCI* de suas unidades amostrais.

3.5. Análise dos resultados e calibração do Modelo de Eaton

Realizou-se um estudo comparativo dos resultados das avaliações funcionais subjetiva e objetiva realizadas na estrada de terra de Viçosa, cujos resultados foram comparados, também, com aqueles obtidos em avaliação desta natureza realizada previamente em uma estrada de terra da Alemanha, à parte a consideração de possíveis diferenças metodológicas nos estudos realizados como a quantidade de unidades amostrais analisada e a diferença na equipe de avaliações.

A partir dos resultados obtidos e tomando-se por base os dados resultantes da avaliação funcional subjetiva realizada na estrada de terra de Viçosa-MG, analisou-se a aplicabilidade das equações básicas e variáveis que compõem o Método de Eaton para a quantificação dos defeitos inventariados na estrada de terra de Viçosa, visando consolidar o seu emprego ou propor, para validação em pesquisa futura, um modelo adaptado à realidade da via em estudo, verificando-se, neste último caso, a sua aplicação a outras vias de terra do município de Viçosa-MG.

3.6. Abordagem de práticas com o viés ambiental para a manutenção de estradas de terra

A abordagem de práticas com viés ambiental para a manutenção de estradas de terra da área de influência do município de Viçosa desenvolveu-se com base nas recomendações do Departamento de Transportes da Pensilvânia (PDT, 2007).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Detalhamento dos trechos escolhidos e unidades amostrais

Na Figura 29 apresenta-se uma vista aérea da via em análise, que se inicia na rotatória do Hospital Veterinário, localizado no Campus da UFV, e termina nas proximidades da rodovia BR-120.

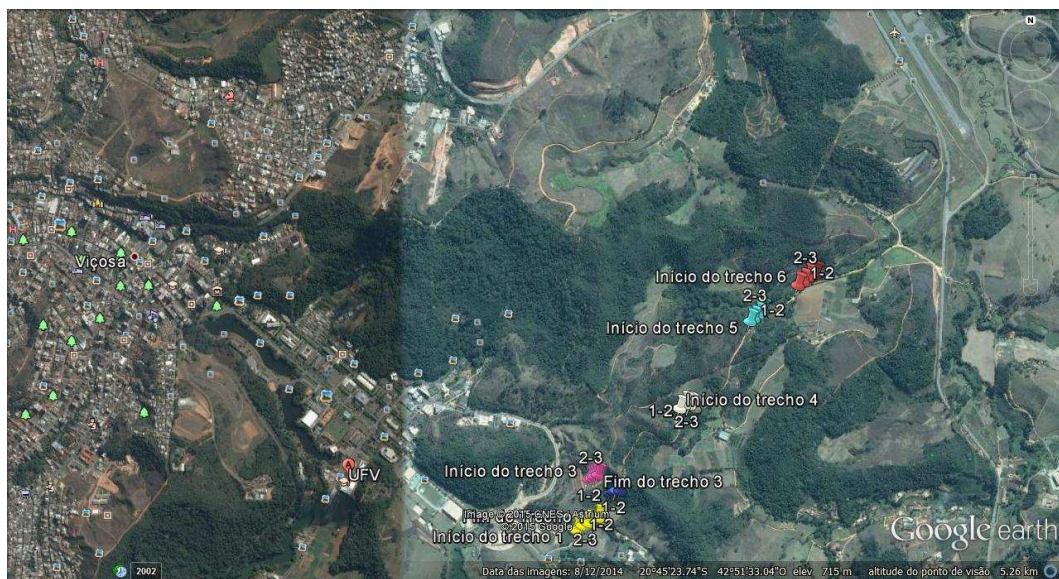


Figura 29: Vista aérea da estrada de terra investigada

Como já se referiu anteriormente, foram selecionadas seis seções de 150 m na via investigada no município de Viçosa, que foram posteriormente subdivididas em três unidades simples consecutivas de 50 m. Nesse item, apresenta-se um detalhamento dos trechos, mostrando-se os defeitos encontrados e as suas características físicas, de relevo e de ocorrência de solo.

- **Trecho 1:**

O trecho 1, como se ilustra nas Figuras 30 e 31, se encontra plano em sua totalidade e em solo uniforme residual jovem, horizonte C, sem estruturas de drenagem, com seção transversal imprópria, algumas corrugações, pouca poeira, um (1) buraco, com presença de trilha de roda, perda de agregados, sulcos erosivos e areiões.



Figura 30: Marcação do trecho 1 na estrada de terra investigada no município de Viçosa-MG.



Figura 31: Foto do trecho 1 em seu ponto inicial (Estaca 0 + 0,00).

- **Trecho 2:**

O trecho 2, conforme as Figuras 32 e 33, se encontra em aclive e parcialmente em curva, com predominância de solo residual jovem, horizonte C, também sem a presença de estruturas de drenagem e com seção transversal inadequada. O trecho presente é misto (corte e aterro) com possibilidade de se implantarem, com facilidade, sistemas de manutenção.

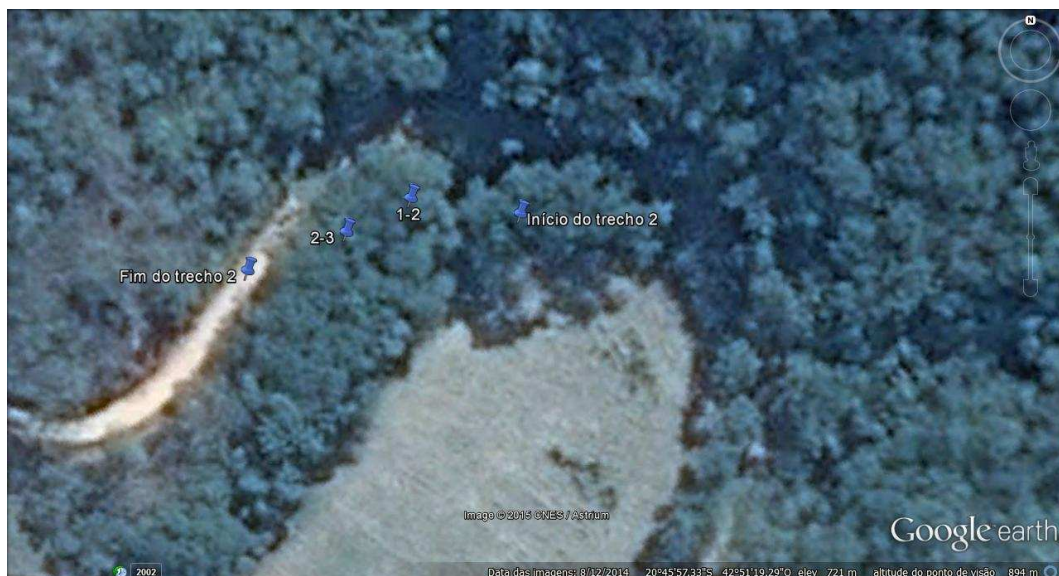


Figura 32: Marcação do trecho 2 na estrada de terra no município de Viçosa-MG.



Figura 33: Foto do Trecho 2, com detalhamento de unidade em solo residual jovem, em aclave e em curva.

- **Trecho 3:**

O trecho 3, conforme as Figuras 34 e 35, é composto majoritariamente por solo residual jovem, horizonte C, e, em menor escala, por solo residual maduro, horizonte B, com ocorrência de erosão elevada e sem estruturas de drenagem. Encontra-se em tangente e, parcialmente, em curva e aclave, onde se observa a presença maciça de areiões e corrugações, sendo caracterizado como trecho misto de corte e aterro.

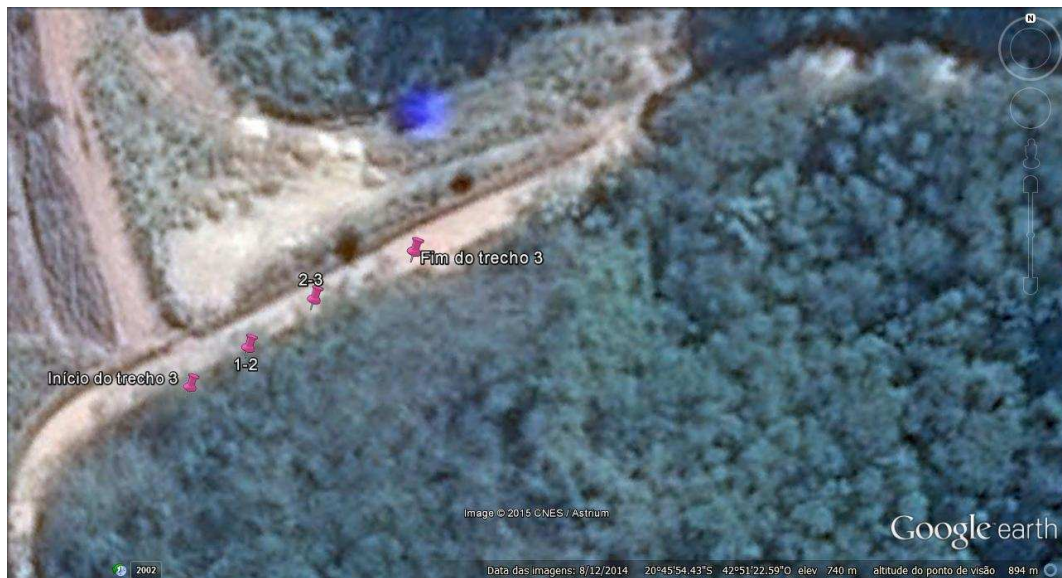


Figura 34: Marcação do trecho 3 na estrada de terra no município de Viçosa-MG.



Figura 35: Trecho 3, apresentando-se unidade em solo residual jovem e em curva.

- **Trecho 4:**

O presente trecho, como se apresenta nas Figuras 36 e 37, encontram-se parcialmente em curva e em tangente, em corte, com subleito em solo residual maduro, horizonte B, bem como sem superelevação visível e sem presença significativa de defeitos, não se notando erosão em suas laterais.

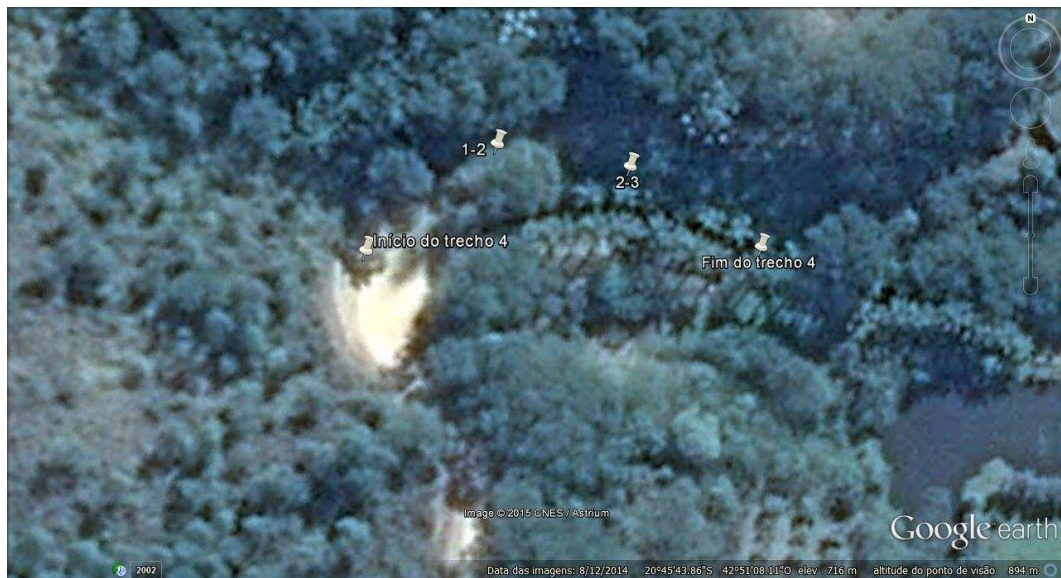


Figura 36: Marcação do trecho 4 na estrada de terra investigada no município de Viçosa-MG.



Figura 37: Trecho 4, com unidade em solo do horizonte b e em tangente.

- **Trecho 5:**

Este trecho, com se visualiza nas Figuras 38 e 39, encontra-se praticamente em tangente e em aclive, com predominância de solo residual maduro, horizonte B, e em menor escala com solo residual jovem, horizonte C, com sulcos erosivos bem acentuados e quantidade significativa de buracos. Há presença de um sistema de drenagem ineficiente e ocorrência de fenômenos erosivos nos pés dos taludes de corte.

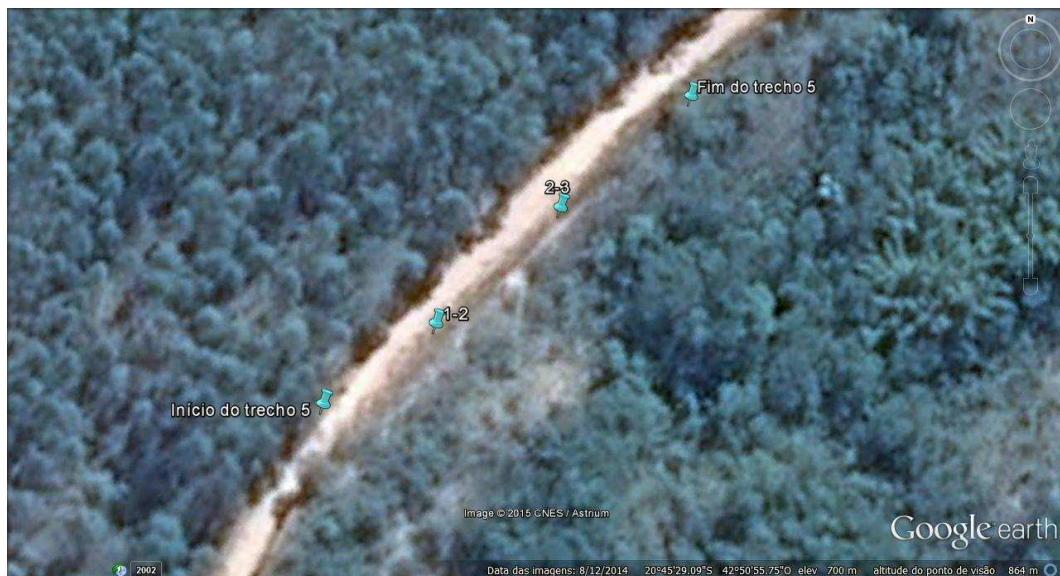


Figura 38: Marcação do trecho 5 na estrada de terra investigada no município.



Figura 39: Trecho 5, em corte e com declive com sulcos erosivos acentuados, ilustrando-se a ocorrência de unidade em solo residual jovem.

- **Trecho 6:**

O trecho 6, ilustrado pelas Figuras 40 e 41 apresenta-se com predominância de solo residual maduro, horizonte B, e em menor escala com solo residual jovem, horizonte C, plano e com sua quase totalidade em tangente. Apesar da falta de valetas de drenagem, a via não apresenta defeitos severos.



Figura 40: Marcação do trecho 6 na estrada de terra investigada no município de Viçosa-MG.



Figura 41: Trecho 6, apresentando-se as unidades em tangente com solo residual maduro.

4.2. Resultados dos ensaios de granulometria, limites de Atterberg, compactação, CBR, e a classificação TRB

As dezoito amostras de solo oriundas das unidades simples dos trechos analisados foram classificadas de acordo com o sistema adotado pelo TRB (DNIT, 2006). A Tabela 6 apresenta as informações referentes à distribuição granulométrica (ABNT, 1995), limites de Atterberg, índice de plasticidade e peso específico dos grãos. As Tabelas 7 e 8 introduzem, respectivamente, os resultados dos ensaios de compactação e CBR das referidas amostras.

Tabela 6: Resultados dos ensaios geotécnicos de granulometria conjunta, limites de Atterberg.(LL, LP e respectivo IP) e atividade da fração argila (Ac)

Propriedades Analisadas	Amostras de Solo: trechos e respectivas unidades, com os resultados dos ensaios de caracterização de suas amostras de solo																	
	1		2		3		4		5		6							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Argila ($\phi \leq 0,002\text{mm}$)	14	13	33	13	12	68	16	47	15	39	66	50	20	35	20	17	44	55
Silte ($0,002 < \phi \leq 0,06\text{mm}$)	7	13	22	6	23	8	29	22	52	13	10	11	20	25	35	13	28	21
Areia fina ($0,06 < \phi \leq 0,2\text{mm}$)	24	13	12	14	16	8	24	14	18	11	10	14	19	18	22	15	13	13
Areia média ($0,2 < \phi \leq 0,6\text{mm}$)	27	24	20	36	31	12	22	14	14	18	10	16	18	17	18	26	13	8
Areia grossa ($0,6 < \phi \leq 2\text{mm}$)	28	37	13	31	18	4	9	3	1	19	4	9	23	5	5	29	2	3
Pedregulho ($\phi > 2\text{mm}$)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LL (%)	21	20	42	40	27	62	36	54	39	40	65	43	38	47	45	26	61	70
LP (%)	16	14	20	26	16	36	19	31	23	24	43	26	22	28	27	13	32	42
IP (LL-LP)	5	6	22	14	11	26	17	23	16	16	22	17	16	19	18	13	29	28
Ac (IP/(%<2 μm))	0,36	0,46	0,67	1,08	0,92	0,38	1,06	1,07	1,07	0,41	0,33	0,34	0,8	0,54	0,9	0,76	0,66	0,5

Tabela 7: Resultados dos ensaios de compactação realizados na energia Proctor normal

Amostras de Solo	Umidade ótima $W_{ót.}(\%)$	Peso Específico Aparente Seco Máximo $\gamma_{dmáx.}(\text{kN/m}^3)$
1	9,78	18,72
2	14,47	19,46
3	18,89	16,88
4	21,33	16,99
5	16,29	17,76
6	28,47	15,19
7	20,01	17,24
8	27,60	14,96
Continuação da Tabela 7		
9	21,17	15,70
10	19,63	16,70

11	31,23	14,36
12	24,89	16,12
13	17,81	18,03
14	23,48	16,23
15	23,98	16,10
16	13,20	19,66
17	36,56	17,70
18	36,29	13,34

Tabela 8: Resultados dos ensaios CBR realizados na energia Proctor normal

Amostras de Solo	CBR (%)	Expansão_{CBR} (%)
1	17,03	0,98
2	3,37	0,02
3	8,32	1,14
4	2,59	0,76
5	1,41	0,03
6	7,46	0,04
7	2,51	0,96
8	3,30	0,25
9	3,61	3,59
10	4,77	0,60
11	2,35	0
12	5,02	0,32
13	2,59	0,15
14	3,69	0,65
15	5,49	1,45
16	3,92	0,35
17	1,02	0
18	5,12	0,80

Na Tabela 6, observa-se que o subleito se caracteriza pela predominância de amostras de textura arenosa (amostras 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 13, 14, 15 e 16), seguindo-se aquelas de textura argilosa (amostras 6, 8, 11, 12, 17 e 18) e siltosa (amostra 9). Os índices de plasticidade estão na faixa de 5 a 29%, com prevalência de solos muito plásticos com valores na faixa de 16 a 29% (quinze amostras), medianamente plásticos com valores de 7 a 15% (três amostras) e pouco plásticos com valores de 1 a 7% (duas amostras), sendo que este índice representa, fisicamente, o quantitativo de água que seria preciso adicionar ao solo, de modo a levá-lo do estado plástico ao estado líquido.

Refere-se que os valores apresentados na Tabela 6 são representativos de solos residuais maduros e jovens da Zona da Mata Norte de Minas Gerais, apresentando boa

concordância com determinações realizadas previamente (AZEVEDO, 1999; TRINDADE, 2006; VELTEN, 2008; SILVA, 2009; MACHADO et al. (2013)). Com relação à atividade da fração argila (Ac), tem-se valores que variam de 0,36 a 1,07, com predominância de oito amostras na faixa de 0,3 a 0,6 (amostras 1, 2, 6, 10, 11, 12, 14 e 18), três amostras na faixa de 0,6 a 0,9 (amostras 3, 13, 15, 16 e 17) e 5 amostras com valores maiores do que 0,9. A título de referência, Mitchell (1993) apresenta valores da atividade de esmectitas na faixa de 1 a 7, de illita de 0,5 a 1 e de caolinita de 0,5.

Na Tabela 7, têm-se os resultados dos ensaios de compactação realizados na energia do ensaio Proctor normal. Observa-se uma variação do teor ótimo de umidade na faixa de 9,78% (amostra 1) a 36,56% (amostra 17) e do peso específico aparente seco máximo na faixa de 13,34% (amostra 18) a 19,46% (amostra 2), valores estes que apresentam concordância com resultados obtidos previamente para solos residuais jovens e maduros da Zona da Mata Norte de Minas Gerais (AZEVEDO, 1999; TRINDADE, 2006; VELTEN, 2008; MACHADO et al., 2013).

Através dos resultados dos ensaios CBR, observou-se que os materiais do subleito apresentam CBR variando de 1,02% (amostra 17) a 17,03 (amostra 1), com ocorrência de onze amostras na faixa de 1 a 4% (amostras 2, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 16 e 17), quatro amostras de 4 a 7% (amostras 10, 12, 15, 18), duas amostras de 7 a 10% (amostras 3 e 6) e uma amostra com 17,03% (amostra 1). Com base nesses resultados, tem-se parcela significativa do subleito com baixa capacidade de suporte, representada pelas amostras com CBR na faixa de 1 a 4%, requerendo-se troca de solo nos segmentos da via representados pelas amostras com CBR menor do que 2% (DNIT, 2006), o que ocorre com as amostras 5 e 17.

No que tange à expansão determinada no ensaio CBR, observa-se que apenas a amostra 9, com valor de 3,59%, supera o valor máximo recomendado pelo DNIT (2006) para materiais de subleito de rodovias, que é de 2%, estando a maioria das outras amostras na faixa de 0 a 1% (quinze amostras). Acredita-se que o valor de expansão obtido para a amostra 9 esteja relacionado à sua granulometria, com predominância de fração silte (52%), e não à presença de argilomineral expansivo na fração argila. Nesse caso, pela geometria mais lamelar de suas partículas, no processo de compactação a fração silte é responsável por uma resposta elástica excessiva do solo.

Tabela 9: Resultados da Classificação TRB

Amostras de Solo	TRB
1	A-2-4
2	A-2-4
3	A-7-6
4	A-3
5	A-2-6
6	A-7-5
7	A-6
8	A-7-5
9	A-5
10	A-6
11	A-7-5
12	A-7-6
13	A-6
14	A-7-6
15	A-6
16	A-2-4
17	A-7-6
18	A-7-6

Quanto à classificação TRB das amostras, Tabela 4.4, observa-se a predominância do grupo A-7, com oito amostras (amostras 3, 6, 8, 11, 12, 14, 17 e 18), seguido pelo grupo A-2, com quatro amostras (amostras 1, 2, 5, e 16), grupo A-6, também com quatro amostras (amostras 7, 10 13 e 15), e grupos A-3 e A-5, ambos com uma amostra.

4.3. Resultados da Metodologia MCT

Na Tabela 10 encontram-se os valores dos índices classificatórios e a classificação das dezoito amostras de solo ensaiadas segundo a Metodologia MCT.

Tabela 10: Índices classificatórios e classificação das amostras de solo segundo a Metodologia MCT.

Amostras	Índices Classificatórios				Classificação
	c'	d'	Pi (%)	e'	MCT
Trecho 1-1	0,73	18,89	90,84	1,253	NA'
Trecho 1-2	0,88	82,28	194,04	1,297	NA'
Trecho 1-3	0,94	9,35	302,30	1,728	NS'
Trecho 2-1	1,03	34,43	182,96	1,341	NA'
Trecho 2-2	0,73	8,82	174,44	1,589	NA'
Trecho 2-3	1,01	71,29	192,45	1,474	NA'
Trecho 3-1	0,93	10,87	230,65	1,607	NS'
Trecho 3-2	0,78	55,91	188,13	1,308	NA'
Trecho 3-3	1,00	5,19	151,67	1,751	NS'
Trecho 4-1	1,42	20,84	124,37	1,301	NS'
Trecho 4-2	1,27	22,76	93,96	1,221	NA'
Trecho 4-3	1,09	13,74	85,53	1,322	NA'
Trecho 5-1	1,26	15,00	127,21	1,368	NS'
Trecho 5-2	1,18	28,54	301,78	1,549	NS'
Trecho 5-3	1,19	11,64	332,56	1,715	NS'
Trecho 6-1	0,78	63,61	107,90	1,117	LA'
Trecho 6-2	1,08	25,15	119,24	1,257	NA'
Trecho 6-3	1,21	3,40	175,48	1,969	NS'

Na classificação das amostras de solo apresentada na Tabela 10, a letra “L” indica que o solo é de comportamento laterítico, ou seja, solos superficiais, típicos das partes bem drenadas de regiões tropicais resultantes de uma transformação da parte superior do subsolo pela atuação do intemperismo, pelo processo de laterização. Já a letra “N” indica solo de comportamento não laterítico, que é aquele resultante da decomposição e/ou desagregação da rocha matriz pela ação dos agentes intempéricos e que mantém a estrutura da rocha que lhe deu origem.

Para fins de comparação, na Tabela 11 apresenta-se a correlação obtida no presente estudo com o emprego da classificação do TRB e da metodologia MCT.

Tabela 11: Correlação entre as classificações TRB e MCT

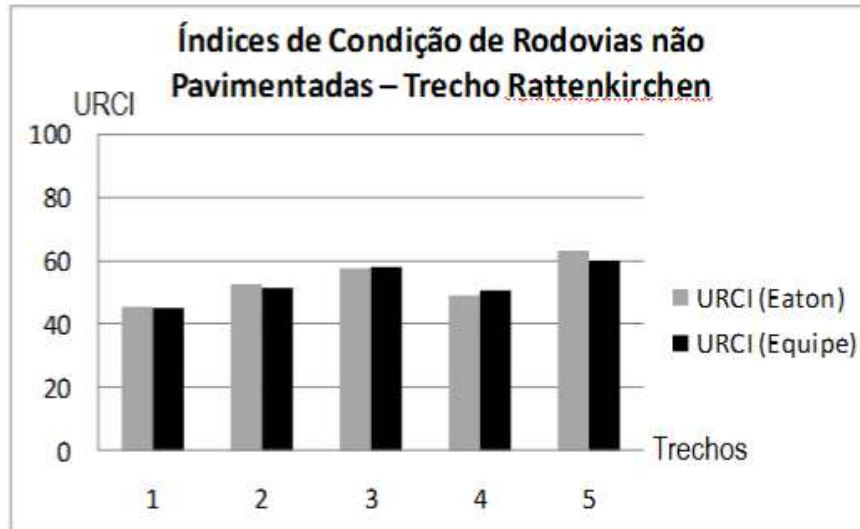
Grupo | NA | NA' | NS' | NG' | LA | LA' | LG'

MCT							
TRB	A-2	A-2 A-4 A-7	A-4 A-5 A-6 A-7	A-6 A-7	A-2	A-2 A-4	A-6 A-7-5

Com base nos resultados de caracterização geotécnica, compactação e CBR das amostras de solo ensaiadas no presente trabalho, pode-se concluir que o subleito da via em análise apresenta-se com parcela significativa em solos de baixa capacidade de suporte, entre 1 e 4%, recomendando-se o emprego de revestimento primário composto por material com CBR maior ou igual a 40% e expansão menor ou igual a 0,5% na extensão da via, compactado na energia do ensaio Proctor intermediário, segundo recomendação de Machado et al. (2013).

4.4. Resultados obtidos na avaliação funcional da via alemã.

Na Figura 42, apresentam-se os resultados das avaliações subjetiva e objetiva realizadas na via de terra alemã. Nota-se que os resultados das avaliações apresentaram semelhanças expressivas, indicando que o emprego do Método de Eaton representou, de forma adequada, as condições de serventia da via, dispensando, assim, possíveis adaptações locais necessárias para o seu emprego. Pode-se associar esse resultado ao fato de que nessa via ocorrem serviços programados de conservação ao longo do ano, o que, via de regra, não corresponde ao caso das estradas de terra brasileiras.



Trechos	1	2	3	4	5
URCI(Eaton)	45,7	52,6	57,7	48,9	63,4
URCI(Equipe)	45,0	51,4	58,2	50,5	60,0

Figura 42: Valores de índices dos índices das condições das superfícies de rolamento ($URCI_{EQUIPE}$ e $URCI_{EATON}$) obtidos em Rattenkirchen, Oberbayern, Alemanha

4.5. Resultados das avaliações objetiva e subjetiva realizadas na via de terra brasileira logo após as estações de seca e de chuva

Na Figura 43, têm-se as avaliações subjetiva e objetiva da via em estudo, que foram realizadas logo após a estação de seca, no período de outubro a novembro de 2014. Nessa figura, nota-se a impossibilidade de se definir um fator corretivo único entre as avaliações. Assim, tomando-se por base de análise a avaliação funcional subjetiva, observa-se que ambas as avaliações diferem de modo significativo, sugerindo-se a necessidade de se adaptar o procedimento utilizado no Método de Eaton à realidade da via brasileira em estudo.

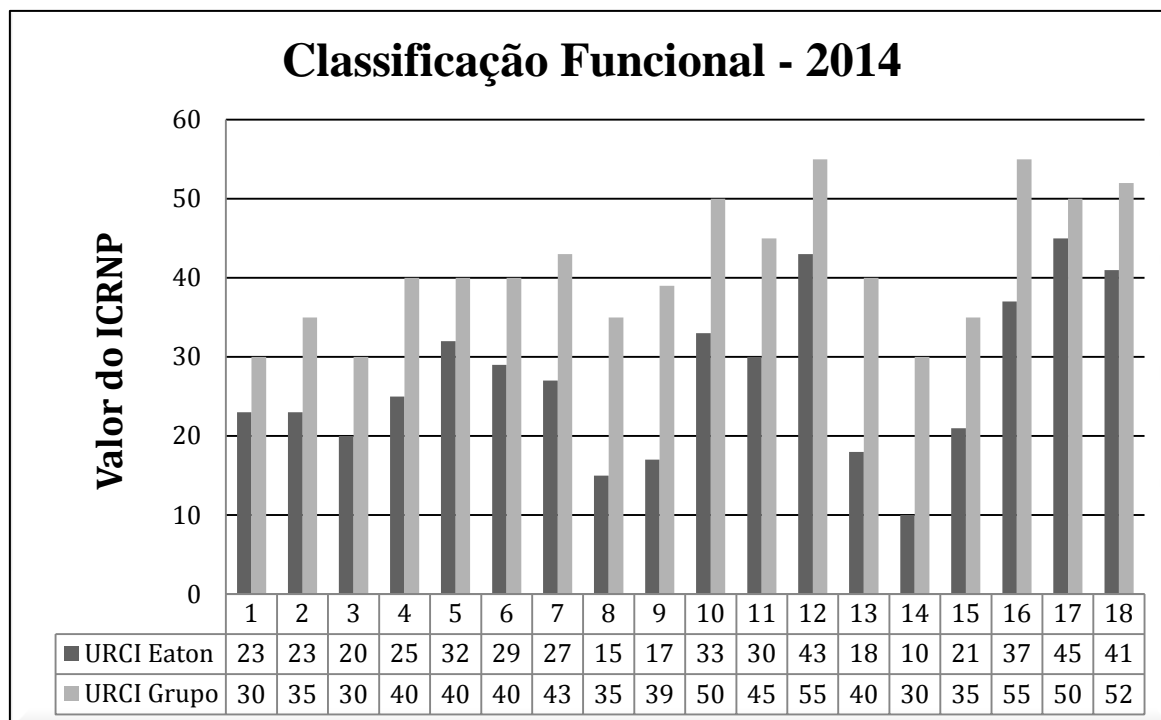


Figura 43: Valores de índices dos índices das condições das superfícies de rolamento ($URCI_{EQUIPE}$ e $URCI_{EATON}$) obtidos em Viçosa na estação seca -2014.

Na Figura 44, apresentam-se os dados do estudo realizado após o período de chuvas, realizado nos meses de maio e junho de 2015. Observa-se que os resultados das avaliações subjetiva e objetiva foram relativamente próximos e superiores àqueles obtidos na avaliação realizada logo após o período de seca. Pode-se associar esse resultado ao fato de que no fim do período de chuva foi realizada uma operação de manutenção na via através de patrolamento, o que aproximou suas condições daquelas do caso europeu, realçando-se a importância da realização de atividades de manutenção preventiva na via.

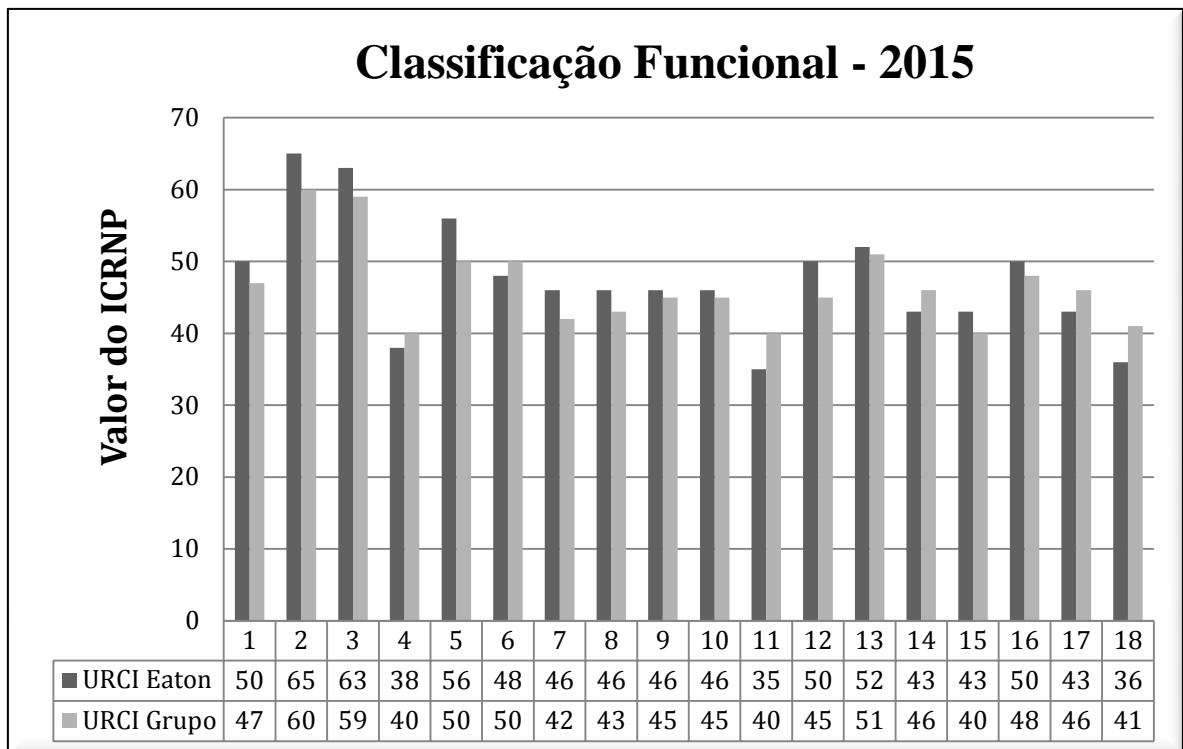


Figura 44: Valores de índices dos índices das condições das superfícies de rolamento ($URCI_{EQUIPE}$ e $URCI_{EATON}$) obtidos em Viçosa durante a estação chuvosa 2015.

A partir dos resultados obtidos e tomando-se por base a avaliação subjetiva realizada com a Metodologia de Fontenele e Sória (2003), conclui-se que o emprego do Método de Eaton não refletiu o nível de precariedade funcional da via em estudo logo após a estação de seca, realidade esta que se aplica à maioria das estradas de terra brasileiras.

Nas Tabelas 12 e 13 apresentam-se, respectivamente, os resultados do teste de Tukey, aplicado aos casos das análises realizadas após os períodos de seca e de chuvas, ao nível de 5% de significância. Nessa análise, observa-se a ocorrência de diferença significativa apenas nas avaliações realizadas logo após o período de seca, corroborando os resultados apresentados nas Figuras 43 e 44.

Tabela 12: Resultado do Teste de Tukey a 5% de significância após o período de seca

TESTE DE TUKEY			
Teste com 5% de significância			
Fator	N	Médias	Grupos
URCI Eaton	18	41,33	A
URCI Grupo	18	27,17	B

Médias que não compartilham a mesma letra diferem entre si a 5% de significância.

Tabela 13: Resultado do Teste de Tukey a 5% de significância após o período de chuvas

TESTE DE TUKEY			
Teste com 5% de significância			
Fator	N	Médias	Grupos
URCI Eaton	18	47,56	A
URCI Grupo	18	46,56	A

Médias que não compartilham a mesma letra diferem entre si a 5% de significância.

Com base nos resultados apresentados, foram consideradas duas possibilidades para se adequar os resultados do Método de Eaton àqueles da avaliação subjetiva, a saber: (i) aumentar a quantidade de defeitos nas medições, pois na realidade observada nas estradas brasileiras encontram-se outros tipos que não ocorrem, em geral, nas vias norte-americanas e europeias; e (ii) adequar os valores dedutíveis do Método de Eaton.

4.6. Nova proposição: Introdução de dois novos defeitos nas avaliações e suas análises

Com uma proposta de modificação, as classificações levaram em conta não somente os sete defeitos existentes no Método de Eaton, mas também os novos defeitos incluídos nesta pesquisa e denominados de sulcos erosivos e areiões. Quanto ao valor “q”, foram introduzidas também as curvas para q igual a 8 e 9, de modo a se obter o ICRNP.

No presente caso, refere-se que o defeito “areíões” reflete o caso de perda maciça de agregados da camada do subleito. Assim, para fins de análise, pode-se utilizar o mesmo gráfico de perda de agregados do Método de Eaton, Figura 45, mas modificando-se os valores de severidade para se ajustarem as medições..

- Severidade baixa: bermas de até 7,5 cm de altura;
- Severidade média: bermas de até 12 cm de altura;
- Severidade alta: bermas acima de 12 cm de altura.

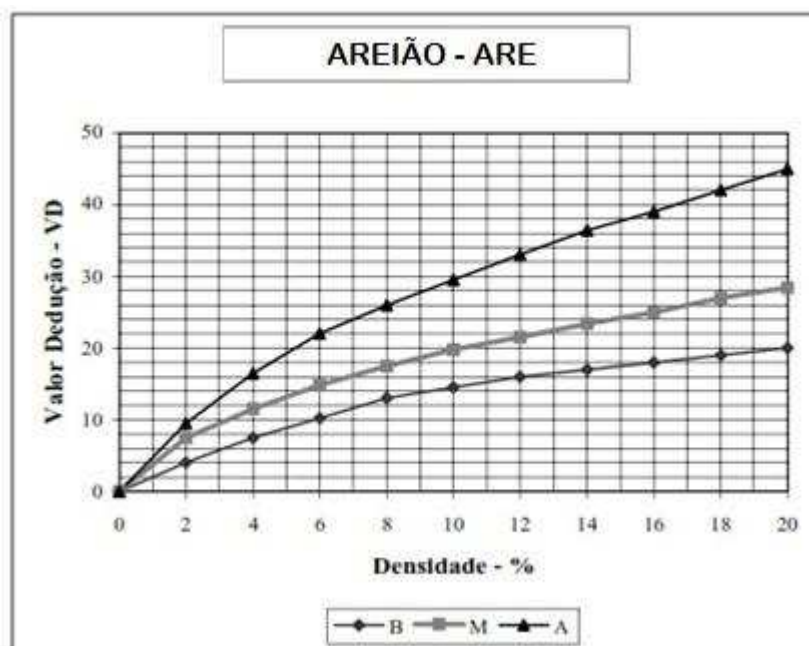


Figura 45: Novo nomograma de curvas de valor-dedução – VD_u: ARE – Areião

Já o defeito “sulcos erosivos” é causado pela ação abrasiva da água na pista de rolamento. A água não tendo lugar certo para escoar, passa por aquele de mais fácil acesso na superfície da via. Para tal defeito, considerou-se, também, a mesma curva da perda de agregado do Método de Eaton, como se representa na Figura 46. Quanto à severidade, esta também foi adaptada para uma condição mais específica, como segue: (i) severidade baixa: erosão laminar; (ii) severidade média: sulcos; e (iii) severidade alta: início de voçorocas.

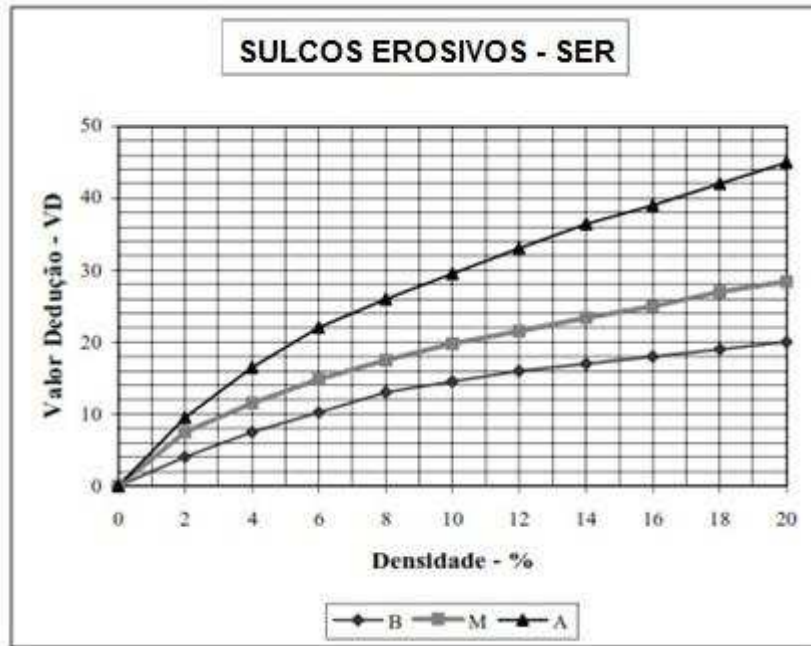


Figura 46: Novo nomograma de curvas de valor-dedução – VD_u: SER – Sulcos Erosivos.

A partir então dos nove defeitos atuais, chegou-se ao nomograma apresentado na Figura 47 para a determinação da URCI, sendo então realizadas novamente as avaliações logo após os períodos de seca e de chuvas, como se ilustram nas Figuras 48 e 49.

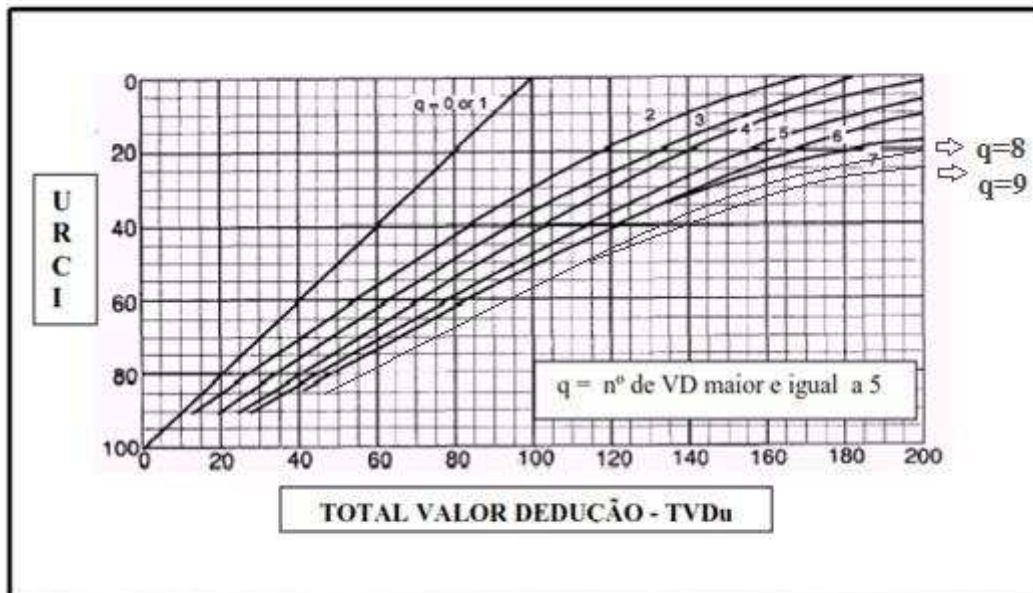


Figura 47: Novo nomograma para determinação do URCI

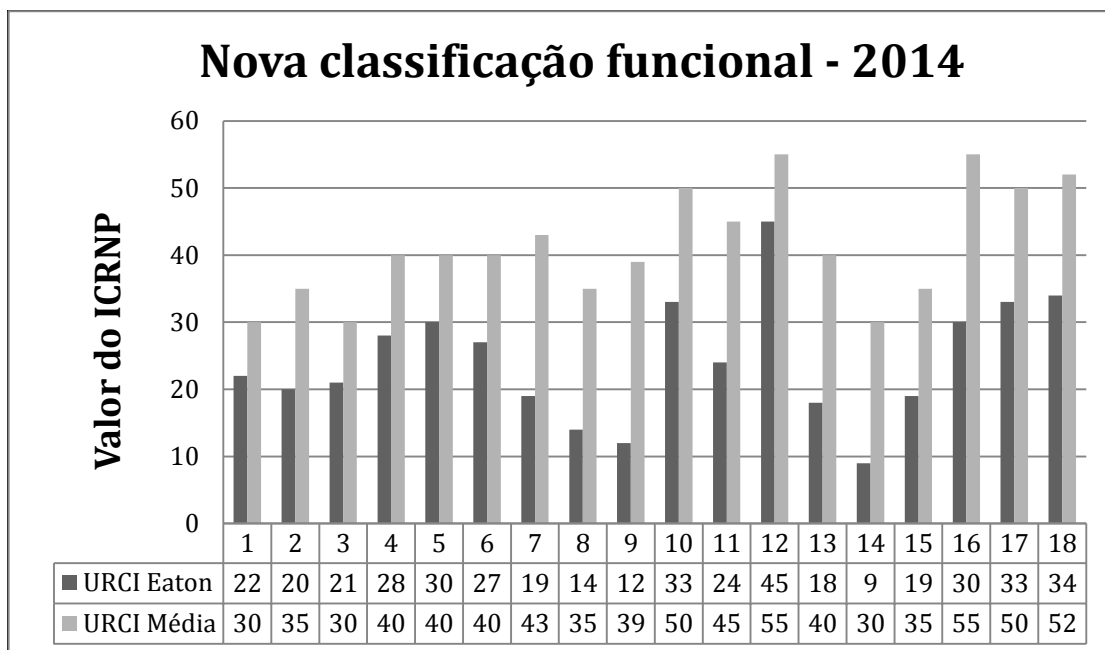


Figura 48: Valores de índices dos índices das condições das superfícies de rolamento ($URCI_{EQUIPE}$ e $URCI_{EATON}$) obtidos em Viçosa na estação seca -2014.

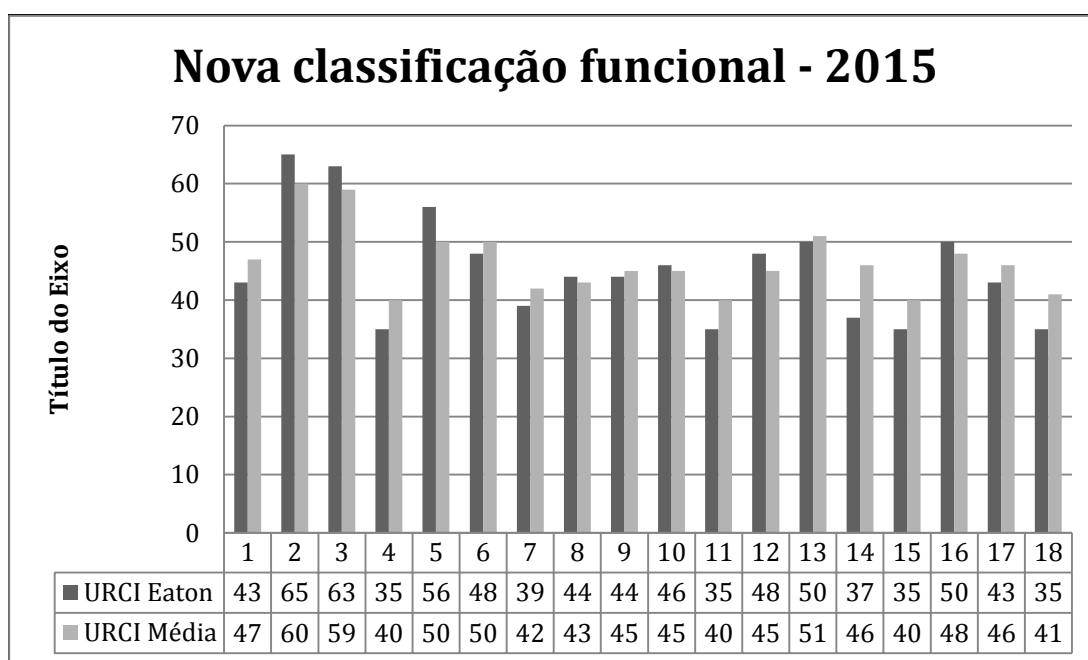


Figura 49: Valores de índices dos índices das condições das superfícies de rolamento ($URCI_{EQUIPE}$ e $URCI_{EATON}$) obtidos durante a estação chuvosa 2015.

Com base nos resultados apresentados nas Figuras 48 e 49, não se observou melhoria nos resultados obtidos entre as duas avaliações em comparação com a análise apresentada no item 4.5. Primeiro classificou-se o Método de Eaton como mais indicado em relação ao método subjetivo, pois ele consegue uniformizar a análise sem variações de subjetividade. A eficácia

em climas temperados e em estradas com revestimento primário adequados já foram comprovados. Assim, após a adição dos dois novos defeitos, tem-se que as diferenças nas avaliações no período de seca continuam discrepantes, sendo que durante o período chuvoso as mesmas respondem com valores parecidos, conforme se comprova nos resultados do teste de Tukey que se apresentam nas Tabelas 14 e 15. Assim, conclui-se que somente a adição dos defeitos não resolveu o problema de superestimação nos resultados das avaliações objetiva e subjetiva.

Tabela 14: Resultado do Teste de Tukey a 5% de significância após o período de seca

TESTE DE TUKEY			
Teste com 5% de significância			
Fator	N	Médias	Grupos
URCI Eaton	18	41,33	A
URCI Grupo	18	24,33	B

Médias que não compartilham a mesma letra diferem entre si a 5% de significância.

Tabela 15: Resultado do Teste de Tukey a 5% de significância após o período de chuvas

TESTE DE TUKEY			
Teste com 5% de significância			
Fator	N	Médias	Grupos
URCI Eaton	18	41,33	A
URCI Grupo	18	24,33	B

Médias que não compartilham a mesma letra diferem entre si a 5% de significância.

4.7. Nova proposição: Adequação dos valores dedutíveis dos defeitos

Os resultados obtidos no presente trabalho demonstraram que o emprego do Método Eaton à via em estudo levou à superestimação dos defeitos em relação à realidade da via, comprovada pela avaliação subjetiva. Assim, nesse caso, adotou-se o emprego de valores corretivos nos valores dedutíveis, com base no fato de que quanto maior a superestimação dos defeitos, maior será a variação entre as avaliações subjetiva e objetiva.

Para se conseguir diminuir essa superestimação de valores, adotaram-se por tentativa (uma diminuição do fator de impacto de cada defeito) valores fixos de margem de erro para cada IRCNP original, como segue: (i) para valores de IRCNP de 0 a 20, aplicou-se um fator corretivo de 0,6; (ii) para valores de IRCNP de 20 a 40, utilizou-se um fator corretivo de 0,8; (iii) para valores de IRCNP 40 a 50, empregou-se um fator corretivo de 0,9; e (iv) para valores de IRCNP acima de 50, adotou-se um fator corretivo de 0.

Os resultados da nova análise encontram-se apresentados nas Figuras 50 e 51.

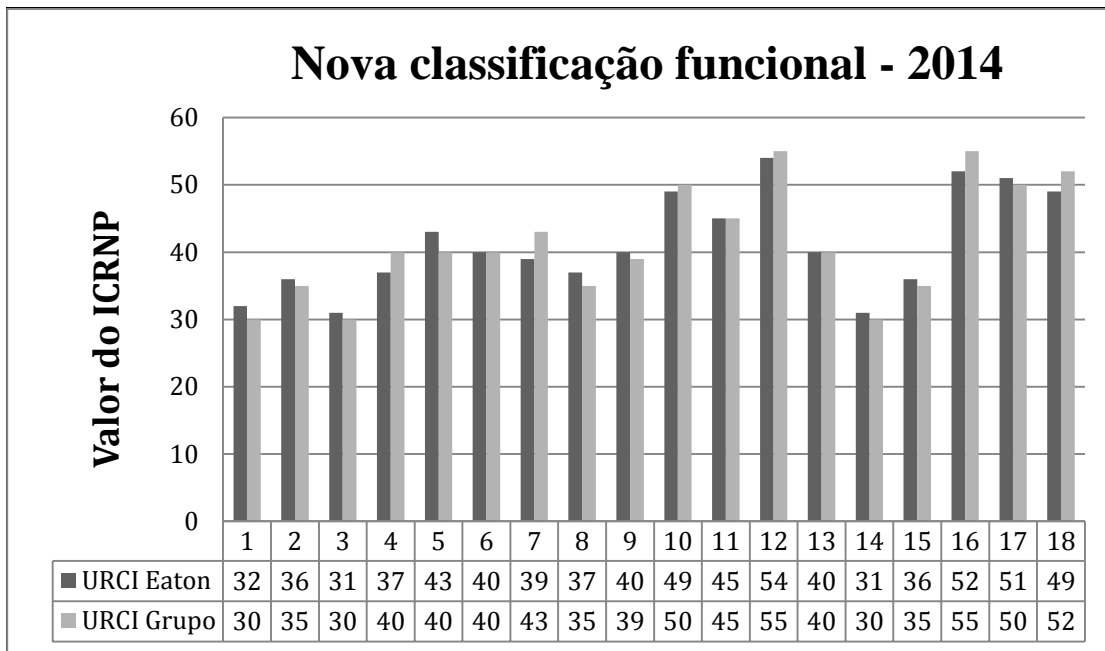


Figura 50: Valores de índices das condições das superfícies de rolamento ($URCI_{EQUIPE}$ e $URCI_{EATON}$) obtidos em Viçosa na estação seca -2014.

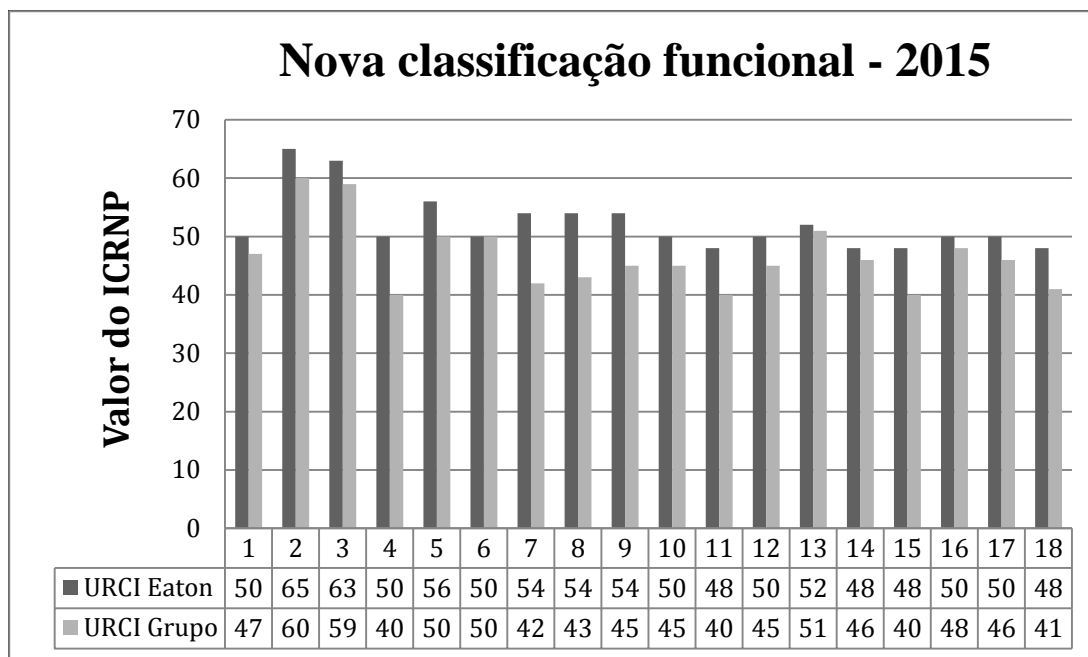


Figura 51: Valores de índices dos índices das condições das superfícies de rolamento ($URCI_{EQUIPE}$ e $URCI_{EATON}$) obtidos em Viçosa durante a estação chuvosa 2015.

Das Figuras 50 e 51, observa-se que com a modificação realizada nos valores dedutíveis, houve uma melhora visual perceptível nos resultados das avaliações funcionais subjetiva e objetiva. Porém, quando se aplicou o teste de Tukey ao nível de significância de 5%, Tabelas 16 e 17, notou-se diferença média nas médias das avaliações realizadas após o período de chuva, porém no presente caso no valor de 5,66 em comparação a 14,16 que se observou na análise realizada no item 4.5. Portanto, acredita-se que se venha obter igualdade das médias para um nível de significância ligeiramente superior a 5%.

Tabela 16: Resultado do Teste de Tukey a 5% de significância após o período de seca

TESTE DE TUKEY			
Teste com 5% de significância			
Fator	N	Médias	Grupos
URCI Eaton	18	41,33	A
URCI Grupo	18	41,22	A

Médias que não compartilham a mesma letra diferem entre si a 5% de significância.

Tabela 17: Resultado do Teste de Tukey a 5% de significância após o período de chuvas

TESTE DE TUKEY			
Teste com 5% de significância			
Fator	N	Médias	Grupos
URCI Eaton	18	52,22	A
URCI Grupo	18	46,56	B

Médias que não compartilham a mesma letra diferem entre si a 5% de significância.

4.8. Levantamento da situação atual e das necessidades dos trechos da via, segundo as recomendações do PDT (2007).

Nessa análise, tomou-se por base as condições atuais dos trechos em análise na via, apresentando-se fotografias ilustrativas das suas condições de superfície e drenagem obtidas em janeiro de 2016, Figuras 52 a 57, com abordagem de aspectos de manutenção preventiva para melhorar a serventia de estrada de terra, segundo as recomendações do PDT (2007).



Figura 52: Condições de rolamento do trecho 1 em janeiro de 2016.



Figura 53: Condições de rolamento do trecho 2 em janeiro de 2016.



Figura 54: Condições de rolamento do trecho 3 em janeiro de 2016.



Figura 55: Condições de rolamento do trecho 4 em janeiro de 2016.



Figura 56: Condições de rolamento do trecho 5 em janeiro de 2016



Figura 57: Condições de rolamento do trecho 6 em janeiro de 2016

Com base nas condições atuais da via, como se observa nas Figuras 52 a 57, a manutenção emergencial realizada no período de chuvas de 2015 não foi adequada, pois envolveu apenas patrolamento, sem sequência posterior. Em algumas unidades dos trechos em estudo, ocorreu a retirada de solo do horizonte B, atingindo-se o horizonte C, mais erodível e de menor capacidade de suporte, como foi o caso dos trechos 4 e 6, Figuras 55 e 57, de topografia plana e inicialmente com predominância de unidades com subleito composto por solos do horizonte B.

Com relação ao trecho 1, com subleito no horizonte C, ligeiramente em alicve e em corte, recomenda-se a implantação de valetas laterais no formato trapezoidal e revestidas com grama ou solo-cimento, de modo a prevenir a ocorrência de fenômenos erosivos, haja vista que, nas condições atuais, a ação das águas de chuvas nas laterais dos trechos ocorre predominantemente em solos residuais jovens, do horizonte C.

Nos trechos 4 e 6, recomenda-se realizar a elevação do greide da pista empregando-se solo do horizonte B, de modo a readequar a sua seção transversal, bem como a instalação de valetas laterais de drenagem trapezoidais e revestidas, para se produzir o escoamento adequado das águas e evitar a ocorrência de fenômenos erosivos, pois o greide dos mesmos está presentemente lançado no horizonte C.

Nos trechos 2, 3 e 5, Figuras 53, 54 e 56, com predominância de subleito no horizonte C, em aclave (trecho 2) e declive (trechos 3 e 5) com rampas significativas e com partes em tangentes e curvas, ocorrem fenômenos erosivos de grande monta, que podem comprometer, no futuro, a funcionalidade e a segurança da via.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1. Conclusões

Considerando o contexto deste trabalho, que teve como objetivos realizar a avaliação geotécnica da via em estudo, comparar as avaliações funcionais subjetiva (FONTENELE; SÓRIA, 2003) e segundo o Método de Eaton, bem como abordar práticas com viés ambiental para a manutenção da estrada de terra em estudo, pode-se concluir que:

- com base nos resultados do estudo geotécnico realizado, há a necessidade de se realizar um revestimento primário na via, empregando-se, preferencialmente, material com CBR igual ou superior a 40% e com expansão CBR menor ou igual a 0,5% compactado na energia do ensaio Proctor intermediário;
- houve uma diferença significativa nas avaliações funcionais subjetiva e objetiva realizadas;
- houve diferença significativa entre os resultados das análises realizadas logo após os períodos de seca e de chuva, realçando o efeito benéfico das operações de manutenção da via, mesmo na escala de patrolamento como foi o presente caso;
- a adição de dois defeitos na avaliação funcional objetiva (areião e sulcos erosivos) não produziu resultado satisfatório, haja vista as diferenças nas avaliações no período de seca continuaram discrepantes. Por outro lado, durante o período chuvoso as avaliações novamente responderam bem e com valores parecidos nos dois tipos de avaliações;
- a modificação dos valores dedutíveis do Método de Eaton aproximou os resultados das avaliações subjetiva e objetiva, porém ainda com ocorrência de diferenças significativas ao nível de 5% entre as médias das avaliações realizadas apresentando diferença média entre as médias de 5,66, valor este inferior ao caso da abordagem original, que resultou em diferença de 14,16. Assim, provavelmente, podem-se reduzir as diferenças entre as médias das avaliações em estudo adotando-se níveis de significância superiores a 5%; e
- à parte a execução de revestimento primário, recomenda-se refazer o greide com patrolamento e executar as estruturas de drenagem necessárias, incluindo-se valetas de

coroamento nos cortes, valetas de pé de taludes, valetas laterais com seção trapezoidal revestida e, nos casos de seções em meia encosta, bueiros de greide com saídas laterais em rápidos equipados na base com bacias de amortecimento. Deve-se, também, analisar a necessidade de se implantarem quebras de declividade nos trechos em análise em função de suas rampas e extensão das mesmas, de modo a reduzir a velocidade das águas que incidirem nas valetas de pé de talude.

5.2. Sugestões para trabalhos futuros

A pesquisa realizada neste trabalho foi restrita, considerando-se a ampla gama de situações geotécnicas existentes no país, nas quais há a necessidade de implantação e conservação de vias não pavimentadas. Desta forma, recomenda-se:

- confirmar a validade da proposta de correção dos valores dedutíveis para outras vias da área de influência da cidade de Viçosa-MG pensando também em considerar o greide como fator de análise, bem como aos níveis das malhas de estrada de terra estadual, federal e de companhias florestais;
- avaliar se no método Eaton existe algum fator de multicolinearidade entre alguns dos sete defeitos; e
- se necessário, propor novo modelo para a avaliação funcional, com base em dados da malha nacional de estradas de terra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, M. A. **Contribuição à caracterização geotécnica de solos de Viçosa**, 1999. 174p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Geotecnia), UFV. Viçosa, Minas Gerais, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895: Solo - Índice de suporte Califórnia: Método de ensaio**. Rio de Janeiro-RJ: [s.n.], 1987. 14 p.

BAESSO, D. P.; GONÇALVES, F. L. R. **Estradas rurais: técnicas adequadas de manutenção**. Florianópolis: DER, 2003. 204 p.

COZZOLINO, Vera M. N.; NOGAMI, Job S.. **Classificação Geotécnica MCT para Solos Tropicais. Solos e Rochas**, São Paulo, n. 16, p.77-91, 1993.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Solos – determinação do índice de suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas**, DNER – ME 049/94. Rio de Janeiro: 1994a. 14p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos-de-prova compactados em equipamento miniatura**, DNER – CLA 259/94. Rio de Janeiro: 1994b. 6p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Coleta de amostras deformadas de solos**. DNER – PRO 003/94. Rio de Janeiro: 1994c. 4p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Compactação em equipamento miniatura, solos, método de ensaio**. DNER – ME 228/94. Rio de Janeiro: 1994d. 14p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Solos compactados com equipamento miniatura – determinação da perda de massa por imersão, solos, método de ensaio**, DNER – ME 256/94. Rio de Janeiro: 1994e. 6p.

DNIT. **Norma DNIT 006/2003 – PRO - Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento**. Departamento Nacional de infraestrutura de Transportes. Rio e Janeiro, 10 p., 2003a.

DNIT. **Norma DNIT 009/2003 – PRO - Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento**. Departamento Nacional de infraestrutura de Transportes. Rio e Janeiro, 6 p., 2003b.

DNIT. **Evolução da malha rodoviária – Rede rodoviária: totais gerais – versão 2012**. Departamento Nacional de infraestrutura de Transportes. Site: <http://www.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/planejamento/evolucao-da-malha-rodoviaria>. Consulta em: 02/08/2014.

EATON, R.A.; GERARD, S.; CATE, D. W. **Rating unsurfaced roads – A field manual for measuring maintenance problems**. Special Report 87-15. U.S. Army Corps of Engineers. Cold Regions Research & Engineering Laboratory, 1987a.

EATON, R. A.; GERARD, S.; DATILLO, R. S. A Method for rating unsurfaced roads. **Transportation Research Record**, n. 1106, v. 2, pp. 34-42, 1987b.

EATON, R. A. **Development of the unsurfaced roads rating methodology**. Hanover: U. S. Army Corps of Engineers. Special Report 88-5.50p, 1988.

EATON, R. A. E BEAUCHAM, R.E. **Unsurfaced road maintenance management**. U. S. Army Corps of Engineers – USACE. Cold Regions Research & Engineering Laboratory – CRRL. Special Report 92-16. USA. 1992.

FERREIRA, F. M. **Uma aplicação comparativa de métodos de avaliação das condições superficiais de estrada não-pavimentada** 2004. 258p Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

FONTENELE, H. B. **Estudo para a Adaptação de um Método de Classificação de Estradas Não Pavimentadas às Condições do Município de São Carlos-SP**. 2001. 227p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo -SP.

FONTENELE, H. B.; SÓRIA, M. A. **Uma análise de avaliações subjetivas de estradas não pavimentadas**. ENTECA 2003 – IV Encontro Tecnológico de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, p. 407-419.

MACHADO, C. C.; LIMA, D. C.; CARVALHO, C. A. B. Pavimentação. In: MACHADO, C. C.. **Construção e conservação de estradas rurais e florestais**. Viçosa: O Editor, 2013, p. 83-258.

NATIONAL ASSOCIATION OF COUNTY ENGINEERS. **Blading Aggregate Surfaces**. Training Guide Series. Washington, D. C., EUA, 1974. Revisado e Reeditado, 1990. 49 p.

NOGAMI, J.S., VILLIBOR, D.F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo: Vilibor, 1995. 231p.

ODA, S. **Caracterização de uma rede municipal de estradas não pavimentadas**. 1995. 186f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

PDT Environmentally sensitive maintenance for dirt and gravel roads. Pennsylvania Department of Transportation (PDT), Report No. USEPA-PA-2005, 360 p., 2007.

PORTAL DA TECNOLOGIA. **Ensaio de Sistemática MCT**. Disponível em: <http://www.portaldetecnologia.com.br/geotecnia/ensaios-sistemica-mct/>. Acesso em: 20 de outubro de 2015.

RIBEIRO, L. C. P. **Comparação dos métodos objetivo e subjetivo de análises de defeitos aplicados em estradas rurais europeias e brasileiras**. 2012. 36 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2012.

SANTOS, A. R.; PASTORE, E. L.; AUGUSTO JÚNIOR, F.; CUNHA, M. A. **Estradas vicinais de terra – Manual técnico para conservação e recuperação**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A. – IPT, 2ª ed.125 p., 1988.

SILVA, T. O. **Estudo de estradas não pavimentadas da malha viária do município de Viçosa-MG**. 2009. 119 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2009.

SILVA, T.O. et al. **Avaliação do subleito de rodovias vicinais de baixo volume de tráfego por meio de ensaios geotécnicos**. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.35, n.4, p.825-833, 2011

STORINO, M.; LINO, A.C.L.; FILHO, A.P. **Estradas Rurais Diretrizes para Construção e Conservação**. Divulgação Técnica – IAC. Centro de Mecanização e Automação Agrícola. Ano II. São Paulo, Janeiro 2000, Boletim nº 13. Disponível em <http://www.iac.sp.gov.br> . Acesso em: 12 agosto de 2015.

TRINDADE, T. P. **Caracterização tecnológica de três solos residuais estabilizados quimicamente com vistas a aplicações em geotecnia rodoviária e ambiental**. 2006. 251 f. Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (Geotecnia), UFV. Viçosa, Minas Gerais, 2006.

TRINDADE, T. P.; CARVALHO, C. A. B.; LIMA, D. C.; BARBOSA, P. S. A; SILVA, C. H. C.; MACHADO, C. C. **Compactação dos solos**. Viçosa: Editora UFV, 2008. ISBN: 978-857269-331-8.

TRRL **Maintenance Management for District Engineers (2º Edition)**. Transport Research Road Laboratory, Overseas Road Note 1. Crowthorne, Berkshire, United Kingdom, 1987. 46 p. Disponível em http://www.transport_links.org/transport-links . Acesso em: 05 out. 2014.

TOZZI, B. J.; MOSELE, E.; LUNELI, J.; MIOTTA, S. A.; FONTENELE, H. B. **Manutenção de estradas não pavimentadas em região do oeste do paraná: breve diagnóstico**. Trabalho técnico. Faculdade Assis Gurgacz, Cascavel, PR, 2007.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: McGraw-Hill, 1977. 509p.

VELTEN, R. Z. **Condutividade eletrosmótica e remediação de solos contaminados com cádmio via eletrosmose**. 2008. 145 f. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (Geotecnia), UFV. Viçosa, Minas Gerais, 2008.

VIVIANI, E. A **Utilização de um sistema de informação geográfica como auxílio à gerência de manutenção de estradas rurais não pavimentadas**. 1998. 292f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

Weaver, R. J.; Clark, R. O. **Psychophysical scaling of pavement serviceability**. Official Insurance nº 7.41-6-SEM9/77, New York State Departamento of Transportation, State Campus, Albany, New York, 1977.

ANEXO A

URCI - GRÁFICOS DE CURVAS DO VALOR DEDUÇÃO E DEFEITOS: DESCRIÇÃO, SEVERIDADE E MEDIÇÃO

O URCI é avaliado de acordo com os defeitos, que constam no inventário e planilha de levantamento de campo e cada defeito tem a sua descrição, nível de severidade e forma de medir. Após a realização da inspeção e levantamento da extensão e nível de severidade dos defeitos, que a subseção apresenta, é realizado o cálculo da densidade de cada defeito (divisão da extensão do defeito pela área da subseção em %) e com o nível de severidade é extraído do nomograma (gráfico) de curva de valor-dedução o respectivo VDu (valor-dedução) do defeito, que será utilizado para cálculo do URCI, pelo nomograma de curvas do URCI. Os nomogramas de curvas de VDu de cada defeito estão apresentados nas Figuras A.1 a A.7.

NOMOGRAMAS CURVAS VALOR DEDUÇÃO - VDu

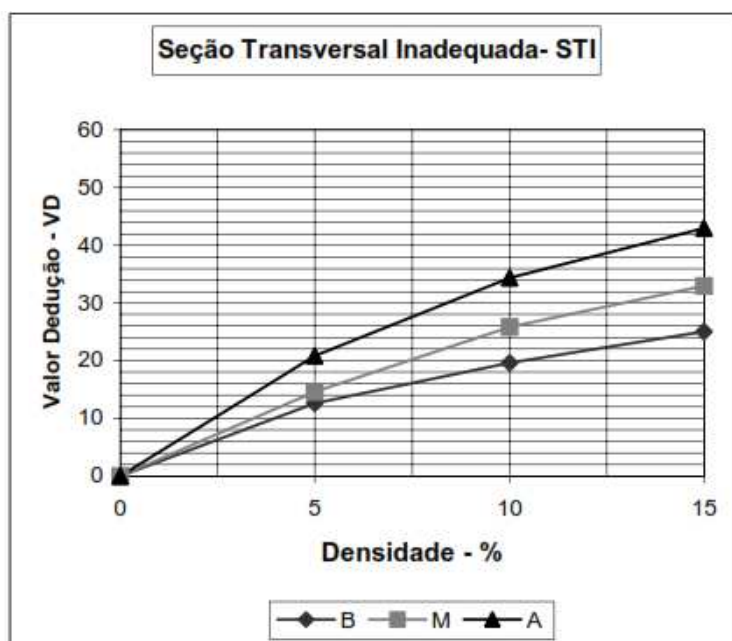


Figura A.1. Nomograma de curvas de valor-dedução – VDu: STI - Seção Transversal Inadequada.

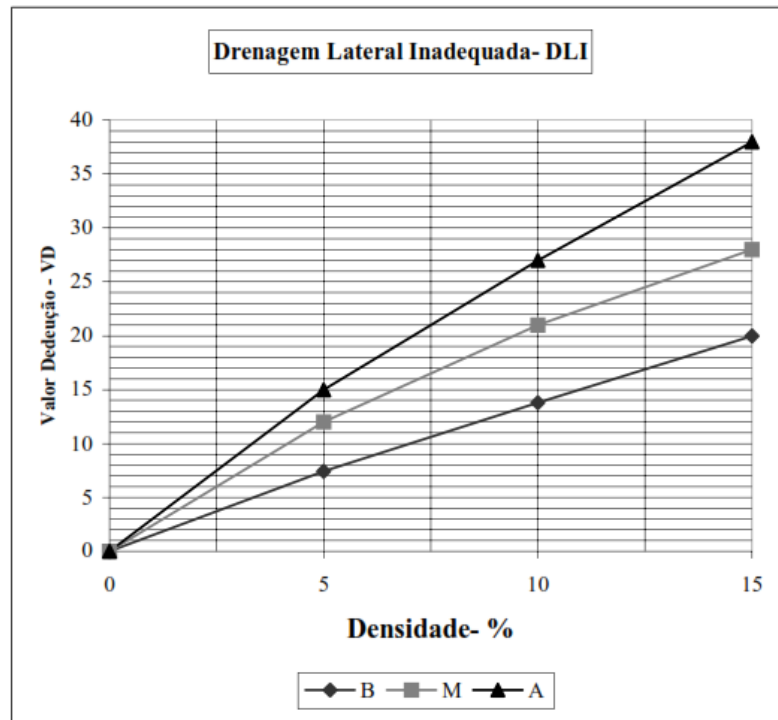


Figura A.2. Nomograma de curvas de valor-dedução – VD: DLI - Drenagem Lateral Inadequada.

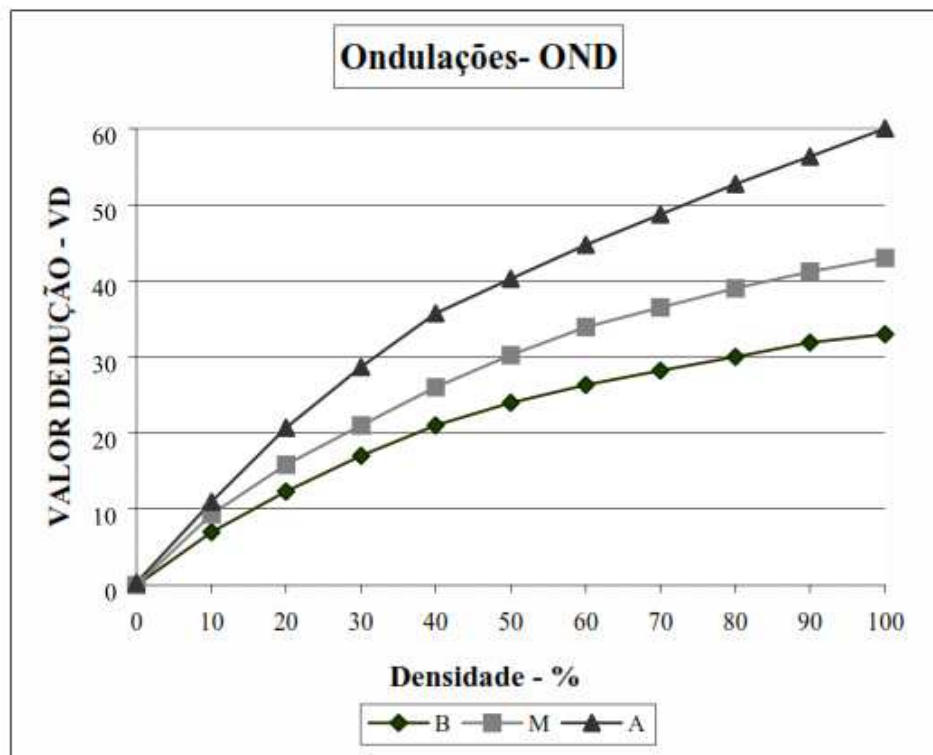


Figura A.3. Nomograma de curvas de valor-dedução – VD: OND – Ondulações

POEIRA- POE

A poeira não é avaliada pela densidade. O valor dedução – VD para os níveis de severidade são:

Baixo-----2 Pontos

Médio----- 4 Pontos

Alto-----15 Pontos

Figura A.4. Quadro de valor-dedução – VD_u: POE – Poeira

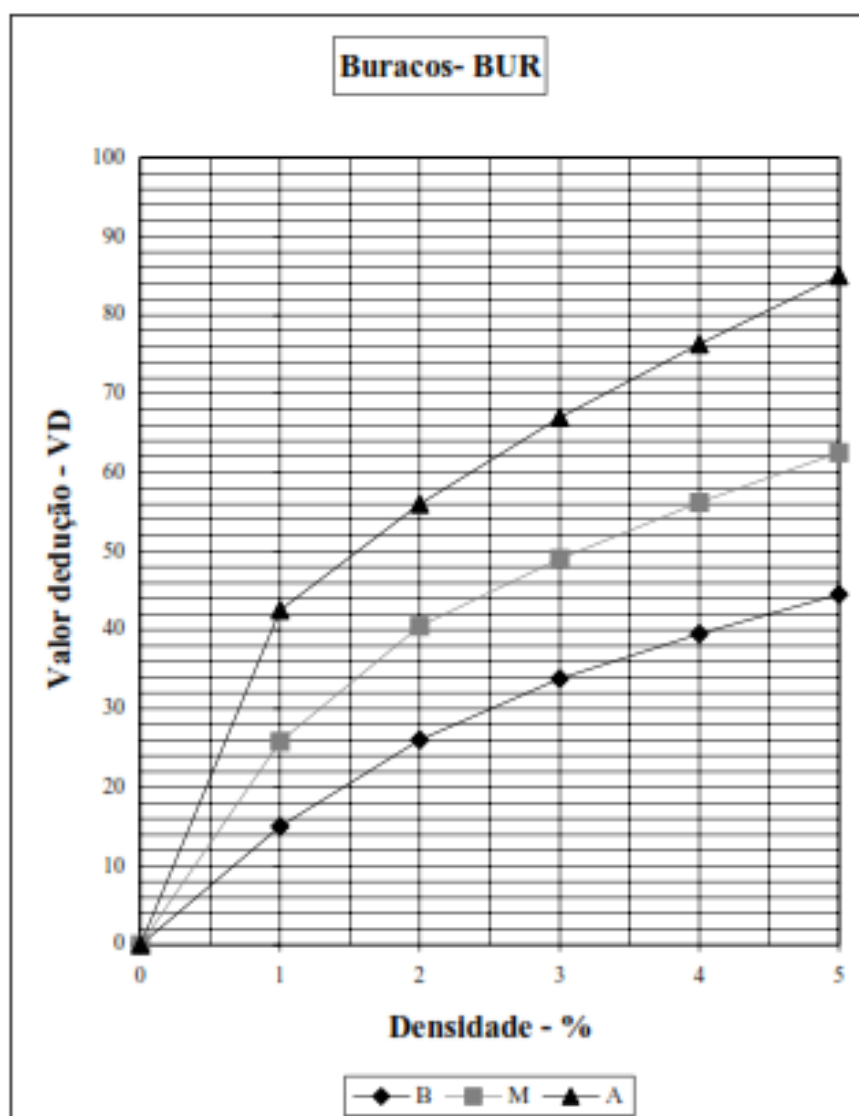


Figura A.5. Nomograma de curvas de valor-dedução – VD_u: BUR - Buracos

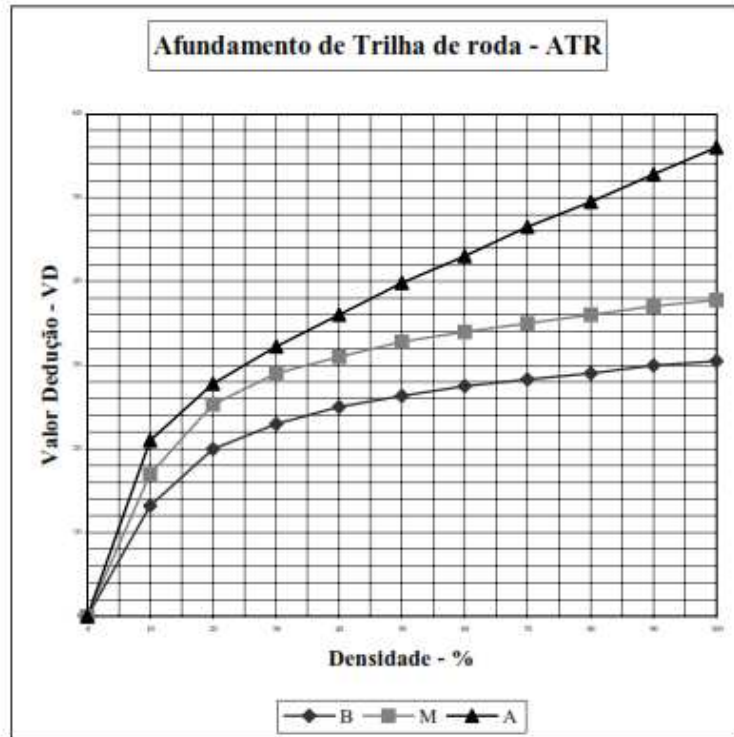


Figura A.6. Nomograma de curvas de valor-dedução – VDu: ATR – Afundamento de Trilha de Roda.

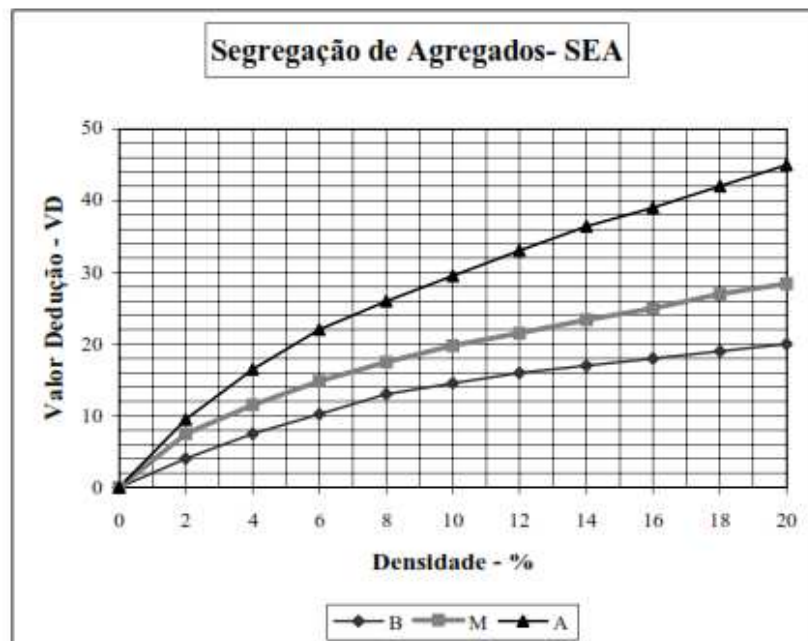


Figura A.7. Nomograma de curvas de valor-dedução – VDu: SEA - Segregação de agregados

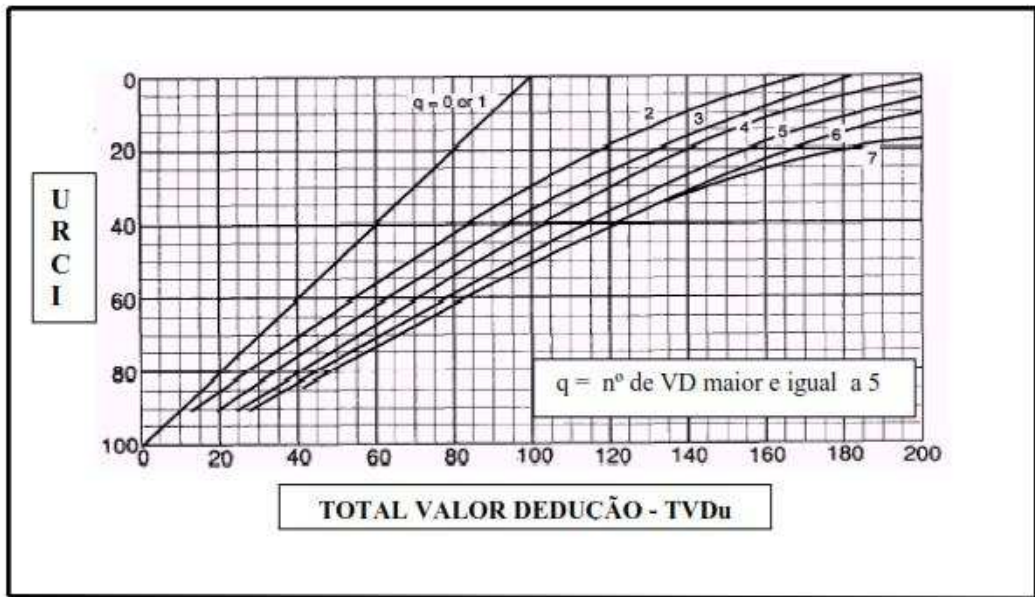


Figura A.8. Nomograma para determinação do URCI.