

TACIANO OLIVEIRA DA SILVA

**ESTUDO DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS DA MALHA  
VIÁRIA DO MUNICÍPIO DE VIÇOSA-MG**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

S586e  
2009  
Silva, Taciano Oliveira da, 1975-  
Estudo de estradas não pavimentadas da malha viária  
do município de Viçosa-MG / Taciano Oliveira da Silva.  
– Viçosa, MG, 2009.  
ix, 119f.: il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Carlos Alexandre Braz de Carvalho.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa  
Inclui bibliografia.

1. Estradas rurais. 2. Estradas de terra. 3. Estradas -  
Manutenção e reparos. 4. Solo - Uso. 5. Mecânica do solo.  
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 625.732

**TACIANO OLIVEIRA DA SILVA**

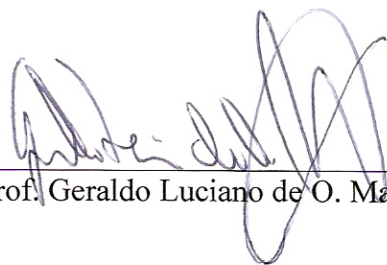
**ESTUDO DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS DA MALHA  
VIÁRIA DO MUNICÍPIO DE VIÇOSA-MG**

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

APROVADA: 06 de março de 2009.



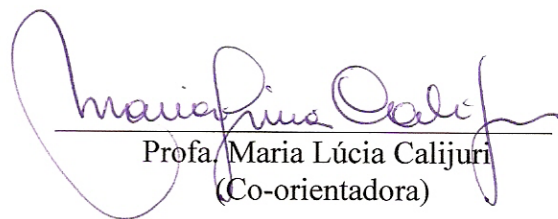
Prof. Carlos Cardoso Machado



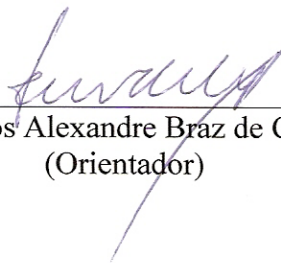
Prof. Geraldo Luciano de O. Marques



Prof. Márcio Marangon



Profa. Maria Lúcia Calijuri  
(Co-orientadora)



Prof. Carlos Alexandre Braz de Carvalho  
(Orientador)

**Dedico esta tese:**

**Aos meus pais, Clarice e José Carlos.**

**Aos meus irmãos, Tácio e Joseane.**

**À minha esposa, Claudete.**

**À minha filha, Clarice.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus – Ser Supremo, que nos concedeu o dom da vida, conhece os nossos pensamentos bem antes de nossas ações e se coloca diante de nós a todo o momento. Com a certeza de uma vida trilhada em vossos ensinamentos estaremos em paz Consigo e com o nosso próximo.

Aos meus pais – é um momento especial que retrata a emoção, o carinho e a gratidão que ao longo dos anos me incentivaram na jornada dos estudos, fazendo-me sentir cada vez mais orgulhoso e reconhecedor de que todo sacrifício não é em vão, mas sim, um passo decisivo para novos caminhos.

Aos meus irmãos Tácio e Joseane – pelo otimismo e apoio sempre transmitidos.

À minha esposa Claudete e a minha filha Clarice – pela compreensão que ajudaram a transformar a realidade dos momentos ausentes em júbilo, na conquista deste título e da minha realização profissional.

Ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (DEC/UFV) – pela disponibilização da infra-estrutura necessária à realização desta pesquisa.

Ao professor Carlos Alexandre Braz de Carvalho – Pela excelente orientação, incentivo contínuo, apoio, ensinamentos e sincera amizade.

Aos professores Dario Cardoso de Lima e Maria Lúcia Calijuri – pela co-orientação, prudência nas valiosas sugestões e críticas durante a realização deste trabalho.

Ao professores Carlos Cardoso Machado, Geraldo Luciano de O. Marques e Márcio Marangon – por participarem da banca examinadora e contribuírem para a melhoria deste trabalho.

Aos colegas do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFV pela agradável convivência.

Aos Eng. Agrimensores Daniel Rodrigues, Joaquim Júnior e Márcio Neri – amigos que incondicionalmente acreditaram, apoiaram e constituíram, continuamente, a equipe de pesquisa de campo.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) – pelo apoio financeiro concedido nos últimos 18 meses para a realização deste trabalho.

Por fim, externo os meus agradecimentos a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a concretização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

TACIANO OLIVEIRA DA SILVA, filho de José Carlos Mascarenhas da Silva e Clarice Oliveira da Silva, nasceu em 14 de abril de 1975, na cidade de Cruz das Almas - BA.

Em agosto de 1995, iniciou o Curso de Engenharia Civil, na Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Feira de Santana – BA, graduando-se em outubro de 2001.

Em abril de 2002, iniciou o curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, área de concentração em Geotecnia, ao nível de mestrado, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG, submetendo-se a defesa de tese em fevereiro de 2004.

Em março de 2005, iniciou o curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, área de concentração em Mecânica dos Pavimentos, ao nível de doutorado, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG, submetendo-se a defesa de tese em março de 2009.

# CONTÉUDO

	Página
<b>RESUMO.....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ix</b>
<b>1.0 Introdução geral.....</b>	<b>1</b>
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Justificativas.....	4
1.3 Objetivos da pesquisa.....	5
1.3.1 Objetivos gerais.....	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
1.4 Hipótese.....	6
1.5 Organização do trabalho.....	6
Referências bibliográficas.....	7
<b>2.0 Sistemas de classificações geotécnicas de solos: estudo de caso aplicado à rodovia não pavimentada VCS 346, Viçosa-MG.....</b>	<b>9</b>
2.1 Introdução.....	10
2.2 Classificação USC.....	12
2.3 Classificação TRB.....	13
2.4 Material e métodos.....	14
2.4.1 Solos.....	14
2.4.2 Métodos.....	15
2.4.2.1 Ensaios de caracterização geotécnica.....	15
2.4.2.2 Classificação MCT.....	15
2.5 Resultados e discussão.....	17
2.5.1 Considerações iniciais.....	17
2.5.2 Resultados das classificações USC e TRB.....	19
2.5.3 Resultados da classificação empregando-se a metodologia MCT.....	20
2.5.4 Comparação entre os resultados das classificações USC e TRB e da metodologia MCT.....	22
2.6 Conclusões.....	25
2.7 Agradecimentos.....	25
Referências.....	26
<b>3.0 Condições de serventia de estradas não pavimentadas: estudo de caso aplicado às vias vicinais de Viçosa-MG.....</b>	<b>28</b>
3.1 Introdução.....	29
3.1.1 Considerações gerais.....	29
3.1.2 Fundamentação teórica.....	30
3.2 Defeitos em estradas não pavimentadas.....	32
3.2.1 Tipos de defeitos.....	33
3.2.1.1 Seção transversal inadequada.....	33
3.2.1.2 Ondulações/Corrugações.....	34
3.2.1.3 Excesso de poeira.....	35
3.2.1.4 Buracos/Panelas.....	36
3.2.1.5 Trilhas de rodas.....	37

	<b>Página</b>
3.2.1.6 Segregação de agregados.....	37
3.2.1.7 Drenagem lateral inadequada.....	38
3.3 Metodologia.....	39
3.3.1 Área de estudo.....	39
3.3.2 Seleção e divisão dos trechos experimentais.....	40
3.3.3 Constituição e treinamento da equipe de avaliação.....	41
3.3.4 Inspeção nos trechos e unidades amostrais.....	41
3.3.4.1 Inspeção subjetiva nos trechos e unidades amostrais.....	42
3.3.4.2 Inspeção objetiva nas unidades amostrais.....	43
3.4 Resultados e discussão.....	43
3.5 Conclusões.....	46
3.6 Agradecimentos.....	46
Referências.....	46
<b>4.0 Influência do tráfego de veículos comerciais em rodovias vicinais.....</b>	<b>49</b>
4.1 Introdução.....	50
4.2 Fatores de equivalência de carga.....	51
4.3 Carga por eixo.....	55
4.4 Pressão de enchimento dos pneus.....	55
4.5 Metodologia.....	57
4.6 Resultados e discussão.....	58
4.6.1 Cálculo do número N para a rodovia vicinal VCS 346.....	58
4.6.2 Deflexão recuperável como resposta estrutural.....	61
4.6.3 Relações entre deflexões recuperáveis.....	61
4.6.4 Tensões verticais na superfície do subleito.....	68
4.7 Conclusões.....	70
4.8 Agradecimentos.....	71
Referências bibliográficas.....	71
<b>5.0 Ensaios geotécnicos físicos e mecânicos para avaliação de subleito de rodovias vicinais de baixo volume de tráfego.....</b>	<b>74</b>
5.1 Introdução.....	75
5.2 Solos de regiões tropicais.....	76
5.3 Materiais e métodos.....	78
5.3.1 Área de estudo.....	78
5.3.2 Solos.....	79
5.3.3 Métodos.....	79
5.3.3.1 Ensaios de caracterização geotécnica.....	79
5.3.3.2 Ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia (CBR).....	80
5.3.3.3 Classificação MCT.....	80
5.4 Resultados e discussão.....	81
5.4.1 Ensaios de caracterização geotécnica, compactação e CBR.....	81
5.4.2 Classificação MCT.....	85
5.5 Conclusões.....	87
5.6 Agradecimentos.....	88
Referências.....	88

<b>6.0</b>	<b>Sistemas de informação geográfica como suporte à gerência de manutenção de rodovias vicinais não pavimentadas.....</b>	<b>91</b>
6.1	Introdução.....	92
6.2	Concepção e implantação de um SGM para rodovias não pavimentadas.....	93
6.3	Sistemas de informação geográfica.....	94
6.3.1	Introdução.....	94
6.3.2	Principais características e funções.....	94
6.4	Uso de SIG em rodovias não pavimentadas.....	95
6.5	Material e Método.....	96
6.5.1	Área de estudo.....	96
6.5.2	Descrição do material.....	97
6.5.2.1	Equipamentos.....	97
6.5.2.2	Programas computacionais.....	97
6.5.3	Aplicação da metodologia em um estudo piloto.....	97
6.5.3.1	Descrição da metodologia.....	98
6.5.3.1.1	Introdução.....	98
6.5.3.1.2	Avaliação das condições de serventia das vias.....	98
6.5.3.1.3	Cálculo do índice de serventia relativa por trecho viário (IST).....	102
6.5.3.1.4	Inserção dos dados no software SIG ArcView.....	105
6.6	Resultados e discussão.....	106
6.6.1	Geração de mapa temático.....	107
6.7	Conclusões.....	113
6.8	Agradecimentos.....	114
	Referências.....	114
<b>7.0</b>	<b>Conclusões gerais.....</b>	<b>117</b>
<b>8.0</b>	<b>Recomendações para trabalhos futuros.....</b>	<b>119</b>

## RESUMO

SILVA, Taciano Oliveira da, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Março de 2009.  
**Estudo de estradas não pavimentadas da malha viária do município de Viçosa-MG.** Orientador: Carlos Alexandre Braz de Carvalho. Co-orientadores: Dario Cardoso de Lima e Maria Lúcia Calijuri.

A parte inicial deste trabalho direcionou-se ao estudo geotécnico de solos de subleitos de vias não pavimentadas, com o objetivo de identificá-los segundo as classificações geotécnicas: USCS (*Unified Soil Classification System*), TRB (*Transportation Research Board System*) e Metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical). A análise dessas classificações contribuiu para a geração de um conjunto de dados geotécnicos de referência sobre solos tropicais e possibilitou encontrar agrupamentos entre sistemas geotécnicos tradicionais de classificação e a metodologia MCT. Ensaio mecânicos foram também realizados nos referidos solos para a avaliação de suas condições de suporte o que permitiu confrontar as suas potencialidades em termos de resistência com as previstas nas classificações geotécnicas anteriormente citadas. Também avaliou-se a eficiência de alguns métodos de classificação funcional de estradas não pavimentadas em vários trechos de vias não pavimentadas da malha viária do município de Viçosa-MG. Ainda, foi apresentado e testado um método de avaliação funcional que representou com mais propriedade as condições de serventia dos trechos viários anteriormente citados, o que contribuiu para a concepção de um modelo de gerência de manutenção. Da mesma forma, foi analisada a influência da carga por eixo e da pressão de enchimento dos pneus, representativas do tráfego comercial sobre uma estrutura típica de pavimento de rodovias vicinais. Sobre esta estrutura, foram investigadas as deflexões superficiais recuperáveis e as tensões verticais no topo do subleito. Por fim, um estudo sobre o uso de sistemas de informação geográfica (SIG) como suporte à gerência de manutenção de rodovias não pavimentadas, foi realizado abrangendo os seguintes tópicos: (i) a possibilidade do emprego desta técnica para avaliação da condição de serventia de vias não pavimentadas e (ii) armazenamento das informações geradas em ambiente SIG, com o propósito de facilitar o manuseio, processamento, visualização e análise dos dados coletados para tomada de decisões de forma planejada.

## ABSTRACT

SILVA, Taciano Oliveira da, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2009.  
**Study of unpaved road of the road network of the municipal district of Viçosa-MG.** Adviser: Carlos Alexandre Braz de Carvalho. Co-advisers: Dario Cardoso de Lima and Maria Lúcia Calijuri.

The initial part of this work directed to the study of soils in geotechnical subgrades of unpaved roads, aiming to identify them as geotechnical classifications: USCS (Unified Soil Classification System), TRB (Transportation Research Board System) and MCT Methodology (Miniature, Compact, Tropical). The analysis of these classifications contributed to the generation of a set of geotechnical data of reference on tropical soils and has found groups of geotechnical traditional systems of classification and methodology MCT. Mechanical testing was also performed in these soils for the evaluation of its support conditions which allowed comparing their potential for resistance with the aforementioned classifications geotechnical. Also evaluate the efficiency of some methods of functional classification of unpaved roads in several road sections of unpaved roads the road network in the municipal district of Viçosa-MG. Still, it was presented and tested a method of functional assessment that was more property conditions of use of the road sections above, which contributed to the design of a model of management of maintenance. Similarly, was analyzed the influence of axle load and tire pressure, representative of commercial traffic on a typical pavement structure of vicinal roads. In this structure, were investigated the recovered surface deflections and the strains upright in the top of the subgrade. Finally, a study on the use of geographical information systems (GIS) to support management of maintenance of unpaved roads, was conducted covering the following topics: (i) the possibility of using this technique for assessing the serviceability unpaved roads and (ii) storage of information generated in GIS environment in order to facilitate the handling, processing, visualization and analysis of data collected for decision making in planned.

# 1

## INTRODUÇÃO GERAL

### 1.1 Generalidades

Estradas não pavimentadas freqüentes no meio rural são justamente aquelas não revestidas por quaisquer tratamentos superficiais, betuminosos ou de cimento portland, e têm, geralmente, sua camada superficial constituída por solo local, às vezes em mistura com agregado granular, decorrente da sua manutenção. De um modo geral, essas estradas são de baixo volume de tráfego e, quase sempre, desprovidas de um adequado sistema de gerência de manutenção. Este fato advém da escassez de recursos financeiros municipais destinados a atender toda a malha viária do município, seja esta pavimentada ou não, visto que as estradas não pavimentadas, em quase toda a sua totalidade encontram-se sob jurisdição municipal.

Via de regra, no estado de Minas Gerais as estradas não pavimentadas são oriundas do aproveitamento de trilhas e caminhos existentes, condicionadas a um traçado geométrico carregado de fortes rampas e curvas acentuadas que refletem uma adequação à topografia acidentada de parte significativa do estado. Estudos acerca da conservação de estradas vicinais apontam o transporte de sedimentos e os problemas de erosão do solo nas margens de estradas e o conseqüente carreamento de materiais para os leitos dos rios como fatores de agravamento das condições ambientais e da qualidade dos recursos hídricos BAESSO e GONÇALVES (2003).

Em sua grande maioria, no estado de Minas Gerais as estradas não pavimentadas interligam os pólos agropecuários do interior do estado a rodovias estaduais e federais pavimentadas, escoando as produções agropecuárias e abastecendo os grandes centros consumidores. De acordo com a ANTT (2005), no estado de Minas Gerais 87,64% das rodovias municipais ainda se encontram em leito natural, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Extensão total da malha viária do estado de Minas Gerais (km)

<b>Ano/Percentagem</b>	<b>2004</b>	<b>%</b>
Extensão total das rodovias (km)	272.027	100,00
Extensão total das rodovias não pavimentadas (km)	249.116	91,58
Extensão total das rodovias municipais (km)	239,578	88,07
Extensão total das rodovias municipais pavimentadas (km)	1.166	0,43
Extensão total das rodovias municipais não pavimentadas (km)	238.412	87,64

Apesar da grande extensão, as estradas não-pavimentadas constituem um tema pouco abordado. Os problemas dessas vias são considerados, pelos órgãos gestores, muito simples de resolver, como se não houvesse necessidade de técnica e nem de técnicos especializados para solucioná-los. A maioria dos usuários de estradas não-pavimentadas considera que a solução mais eficiente para os problemas de manutenção dessas vias sejam a pavimentação. Entretanto, ignora que o custo de pavimentação é alto, e que apenas a manutenção adequada dessas estradas resolve grande parte dos problemas relacionados à sua condição de serventia.

Os defeitos das estradas não pavimentadas brasileiras não apresentam um diagnóstico profundamente conhecido, porque não são muitos os estudos a respeito do assunto, dificultando sobremaneira qualquer tratamento a ser dado para o restabelecimento total da via (FERREIRA, 2004).

Por conseguinte, para a grande maioria das estradas vicinais brasileiras não pavimentadas a raspagem ou patrolagem da plataforma continua sendo o único tipo de tratamento, independente do tipo, nível de severidade e densidade dos defeitos. De forma danosa, esse procedimento causa o afundamento do leito estradal, que em algumas situações tendem alcançar o horizonte saprolítico. A Figura 1 apresenta uma situação em que o patrolamento excessivo, em um trecho viário da estrada vicinal VCS 346 no município de Viçosa-MG, atingiu um bueiro de greide.



Figura 1: Bueiro de greide aparente devido o patrolamento excessivo

De acordo com Griebeler (2002), a exposição de horizontes de baixa estabilidade deve ser evitada, tendo em vista a maior suscetibilidade destas à ação dos fatores erosivos. É comum, na construção e manutenção de estradas não pavimentadas, a necessidade de cortes profundos nos perfis do solo, provocando a exposição de horizontes menos estáveis. Costa et al (1995) salientam que a exposição do horizonte C tem causado muitos danos às estradas porque trata-se de horizonte com agregação fraca e de baixa estabilidade, ficando bastante suscetível à ação erosiva da água quando exposto.

A erosão provocada pela água no leito e nas margens de estradas não pavimentadas é um dos principais fatores para sua degradação. Grace III et al (1998) salientam que mais de 90% do sedimento produzido em áreas florestais provém das estradas, sendo a drenagem inadequada um dos principais fatores responsáveis por essas perdas.

Em estradas não pavimentadas, de pouco tráfego, a erosão hídrica pode ser relevante na própria superfície de rolamento. Contudo, a partir de determinada intensidade de tráfego, a resistência do material de revestimento supera a resistência necessária para evitar a erosão hídrica (NOGAMI e VILLIBOR, 1995). Entretanto, Reid e Dunne (1984) comentam que o tipo e a intensidade de trânsito a que as estradas estão sujeitas é fundamental para a produção de sedimentos. Relatam que, em observações realizadas em estradas florestais, a produção de sedimentos durante períodos de tráfego intenso foi 7,5 vezes superior à evidenciada em estradas que não eram utilizadas. A Figura 2 apresenta uma caixa coletora em um trecho viário da estrada vicinal VCS 346 no município de Viçosa-MG, totalmente obstruída, devido à grande quantidade de materiais finos carregados.



Figura 2: Caixa coletora obstruída em trecho viário da VCS 346, Viçosa-MG.

A redução dos problemas de erosão nas estradas não pavimentadas pode ser obtida pela adoção de medidas que evitem que a água proveniente do escoamento superficial, tanto aquele gerado na própria estrada como o proveniente das áreas às suas margens, acumule-se na estrada e passe a utilizá-la para o seu escoamento. A água escoada pela estrada deve ser coletada nas suas laterais e encaminhada, de modo controlado, para os escoadouros naturais, artificiais, bacias de acumulação ou outro sistema de retenção localizado no terreno marginal (GRIEBELER et al, 2005).

Segundo Baesso e Gonçalves (2003), um adequado sistema de drenagem constitui-se no aspecto mais importante para o bom funcionamento das estradas não pavimentadas; uma estrada vicinal revestida e não contemplada com apropriados dispositivos de drenagem estará com a sua plataforma seriamente comprometida na primeira chuva mais intensa que ocorrer.

## 1.2 Justificativas

As publicações existentes no Brasil sobre estradas não pavimentadas ainda são limitadas. Atualmente, existem alguns manuais que tratam dessas questões, dentre os quais se destacam: Conservação de Estradas Não Pavimentadas, publicado pelo DNER (1981), Estradas Vicinais de Terra – Manual Técnico para Conservação e Recuperação, desenvolvido pelo IPT em duas edições, 1985 e 1988 (SANTOS et al, 1985, 1988), Estradas Rurais – Técnicas Adequadas de Manutenção, publicado por BAESSO & GONÇALVES (2003). No entanto, para avaliação da serventia dessas estradas, alguns deles possuem limitações, pelo fato de serem adaptações de obras desenvolvidas em outros países em que as características de suas estradas diferem muito das encontradas no Brasil, principalmente no que se refere ao clima, tipo de solo e topografia.

As seguintes questões motivaram o desenvolvimento dessa pesquisa: (i) baixo padrão construtivo freqüentemente verificado nas estradas não pavimentadas; (ii) necessidade de classificação geotécnica dos solos, conforme as condições pedológicas brasileiras; (iii) método de classificação funcional de estradas não pavimentadas, mais representativo das condições das vias brasileiras; (iv) influência do tráfego de veículos comerciais em estradas não pavimentadas; (v) ensaios geotécnicos físico-mecânicos para avaliação da potencialidade do subleito de estradas não pavimentadas e (vi) utilização de sistemas de informação geográfica (SIG) como suporte à gerência de manutenção de vias não pavimentadas.

Quanto à gerência de estradas não pavimentadas, percebe-se a necessidade da produção de mapas que apresentem a localização e a respectiva condição de serventia das superfícies estradais, sendo esta uma aplicação ideal para os sistemas de informações geográficas (SIG), que possibilitam combinar informações gráficas (referenciadas espacialmente) e alfanuméricas (atributos).

### **1.3 Objetivos da pesquisa**

#### **1.3.1 Objetivos gerais**

São objetivos gerais deste trabalho:

- a) selecionar trechos viários da malha não pavimentada do município de Viçosa-MG, para fins de classificação geotécnica de solos, levantamento das condições estruturais e de serventia. Para a avaliação das condições de serventia será utilizado o método de EATON et al (1987a, 1987b) e das condições estruturais será utilizado ensaios geotécnicos físicos e mecânicos e a análise da influência de fatores de tráfego nas camadas de reforço e/ou subleito, permitindo uma abordagem da mecânica dos solos e dos pavimentos;
- b) apresentar um método para avaliação das condições das superfícies das estradas não pavimentadas, implementando adaptações ao método de CORREIA (2003) e verificar a sua aplicabilidade às condições locais.
- c) inserir as informações geradas pelo método apresentado para avaliação das condições das superfícies das estradas não pavimentadas em um ambiente SIG, de maneira a facilitar a identificação dos trechos mais desfavoráveis e a visualização dos trechos evidenciados pelas consultas (*Queries*) envolvendo a combinação de fatores (índices).

### 1.3.2 Objetivos específicos

São os objetivos específicos deste trabalho:

- a) realizar inspeções objetivas e subjetivas em trechos e unidades amostrais de vias não pavimentadas da malha viária do município de Viçosa-MG para determinação do URCI (*Unsurfaced Road Condition index*), de acordo com o método para classificação funcional de estradas não pavimentadas, proposto por EATON et al (1987a, 1987b);
- b) prever valores de deflexões recuperáveis e tensões verticais no topo do subleito da estrada não pavimentada VCS 346, em função dos fatores de tráfego carga por eixo e pressão de enchimento;
- c) utilizar o SIG ArcView 3.2 para estabelecer procedimento metodológico para tomada de decisão e armazenar e manipular informações referentes às condições de serventia de superfícies de estradas não pavimentadas, como auxílio à modelo de gerência de manutenção dessas vias.

### 1.4 Hipótese

O estudo geotécnico de solos oriundos dos subleitos para obtenção de algumas de suas propriedades físico-mecânicas, as avaliações objetiva e subjetiva da condição de serventia de superfície de rolamento, a análise da influência dos fatores carga por eixo e pressão de enchimento dos pneus relacionados ao tráfego comercial e a inserção e manipulação das informações supracitadas em um ambiente SIG, são contribuições à formulação de um modelo de gerência de manutenção para estradas não pavimentadas.

### 1.5 Organização do trabalho

Apresenta-se neste item a estrutura geral do trabalho, com uma síntese do que trata cada capítulo. O trabalho está dividido em 6 capítulos, incluindo o Capítulo 1 – Introdução Geral já apresentado.

O Capítulo 2 aborda um estudo comparativo entre as classificações geotécnicas tradicionais de solos *USC (Unified Soil Classification System)*, *TRB (Transportation Research Board System)* e a Metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) para um caso aplicado à rodovia municipal não pavimentada VCS 346.

O Capítulo 3 retrata a adaptação do método de classificação de estradas não pavimentadas proposto por EATON et al (1987a, 1987b) às condições encontradas em estradas vicinais do município de Viçosa-MG, considerando a sua potencialidade como ferramenta de suporte a gerência de manutenção dessas vias.

O Capítulo 4 apresenta a influência da variação da carga por eixo e da pressão de enchimento dos pneus sobre as deflexões superficiais recuperáveis e tensões verticais no topo do subleito, numa dada estrutura de pavimento considerada representativa das estradas vicinais do município de Viçosa-MG.

O Capítulo 5 aborda a viabilidade técnica do uso de solos locais, preferencialmente os de comportamento geotécnico laterítico, em camadas de reforço do subleito de rodovias vicinais de baixo volume de tráfego, através de resultados de ensaios geotécnicos físicos e mecânicos.

O Capítulo 6 aborda a concepção de um modelo de gerência de manutenção – SGM, específico para rodovias não pavimentadas, composto de duas etapas. A primeira refere-se às adaptações ao método de CORREIA (2003), utilizando-se os níveis de severidade de defeitos preconizados por BAESSO e GONÇALVES (2003). A segunda etapa consiste no armazenamento e processamento de todas as informações geradas no método apresentado no SIG ArcView 3.2, com vista a facilitar o manuseio, o processamento, a visualização e a análise dos dados coletados.

## **Referências bibliográficas**

BAESSO, D. P. e GONÇALVES, F. L. R. **Estradas Rurais – Técnicas Adequadas de Manutenção**. Departamento de Infra-Estruturas do Estado de Santa Catarina – DEINFRA/SC. Florianópolis – SC. 204 p. 2003.

CORREIA, J. A. B. **Um Modelo de Análise de Defeitos em Estradas Não Pavimentadas de Suporte à Concepção de um Sistema de Gerência de Pavimentos**. 2003. 101p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.

COSTA, L. M., JUCKSCH, I. e GJORUP, G. B., **Manejo de solos**, in: Curso de Atualização em Fertilidade de Solos. Módulo 15. Brasília, DF.: ABEAS; Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. **Conservação de Estradas Não Pavimentadas**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 85 p. 1981.

- 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, vol. 02, pp. 34-42, 1987b.
- FERREIRA, F. M. **Uma Aplicação Comparativa de Métodos de Avaliação das Condições Superficiais de Estrada Não Pavimentada**. 2004. 153p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP.
- GRACE III, J. M., RUMMER, B., STOKES, B. J. e WILHOIT, J. ***Evaluation of erosion control techniques on forest roads***. **Transactions of the ASAE**, v. 41, n.2, p.383-391, 1998.
- GRIEBELER, N. P. **Modelo para o Dimensionamento de Redes de Drenagem e de Bacias de Acumulação de Água em Estradas Não Pavimentadas**. 2002. 121p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; SILVA, J. M. A. da; RAMOS, M. M.; SILVA, D. D. da. **Modelo para a determinação do espaçamento entre desaguadouros em estradas não pavimentadas**. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 397-405, 2005.
- NOGAMI, J. S. e VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo: Villibor, 240p, 1995.
- SANTOS, A. R.; PASTORE, E. L.; AUGUSTO JR, 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., 1ª Edição, São Paulo. 1985.
- SANTOS, A. R.; PASTORE, E. L.; AUGUSTO JR, 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., 2ª Edição, São Paulo. 1988.
- REID, L. M. e DUNNE, T. Sediment production from forest roads. **Water Resources Research**, v. 20, n.11, 1984. p.1753-1761.

# 2

## **SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÕES GEOTÉCNICAS DE SOLOS: ESTUDO DE CASO APLICADO À RODOVIA NÃO PAVIMENTADA VCS 346, VIÇOSA-MG.**

**Resumo** - Este artigo aborda um estudo comparativo entre as classificações geotécnicas tradicionais de solos *USC (Unified Soil Classification System)*, *TRB (Transportation Research Board System)* e a Metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) para um caso aplicado à rodovia municipal não pavimentada VCS 346, no município de Viçosa-MG, considerando-se várias amostras deformadas de solos coletadas no subleito da referida via. Os principais objetivos deste estudo são contribuir para a formação de um banco de dados geotécnicos sobre classificações de solos tropicais e analisar o desenvolvimento de correlações entre os sistemas geotécnicos tradicionais de classificação e a metodologia MCT. O programa de laboratório envolveu a realização dos seguintes ensaios: (i) granulometria conjunta; (ii) limites de Atterberg (LL e LP); (iii) massa específica dos grãos do solo; (iv) compactação Mini-MCV; e (v) perda de massa do corpo-de-prova por imersão em água. Os resultados deste estudo possibilitaram verificar que após a classificação das amostras, várias correlações entre os sistemas de classificações geotécnicas coincidiram com aquelas propostas na metodologia MCT e, considerando as características pedogenéticas da região de Viçosa-MG, para o grupo NG', houve a contribuição dos grupos SC, SM e CL do Sistema USC e o grupo A-4 do Sistema TRB.

**Palavras-Chave:** Classificações geotécnicas de solo; Metodologia MCT; Solos de subleito.

### ***GEOTECHNICAL SOIL CLASSIFICATION SYSTEMS: CASE STUDY APPLIED TO THE VCS 346 UNPAVED ROAD, VIÇOSA-MG.***

**Abstract** - *This paper addresses a comparative study among the traditional geotechnical soil classifications systems USC (Unified Soil Classification) and TRB (Transportation Research Board), and the MCT methodology (Miniature, Compacted, Tropical) applied to a case study involving the laboratory geotechnical characterization of disturbed samples from the subgrade of the VCS 346 municipal unpaved road,*

*located in Viçosa – MG. The main goals of this study are to contribute to the formation of a database directed to the geotechnical classification of tropical soils and to analyze the development of correlations among the traditional classification systems and the MCT methodology. The laboratory testing program encompassed: (i) grain-size distribution; (ii) Atterberg limits (LL and PL); (iii) unit weight of solid mater; (iv) mini-MCV compaction; and (v) specimen loss of weight via water immersion. The results of this research allowed after verifying that the classification of samples, several correlations between the systems of classifications geotechnical coincided with those proposed in MCT methodology and considering the characteristics of the region pedogenetic Viçosa, Minas Gerais, for the group NG 'there was a contribution groups of SC, SM and CL System USC and the group A-4 System TRB.*

**Keywords:** *Geotechnical soil classification systems, MCT methodology, subgrade soils.*

## **2.1 Introdução**

Os solos resultam do intemperismo por desagregação e alteração das rochas. A intensidade dos processos intempéricos está diretamente associada com os seguintes fatores: material de origem (rocha), relevo, clima, organismos vivos e tempo. Em projetos de estradas, que se caracterizam por apresentarem grandes extensões no sentido longitudinal, os solos encontrados nos subleitos dessas vias, devido às suas peculiaridades físico-químicas e mineralógicas, apresentam em geral comportamentos geotécnicos bastante diferenciados.

Identificar e classificar os solos são trabalhos essenciais em quase todos os estudos geotécnicos para a construção de barragens, cortes e aterros, fundações de grandes estruturas e obras viárias (COZZOLINO e NOGAMI, 1993). Para o engenheiro civil, que atua na construção de estradas, esta ação possibilita selecionar segmentos homogêneos de rodovias, conferindo aos mesmos importantes suportes para tomada de decisão, no que diz respeito ao projeto de pavimentos.

A diversidade e a enorme diferença de comportamento apresentada pelos diversos solos perante as diferentes finalidades de interesse da engenharia levaram a um natural agrupamento dos mesmos em conjuntos distintos, aos quais podem ser atribuídas determinadas propriedades geotécnicas. É desta tendência racional de organização da experiência acumulada, que surgiram os sistemas de classificação dos solos (PINTO, 2000).

Do ponto de vista da engenharia, um sistema de classificação pode ser baseado no potencial de um determinado solo para uso em camadas de um pavimento, fundações, ou como outro material de construção. Devido à natureza extremamente variável do solo, é inevitável que em qualquer classificação ocorram casos onde é difícil se enquadrar o solo em uma única categoria, ou seja, sempre vão existir casos em que um determinado solo poderá ser classificado como pertencente a dois ou mais grupos. Do mesmo modo, o mesmo solo pode ser inserido em grupos que pareçam radicalmente diferentes, em diferentes sistemas de classificação.

Os dois sistemas de classificação de solos mais difundidos no meio geotécnico são o *Unified Soil Classification (USC)* e o *Transportation Research Board (TRB)*. Estes sistemas baseiam-se nos Limites de Atterberg (LL e LP) e na granulometria dos solos e foram criados com finalidades viárias, desenvolvidos na década de 40 do século passado por solicitações dos americanos, devido à necessidade de se construir inúmeras pistas de pouso e decolagem durante a Segunda Guerra Mundial.

Deve-se ressaltar que estes dois sistemas de classificação foram desenvolvidos em países de clima temperado, podendo não apresentar resultados satisfatórios quando utilizados na classificação de solos tropicais, principalmente os de comportamento laterítico, segundo a visão de Nogami e Vilibor, cuja gênese é bastante diferenciada da apresentada nos solos de clima temperado. Nogami e Villibor (1995) citam o desempenho satisfatório de vários trechos experimentais executados com solos arenosos finos lateríticos, antes considerados inapropriados pelos critérios tradicionais. Esses sucessos acarretaram a comprovação das limitações dos procedimentos tradicionais para a escolha de solos para bases estabilizadas granulometricamente. Isso levou à necessidade de se desenvolverem critérios mais apropriados, não relacionados demasiadamente a fatores pedológicos e nem a propriedades índices tradicionais, porém mais ligados a propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos compactados. Tal fato propiciou o desenvolvimento de uma nova metodologia, no início da década de 80, que passou a ser denominada MCT e que inclui também uma nova classificação de solos tropicais.

Contudo, o sistema de classificação MCT apresenta algumas dificuldades, como por exemplo: número de golpes requerido no ensaio de compactação Mini-MCV, grande quantidade de dados e curvas a serem trabalhados e tempo necessário para a classificação dos solos em torno de 48 horas. Isto dificulta não apenas o seu emprego, mas também a disseminação deste sistema de classificação para a finalidade em vista. Desta forma, vários pesquisadores, a exemplo de MARSON (2004), estudaram esta

classificação a fim de torná-la mais abrangente e menos trabalhosa, com procedimentos mais simples visando promover uma classificação mais precisa das diferenças de comportamento entre classes genéticas de solos.

Diante do exposto, busca-se nesta pesquisa realizar um estudo comparativo entre as classificações geotécnicas tradicionais USC e TRB e a metodologia MCT aplicadas a um estudo de caso envolvendo a caracterização geotécnica do subleito de um trecho da rodovia não pavimentada VCS 346, localizada no município de Viçosa – MG. Destaca-se que a cidade de Viçosa apresenta clima classificado como tropical de altitude, com inverno seco e verão com alta intensidade pluviométrica, sendo do tipo mesotérmico úmido Cwa, segundo a classificação de Köppen (GOLFARI, 1975). A precipitação média anual é de 1.221 mm (DNM, 1992).

## 2.2 Classificação USC

A classificação USC é resultante do trabalho conjunto do *Bureau of Reclamation* e do *U. S. Corps of Engineers*, assistido pelo professor Arthur Casagrande, da Universidade de *Harvard*, foi publicado, em 1953, pelo *Waterways Experiment Station* como aperfeiçoamento e ampliação do sistema elaborado por Casagrande para aeroportos em 1943. Este sistema de classificação baseia-se na identificação dos solos de acordo com as suas qualidades de textura e plasticidade, agrupando-lhes de acordo com o seu comportamento quando usado em estradas, aeroportos, aterros e fundações (DNIT, 2006).

O princípio deste sistema de classificação é que os solos grossos podem ser classificados de acordo com a sua curva granulométrica, ao passo que o comportamento de engenharia dos solos finos está intimamente relacionado com a sua plasticidade. Ou seja, os solos cuja fração fina não existe em quantidade suficiente para afetar o seu comportamento são classificados de acordo com a sua curva granulométrica, enquanto que os solos cujo comportamento de engenharia é controlado pelas frações finas (silte e argila), são classificados de acordo com as suas características de plasticidade.

A estrutura desse sistema de classificação é composta pela distribuição dos solos em três divisões, grossos, finos e altamente orgânicos, mantendo-se o número e o símbolo dos grupos, porém associando-se a cada um deles um único nome, exceto para argilas e siltes orgânicos.

As quatro maiores divisões do Sistema Unificado de Classificação dos Solos são as seguintes: (1) - Solos grossos (pedregulho e areia), (2) - Solos finos (silte e argila),

(3) – Solos orgânicos e (4) - Turfa. A classificação é realizada na fração de solo que passa na peneira #200 (75 mm), devendo-se anotar a quantidade de material eventualmente retida nesta peneira. São denominados solos grossos aqueles que possuem mais do que 50% de material retido na peneira #200 e solos finos aqueles que possuem mais do 50% de material passando na peneira #200. Os solos orgânicos e as turfas são geralmente identificados visualmente. Cada grupo é classificado por um símbolo, derivado dos nomes correspondentes na língua inglesa: Pedregulho (G), do inglês "*gravel*"; Argila (C), do inglês "*Clay*"; Areia (S), do inglês "*Sand*"; Solos orgânicos (O), de "*Organic soils*" e Turfa (Pt), do inglês "*peat*". A única exceção para esta regra advém do grupo do silte, cuja letra representante, M, advém da língua sueca "*mjåla*" (VARGAS, 1977).

### **2.3 Classificação TRB**

A classificação TRB teve origem na classificação do *Public Roads Administration*. Fundamenta-se na granulometria, limite de liquidez e índice de plasticidade e foi proposta para analisar materiais para base e sub-base de pavimentos.

Para esta classificação, os solos são reunidos em grupos e subgrupos, em função de sua granulometria, limites de consistência e do índice de grupo. Na Figura 1 é apresentado o quadro de classificação dos solos, segundo a classificação TRB. Determina-se o grupo do solo, por processo de eliminação da esquerda para a direita, no quadro de classificação. O primeiro grupo a partir da esquerda, com o qual os valores do solo ensaiado coincidirem, será a classificação correta (DNIT, 2006). Os "solos granulares" compreendem os grupos A-1; A-2, A-3 e os "solos finos" os grupos A-4, A-5, A-6 e A-7, três dos quais divididos em subgrupos.

Neste sistema de classificação o índice de grupo (IG) atribui um valor ao solo, o qual varia inversamente à capacidade de suporte do subleito, sob boas condições de drenagem e compactação, ou seja, se o solo possuir IG igual a zero será considerado bom material e, quanto mais elevado for o seu valor, pior será este material como camada para composição de estrutura de pavimento (PASTORE e FORTES, 1998).

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

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

Figura 1: Quadro de classificação dos solos (TRB)

## 2.4 Material e métodos

### 2.4.1 Solos

As amostras deformadas de solos utilizadas neste trabalho, em número de doze, foram coletadas no subleito da rodovia municipal não pavimentada VCS 346, localizada na área rural do município de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. De cada ponto de coleta, extraíram-se aproximadamente 40 kg de solo, em profundidades variando na faixa de 60 a 80 cm. A Figura 1 ilustra as amostras de solo coletadas nas estacas 1 + 00 e 30 + 00 da estrada não pavimentada VCS 346.



Figura 1a: Amostra deformada de solo coletada na Est. 1 + 00 da VCS 346



Figura 1b: Amostra deformada de solo coletada na Est. 30 + 00 da VCS 346

## 2.4.2 Métodos

Inicialmente, as amostras de solos foram secas ao ar, destorroadas, passadas na peneira #4 (4,8 mm) e acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas, para serem empregadas em vários ensaios geotécnicos.

### 2.4.2.1 Ensaios de caracterização geotécnica

Os ensaios geotécnicos para a caracterização tradicional das amostras foram os que seguem: granulometria conjunta (ABNT, 1984a), limites de Atterberg (ABNT, 1984b) e (ABNT, 1994) e massa específica dos grãos do solo (ABNT, 1984c).

### 2.4.2.2 Classificação MCT

As amostras de solo referenciadas anteriormente também foram identificadas, segundo a Metodologia MCT. Para isto, realizaram-se os ensaios de Mini-MCV e perda de massa por imersão, conforme os procedimentos prescritos em (DNER, 1994a), com necessárias consultas complementares a (DNER, 1994b), (DNER, 1994c), (DNER, 1994d) e (DNER, 1994e).

#### 2.4.2.2.1 Ensaio de compactação Mini-MCV e moldagem dos corpos-de-prova

As amostras utilizadas neste ensaio foram passadas na peneira #10 (2,0 mm). O ensaio Mini-MCV consiste, basicamente, da compactação de corpos-de-prova em dimensões reduzidas (diâmetro de 50 mm) em energias variáveis, até alcançar a exsudação ou o número de 256 golpes. É executado com energia de compactação variável e massa úmida de solo constante, obedecendo-se às seguintes etapas: (i)

pesagem de, no mínimo, 5 porções de solo, cada uma com 1 kg, e armazenamento destas em sacos plásticos, com posterior adição de água, de modo a se obter teores de umidade crescentes, mantendo-se as porções fechadas em embalagens plásticas até o início do processo de compactação; (ii) pesagem de 200 g de solo para cada teor de umidade, iniciando-se o processo de compactação pelo ponto mais úmido; (iii) aplicação de números sucessivos de golpes, medindo-se as alturas dos corpos-de-prova a cada 4n golpes; (iv) encerramento do processo de compactação quando a diferença de altura ( $A_n - A_{4n}$ ) for menor que 0,1 mm, quando ocorrer exsudação ou quando o número de golpes totalizar 256; (v) repete-se a seqüência de (i) a (iv), para outros teores de umidade.

Para cada amostra analisada foram confeccionados cinco corpos-de-prova compactados dinamicamente, para diversos números de golpes, com uma variação de umidade em torno de 2% para cada corpo-de-prova, sendo que estes foram compactados na ordem do mais úmido para o mais seco. A Figura 2 mostra o ensaio Mini-MCV e moldagem dos corpos-de-prova, para uma das amostras de solo coletada na rodovia vicinal não pavimentada VCS 346.



Figura 2: Ensaio de compactação Mini-MCV e moldagem de corpos-de-prova de uma das amostras de solo coletada na VCS 346

#### **2.4.2.2.2 Ensaio de perda de massa por imersão**

Finalizada a compactação Mini-MCV dos corpos-de-prova, os mesmos são preparados para a obtenção da perda de massa por imersão em água. O procedimento utilizado consistiu em promover a extrusão de cerca de 10 mm do corpo-de-prova do

molde metálico, colocando-se em seguida o conjunto na posição horizontal dentro de um recipiente com água, com uma cápsula para a coleta do material desprendido da porção exposta do corpo-de-prova. Cada amostra foi deixada em imersão por um período de tempo em torno de 20 h, com uma lâmina de água de, aproximadamente, 1 cm acima da superfície externa do molde. A Figura 3 mostra os corpos-de-prova em imersão de uma das amostras de solo coletadas na rodovia vicinal não pavimentada VCS 346.



Figura 3: Ensaio de perda de massa por imersão de uma das amostras de solo coletada na VCS 346

## 2.5 Resultados e discussão

### 2.5.1 Considerações iniciais

As amostras de solo 1, 2, 4, 5, 10, 11 e 12 foram pedologicamente classificadas como Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA), apresentando horizonte B textural pela translocação de argila do horizonte A para o horizonte B. De acordo com Carvalho Filho (1989), mineralogicamente, essas amostras podem apresentar quartzo, caulinita e gibbsita nas frações silte e argila. Na fração areia, é possível constatar a presença de pseudomorfo de mica. Em relação aos óxidos de ferro, a hematita é a forma mais dominante, ocasionando tonalidades mais avermelhadas e, também, há presença de goethita.

Os solos 3, 8 e 9 foram pedologicamente classificados como Cambissolos Latossólicos (CL), apresentando horizonte A com alguns centímetros de espessura e horizonte B incipiente maior do que 50 cm. Os CL são formados a partir do rejuvenescimento dos Latossolos devido à erosão geológica. São solos rasos e expostos

freqüentemente à erosão, com manto de intemperismo do horizonte C bem profundo, que às vezes mostram-se na superfície.

Os solos 6 e 7 foram pedologicamente classificados como Latossolos Vermelho-Amarelo (LVA), sendo considerados bastante intemperizados e lixiviados, com perfis profundos ou muito profundos de seqüência de horizontes A-B-C, com horizonte B latossólico. Mineralogicamente apresentam predominância de caulinita, goethita, hematita e traços de gibbsita. A maior presença de hematita confere a esses materiais uma tonalidade mais avermelhada (TRINDADE, 2006).

Na Tabela 1, encontram-se informações sobre a distribuição granulométrica (ABNT, 1995), os limites de Atterberg e o peso específico dos grãos das doze amostras de solos estudadas.

Tabela 1: Resultados dos ensaios geotécnicos: granulometria, limites de Atterberg, peso específico dos grãos dos solos

	Granulometria ABNT (%)											
	Propriedades Analisadas	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Argila ( $\phi \leq 0,002$ mm)	40	50	18	55	44	15	49	26	66	55	74	67
Silte ( $0,002 < \phi \leq 0,06$ mm)	22	15	23	17	31	28	17	21	4	15	4	2
Areia fina ( $0,06 < \phi \leq 0,2$ mm)	18	18	19	15	9	22	14	21	14	7	4	13
Areia média ( $0,2 < \phi \leq 0,6$ mm)	18	16	36	12	15	34	18	31	15	20	16	17
Areia grossa ( $0,6 < \phi \leq 2$ mm)	2	1	4	1	1	1	2	1	1	3	2	1
Pedregulho ( $\phi > 2$ mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LL (%)	50	51	35	72	61	65	54	46	65	57	59	65
LP (%)	26	33	35	44	24	44	34	27	42	45	41	32
IP (%)	24	18	0	28	37	21	20	19	22	12	18	33
$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	26	28	22	28	28	24	29	29	27	28	23	31

## 2.5.2 Resultados das classificações USC e TRB

A Tabela 2 contém os resultados das classificações USC e TRB para as doze amostras de solos investigadas nesta pesquisa.

Tabela 2: Classificação dos solos segundo os Sistemas USC e TRB

Classificações	Designação das Amostras											
	Solo	Solo	Solo	Solo	Solo	Solo	Solo	Solo	Solo	Solo	Solo	Solo
Geotécnicas Tradicionais	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
USC	CL	MH	SM	MH	CH	SM	MH	SC	MH	MH	MH	CH
TRB	A-7-6	A-7-5	A-4	A-7-5	A-7-6	A-7-5	A-7-5	A-7-6	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5

A Tabela 3, retirado do Manual de Pavimentação do DNIT (2006), contém a correlação entre as classificações de solo TRB e USC. Verifica-se através desta tabela que os resultados encontrados para as doze amostras estudadas estão condizentes com a referida literatura.

Tabela 3: Inter-relações entre a classificação de solo TRB e USC (DNIT, 2006)

Classificação TRB	Classificação Unificada		
	Mais provável	Possível	Possível, mas improvável
A-1-a	GW – GP	SW – SP	GM – SM
A-1-b	SW – SP – GM – SM	GP	----
A-3	SP	----	----
A-2-4	GM – SM	GC – SC	GW – GP – SW – SP
A-2-5	GM – SM	----	GW – GP – SW – SP
A-2-6	GC – SC	GM – SM	GW – GP – SW – SP
A-2-7	GM – GC – SM – SC	----	GW – GP – SW – SP

Tabela 3: Inter-relações entre a classificação de solo TRB e USC (DNIT, 2006).  
Continuação.

Classificação TRB	Classificação Unificada		
	Mais provável	Possível	Possível, mas improvável
A-4	ML – OL	CL – SM – SC	GM – GC
A-5	OH – MH – ML – OL	CL – SM – SC	GM – GC
A-6	CL	ML – OL – SC	GC – SM – SC
A-7-5	OH – MH	ML – OL – CH	GM – SM – GC – SC
A-7-6	CH – CL	ML – OL – SC	OH – MH – GC – GM – SM

### 2.5.3 Resultados da classificação empregando-se a metodologia MCT

Na Tabela 4 encontram-se informações sobre a classificação das amostras segundo a Metodologia MCT.

Tabela 4: Índices classificatórios e classificação das amostras segundo a Metodologia MCT

Amostras	Índices classificatórios				Classificação MCT
	c'	d'	Pi (%)	e'	
Solo 01	2,44	28,8	123,00	1,24	NG'
Solo 02	2,89	64,2	98,00	1,09	LG'
Solo 03	2,00	9,40	284,00	1,71	NG'
Solo 04	3,67	66,2	22,00	0,81	LG'
Solo 05	2,44	21,3	0,00	0,98	LG'
Solo 06	2,56	19,2	104,50	1,28	NG'
Solo 07	2,33	21,7	10,00	1,00	LG'
Solo 08	2,00	35,7	107,00	1,18	NG'
Solo 09	2,78	42,5	0,00	0,78	LG'
Solo 10	1,78	13,6	10,00	1,10	NG'

Tabela 4: Índices classificatórios e classificação das amostras segundo a Metodologia MCT. Continuação.

Amostras	Índices classificatórios				Classificação MCT
	c'	d'	Pi (%)	e'	
Solo 11	2,44	38,0	27,00	0,93	LG'
Solo 12	3,11	51,5	0,00	0,73	LG'

Observa-se na Tabela 4 que alguns valores do coeficiente  $c'$ , que correlaciona-se com a granulometria do solo, tiveram valores numéricos mais alto que o valor limite de 2,5, determinado pelo ábaco de classificação MCT. O procedimento utilizado nessa pesquisa como forma de minimizar essa restrição, após a repetição dos ensaios Mini-MCV das referidas amostras, foi à utilização do valor máximo referente a esse coeficiente no ábaco apresentado na Figura 2. O valor da deformação entre uma leitura e a seguinte, de 0,05 mm/golpes, de acordo com Nogami e Villibor (2000) para finalizar o ensaio Mini-MCV é muito baixo, alcançando-se na maioria das vezes a série de 256 golpes, quando o material não exsuda antes pelo topo e/ou base do cilindro, o que causa curvas de deformabilidade quase sempre com descontinuidade acentuada, embutindo determinado grau de complexidade na determinação do parâmetro  $c'$ .

Na Figura 2, plotam-se as amostras de solo analisadas, segundo as suas classificações MCT (NOGAMI e VILLIBOR, 1995) e numerações pré-estabelecidas.

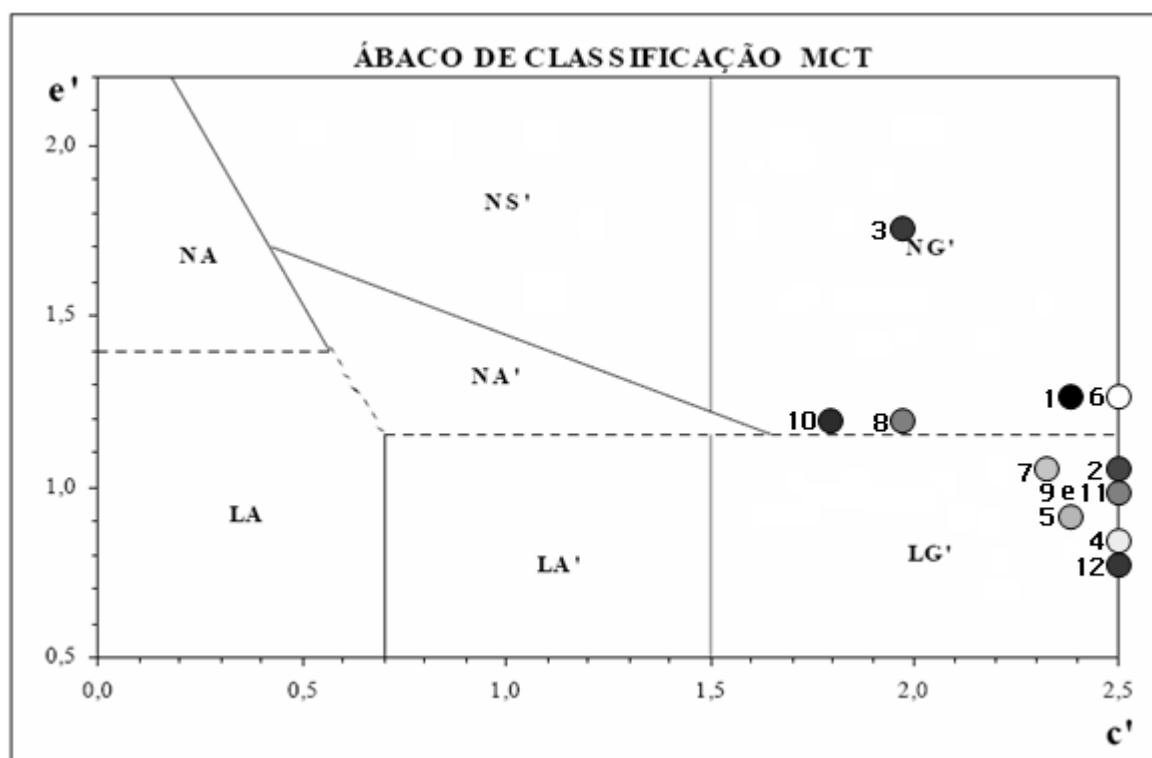


Figura 2 – Ábaco para classificação segundo a Metodologia MCT, com a localização das doze amostras de solo analisadas

#### 2.5.4 Comparação entre os resultados das classificações USC e TRB e da metodologia MCT

A Tabela 5 apresenta o resultado da classificação pedológica, USC, TRB e MCT e a topografia dos pontos de coletas das amostras de solo analisadas.

Tabela 5: Classificação pedológica, USC, TRB e MCT e a topografia dos pontos de coleta das amostras de solo analisadas

Designação das amostras	Topografia da estrada	Classificações geotécnicas tradicionais		Classificação MCT	Classificação Pedológica
		USC	TRB		
		Solo 01	Plana		
Solo 02	Plana	MH	A-7-5	LG'	Argissolo Vermelho-Amarelo

Tabela 5: Classificação pedológica, USC, TRB e MCT e a topografia dos pontos de coleta das amostras de solo analisadas. Continuação.

Designação das amostras	Topografia da estrada	Classificações geotécnicas tradicionais		Classificação MCT	Classificação Pedológica
		USC	TRB		
		Solo 03	Plana		
Solo 04	Plana	MH	A-7-5	LG'	Vermelho-Amarelo Argissolo
Solo 05	Plana	CH	A-7-6	LG'	Vermelho-Amarelo Latossolo
Solo 06	Plana	SM	A-7-5	NG'	Vermelho-Amarelo Latossolo
Solo 07	Plana	MH	A-7-5	LG'	Vermelho-Amarelo
Solo 08	Plana	SC	A-7-6	NG'	Câmbissolo latossólico
Solo 09	Declive suave	MH	A-7-5	LG'	Câmbissolo latossólico Argissolo
Solo 10	Plana	MH	A-7-5	NG'	Vermelho-Amarelo Argissolo
Solo 11	Aclive suave	MH	A-7-5	LG'	Vermelho-Amarelo Argissolo
Solo 12	Aclive suave	CH	A-7-5	LG'	Vermelho-Amarelo

Considerando-se os resultados apresentados na Tabela 5, segundo a Metodologia MCT pode-se afirmar que os materiais estudados variaram de argilas lateríticas a não lateríticas, de acordo com o TRB, entre os grupos A-7-5 e A-7-6, com apenas uma amostra pertencente ao grupo A-4, pelo Sistema USC o grupo predominante foi o MH, bem como pela classificação pedológica se verificou a presença marcante de argissolo vermelho-amarelo.

Com as constatações apresentadas na Tabela 5, procedeu-se à elaboração das Tabelas 6 e 7, onde se agrupou os resultados das duas classificações geotécnicas tradicionais com aqueles da Metodologia MCT e as recomendações de NOGAMI e VILIBOR (1995).

Tabela 6: Resultados das correlações encontradas para os Sistemas USC e TRB e a Metodologia MCT para os diferentes solos analisados

Classificações geotécnicas tradicionais	Classe e grupos da classificação MCT	
	Não laterítico	Laterítico
	NG'	LG'
USC	CL	
	SM	MH
	SC	CH
	MH	
TRB	A-4	A-7-5
	A-7-5	A-7-6
	A-7-6	

Tabela 7: Correlação entre a Metodologia MCT e os Sistemas USC e TRB, segundo NOGAMI e VILLIBOR (1995)

Classificações geotécnicas tradicionais	Classes e grupos da classificação MCT						
	Não laterítico				Laterítico		
	NA	NA'	NS'	NG'	LA	LA'	LG'
USC		MS					MH
	SP	SC	SM, CL	MH	SP		ML
	SM	ML	ML, MH	CH	SC	SC	CH
TRB		A-2	A-4	A-6			
	A-2	A-4	A-5	A-7-5	A-2	A-2	A-6
		A-7	A-7-5	A-7-6		A-4	A-7-5

Comparando-se os resultados da Tabela 6 com as proposições apresentadas na Tabela 7, para o grupo LG', verificou-se que as correlações obtidas são semelhantes as apresentadas por NOGAMI e VILLIBOR (1995). Entretanto, considerando o processo geológico e/ou pedológico típico da região de Viçosa-MG, para o grupo NG', houve a contribuição dos grupos SC, SM e CL do Sistema USC e o grupo A-4 do Sistema TRB. As propriedades dos grupos de solos apresentados podem ser assim sumarizadas (DNIT, 2006): (i) SC - areias argilosas e misturas de areia e argila; (ii) SM - areias siltosas, misturas de areia e silte; (iii) CL - argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade, argilas pedregulhosas, arenosas e siltosas; (iv) A-4 - silte não plástico ou moderadamente plástico, incluindo, também, misturas de solo fino siltooso com até 64% de areia e pedregulho retidos na #200; (v) NG': argilas, argilas arenosas e argilas siltosas; e (vii) LG' - argilas e argilas arenosas.

## **2.6 Conclusões**

Os resultados encontrados nesta pesquisa são uma contribuição aos agrupamentos propostos por NOGAMI e VILLIBOR (1995), visto que para o grupo NG' da classificação MCT, foram acrescentados os grupos SC, SM e CL do Sistema USC e o grupo A-4 do Sistema TRB. Entretanto, os procedimentos metodológicos para identificação dos solos pelos sistemas TRB, USC e MCT são muito distintos. Analisando-se as propriedades granulométricas desses grupos de solo, conclui-se que é possível correlacioná-los.

Entretanto, destaca-se que prever o comportamento mecânico de solos tropicais através dos Sistemas USC e TRB é uma prática que tem suscitado críticas nos meios geotécnicos e rodoviários brasileiro, haja vista que os mesmos baseiam-se apenas nas propriedades físicas (granulometria e limites de Atterberg), enquanto que na classificação MCT são investigadas as propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos.

## **2.7 Agradecimentos**

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela concessão da bolsa de pesquisa ao primeiro autor e a Universidade Federal de Viçosa - UFV, através do Departamento de Engenharia Civil pelo suporte na coleta das amostras deformadas de solos e nos ensaios geotécnicos de laboratório.

## Referências bibliográficas

- ABNT. **Análise Granulométrica, Solos, Método de Ensaio**, NBR 7181/84. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 15p. 1984a.
- ABNT. **Solo, Determinação do Limite de Liquidez**, NBR 6459/84. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 6p. 1984b.
- ABNT. **Solo, Determinação da Massa Específica Aparente**, NBR 6508/84. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 8p. 1984c.
- ABNT. **Solo, Determinação do Limite de Plasticidade**, NBR 7180/94. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 6p. 1994.
- ABNT. **Rochas e Solos: Terminologia**, NBR 6502/95. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 18p. 1995.
- CARVALHO FILHO, A. **Caracterização mineralógica, química e física de solos de duas unidades de paisagem do Planalto de Viçosa-MG**. Viçosa, 114p, 1989.
- COZZOLINO, V. M. N.; NOGAMI, J. S. **Classificação Geotécnica MCT para Solos Tropicais**. Solos e Rochas, 16, (2): 77-91, agosto, São Paulo, 1993.
- DNER. **Classificação de Solos Tropicais para Finalidades Rodoviárias Utilizando Corpos-de-prova Compactados em Equipamento Miniatura**, DNER – CLA 259/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 6p. 1994a.
- DNER. **Coleta de Amostras Deformadas de Solos**, DNER – PRO 003/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 4p. 1994b.
- DNER. **Compactação em Equipamento Miniatura, Solos, Método de Ensaio**, DNER – ME 228/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 14p. 1994c.
- DNER. **Solos Compactados com Equipamento Miniatura – Determinação da Perda de Massa por Imersão, Solos, Método de Ensaio**, DNER – ME 256/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 6p. 1994d.
- DNER. **Solos Compactados em Equipamento Miniatura – Mini-MCV, Solos, Métodos de Ensaio**, DNER – ME 258/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 14p. 1994e.

- Departamento Nacional de Meteorologia - DNM. **Normais Climatológicas (1961 a 1990)**. Brasília: 1992. 84p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de Pavimentação**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 274 p. 2006.
- GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para reflorestamento**. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado - projeto de desenvolvimento de pesquisa florestal, 1975. 65p. (Série Técnica, 3).
- MARSON, M. **Análise crítica da classificação MCT para solos tropicais**. Tese de mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos – SP, 216p, 2004.
- NOGAMI, J. S. e VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo: Villibor, 240p, 1995.
- NOGAMI, J. S. e VILLIBOR, D. F. **Nova Conceituação do Coeficiente c' da Classificação Geotécnica MCT**. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 32., 2000, Brasília. **Anais...**[S.l.: s.n], 2000. v.1, p.34-41.
- PASTORE, E. L.; FORTES, R. M. **Caracterização e Classificação de Solos**. 12º Capítulo do livro Geologia de Engenharia. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. 1998. p. 197-210.
- PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**, Editora Oficina de Textos. 247p, 2000.
- TRINDADE, T. P. **Caracterização tecnológica de solos residuais estabilizados quimicamente com vistas a aplicações em estradas e em obras geotécnicas de caráter ambiental**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Viçosa, 254 p, 2006.
- VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: McGraw-Hill, 1977. 509p.

# 3

## **CONDIÇÕES DE SERVENTIA DE ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS: ESTUDO DE CASO APLICADO ÀS VIAS VICINAIS DE VIÇOSA-MG**

**Resumo** - Neste artigo, aborda-se a adaptação do método de classificação de estradas não pavimentadas proposto por EATON e outros às condições encontradas em rodovias vicinais do município de Viçosa-MG, considerando a sua potencialidade como ferramenta de suporte a gerência da manutenção destas vias. Este estudo foi desenvolvido a partir de avaliações subjetivas, realizadas com o emprego de uma escala de notas, e objetiva, em obediência à metodologia de EATON e outros, que foram conduzidas por uma equipe que executou inspeções de campo planejadas, atribuindo-se notas a vinte unidades amostrais, possuindo cada uma delas 50 metros de comprimento e representativas de dez trechos analisados de vias não pavimentadas. A análise dos dados desta pesquisa possibilitou concluir que: (i) não houve correlação entre os resultados das avaliações subjetiva e objetiva, sendo que a aplicação da metodologia de EATON e outros à gerência da manutenção de vias não pavimentadas pode não refletir as suas prioridades reais; (ii) a avaliação subjetiva do trecho e a avaliação subjetiva do conjunto de suas unidades amostrais são correlatas, indicando ser coerente o emprego deste procedimento.

**Palavras-Chave:** Estradas não pavimentadas; Métodos de classificação; Avaliações objetiva e subjetiva.

### ***SERVICEABILITY OF UNPAVED ROADS: CASE STUDY APPLIED TO VIÇOSA-MG'S VICINAL NET ROADS***

**Abstract** – *This paper addresses the adaptation of the method of classification of unpaved roads developed by EATON and others to the field conditions of vicinal roads from the city of Viçosa-MG, Brazil, considering its potentiality as a support tool for the management of these roads maintenance. This study it was developed encompassing subjective evaluation, carried through with the application of a note scale, and objective evaluation, in obedience to the methodology of EATON and others, which were performed by a team that executed planned field inspections, attributing notes to the twenty sample units, each one 50 meters long and representing ten analyzed*

*unpaved road sections. Conclusions are as follows: (i) it was not observed any correlation between data from the objective and the subjective field evaluations, leading to the conclusion that application of the EATON and others methodology can be misleading to the management of the maintenance of unpaved not reflecting theirs real priorities; (ii) there is correlation between the subjective evaluation of the road sections and the subjective evaluation of all of its sample units, indicating to be consistent the application of this procedure.*

**Keywords:** *Unpaved roads; Classification methods; Objective and subjective evaluations.*

### **3.1 Introdução**

#### **3.1.1 Considerações gerais**

As estradas exercem importante papel no desenvolvimento econômico e social de um país. No Brasil, até então, a opção pelo transporte de carga por rodovias é a mais requerida, principalmente no escoamento da produção industrial e agrícola (TRINDADE et al, 2005). Dada à amplitude da malha rodoviária brasileira não pavimentada, que atualmente se encontra em torno de 1,45 milhões de quilômetros de extensão (ANTT, 2005) e ao papel socioeconômico que a mesma desempenha, identificar os seus problemas e apontar soluções é sem dúvida uma medida importante para garantir suas boas condições de serventia.

Na maioria das vezes, os órgãos responsáveis pela manutenção e/ou construção das vias vicinais não pavimentadas estão vinculados a municípios e, também, a empresas florestais. Observa-se, ainda, que as prefeituras desses municípios, além de não possuírem recursos financeiros suficientes destinados à manutenção e à reabilitação dessas vias ainda se deparam com o desconhecimento técnico necessário à realização racional destas atividades, que devem ser adaptadas para as suas realidades de corpo técnico e equipamentos. Quanto às empresas florestais, de acordo com Lopes et al (2002), na década de 80, estimava-se a extensão da malha rodoviária florestal brasileira em 600 mil quilômetros, número este que foi atualizado por OLIVEIRA et al (2007) para, aproximadamente, 618 mil quilômetros, demandando grandes volumes de serviços especializados de manutenção e reabilitação das vias. Por outro lado, aumentaram nos últimos anos as exigências em termos de solicitações dessas estradas, devido ao crescimento do volume de tráfego pesado.

A forma inadequada de manutenção das estradas não pavimentadas e seu abandono por um longo período de tempo trazem como consequência uma superfície muitas vezes intrafegável, dificultando a circulação de pessoas e mercadorias, e acarretando, via de regra, danos ambientais, com o assoreamento de corpos d'água e o lançamento de sedimentos provenientes de material carreado pelas águas das chuvas sobre áreas agricultáveis.

### **3.1.2 Fundamentação teórica**

Segundo Greenstein e Hudson (1994), a avaliação da superfície de uma via não pavimentada é o processo que visa fornecer subsídios para o planejamento de atividades que possam contribuir para manter ou resgatar a sua integridade estrutural e funcional. Para o órgão rodoviário responsável, esta ação auxilia na priorização das atividades de manutenção de forma a otimizar os recursos disponíveis para tal fim.

Não é comum se empregar as avaliações objetiva e subjetiva para fins de qualificação da superfície das estradas não pavimentadas. A avaliação subjetiva possibilita averiguar a condição da superfície de uma via, segundo o ponto de vista dos usuários, empregando-se um valor definido como *Present Serviceability Rating* (PSR) que no Brasil, de acordo com (DNIT, 2003), é conhecido como Valor de Serventia Atual (VSA). Durante a avaliação, o VSA é obtido através da média aritmética de notas atribuídas a uma via pelos membros de uma equipe de avaliação com a função de representar a opinião dos seus usuários. Esses avaliadores, devidamente treinados, percorrem um trecho de uma estrada numa determinada velocidade operacional e, de dentro do veículo, atribuem notas subjetivas de acordo com uma escala de valores previamente definida, indicando suas opiniões quanto ao conforto e suavidade percebidos durante o percurso no trecho avaliado.

Já a avaliação das condições da superfície de forma objetiva, segundo Hass et al. (1994), sustenta-se em dados coletados a respeito dos defeitos existentes nos trechos da estrada a ser analisada, ou seja, os seus tipos, severidade e densidade. Para o levantamento dos defeitos na estrada, é necessário que os tipos a serem considerados sejam selecionados e as definições de aparência sejam cuidadosamente estabelecidas. As definições devem estar escritas e acompanhadas por fotografias ou figuras que ajudem na sua identificação, incluindo critérios para avaliar o grau de severidade e medir a sua extensão.

Um método de classificação objetiva e subjetiva e um manual de campo para a avaliação das condições da superfície e da drenagem de uma rede de estradas não pavimentadas foram desenvolvidos por EATON et al. (1987a), com o objetivo de auxiliar os municípios e órgãos rodoviários na manutenção de suas estradas não pavimentadas. Segundo o método, o índice das condições das rodovias não pavimentadas (ICRNP) é o *Unsurfaced Road Condition Index* (URCI), que corresponde ao PCI (*Pavement Condition Index*) do Sistema PAVER (Sistema de Gerência de Manutenção de Pavimentos). O URCI é um indicador numérico que varia numa escala de 0 a 100, baseado no cálculo dos valores-dedução (*Deduct Values*), também apresentados em uma escala de valores de 0 a 100, onde o valor zero indica que um defeito em particular não tem impacto nas condições da estrada e o valor 100 indica um defeito extremamente comprometedor para o colapso da via. A Tabela 1 apresenta, de forma resumida, os tipos de defeitos considerados e a forma de medição.

Tabela 1: Tipos de defeitos e critério de medição, de acordo com EATON *et al* (1987a)

<b>Designação dos defeitos</b>	<b>Critério de medição</b>
Seção transversal inadequada	Metro linear
Drenagem lateral inadequada	Metro linear
Corrugações	Área
Segregação de agregados	Metro linear
Buracos	Número
Poeira	Altura e densidade da nuvem
Trilhas de roda	Área

A avaliação de estradas não pavimentadas pelo método descrito por EATON et al (1987a) é baseada em dois tipos de inspeção. Um deles é a rápida vistoria subjetiva da estrada; o outro refere-se à medida detalhada dos defeitos em unidades amostrais representativas do trecho avaliado. A avaliação subjetiva consiste em percorrer a estrada a uma velocidade aproximadamente constante, em torno de 40 km/h, e verificar de dentro do veículo as condições da superfície e de drenagem. Após este primeiro contato, são selecionadas as unidades amostrais da estrada, com áreas variando de 150 m<sup>2</sup> a 350 m<sup>2</sup>, nas quais serão medidos e quantificados os defeitos existentes, levando em consideração o seu nível de severidade, considerado as graduações Baixas, Médias e Altas, enquadrando-se, pois, em critério de avaliação objetiva.

De posse de todos os dados obtidos, a densidade dos defeitos é calculada em função das suas incidências na área analisada, ou seja, pela razão entre a quantidade do defeito e a área da unidade amostral. Com o valor da densidade, acha-se o valor-dedução correspondente, a partir de curvas de níveis de severidade existentes para cada tipo de defeito. Após o cálculo, todos os valores-dedução individuais da unidade amostral são somados, originando o valor-dedução total (TDV). A partir do gráfico com curvas de correção para cada quantidade de defeitos com valor-dedução maior ou igual a 5 pontos na unidade amostral, encontra-se o URCI. Através deste índice, as estradas não pavimentadas são classificadas com base em uma escala de valores que estão relacionados na Tabela 2.

Tabela 2: Escala de classificação de estradas não pavimentadas em função do URCI

<b>URCI</b>	<b>Classificação</b>
100 – 86	Excelente
85 – 71	Muito boa
70 – 56	Boa
55 – 41	Regular
40 – 26	Ruim
25 – 11	Muito ruim
10 – 0	Péssima

O uso de procedimentos de avaliação de estradas não pavimentadas elaborados para condições diferentes das encontradas no Brasil, como é o caso do método de EATON et al (1987a), pode gerar resultados divergentes da realidade encontrada na inspeção de campo, justificando-se desta forma o desenvolvimento de pesquisas nesta área. Considerando esse aspecto, o presente trabalho teve como objetivo correlacionar os resultados de avaliações objetivas com subjetivas, segundo as instruções contidas no método de EATON et al (1987a), com o intuito de verificar a sua aplicabilidade a rodovias vicinais não pavimentadas da área rural do município de Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

### **3.2 Defeitos em estradas não pavimentadas**

Entende-se por defeito (patologia) qualquer alteração na superfície da estrada que tem influência negativa nas suas condições de rolamento. Essas alterações estão

hierarquizadas em graus ou níveis de severidade que variam de acordo com a interferência na trafegabilidade da via.

Considera-se severidade de um defeito a dificuldade ou a quantidade de dificuldades que um tipo de defeito impõe ao movimento de veículos. Na prática, os graus ou níveis de severidade são determinados pela ocorrência de limites pré-definidos para medidas ou classificações sobre defeitos identificados em levantamentos de campo, e são classificados, segundo EATON et al (1987a), usualmente como: não aplicável, baixa, média ou alta.

### **3.2.1 Tipos de defeitos**

A avaliação das condições da superfície de rolamento de estradas vicinais não pavimentadas é feita por meio do levantamento dos defeitos em campo. Para fins de utilização em sistemas de gerência de manutenção de vias, o levantamento de campo envolve a seleção dos defeitos mais significativos, com suas respectivas medidas, e a avaliação da extensão e severidade de cada um deles.

Os tipos de defeitos citados nesta pesquisa e as respectivas classificações dos seus graus de severidade são baseados nos métodos de avaliação de estradas não pavimentadas contido no manual de EATON et al (1987a), com algumas adaptações a realidade brasileira citadas por ODA (1995) e observações pertinentes apresentadas por FONTENELE (2001).

#### **3.2.1.1 Seção transversal inadequada**

De acordo com Oda (1995), a seção transversal inadequada é o resultado de uma superfície sem declividade transversal para direcionar a água 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.

Eaton et al (1987a) e o RSMS (1991) classificam a qualidade da estrada de acordo com os níveis de severidade e extensão do defeito. De acordo com as Figuras 1, 2 e 3, os níveis de severidade da seção transversal inadequada são:

- Baixa: superfície completamente plana (sem declividade transversal);
- Média: superfície em forma de “bacia”;
- Alta: grandes depressões nas trilhas das rodas na superfície da estrada.

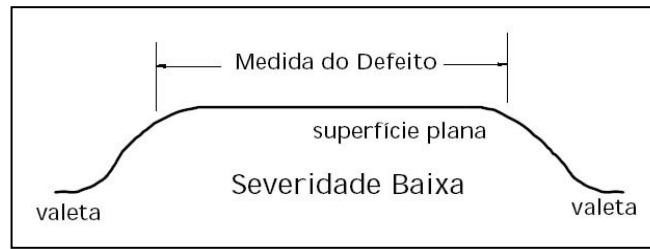


Figura 1: Seção transversal com superfície sem declividade (ODA, 1995)

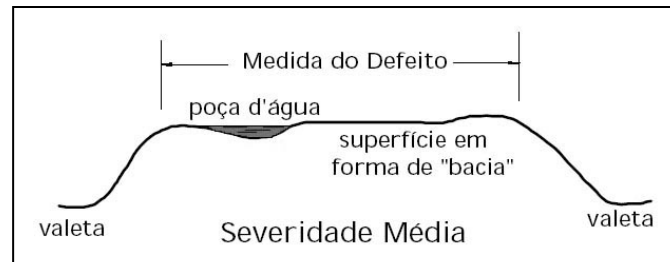


Figura 2: Seção transversal com superfície em forma de bacia (ODA, 1995)

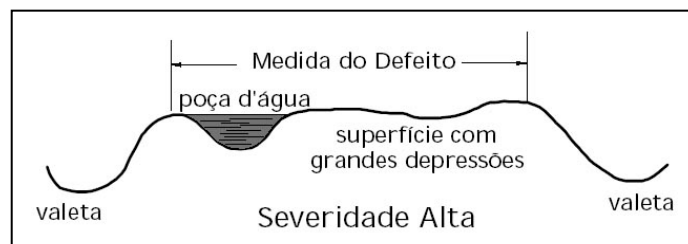


Figura 3: Seção transversal com grandes depressões nas trilhas das rodas (ODA, 1995)

Fontenele (2001) considera os seguintes níveis de severidade:

- Baixo: superfície praticamente plana, com pouca ou nenhuma ocorrência de defeitos;
- Médio: superfície em forma de bacia com moderada ocorrência de defeitos;
- Alto: elevada ocorrência de defeitos, com grandes depressões nas trilhas de roda.

### 3.2.1.2 Ondulações/Corrugações

As ondulações constituem sulcos em intervalos regulares ou irregulares no sentido perpendicular à direção do tráfego. Sua ocorrência se deve à falta de capacidade de suporte do subleito e ausência ou deficiência do sistema de drenagem.

A Figura 4 apresenta a ocorrência de ondulações identificadas nas estradas vicinais não pavimentadas.

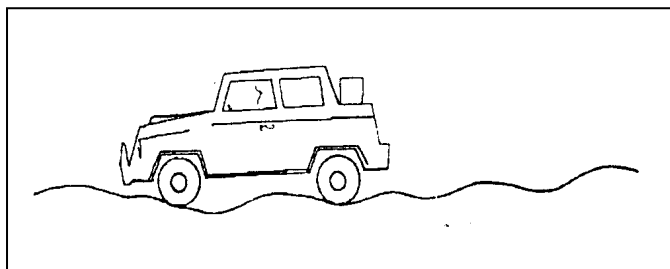


Figura 4: Defeito ondulações/corrugações (SANTOS et al, 1988)

As ondulações regulares ocorrem em estradas planas formadas por solos arenosos, enquanto que as ondulações irregulares ocorrem em estradas formadas por solos argilosos que, ao secarem, se contraem formando o defeito (SANTOS et al, 1988).

Segundo Eaton et al (1987a) e Fontenele (2001), os níveis de severidade considerados são:

- Baixo: profundidades menores que 2,5 cm;
- Médio: profundidades entre 2,5 e 7,5 cm;
- Alto: profundidades maiores que 7,5 cm.

### 3.2.1.3 Excesso de poeira

A poeira é causada pelo excesso de material fino no leito da estrada que durante o período seco fica sem umidade, formando, pela ação abrasiva do tráfego, as nuvens de poeira (SANTOS et al, 1988).

A Figura 5 apresenta a ocorrência de poeira identificada nas estradas vicinais não pavimentadas.

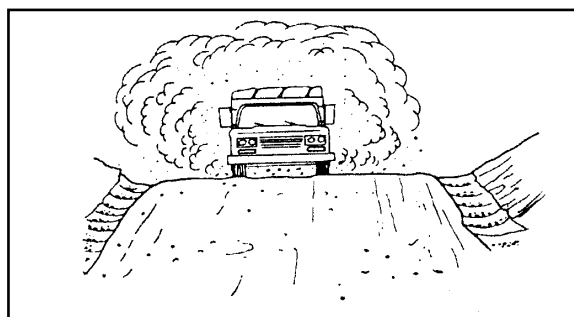


Figura 5: Defeito poeira (SANTOS et al, 1988)

Conforme Eaton et al (1987a) e Fontenele (2001), os níveis de severidade considerados são:

- Baixo: pouca poeira, nuvem fina, não obstrui a visibilidade, altura menor que 1,0 m;
- Médio: poeira moderada, nuvem moderadamente densa, obstrui parcialmente a visibilidade, altura entre 1,0 e 2,0 m, tráfego lento;
- Alto: muita poeira, severa obstrução da visibilidade, altura superior a 2,0 m, tráfego muito lento ou parado.

### 3.2.1.4 Buracos/Panelas

São depressões em forma de bacia produzidas pela continua expulsão das partículas sólidas da superfície da estrada pelo tráfego onde há empoçamento de água. Os buracos aparecem devido à deficiência de drenagem, provavelmente ocasionada pela falta de abaulamento transversal.

A Figura 6 apresenta a ocorrência do defeito buraco verificado nas estradas vicinais não pavimentadas.

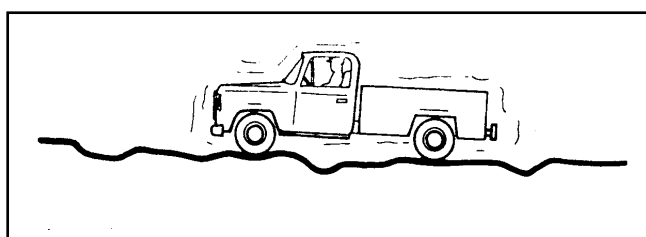


Figura 6: Defeito buraco/panela (SANTOS et al, 1988)

Oda (1995) e Fontenele (2001) consideram os níveis de severidades para o defeito buraco, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Níveis de severidade para o defeito buracos/panelas

Diâmetro médio (m)	Profundidade (cm)			
	< 5,0	5,0 – 15,0	15,0 – 25,0	> 25,0
Níveis de severidade				
< 1,50	baixo	médio	médio	alto
1,50 – 2,50	baixo	médio	alto	alto
2,50 – 3,50	baixo	médio	alto	alto
> 3,50	baixo	médio	alto	alto

### 3.2.1.5 Trilhas de roda

O afundamento de trilha de rodas constitui uma depressão na superfície da estrada nos locais onde as rodas dos veículos comerciais transitam, conforme ilustrado na Figura 7. A ocorrência deste defeito se deve às cargas repetidas do tráfego. O afundamento de trilha de roda pode ocorrer por consolidação ou por tensões cisalhantes repetidas. Quando se manifesta por tensões cisalhantes repetidas se verifica o fenômeno solevamento.

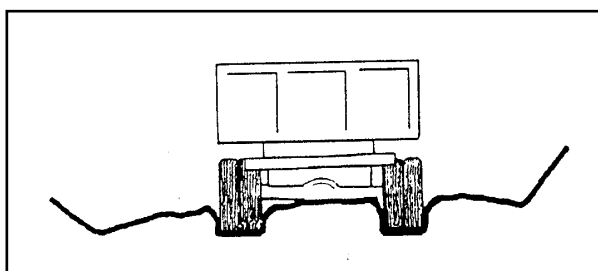


Figura 7: Defeito afundamento de trilhas de rodas (SANTOS *et al.*, 1988)

Fontenele (2001) considera os seguintes níveis de severidade:

- Baixo: profundidades menores que 5,0 cm;
- Médio: profundidade entre 5,0 e 10,0 cm;
- Alto: profundidades maiores que 10,0 cm.

### 3.2.1.6 Segregação de agregados

A ação do tráfego provoca o lançamento de material granular para as laterais ou centro das estradas formando bermas, conforme ilustrado na Figura 8. A segregação ocorre devido à adição de material granular para aumentar o atrito entre os pneus e a superfície de áreas argilosas, 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 jogados para fora do caminho das rodas.

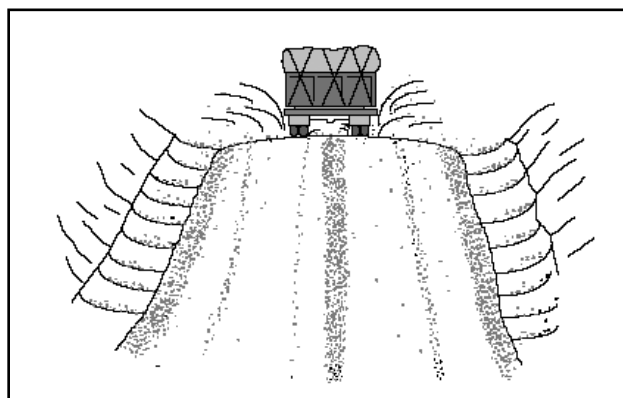


Figura 8: Defeito segregação de agregados (ODA, 1995)

Eaton et al (1987a) e Fontenele (2001) classificam, para o defeito segregação de agregados, os seguintes níveis de severidade:

- Baixo: bermas menores que 5,0 cm de altura;
- Médio: bermas entre 5,0 e 10,0 cm de altura;
- Alto: bermas maiores que 10,0 cm de altura.

### **3.2.1.7 Drenagem lateral inadequada**

Este defeito é verificado quando as sarjetas estão cobertas de vegetação lindeira, cheias de entulhos ou de material granular assoreado. Essa situação dificulta o escoamento da água e, conseqüentemente, provoca o seu empoçamento, erodindo a borda da estrada.

Eaton e Beaucham (1992) e USACE (1995) classificaram para o defeito drenagem lateral inadequada, os seguintes níveis de severidade:

- Baixo: (i) baixas quantidades de poças de água ou (ii) evidência quanto à sua ocorrência nos dispositivos de drenagem, (iii) vegetação, detritos ou fragmentos de pedras depositados sobre os dispositivos de drenagem.
- Médio: (i) moderada quantidade de poças de água ou (ii) evidências quanto a sua ocorrência nos dispositivos de drenagem, (iii) vegetação, detritos ou fragmentos de pedras depositados sobre os dispositivos de drenagem e, (iv) erosões nos dispositivos de drenagem;
- Alto: (i) alta quantidade de poças de água ou (ii) evidências quanto à sua ocorrência nos dispositivos de drenagem, (iii) vegetação, detritos ou fragmentos de pedras depositados sobre os dispositivos de drenagem e, (iv) erosões nos dispositivos de drenagem, (v) água fluindo superficialmente à pista ou se infiltrando na plataforma.

### **3.3 Metodologia**

As atividades descritas neste item sobre o método que utiliza o URCI para classificar estradas não pavimentadas estão baseadas nos trabalhos de EATON et al (1987a, 1987b) e EATON (1988). Este método foi escolhido por ser utilizado por BAESSO e GONÇALVES (2003) na classificação objetiva de rodovias não pavimentadas como subsidio para sistemas de administração de manutenção de estradas vicinais não pavimentadas, e relatos de ODA (1995) e VIVIANI (1998), quanto à adaptação da avaliação objetiva do mesmo a realidade brasileira. O procedimento de campo abrangeu avaliações subjetivas e objetivas de unidades amostrais e trechos de estradas não pavimentadas do município de Viçosa, através de uma equipe de avaliadores.

#### **3.3.1 Área de estudo**

O município de Viçosa, com uma área de 300,2 km<sup>2</sup>, está localizado ao norte da Zona da Mata do estado de Minas Gerais, a 229 km de Belo Horizonte, Brasil, entre as latitudes de 20° 41' 20" S a 20° 49' 35" S e as longitudes de 42° 49' 36" W a 42° 54' 27" W, a uma altitude média de 650 metros. Limita-se ao norte com os municípios de Teixeiras e Guaraciaba, ao sul com Paula Cândido e Coimbra, a leste com Cajuri e São Miguel do Anta e a oeste com o município de Porto Firme (IBGE, 2008), conforme mostra a Figura 9.

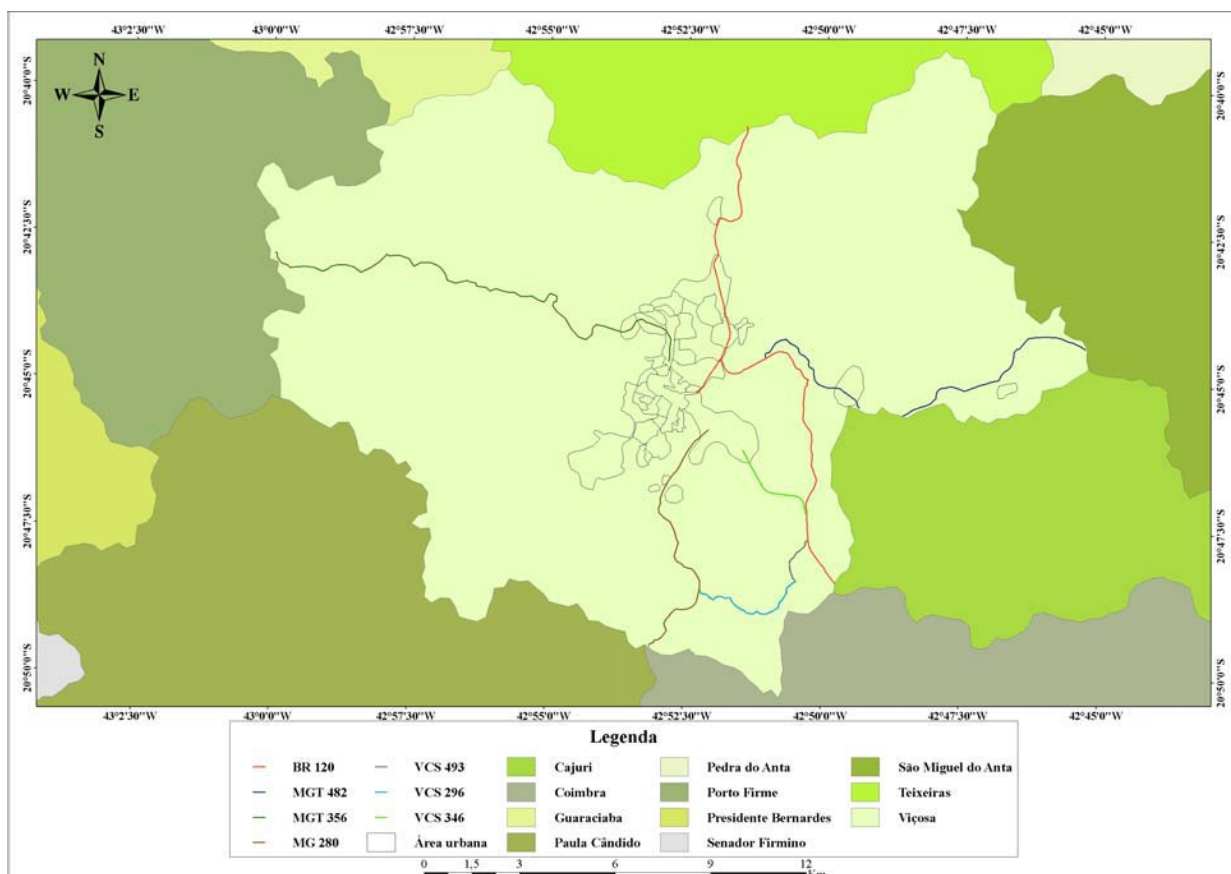


Figura 9: Localização do município de Viçosa – MG.

### 3.3.2 Seleção e divisão dos trechos experimentais

Para este estudo estabeleceu-se que as estradas selecionadas para investigação experimental deveriam ser de fácil localização, possuir variedade de tipos de solos e serem próximas à cidade. Essas estradas possuem uma denominação de acordo com o plano rodoviário do município de Viçosa – VCS (Lei municipal nº 160 de 17/04/1978 atualizada para 2000). A Tabela 4 contém a denominação das estradas não pavimentadas inspecionadas neste estudo e suas respectivas extensões.

Tabela 4: Estradas não pavimentadas inspecionadas e suas respectivas extensões.

Estrada não pavimentada	Extensão (km)
VCS 346	3,0
Trecho da VCS 493	1,5
VCS 296	4,1

A necessidade de divisão das estradas em porções menores, denominadas de trechos, se dá pela observação da não uniformidade das características das vias não pavimentadas. De acordo com Weaver e Clark (1977), deve-se ter atenção na

determinação de um tamanho mínimo de trecho de estudo que permita que o avaliador tenha tempo suficiente para adquirir uma percepção mais realista sobre a condição da superfície de rolamento do trecho inspecionado. Quando a extensão do trecho for muito grande, o avaliador pode perder a percepção para o propósito em vista, se atentando apenas em julgar os últimos metros do trecho avaliado. Assim, a cada trecho com extensão entre 750 e 1.000 metros de comprimento, recomendam-se duas unidades amostrais, cada uma com 50 m de comprimento, como as mais representativas de defeitos.

Após o planejamento das vias em estudo, segundo considerações de BAESSO e GONÇALVES (2003), foram definidos 10 trechos das três rodovias não pavimentadas selecionadas para serem inspecionados pela equipe de avaliação. Inicialmente, a escolha dos mesmos baseou-se no julgamento de dois avaliadores, devidamente instruídos para a finalidade em vista, que percorreram as vias em um veículo de passeio a uma velocidade de aproximadamente 40 km/h, o que permitiu selecionar, subjetivamente, as unidades amostrais observadas como as mais representativas de defeitos daquele trecho. A extensão de cada unidade amostral foi delimitada através de piquetes de madeira, com auxílio de uma trena, de forma a permitir a sua identificação numa inspeção posterior.

### **3.3.3 Constituição e treinamento da equipe de avaliação**

O experimento contou com uma equipe composta de cinco avaliadores do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa – UFV, que percorreram as estradas não pavimentadas em estudo, para realizar as avaliações subjetivas e objetivas dos trechos e unidades amostrais previamente selecionados. Na escolha para composição da referida equipe, não foram consideradas as características dos membros relativas ao sexo, idade, experiência de condução de veículos, na busca de se representar à opinião dos usuários dessas vias. Os membros da equipe de avaliação receberam um treinamento inicial sobre os procedimentos de campo e os tipos de defeitos que poderiam ser encontrados, seus níveis de severidade e a forma de medi-los.

### **3.3.4 Inspeção nos trechos e unidades amostrais**

As avaliações realizadas pela equipe de avaliadores foram divididas em duas etapas: avaliação subjetiva dos trechos e unidades amostrais para a determinação do  $URCI_{EQUIPE}$  e avaliação objetiva das unidades amostrais para a obtenção do  $URCI_{EATON}$ .

### 3.3.4.1 Inspeção subjetiva nos trechos e unidades amostrais

A primeira etapa da avaliação subjetiva consistiu do percurso de todos os avaliadores em um mesmo veículo (Volkswagen Kombi) nos trechos selecionados, a uma velocidade de aproximadamente 40 km/h, onde um dos avaliadores ficou responsável pelo aviso aos demais sobre o ponto inicial e final dos trechos. Durante o percurso os avaliadores deram a cada trecho uma nota individual, de 0 a 100, que representasse a condição de sua superfície a partir da qualidade de viagem por eles percebida.

Na segunda etapa, os avaliadores foram conduzidos ao ponto inicial de cada unidade amostral e a percorreram a pé, procurando observar a condição superficial em que ela se encontrava. Cada avaliador atribuiu-lhe, de acordo com sua percepção, uma nota que descrevia o estado desta superfície, usando para tanto a mesma escala utilizada para classificar o trecho. Ao final da avaliação subjetiva foi feita a média aritmética das notas atribuídas aos trechos e unidade amostrais pelos avaliadores, encontrado o  $URCI_{EQUIPE}$  dos referidos, respectivamente. A Figura 10 ilustra a avaliação subjetiva da primeira unidade amostral com extensão de 50 metros, compreendida entre a Est. 17 + 00 e a Est. 17 + 50, do primeiro trecho da VCS 296 e do veículo utilizado na avaliação subjetiva dos trechos analisados das estradas não pavimentadas.



Figura 10a: Avaliação subjetiva da primeira unidade amostral do primeiro trecho da estrada não pavimentada VCS 296



Figura 10b: Veículo utilizado na avaliação subjetiva dos trechos analisados das estradas não pavimentadas

### 3.3.4.2 Inspeção objetiva nas unidades amostrais

Após a classificação das unidades amostrais pela equipe de avaliação, os defeitos existentes em cada unidade amostral foram verificados e registrados, segundo o procedimento do manual de campo do método do URCI (EATON et al, 1987a). Para verificação das dimensões de cada defeito e suas severidades e densidades, apenas o pesquisador e três auxiliares fizeram a medição para determinação do  $URCI_{EATON}$  das unidades amostrais. Já o  $URCI_{EATON}$  de cada trecho foi obtido através da média aritmética dos  $URCI_{EATON}$  das suas unidades amostrais. A Figura 11 ilustra parte da avaliação objetiva da segunda unidade amostral, compreendida entre a Est. 42 + 00 e a Est. 42 + 50 m, do terceiro trecho da estrada não pavimentada VCS 296.



Figura 11a: Medição da plataforma da estrada vicinal VCS 296



Figura 11b: Medição dos defeitos de acordo com EATON et al (1987a)

### 3.4 Resultados e discussão

A qualidade de viagem captada pelos usuários, de acordo com POTTER et al (1992), constitui a medida mais importante no desempenho de uma rede rodoviária, fornecendo respostas válidas para apoiar os órgãos responsáveis pela manutenção rodoviária. Carey e Irick (1960) afirmaram que apenas o julgamento de uma equipe de usuários pode estabelecer o nível de serviço de uma estrada.

Os índices de condição de rodovias não pavimentadas (URCI) das unidades amostrais e respectivos trechos, obtidos subjetivamente em campo ( $URCI_{EQUIPE}$ ) e também pelo método de EATON et al (1987a) –  $URCI_{EATON}$  foram confrontados para análise da relação existente entre eles. Através desta análise, buscou-se verificar a eficiência da equipe de avaliadores para notificar as condições de serventia de estradas

não pavimentadas. Na Figura 12, apresentam-se os valores dos URCI obtidos das unidades amostrais, de acordo com o método de EATON et al (1987a) e notas atribuídas às referidas unidades pela equipe de avaliação.

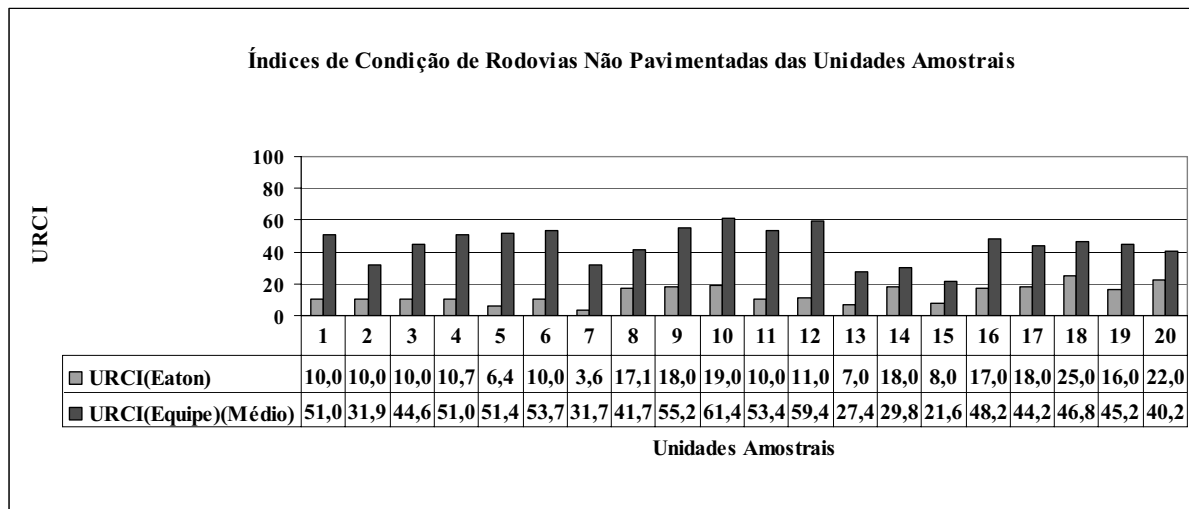


Figura 12: Valores de URCI obtidos das unidades amostrais dos trechos das estradas não pavimentadas investigadas

A Figura 13 apresenta os valores dos URCI dos trechos das estradas não pavimentadas, obtidos pelo método de EATON et al (1987a), através das médias dos URCI das unidades amostrais contidas em cada um desses trechos e pela equipe de avaliadores, através das médias das notas atribuídas a cada trecho pelos seus componentes.

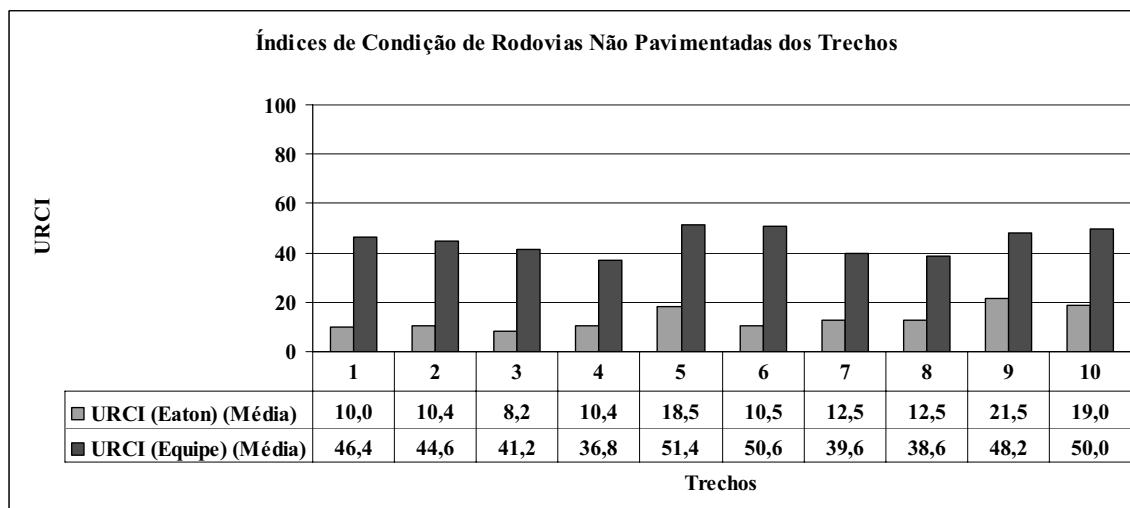


Figura 13: Valores de URCI obtidos dos trechos das estradas não pavimentadas investigadas

Na comparação entre as classificações das unidades amostrais e trechos representados nas Figuras 12 e 13, existe uma disparidade significativa, o que reforça a afirmação de ODA (1995) sobre a necessidade de adaptação do método de EATON et al (1987a) às condições encontradas nas estradas não pavimentadas brasileiras. Ratificando essa afirmação, também se observou que certos tipos de defeitos existentes nos trechos inspecionados não eram mencionados no método de EATON et al (1987a), o que tornou necessária uma aproximação a outros tipos de defeitos similares aos considerados no referido método.

De acordo com EATON et al (1987a), as classificações dos trechos de estradas não pavimentadas são obtidas a partir da média das classificações das unidades amostrais de cada trecho. Para verificar a representatividade das avaliações subjetivas da equipe de avaliação, foram calculados os  $URCI_{EQUIPE}$  de cada trecho sob duas condições: (i) a partir das médias das notas atribuídas pela referida equipe às suas unidades amostrais (**condição 1**) e (ii) a partir dos valores médios atribuídos diretamente ao trecho (**condição 2**). A Figura 15 apresenta as duas condições.

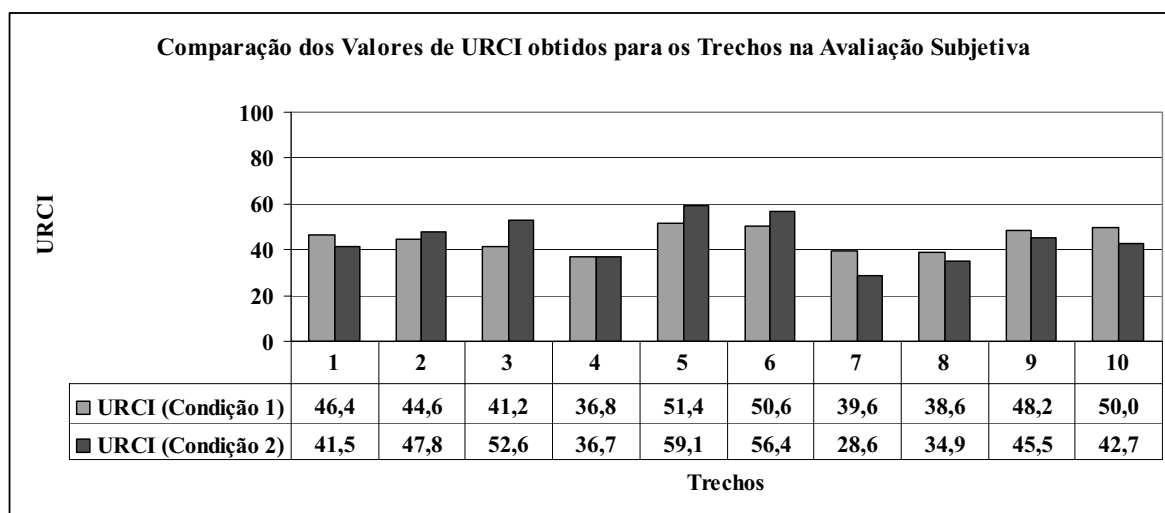


Figura 15: Comparação dos valores de URCI obtidos subjetivamente para os trechos das estradas não pavimentadas

Avaliando-se os resultados apresentados na Figura 15, observa-se que as avaliações subjetivas das unidades amostrais e dos trechos se mostraram satisfatórias, visto que os valores  $URCI_{EQUIPE}$  encontrados pelas duas condições anteriormente citadas foram bem próximos.

### 3.5 Conclusões

Os resultados obtidos permitem concluir que a comparação entre os índices de condição de estradas não pavimentadas provenientes do método de EATON et al (1987a),  $URCI_{EATON}$ , e os atribuídos pela equipe de avaliação,  $URCI_{EQUIPE}$ , apresentaram valores discrepantes, o que reflete a necessidade de adaptação deste método às condições das estradas não pavimentadas brasileiras. Portanto, não se recomenda o uso do método de EATON et al (1987a) para o suporte e gerência de manutenção de estradas não pavimentadas da rede de vias vicinais da área rural do município de Viçosa.

Outro aspecto de interesse é que com base nos valores de  $URCI_{EQUIPE}$  apresentados na Figura 15, conclui-se que o critério de avaliação subjetiva aplicado aos trechos inspecionados nesta pesquisa denota coerência quanto a eficiência da equipe de avaliação com relação às condições de serventia das estradas vicinais inspecionadas, refletindo adequadamente as condições de campo da superfície de rolamento dessas vias.

### 3.6 Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela concessão da bolsa de pesquisa ao primeiro autor e ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (DEC/UFV) pelo suporte nas inspeções das estradas vicinais não pavimentadas estudadas.

### Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES - ANTT. **Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres**. Brasília – DF. 2005.
- BAESSO, D. P. e GONÇALVES, F. L. R. **Estradas Rurais – Técnicas Adequadas de Manutenção**. Departamento de Infra-Estruturas do Estado de Santa Catarina – DEINFRA/SC. Florianópolis – SC. 204 p. 2003.
- CAREY, W.N.; IRICK, P.E. *The pavement serviceability – performance concept*. **Highway Research Board**, n. 250, p. 40-58, 1960.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos, Pro 009/2003**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias. v.1. 2003. 6p.

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, vol. 02, 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 92-26. USA. 1992.

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. São Carlos-SP.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Informações sobre a população**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br> >. 2002, acesso em 23 de maio de 2008.

GREENSTEIN, J.; HUDSON, S. W. ***Quality Assurance Procedures Related to Administration of Unsurfaced Roads***. **Transportation Research Record** 1434, pp. 85-91, 1994.

HASS, R.; HUDSON, W. R.; ZANIESWSKI, J. ***Modern Pavement Management***. Malabar, Krieger Publishing Company. 583 p, 1994.

LOPES, E. S.; MACHADO, C. C. SOUZA, A. P. Classificação e custo de estradas em florestas plantadas na região sudeste do Brasil. **Revista Árvore**. v. 26. n. 3. p. 329 – 338. 2002.

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

OLIVEIRA, R. J.; MACHADO, C. C.; CARVALHO, C. A. B; LIMA, D. C. Metodologias de previsão de defeitos em estradas florestais e levantamento da malha florestal. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL. 2007. Uberlândia – MG. **Anais...**Uberlândia: Outubro de 2007.

POTTER, D. HANNAY, R.; CAIRNEY, P.; MARKAROV, A. *An investigation of car user's perceptions of the ride quality of roads*. **Road & Transport Research**, nº 1, vol. 1, 1992.

RSMS. *Road Surface Management System*. Technology Transfer Center the University of New Hampshire, Department of Civil Engineering, Durham, New Hampshire. 1991.

SANTOS, A. R.; PASTORE, E. L.; AUGUSTO JR, 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., 2ª Edição, São Paulo. 1988.

TRINDADE, T. P.; LIMA, D. C.; MACHADO, C. C.; CARVALHO, C. A. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FONTES, M. P. F.; CANESCHI, F. P. Estudo da durabilidade de misturas solo - RBI grade 81 com vistas à aplicação em estradas florestais e camada de pavimentos convencionais. **Revista Árvore**. v. 29. n. 4. p. 591-600. 2005.

USACE. *Unsurfaced Road Maintenance Management*. TM 5-626. Technical Manual. United States Army Corps of Engineers. Headquarters. Department of the Army. Washington, D.C. USA. 1995.

VIVIANI, E. **A Utilização de um Sistema de Informação Geográfica como Auxílio à Gerência de Manutenção de Estradas Rurais Não Pavimentadas**. São Carlos. 1998. 292p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos – SP.

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

# 4

## INFLUÊNCIA DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS COMERCIAIS EM RODOVIAS VICINAIS

**Resumo** – Este artigo aborda a influência da variação da carga por eixo e da pressão de enchimento dos pneus sobre as deflexões superficiais recuperáveis, numa dada estrutura de pavimento considerada representativa das estradas vicinais do município de Viçosa-MG. Os Fatores de Equivalência de Cargas (FEC) obtidos nesta pesquisa, fundamentados em deflexões recuperáveis no topo do subleito e tomando-se por base a estrutura anteriormente mencionada submetida a diferentes formas de carregamento, foram próximos aos adotados pelo Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT), para pavimentos flexíveis. Verificou-se, ainda, que a aplicação de níveis mais críticos de carregamento interfere significativamente na vida útil do pavimento; dependendo da combinação da carga por eixo e da pressão de enchimento dos pneus, a vida útil da estrada pode reduzir cerca de 89%. Investigaram-se, ainda, neste trabalho, dois métodos para dimensionar a espessura do revestimento primário para rodovias não pavimentadas. Um deles empírico, qual seja, o método do DNIT para dimensionamento de pavimentos flexíveis; o outro, fundamentado em teoria elástica para sistemas de camadas. Para o dimensionamento de estradas não pavimentadas melhoradas com uma camada de revestimento primário (sistema de duas camadas), concluiu-se que o procedimento mais adequado foi o emprego da teoria elástica.

**Palavras-Chave:** Carga por eixo, pressão de enchimento dos pneus, desempenho de pavimento

### INFLUENCE OF TRAFFIC COMMERCIAL VEHICLES ON VICINAIS ROADS

**Abstract** - This paper addresses the influence of the variation of axle load and tire pressure on the recoverable superficial deflections in one given pavement structure considered representative of the vicinal roads of the city of Viçosa-MG, Brazil. Based on the recoverable deflections in the sub-grade top of the vicinal roads submitted to different loading forms, the resulting Load Equivalence Factors (LEFs) have been close to those adopted by the Brazilian National Infrastructure Transportation Department (DNIT) for flexible pavement design. Also, it was verified that the application of more

*critical loading levels affects significantly pavement serviceable life. Besides, depending on the applied combination of axle load and tire pressure, road pavement serviceable life can drop 89%. In this research it was also investigated the application of two procedures for designing sub-grade reinforcement layer thickness of non-paved roads; one empirical using the DNIT's Flexible Pavement Design criteria and the other based on elastic theory applied to a two layer system. Concluding remark is that the use of the elastic theory proved to be the best procedure for designing non-paved road systems.*

**Keywords:** *Axle load, tire pressure, pavement performance*

#### **4.1 Introdução**

O tráfego comercial que solicita um pavimento é o carregamento a ser considerado nos métodos de dimensionamento, como destaca BALBO (2007), sejam eles empíricos ou mecanísticos. Portanto, existe uma importante necessidade de se padronizar o tráfego, pois na realidade o mesmo apresenta-se de forma bastante complexa: veículos diferentes, cargas aleatórias, várias configurações de eixo e rodas, velocidades variáveis, etc. Por esses motivos, é usual representar o tráfego total e a intensidade das cargas transportadas por meio do número (N) que expressa um tráfego virtual que produz o mesmo efeito destrutivo do tráfego real.

A partir de estudos desenvolvidos pela *AASHTO Road Test*, no final da década de 50, determinou-se que um eixo simples de roda dupla com carga de 18.000 lb ou 82 kN (8,2 tf) e 563 kPa (80 psi) de pressão de enchimento dos pneus seria considerado um eixo padrão. Os efeitos destrutivos de cargas quaisquer por eixo sobre pavimentos podem ser atribuídos, comparativamente, ao provocado por um determinado número de passagens do eixo padrão. Pode-se ter correlação de cada tipo de eixo ou conjunto de eixos ao eixo padrão através do Fator de Equivalência de Cargas (FEC).

As maiores críticas ao cálculo do número N acontecem devido aos procedimentos empíricos sobre os quais está fundamentada a determinação do FEC expresso em dano relativo à configuração de um eixo padrão de 82 kN (TIMM e NEWCOMB, 2002). Os referidos autores comentaram que pesquisas desenvolvidas em inúmeras pistas experimentais indicam que o FEC é regido pelo tipo e espessura do pavimento, conjunto de eixos, valor da carga por eixo, pressão de enchimento e condições ambientais.

Um aspecto que merece destaque é a definição de FEC para as vias vicinais brasileiras, que em geral não apresentam tratamento superficial específico e são constituídas apenas do solo local, sendo denominadas de estradas de superfície não

tratada. Nesse caso, segundo Yoder e Witczak (1975), o uso de material local para construção destas vias é a regra, em vez da exceção. Nesse caso, é comum o emprego de um revestimento primário nessas vias, constituído de solo granular com espessura da ordem de 20 a 30 cm de material solto, do que resulta uma espessura de 15 a 25 cm, após compactação, de acordo com as especificações técnicas para revestimento primário de alguns departamentos de estradas de rodagem (DERs), a exemplo dos estados da Bahia, Paraná e Santa Catarina.

Considerando os aspectos técnicos das vias vicinais brasileiras não pavimentadas, o objetivo deste estudo foi analisar a influência da variação dos fatores carga por eixo e pressão de enchimento dos pneus sobre as deflexões superficiais recuperáveis, com base na teoria elástica aplicada a um sistema de duas camadas para o pavimento de uma estrada vicinal no município de Viçosa-MG.

Tendo em vista a significativa amplitude da malha viária não pavimentada do Brasil, que segundo a ANTT (2005), já alcança aproximadamente 1,45 milhões de quilômetros de extensão, o estudo da influência do tráfego comercial e a análise para dimensionar espessuras de camadas de revestimento primário para essas vias são relevantes tendo em vista o papel que elas desempenham conjuntamente com as rodovias pavimentadas. Visto que essas vias vicinais têm caráter de vias capilares de circulação de bens de consumo (cargas), o que seguramente obriga que elas possuam condições estruturais próximas as que atendem as solicitações de tráfego das vias pavimentadas.

#### **4.2 Fatores de equivalência de carga**

Ao abordar o assunto tráfego de veículos comerciais em estradas vicinais é fundamental que se comente sobre os fatores de equivalência de carga por eixo (FEC), que são utilizados para converter o número de solicitações do tráfego real que solicita a via num número equivalente de operações de um eixo padrão (eixo simples de rodas duplas de 8,2 toneladas/eixo), que sob o ponto de vista teórico irá provocar no pavimento o mesmo efeito destrutivo.

Os dois modelos mais usados para determinação do FEC no Brasil são os da AASHTO – *American Association of State Highways and Transportation Officials* e USACE – *United States Army Corps of Engineers*.

Segundo Albano (2005), o FEC tem sido largamente utilizado como medida de desempenho estrutural de pavimentos porque, comparativamente, mede os efeitos que

os excessos de carga por eixo provocam nos pavimentos flexíveis. Pinto e Preussler (2001) relatam que os FEC da AASHTO baseiam-se na variação da serventia, dependem do tipo de pavimento e do número estrutural (SN) e que os FEC oriundos do USACE avaliam os efeitos do carregamento considerando a deformação permanente.

Pereira (1985) comenta que o número genérico  $N_i$  de solicitações de uma carga de eixo  $W_i$  é equivalente a um número  $N_p$  de solicitações de outra carga de eixo  $W_p$  tomada como referência ou padrão, quando as  $N_i$  solicitações da carga  $W_i$  provocam a mesma deterioração que as  $N_p$  solicitações da carga  $W_p$ , sobre a mesma estrutura de um pavimento. Desta forma, na Equação 1:

$$FEC = \frac{N_p}{N_i} \quad (1)$$

em que: o FEC representa o fator de equivalência da carga  $W_i$ , referido à carga de eixo  $W_p$ , assumida como padrão.

Os estudos de PEREIRA (1985) demonstraram ainda que, para algumas equações de dimensionamento de pavimentos flexíveis, como é caso da utilizada pela *California Division Highways* (CDH), a razão  $N_p/N_i$  é invariável e independente das características do pavimento e do subleito, definindo-se FEC de acordo com a Equação 2:

$$FEC = \frac{N_p}{N_i} = \left( \frac{W_i}{W_p} \right)^{\frac{m}{n}} \quad (2)$$

em que:  $m$  e  $n$  são constantes.

Os estudos desenvolvidos pela AASHTO indicam que o FEC varia entre outros fatores, em função da carga por eixo, segundo uma relação elevada a expoentes próximos de quatro (NRC, 1990). Albano (2005) comenta que outras organizações, como a USACE, adotam expoentes ainda maiores, ou seja, próximos de seis.

No Brasil existem dois grupos de FEC utilizados tradicionalmente para calcular o número  $N$ . Um deles é o adotado pelo Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT), com origem no trabalho de TURNBULL et al (1962) para eixo simples e duplo, onde a referência do dano no pavimento é o afundamento plástico no

subleito. A Tabela 1 apresenta as expressões matemáticas de FEC adotados pelo DNIT, de acordo com o USACE.

Tabela 1: Expressões matemáticas de FEC adotados pelo DNIT (USACE) (DNER, 1998).

<b>Tipo de eixo</b>	<b>Cargas (tf)</b>	<b>Equações (P em tf)</b>
Eixo simples	0,0 – 8,0	$FEC = 2,0782 \cdot 10^{-4} \cdot P^{4,0175}$
	$\geq 8,0$	$FEC = 1,8320 \cdot 10^{-6} \cdot P^{6,2542}$
Tandem duplo	0,0 – 11,0	$FEC = 1,5920 \cdot 10^{-4} \cdot P^{3,4720}$
	$\geq 11,0$	$FEC = 1,5280 \cdot 10^{-6} \cdot P^{5,4840}$
Tandem triplo	0,0 – 18,0	$FEC = 8,0359 \cdot 10^{-5} \cdot P^{3,3549}$
	$\geq 18,0$	$FEC = 1,3229 \cdot 10^{-7} \cdot P^{5,5789}$

Os outros são os FEC que compõem o método de projeto DNER PRO 159/85, que às vezes são chamados como da AASHTO, cujas expressões têm origens distintas (QUEIRÓZ, 1981, 1982). A Tabela 2 contém as equações de FEC utilizadas no referido método de projeto.

Tabela 2: Expressões matemáticas de FEC utilizadas no método de projeto de reforço DNER PRO 159/85.

<b>Tipo de eixo</b>	<b>Equações (P em tf)</b>	<b>Origem</b>
Eixo simples de roda simples	$FEC = \left( \frac{P}{7,77} \right)^{4,32}$	GEIPOT (1977)
Eixo simples de roda dupla	$FEC = \left( \frac{P}{8,17} \right)^{4,32}$	(AASHTO, 1972)
Eixo tandem duplo	$FEC = \left( \frac{P}{15,08} \right)^{4,14}$	(AASHTO, 1972)
Eixo tandem triplo	$FEC = \left( \frac{P}{22,95} \right)^{4,22}$	(TREYBIG e VON QUINTUS, 1976)

Pereira (1992) apresenta uma extensa abordagem sobre fatores de equivalência empírico-mecanísticos e informa que a hipótese de ocorrência de linearidade entre cargas atuantes e deflexão recuperável correspondente foi comprovada na maioria das

seções de pavimentos flexíveis estudadas pela *California Division of Highways* (CDH). A constatação de uma sensível proporcionalidade entre carga por eixo e deflexão recuperável também foi observada pelo referido autor, que considera a deflexão recuperável como resposta estrutural. Portanto, a proporcionalidade entre cargas e deflexões para eixo simples de rodas duplas pode ter o FEC expresso de acordo com a Equação 3 de PEREIRA (1992).

$$FEC = \left( \frac{W_i}{W_p} \right)^{5,959} = \left( \frac{D_i}{D_p} \right)^{5,959} \quad (3)$$

sendo  $D_i$  a deflexão recuperável devido à ação de uma carga genérica  $W_i$  e  $D_p$  a deflexão recuperável provocada por uma carga padrão  $D_p$  de 82 kN.

Schmidt e Ceratti (1987), com base na proposição da linearidade entre cargas por eixo e deflexões recuperáveis correspondentes e com apoio em indicações intrínsecas aos procedimentos PRO-10 e PRO-11 do atual DNIT, sugerem a adoção de expoentes com valores próximos de 6,0. Os referidos autores reconhecem que o assunto é controverso, pois muitas entidades conceituadas preconizam valores de expoente em torno de 4,2. De acordo com Albano (2005), alguns insucessos verificados após 1984, quando o então DNER substituiu o emprego dos fatores da USACE pelos da AASHTO no projeto de reforço, estimularam esta recomendação, mais cautelosa e conservadora.

A partir dos estudos de SCHMIDT e CERATTI (1987), confirmados por PEREIRA (1992), resolveu-se desenvolver a abordagem dos FEC para a verificação do desempenho de pavimentos em função da variação conjunta da carga por eixo ( $Ce$ ), da pressão de enchimento ( $Pe$ ) e da espessura do pavimento, de acordo com a Equação 4 de PEREIRA (1992).

$$FEC = \left( \frac{D_{ij}}{D_{pp}} \right)^{5,959} \quad (4)$$

em que:  $D_{ij}$  é a deflexão máxima recuperável provocada por uma carga de eixo ( $Ce$ )<sub>*i*</sub> e uma pressão de enchimento ( $Pe$ )<sub>*j*</sub> e  $D_{pp}$  a deflexão máxima recuperável provocada por uma carga padrão de 82 kN e uma pressão de enchimento padrão de 522 kPa (80 psi).

### 4.3 Carga por eixo

Com o tráfego de veículos comerciais nas rodovias, as cargas são transmitidas aos pavimentos por rodas pneumáticas simples ou duplas arranjadas em eixos simples e tandem, duplos ou triplos. A ação do tráfego, não só pela carga transportada, mas também pela frequência com que solicita o pavimento, provoca diferentes níveis de deterioração à estrutura do pavimento. No Brasil, a legislação vigente a partir de 1998 estabelece valores máximos permissíveis de carga de acordo com o tipo de eixo, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Cargas máximas legais vigentes no Brasil (BALBO, 2007).

Eixo	Carga máxima legal (kN)	Carga possível por pneu (kN)
Eixo Simples de Roda Simples	60,00	30,00
Eixo Simples de Roda Dupla	100,00	25,00
Eixo Tandem Duplo	170,00	21,25
Eixo Tandem Triplo	255,00	21,25

Fernandes Jr. et al (2007) comentaram que um dos principais agentes causadores da deterioração dos pavimentos é a carga por eixo, não havendo relação direta entre o peso bruto total combinado (PBTC) e o desempenho dos pavimentos. Veículos pesados podem ser poucos danosos aos pavimentos, desde que a carga total seja distribuída por um número suficiente de eixos.

### 4.4 Pressão de enchimento dos pneus

Os pneus utilizados no *AASHTO Road Test* eram representativos daqueles que estavam em uso no final da década de 50, que eram os tradicionais pneus de lonas com pressões de enchimento da ordem de 517 a 522 kPa (75 a 80 psi). Desde então, os fabricantes de pneus estão introduzindo no mercado os pneus radiais com melhores condições de suportar maiores pressões e cargas (NRC, 1990).

A evolução do uso de pneus radiais e de maiores pressões de enchimento nos Estados Unidos da América também foi percebida por KIM et al (1989), em que dados levantados mostraram que 87% dos pneus eram radiais com média de pressão de 703 kPa (102 psi) e 565 kPa (82 psi) para os pneus de lonas.

Albano e Lindau (1998) relataram os resultados de uma pesquisa de campo junto ao posto do Pedágio da RS-240, no município de Portão – RS, em que foram levantadas uma série de informações, dentre as quais a pressão de enchimento dos pneus integrantes de uma amostra representativa de 275 caminhões dos quais foram coletados dados de 1815 pneus. Os principais resultados encontrados foram pressão média de 655 kPa (95 psi) para a amostra de pneus dianteiros e de 717 kPa (104 psi) para a amostra de pneus traseiros.

Kim et al (1989) comentaram que o transporte de carga por caminhões tem apresentado uma tendência de crescimento do peso bruto total (PBT). Observaram ainda que, com o aumento da carga por eixo, o uso de maiores pressões nos pneus tem se tornado mais usual entre os transportes pesados.

Segundo Albano (2005), vários estudos teóricos e experimentais têm confirmado que a pressão de contato não é igual à pressão de enchimento, nem se distribui uniformemente sobre uma superfície circular. Fernandes Jr (1994) relata que a superfície de contato aproxima-se da elipse para pneus de lonas ou do retângulo para pneus radiais a medida que a carga por eixo aumenta ou a pressão de enchimento diminui.

A forma, o valor e a distribuição da pressão de contato é uma questão com certo grau de complexidade e de difícil generalização, visto que muitos fatores influenciam as determinações das variáveis citadas, tais quais carga por eixo, pressão de enchimento dos pneus, tipo, tamanho e estado do pneu, velocidade e etc.

De acordo com Albano (2005), existe um consenso entre os fabricantes de pneus e engenheiros rodoviários de que a alta pressão nos pneus reduz a área de contato com o pavimento, de modo que o peso por roda é distribuído sobre uma área menor. O incremento das pressões de enchimento ajuda a reduzir a vida útil do pavimento, aumentando a incidência de deformações permanentes provocadas por trilhas de roda.

Existe um acréscimo generalizado na pressão de enchimento dos pneus praticado por transportadores, particularmente se o pneu é de fabricação radial. Desta forma, os FEC, derivados da *AASHTO Road Test*, com valores de pressão de enchimento de 527 a 563 kPa (75 a 80 psi), adotados nos EUA e Brasil estão, provavelmente, inadequados e necessitando serem revisados.

## 4.5 Metodologia

Para uma dada estrutura de pavimento, representativa da malha viária não pavimentada do município de Viçosa – MG, estrada vicinal não pavimentada VCS 346, este estudo aborda a influência dos fatores carga por eixo e da pressão de enchimento dos pneus na resposta elástica estrutural. Em função dos dados disponíveis na pesquisa, foi escolhida a deflexão superficial como medida do desempenho do pavimento. Para tais fins, definiram-se três níveis de carga por eixo, como segue:

- $C_1 = 82$  kN (8,2 tf): carga correspondente ao eixo padrão de 18.000 lb, considerada baixa;
- $C_2 = 100$  kN (10,0 tf): carga máxima, permitida pela legislação brasileira, para eixo simples de rodas duplas, considerada normal;
- $C_3 = 120$  kN (12,0 tf): carga 20% acima da máxima permitida, considerada alta.

Da mesma forma, foram utilizados três níveis de pressão de enchimento dos pneus, que foram escolhidos de acordo com Albano (2005) e recomendações contidas em catálogos de fabricantes de pneus, quais sejam:

- $P_1 = 563$  kPa (80 psi): pressão padrão utilizada na pista experimental da AASHTO e normalizada para determinação da deflexão, conforme o ME 24/94 do DNER (DNER, 1994), que tem sido adotada em diversos métodos de dimensionamento de pavimentos;
- $P_2 = 633$  kPa (90 psi): pressão considerada média;
- $P_3 = 703$  kPa (100 psi): pressão considerada alta, de acordo com estudo de ALBANO (2005) sobre efeitos dos excessos de carga sobre a durabilidade de pavimentos.

A estrutura do pavimento da estrada vicinal VCS 346 está discriminada na Tabela 5.

Tabela 5: Estrutura do pavimento da estrada vicinal VCS 346.

<b>Camada</b>	<b>Material</b>	<b>Espessura (cm)</b>
Revestimento Primário	Saibro	20,0
Subleito	Argissolo vermelho-amarelo de comportamento laterítico.	Semi-infinita

Os dados referentes aos materiais das camadas da estrutura do pavimento da estrada vicinal VCS 346, são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Dados relativos aos materiais das camadas do pavimento analisado.

<b>Camada</b>	<b>Coefficiente de Poisson (<math>\mu</math>)</b>	<b>Módulo de resiliência (Mr) (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>CBR* (%)</b>
Revestimento primário	0,40	1.000	10
Subleito	0,45	600	6

\* Os valores de CBR foram obtidos em ensaios de laboratório na energia de compactação do Proctor normal, tanto para o subleito quanto para a camada de revestimento primário.

Os módulos de resiliência (Mr) contidos na Tabela 6 foram estimados através da Equação 5 de HEUKELOM e KLOMP (1962)<sup>1</sup>, *apud* PINTO e PREUSSLER (2001).

$$Mr = 100 \cdot CBR \quad (5)$$

em que: Mr = Módulo de resiliência (kgf/cm<sup>2</sup>).

Os coeficientes de Poisson foram fixados de acordo com os valores apresentados por BALBO (2007).

Os valores das deflexões superficiais para a determinação dos FEC empírico-mecanísticos foram obtidos através da utilização do programa computacional ELSYM5. O referido programa é utilizado para o cálculo de tensões, deformações e deslocamentos em sistemas de camadas elástico-lineares.

## 4.6 Resultados e discussão

### 4.6.1 Cálculo do número N para a rodovia vicinal VCS 346

A contagem volumétrica do tráfego, inclusive de veículos de carga do tipo 2C, ônibus e caminhões, foi obtida, na forma direta, na estrada vicinal VCS 346 no município de Viçosa-MG. Esta estrada faz a ligação entre o campus da Universidade

<sup>1</sup> Heukelom, W; Klomp, A. J. G. *Dynamic testing as a means of controlling pavements during and after construction*. Proceedings. 1º Intern. Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements Ann Arbor, University Michigan, 1962.

Federal de Viçosa – UFV e a rodovia federal BR 120. Possui um tráfego leve, com menos de 50 veículos comerciais por dia, que servem como transportes de encomendas e entregas na cidade de Viçosa ou no interior do campus da UFV.

O volume diário médio de tráfego (VDM) geralmente é obtido com base em contagens volumétricas de veículos mistos durante os 365 dias do ano para abrigar todas as condições de sazonalidade semanais ou mensais do tráfego que se utiliza de uma seção da via. Por essa razão, o VDM é freqüentemente denominado de  $VDM_{\text{anual}}$ .

Neste estudo, o  $VDM_{\text{anual}}$  foi determinado, para a categoria de veículo 2C, após a contagem volumétrica do tráfego por cinco dias consecutivos, gerando ao final a média das passagens dessa categoria de veículo. Essa média foi considerada um valor diário que foi multiplicado pelo fator de expansão (1,07). Esse fator de expansão foi determinado pela razão entre os números de veículos comerciais tipo 2C que trafegaram pela via em estudo no quinto (30 veículos) e primeiro (28 veículos) dia da contagem volumétrica do tráfego, conforme recomenda BALBO (2007). O  $VDM_{\text{anual}}$  para o caso em estudo foi de aproximadamente 26 veículos comerciais tipo 2C/dia.

Os valores dos pesos por conjunto de eixos para a categoria de veículo analisada são apresentados na Tabela 7. A partir desses valores, determinaram-se os FEC que foram calculados de acordo com as expressões matemática adotadas pelo DNER (1998), apresentadas na Tabela 1.

Tabela 7: Pesos por conjunto de eixos para a categoria de veículo 2C - DNER (1998).

Categoria	Peso por conjunto de eixo (tf)			Fator de equivalência de carga		
	CE1	CE2	CE3	CE1	CE2	CE3
2C	6,0	10,0	---	0,278	3,289	---

O Fator de Veículo (FV) foi determinado a partir dos FEC calculados na Tabela 7. O  $FV_{\text{inicial}}$  é a soma dos FEC para cada conjunto de eixo da categoria de veículo em estudo. O conceito de Fator de Eixo (FE) não é usado neste caso. Este procedimento considerando o FV por categoria surgiu no Brasil a partir de QUEIRÓZ (1982) em adição ao procedimento até então adotado, que considerava o conceito de FV para a frota de veículos como um todo (SOUZA, 1966).

A partir do valor de  $FV_{inicial}$  e da porcentagem absoluta (100%) da categoria de veículo ( $P_{inicial}$ ) em estudo, obteve-se o FV da frota comercial pela Equação 6. Diante do exposto, chegou – se ao fator de veículo igual 3,567.

$$FV = \frac{\sum (P_{inicial} \cdot FV_{inicial})}{100} \quad (6)$$

Considerando uma taxa anual de crescimento linear de tráfego  $t = 3\%$ , um período de projeto  $P = 5$  anos, e o fator climático regional (FR) de 1,4, para altura média anual de chuva entre 800 e 1500 mm, de acordo com SENÇO (1997), fundamentado na precipitação média anual de 1.221 mm para a região de Viçosa-MG, encontrou-se um valor de  $N = 2,55 \cdot 10^5$  operações equivalentes do eixo padrão, de acordo com as Equações 7 e 8.

$$VDM_m = \frac{VDM_0 \cdot (2 + p \cdot t)}{2} \quad (7)$$

em que:  $VDM_m$  é o volume diário médio de tráfego, no ano médio do período de projeto (veículos/dia);  $VDM_0$  é o volume diário médio de tráfego no início do primeiro ano do período de projeto (veículos/dia);  $p$  é o período de projeto, em anos e  $t$  é a taxa anual de crescimento do tráfego, em porcentagem.

$$N = 365 \cdot VDM_m \cdot p \cdot FV \cdot FR \quad (8)$$

em que:  $N$  é o número de solicitações do eixo padrão;  $VDM_m$  é o volume diário médio de tráfego, no ano médio do período de projeto, em veículo/dia;  $p$  é o período de projeto, em anos;  $FV$  é o fator de veículo, isto é, o número que multiplicado pelo número de veículos que trafegam na via fornece diretamente o número de eixos equivalentes ao eixo padrão;  $FR$  é o fator climático regional, utilizado para considerar as variações de umidade às quais os materiais constituintes do pavimento estão sujeitos durante as estações do ano.

#### 4.6.2 Deflexão recuperável como resposta estrutural

Neste estudo, são apresentados valores de deflexões recuperáveis, determinadas pelo programa computacional ELSYM5, para situações típicas de carregamento, conforme mostra a Tabela 8.

Tabela 8: Valores de deflexões recuperáveis previstas no topo do subleito em função da carga por eixo e pressão de enchimento.

Pressão de enchimento kPa (PSI)	Carga por eixo (kN)		
	82	100	120
	Deflexões recuperáveis (0,01 mm)		
563 (80)	98,90	120,00	142,00
633 (90)	99,30	120,00	143,00
703 (100)	99,60	121,00	144,00

#### 4.6.3 Relações entre deflexões recuperáveis

Todos os valores de deflexão recuperável  $D_{ij}$  foram divididos por  $D_{pp} = 98,90$ , que é a medida da deflexão em 0,01 mm decorrente da combinação dos níveis-padrão dos fatores carga por eixo de 82,0 kN e pressão de enchimento de 563 kPa (80 psi). Os quocientes das referidas divisões foram elevados à potência de 5,959, conforme Equação 4, obtendo-se os FEC empírico-mecanísticos correspondentes às determinações do estudo.

A Tabela 9 apresenta os valores de FEC para cada combinação dos níveis de carga por eixo e pressão de enchimento dos pneus.

Tabela 9: Valores de FEC empírico-mecanísticos calculados.

Carga por eixo (kN)	Pressão de enchimento kPa (PSI)		
	563 (80)	633 (90)	703 (100)
	Fator de Equivalência de Carga (FEC)		
82	1,000	3,166	8,632
100	1,024	3,166	9,000
120	1,043	3,326	9,382

A Figura 1 ilustra a variação dos FEC em função da carga por eixo e da pressão de enchimento dos pneus.

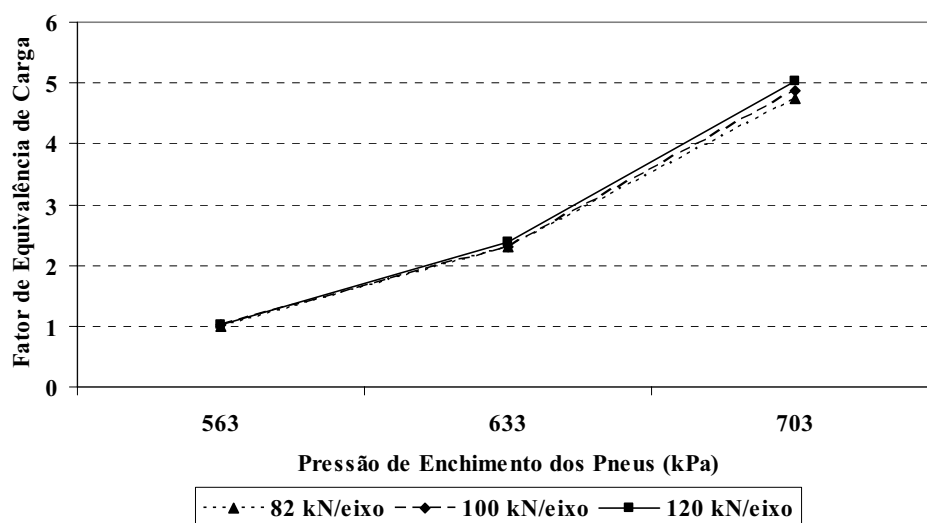


Figura 1: Variação dos FEC empírico-mecanísticos calculados.

Como parâmetro para comparação com a variação dos FEC empírico-mecanísticos, calculou-se outro conjunto de valores de FEC utilizando a relação  $\left(\frac{D_{ij}}{D_{pp}}\right)$  elevada ao expoente médio de 4,298, apresentado por PEREIRA (1992), oriundo do experimento da AASHTO para cargas por eixo de 80 a 120 kN, conforme apresentado na Tabela 10 e ilustrado na Figura 2.

Tabela 10: Valores de FEC empírico-mecanísticos da AASHTO segundo Pereira (1992).

Carga por eixo (kN)	Pressão de enchimento kPa (PSI)		
	563 (80)	633 (90)	703 (100)
	<b>Fator de Equivalência de Carga (FEC)</b>		
82	1,000	2,296	4,733
100	1,017	2,296	4,878
120	1,031	2,379	5,027

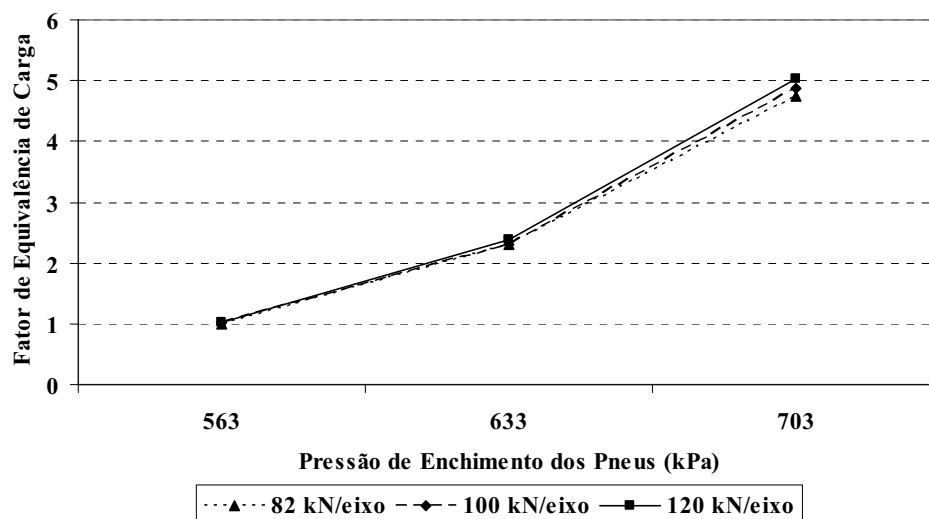


Figura 2: Variação dos FEC empírico-mecanísticos de acordo com Pereira (1992).

De acordo com Albano (2005), o parâmetro FEC tem sido largamente utilizado como medida de desempenho de pavimentos flexíveis porque, comparativamente, mede os efeitos que os excessos de carga por eixo provocam nestas estruturas. Nas duas situações apresentadas nas Tabelas 9 e 10, observa-se que quanto maior o nível da carga por eixo e da pressão de enchimento dos pneus, mais representativo é o efeito destrutivo ao pavimento em termos de deflexões recuperáveis.

Relacionando-se a deflexão recuperável a partir dos FEC, com a vida do pavimento, nas Tabelas 11 e 12 e nas Figuras 3 e 4 apresenta-se o desempenho do pavimento com base na evolução dos FEC e na redução da vida útil. As previsões de redução da vida útil da estrutura do pavimento (%) para os casos em estudo foram determinadas pela Equação 9.

$$RVU(\%) = 100 - \left( \frac{FEC_{pp}}{FEC_{ij}} \cdot 100 \right) \quad (9)$$

em que:  $RVU(\%)$  é a previsão de redução da vida útil da estrutura do pavimento, em porcentagem;  $FEC_{pp}$  é o fator de equivalência de cargas referente ao eixo padrão e  $FEC_{ij}$  é o fator de equivalência de cargas referente ao um eixo qualquer.

Tabela 11: Evolução dos FEC empírico-mecanísticos calculados e redução da vida útil do pavimento.

<b>Condições de carregamento (kN/eixo)</b>	<b>Pressão de enchimento kPa (psi)</b>	<b>FEC (Calculado)</b>	<b>Redução da vida útil (%)</b>
82 kN (Padrão)	563 (80)	1,000	0,00
100 kN (Máxima)	633 (90)	3,166	68,41
120 kN (Excesso)	703 (100)	9,382	89,34

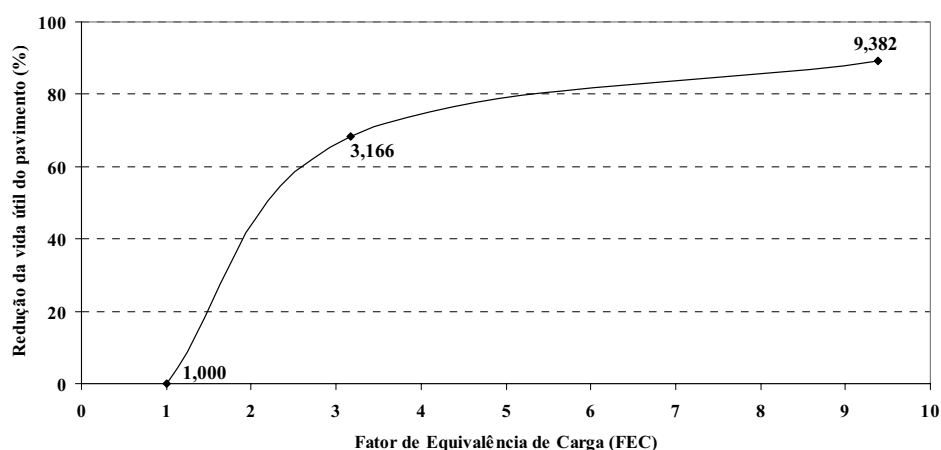


Figura 3: Redução percentual da vida útil do pavimento em função do FEC empírico-mecanístico.

A Tabela 12 apresenta um resumo da redução de vida útil prevista para a estrutura do pavimento estudado considerando-se os valores dos FEC empírico-mecanísticos calculados com o expoente médio 4,298 utilizado pela AASHTO, de acordo com PEREIRA (1992).

Tabela 12: Evolução dos FEC empírico-mecanísticos da AASHTO segundo PEREIRA (1992) e redução da vida útil do pavimento.

<b>Condições de carregamento (kN/eixo)</b>	<b>Pressão de enchimento kPa (psi)</b>	<b>FEC (AASHTO)</b>	<b>Redução da vida útil (%)</b>
82 kN (Padrão)	563 (80)	1,000	0,00
100 kN (Máxima)	633 (90)	2,296	56,45
120 kN (Excesso)	703 (100)	5,027	80,11

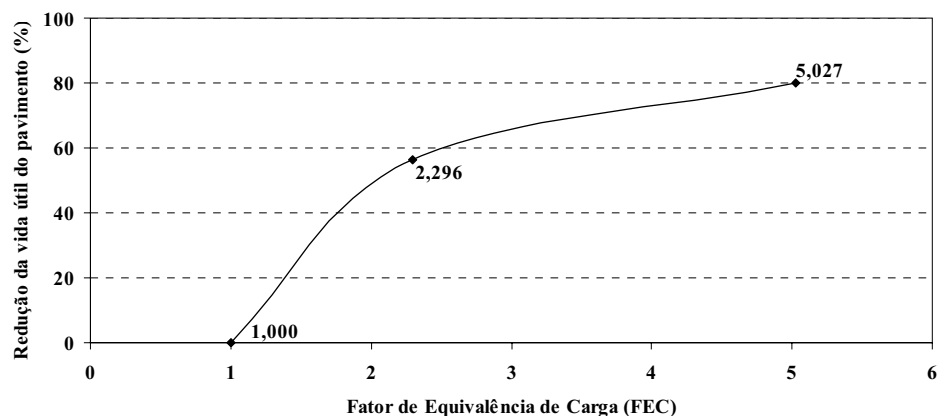


Figura 4: Redução percentual da vida útil do pavimento em função do FEC empírico-mecanístico da AASHTO, de acordo com PEREIRA (1992).

Adotou-se a variação do FEC como medida de previsão de vida útil da estrutura do pavimento. A metodologia desta análise está embasada nas considerações apresentadas por ALBANO (2005).

Considerando os FEC empírico-mecanísticos calculados, com o expoente  $b = 5,959$  na Equação 4, conforme apresentado na Tabela 11 e Figura 3, ao se passar de um  $N$  igual  $2,55 \times 10^5$  operações da carga por eixo padrão (carga por eixo igual a 82 kN e pressão de enchimento dos pneus igual a 533 kPa) para um  $N$  calculado com 100 kN de carga por eixo e pressão de enchimento dos pneus igual a 633 kPa (90 psi), a redução da vida útil prevista para o pavimento foi da ordem de 68,41%. Do ponto de vista teórico, a vida útil do pavimento diminuiria para 3,42 anos. A mesma análise é aplicada para os demais valores dos fatores de equivalência de carga (FEC) apresentados na Tabela 12 e Figura 4.

Para a estrutura do pavimento investigada neste trabalho, foram determinados os valores das deflexões recuperáveis no topo do subleito e a 20 cm de profundidade abaixo desta superfície, obtidas com o auxílio do programa ELSYM5, calculadas para eixo simples de roda simples com carregamentos de eixo apresentados nas Tabelas 13 e 14. Em seguida, foram obtidos em função das referidas deflexões elásticas os valores dos FEC, utilizando-se a Equação 4. Também, foram encontrados os FEC para os mesmos carregamentos a partir do ábaco contido no DNIT (2006) para eixo simples de roda simples. O propósito desta análise foi à determinação de valores do expoente  $b$  para a obtenção dos FECs oriundos do ábaco acima citado em função das deflexões recuperáveis superficiais e a 20 cm de profundidade da superfície do subleito, conforme consta nas Tabelas 15 e 16.

A Tabela 13 contém os valores das deflexões recuperáveis no topo do subleito (0,01 mm) em função da carga por eixo e pressão de enchimento dos pneus de 80 PSI ou 563 kPa.

Tabela 13: Valores de deflexões recuperáveis no topo do subleito (0,01 mm) em função da carga por eixo e pressão de enchimento dos pneus.

Pressão de enchimento kPa (PSI)	Carga por eixo (tf)				
	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
	Deflexões recuperáveis (0,01 mm)				
563 (80)	50,8	65,8	80,8	94,8	108,0

A Tabela 14 contém os valores das deflexões recuperáveis (0,01 mm) a 20 cm de profundidade da superfície do subleito, em função da carga por eixo e pressão de enchimento dos pneus de 80 PSI ou 563 kPa.

Tabela 14: Valores de deflexões recuperáveis (0,01 mm) a 20 cm de profundidade abaixo da superfície do subleito em função da carga por eixo e pressão de enchimento dos pneus

Pressão de enchimento kPa (PSI)	Carga por eixo (tf)				
	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
	Deflexões recuperáveis (0,01 mm)				
563 (80)	28,8	37,8	47,2	56,2	65,2

As Tabelas 15 e 16 apresentam os valores dos FEC empírico-mecanísticos calculados com o emprego da Equação 4 e da utilização do ábaco do DNIT (2006). Também, os valores dos expoentes para obtenção dos valores dos FEC (DNIT) em função das deflexões superficiais e a 20 cm de profundidade da superfície do subleito.

O expoente para a determinação do FEC (DNIT) pela Equação 4, foi determinado pela Equação 10.

$$Exp.FEC(DNIT) = \frac{\ln(FEC_{ij})}{\ln\left(\frac{D_{ij}}{D_{pp}}\right)} \quad (10)$$

em que:  $\text{Exp.FEC(DNIT)}$  é o expoente estimado para a Equação 4, em função do valor do FEC obtido do ábaco do (DNIT, 2006);  $\ln(\text{FEC}_{ij})$  é o logaritmo neperiano do valor do FEC obtido do ábaco do (DNIT, 2006) e  $\ln(D_{ij}/D_{pp})$  é o logaritmo neperiano da razão entre a deflexão recuperável referente a um eixo qualquer e a deflexão recuperável referente ao eixo padrão.

Tabela 15: Valores de FEC calculados e obtidos do ábaco do DNIT (2006) e da Equação 4 em função das deflexões recuperáveis no topo do subleito.

<b>Carga/eixo (tf)</b>	<b>FEC Calculado</b>	<b>FEC (DNIT)</b>	<b>Expoente para obter FEC (DNIT)</b>
3,0	0,019	0,015	5,950
4,0	0,088	0,035	5,971
5,0	0,299	0,150	5,975
6,0	0,777	0,250	5,957
7,0	1,689	0,550	5,956

Tabela 16: Valores de FEC calculados e obtidos do ábaco do DNIT (2006) e da Equação 4 em função das deflexões recuperáveis a 20 cm de profundidade da superfície do subleito.

<b>Carga/eixo (tf)</b>	<b>FEC Calculado</b>	<b>FEC (DNIT)</b>	<b>Expoente para obter FEC (DNIT)</b>
3,0	0,006	0,015	5,867
4,0	0,028	0,035	5,959
5,0	0,105	0,150	3,290
6,0	0,297	0,250	1,488
7,0	0,720	0,550	5,973

Para a determinação dos valores dos FEC (DNIT, 2006) para eixo simples de roda simples, em função das deflexões recuperáveis superficiais, o valor médio do expoente  $b$ , da Tabela 15, contido na Equação 4 para esta análise foi de 5,962, muito próximo do valor apresentado na equação original. Esta análise mostrou que, para eixo simples de roda simples os valores dos FEC (DNIT, 2006) encontrados em função das deflexões recuperáveis e do carregamento de eixo são muito próximos. Assim, se a estrutura do pavimento estiver trabalhando num regime elástico linear, os FEC podem ser determinados tanto por uma análise mecanicista quanto pelos ábacos do DNIT (2006).

Já para os valores dos FEC (DNIT, 2006) para eixo simples de roda simples, em função das deflexões recuperáveis a 20 cm de profundidade da superfície do subleito, o valor médio do expoente b encontrado utilizando-se a Equação 4 foi de 4,515. Com este expoente, os valores dos FEC se aproximam mais dos oriundos do experimento da AASHTO como citado por PEREIRA (1992).

#### 4.6.4 Tensões verticais na superfície do subleito

Neste trabalho, realizou-se ainda um estudo das tensões verticais atuantes na superfície do subleito. Para a estrutura e parâmetros de deformabilidade contidos nas Tabelas 5 e 6 e carregamentos apresentados na Tabela 8, foram obtidas as tensões verticais na superfície do subleito através do programa computacional ELSYM5, cujos valores encontram-se reproduzidos na Tabela 17. Calculou-se a tensão vertical admissível no subleito, pela Equação 11 estabelecida em 1962 por Heukelom e Klomp.

$$\sigma_{v_{adm}} = \frac{0,006 \cdot M_R}{1 + 0,7 \cdot \log N} \quad (11)$$

em que:  $\sigma_{v_{adm}}$  é tensão vertical admissível no topo do subleito;  $M_R$  é módulo de resiliência do subleito em  $\text{kgf/cm}^2$  e N é o número de aplicações de carga.

Aplicando-se a Equação 9, para um valor de módulo de resiliência de  $600 \text{ kgf/cm}^2$  obtido pela Equação 5 e para um valor de N igual a  $2,55 \times 10^5$  solicitações do eixo padrão, obteve-se um valor de tensão vertical admissível ( $\sigma_{v_{adm}}$ ) no topo do subleito de 78,3 kPa.

Tabela 17: Valores das tensões verticais previstas no topo do subleito para espessura da melhoria do subleito de 0,20 m.

Condições de carregamento (kN/eixo)	Pressão de enchimento kPa (psi)	Tensão vertical no topo do subleito (kPa)
82 kN (Padrão)	563 (80)	167
100 kN (Máxima)	633 (90)	200
120 kN (Excesso)	703 (100)	235

Analisando-se os valores da tensão vertical no topo do subleito apresentados na Tabela 17, observa-se que todos os valores superaram a tensão vertical admissível. Isto evidencia que a espessura do revestimento primário com a rigidez que lhe foi conferida é insuficiente para suportar a carga do tráfego. Outra análise que, ainda, se realizou, consistiu em se determinar qual deveria ser a rigidez da camada do revestimento primário para atender à tensão vertical admissível no topo do subleito, preservando-se a sua espessura de 20 cm, determinando-se o módulo de elasticidade de 7.500 kgf/cm<sup>2</sup> para a referida camada. Sendo que, este é um valor difícil de ser alcançado, salvo o emprego de técnicas de estabilização química de solos, por exemplo.

A Tabela 18 contém os resultados das tensões verticais no topo do subleito para uma espessura da camada do revestimento primário de 40 cm.

Tabela 18: Valores das tensões verticais previstas no topo do subleito para espessura da melhoria do subleito de 0,40 m.

<b>Condições de carregamento (kN/eixo)</b>	<b>Pressão de enchimento kPa (psi)</b>	<b>Tensão vertical no topo do subleito (kPa)</b>
82 kN (Padrão)	563 (80)	69
100 kN (Máxima)	633 (90)	84
120 kN (Excesso)	703 (100)	100

Analisando-se os resultados contidos na Tabela 18, observa-se que com o aumento da espessura da camada de revestimento primário, as tensões verticais no topo do subleito reduziram consideravelmente. Para o eixo padrão, a tensão vertical prevista no topo do subleito foi menor do que a tensão admissível. Para os demais carregamentos, as tensões verticais superaram a admissível.

Se fosse utilizado o método empírico do DNIT (2006) para o dimensionamento de pavimentos flexíveis, considerando-se os valores CBR contidos na Tabela 6 e um  $N = 2,55 \cdot 10^5$  operações equivalentes do eixo padrão, a espessura requerida para proteger o subleito quanto às deformações plásticas excessivas seria de 42 cm. Neste dimensionamento, considerou-se o material do revestimento primário como sendo granular de coeficiente de equivalência estrutural igual a 1. Assim, por este método, se a rigidez da camada do revestimento aumentasse, a sua espessura não sofreria alteração.

## 4.7 Conclusões

Confirmou-se, via análise da variação da máxima deflexão recuperável e dos FEC, que a carga por eixo representa um dos fatores mais importantes na deterioração do pavimento. A análise possibilitou também avaliar a influência da pressão de enchimento dos pneus no desempenho do pavimento estudado.

Utilizando-se FEC empírico-mecanísticos calculados pela Equação 4 e os derivados dos estudos da AASHTO, ambos apresentados por PEREIRA (1992), conclui-se que a avaliação com FEC decorrente do último sinaliza maior longevidade para o pavimento estudado. Como já se antevia para a condição mais crítica de carregamento que foi a carga por eixo de 120 kN e pressão de enchimento dos pneus de 703 kPa (100 psi), o FEC obtido pela Equação 4 foi extremamente significativo, ou seja, igual a 9,382. Para este valor, a vida útil da estrutura do pavimento analisado diminuiu 89,34% em relação à vida útil estimada com o FEC obtido com a carga padrão. Assim, teoricamente, a vida útil prevista para a estrutura do pavimento seria da ordem de 0,5 anos.

Na análise da determinação do FEC (DNIT, 2006) para eixo de simples de rodas duplas, em função das deflexões recuperáveis, conclui-se que o conhecimento do carregamento por eixo e da pressão de enchimento dos pneus da frota comercial que utiliza a via não pavimentada, representa com mais evidência a realidade das solicitações da estrutura do pavimento, do que simplesmente empregar informações sobre o volume médio diário de tráfego misto.

Em termos de dimensionamento da espessura da camada de revestimento primário (estrutura com duas camadas), tendo em vista os parâmetros de rigidez e deformabilidade adotados para a estrutura e carregamentos apresentados nas Tabelas 5 e 6, verifica-se que:

- quando se emprega o método empírico do DNIT (2006) para dimensionamento de pavimentos flexíveis, sendo a camada do revestimento primário granular, a sua espessura fica condicionada à rigidez do subleito. Em outras palavras, se o suporte do revestimento primário aumentar, não haverá alteração na espessura da referida camada, pois a mesma não deixará de ser granular, salvo alterações em sua estrutura via técnicas de estabilização química de solos ou mistura de outros materiais capazes de modificar a sua resistência à tração;
- pela teoria elástica, se houver ganhos de rigidez do revestimento primário, por exemplo, através do aumento da energia de compactação, a sua espessura tende

a diminuir, devido à redução da tensão vertical no topo do subleito. Assim, este método parece mais adequado para a finalidade pretendida.

A estabilização química dos materiais empregados (solo-agregado) na camada de melhoria ou reforço do subleito das estradas vicinais pode vir ser uma alternativa para se alcançar a resistência mecânica que o pavimento necessitará para suportar as solicitações do tráfego comercial. Uma vez que, pode-se alcançar camadas menos espessas que as determinadas pelo método de dimensionamento do DNIT (2006) para atender a mesma solicitação de tráfego.

#### **4.8 Agradecimentos**

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela concessão da bolsa de pesquisa ao primeiro autor e ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (DEC/UFV) pelo suporte computacional para a análise dos dados.

#### **Referências bibliográficas**

- ALBANO, J. F. **Efeitos dos excessos de carga sobre a durabilidade de pavimentos**. 2005. 211p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS.
- ALBANO, J. F. e LINDAU, L. A. Pressão e tipo de pneus na frota de veículos de carga. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 12, 1998, Fortaleza, **Anais...**Fortaleza: ANPET, 1998, v.1, p.100-107.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES - ANTT. **Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres**. Brasília – DF. 2005.
- BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**. 1ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2007. 558 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. **Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis – Procedimento A, DNER – PRO 010/79**. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes. v.1. 1979. 31p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. **Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis – Procedimento B, DNER – PRO 011/79**. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes. v.1. 1979. 16p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos, DNER-PRO 159/85**. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes, 1985. 85p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. **Coletânea de Normas. 8v. Determinação das deflexões no pavimento pela viga Benkelman: ME 24/94**. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes, v.1, 1994, 6p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. **Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos**. Rio de Janeiro: DNER – Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico, 1998, 108p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de Pavimentação**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 274 p. 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES – GEIPOT. **Relatório Intermediário: Resultados e análises preliminares – Pesquisa ICR**. Brasília, D.F, 1977.

FERNANDES JÚNIOR, J. L. **Investigação dos efeitos das solicitações do tráfego sobre o desempenho de pavimentos**. 1994. 313p. Tese (Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos – SP.

FERNANDES JÚNIOR, J. L.; PAIS, J. C. e PEREIRA, P. A. A. Avaliação dos efeitos das solicitações do tráfego sobre o desempenho de pavimentos flexíveis portugueses e brasileiros. **Revista Pavimentação**. Ano II / Março. p. 28-38. 2007.

KIM, O.; BELL, C. A. e WILSON, J. F. Effects of increased truck tire pressure on asphalt concrete pavement. **Journal of Transportation Engineering**, v. 115, n. 4, p.329-350, Jul. 1989.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Committee for the Truck Weight Study. **Weight limits: issues and options**. Washington D.C.: Transportation Research Board, 1990.

OGLESBY, C.H.; HICKS, R.G. **Gravel and Crushed Rock Roads: Stabilized Roads**. In: Highway Engineering. Fourth Edition. John Wiley & Sons, pp. 627-637. 1982.

PEREIRA, D. R. A. M. **Contribuição ao estudo de fatores de equivalência de cargas**. 1992. 204p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. São Paulo – SP.

PINTO, S.; PREUSSLER, E. **Pavimentação Rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Copiadora e Artes Ltda. 2001. 259p.

- QUEIRÓZ, C. A. V. *Performance prediction models for pavement management in Brasil*. PhD Dissertation. The University of Texas at Austin. 1981.
- QUEIRÓZ, C. A. V. Uma avaliação das conseqüências econômicas da restrição aos excessos de carga por eixo. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 17, 1982, Brasília. **Anais...**Brasília: ABPv, 1982.
- SCHMIDT, L. A. e CERATTI, J. A. P. Equivalência de cargas de eixos no projeto de restauração de pavimentos flexíveis – uma avaliação baseada em considerações deflectométricas. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 22, 1987, Maceió. **Anais...**Maceió:ABPv, 1987, v. 2, p.347-362.
- SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 1ª Ed. Vol. 1. São Paulo: Pini. 1997. 746p.
- SOUZA, M. L. de. **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1966.
- TIMM, D. h. e NEWCOMB, D. E. *Lies, damned lies and traffic forecasting, Hot Mix Asphalt Technology*. Edition of National Asphalt Pavement Association. Washington D.C. p. 14-21. jul/aug. 2002.
- TREYBIG, H. J e VON QUINTUS, H. L. *Equivalency factor analysis and prediction for triple axles* – Report BR2/1 – Austin. Research Engineers, Texas, 1976.
- TURNBULL, W. J.; FOSTER, C. R.; AHLVIN, R. G. *Design of flexible pavements considering mixed load and traffic volume*. International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements Proceedings. University of Michigan, Ann Arbor. Estados Unidos, 1962.
- YODER, E. J. e WITCZAK, M. W. *Principles of Pavement Design*. John Wiley & Sons, Inc. New York, Second Edition, 711p, 1975.

# 5

## ENSAIOS GEOTÉCNICOS FÍSICOS E MECÂNICOS PARA AVALIAÇÃO DE SUBLEITO DE RODOVIAS VICINAIS DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO

**Resumo** - Este artigo aborda a viabilidade técnica do uso de solos locais, preferencialmente os de comportamento geotécnico laterítico, em camadas de reforço do subleito de rodovias vicinais de baixo volume de tráfego, através de ensaios geotécnicos físicos e mecânicos e da classificação MCT (Miniatura, Compactado, Tropical). Para este propósito, consideraram-se amostras deformadas de solos coletadas no subleito das estradas VCS 493 e VCS 296, pertencente à malha rodoviária vicinal do município de Viçosa-MG. O programa de estudo de laboratório envolveu a realização dos seguintes ensaios: (i) granulometria conjunta; (ii) limites de Atterberg (LL e LP); (iii) massa específica dos grãos do solo; (iv) compactação e CBR realizados na energia do Proctor normal; (v) compactação Mini-MCV; e (vi) perda de massa do corpo-de-prova por imersão em água. Os resultados desta pesquisa possibilitaram verificar que os solos de comportamento laterítico foram enquadrados no grupo LG' na classificação MCT e que, mesmo apresentando valores de Limite de liquidez e Índice de plasticidade elevados, quando compactados na energia do Proctor normal e, conseqüentemente, imersos em água, não apresentaram expansão significativa no ensaio de CBR.

**Palavras-Chave:** Estradas não pavimentadas; Solos; Reforço de subleito

## GEOTECHNICAL MECHANICAL AND PHYSICAL TESTING FOR EVALUATION OF SUBGRADE OF LOW VOLUME OF TRAFFIC VICINAL ROADS

***Abstract** – This paper addresses the technical feasibility of using local soils, preferably the behavior of geotechnical lateritic in layers of reinforcement of subgrade of low volume of traffic vicinal roads through physical and mechanical geotechnical testing and rating MCT (Miniature, Compacted, Tropical). For this purpose, considered to be deformed samples of soil collected in subleito of roads VCS 493 and VCS 296, belonging to the vicinal roads network in the municipal district of Viçosa-MG. The laboratory testing program encompassed: (i) grain-size distribution; (ii) Atterberg limits (LL and PL); (iii) unit weight of solid mater; (iv) compaction and CBR in the*

*energy of standard Proctor; (v) mini-MCV compaction; and (vi) specimen loss of weight via water immersion. The results have enabled found that the soils of behavior lateritic were framed in the classification in the MCT group LG 'and that even with values of limit liquidity and high plasticity index, when compressed in the energy of standard Proctor and, consequently, immersed in water, showed no significant expansion in the testing of CBR.*

**Keywords: Unpaved Roads; soils; Reinforcement of subgrade**

## **5.1 Introdução**

Em sua grande maioria, no estado de Minas Gerais as rodovias municipais interligam os pólos agropecuários do interior do estado a rodovias estaduais e federais pavimentadas, escoando as produções agropecuárias e abastecendo os grandes centros consumidores. De acordo com ANTT (2005), no estado de Minas Gerais 87,64% das rodovias municipais ainda se encontram em leito natural.

Segundo Charman (1988) *apud* D'ÁVILA (1996), as estradas não pavimentadas constituem área do conhecimento em que muito pouca tecnologia formal foi desenvolvida. Praticamente a totalidade das especificações técnicas existentes para revestimento primário para este tipo de estrada se fundamenta nos ensaios tradicionais de classificação de solos: análise granulométrica e limite de Atterberg.

O baixo volume de tráfego da maioria das rodovias vicinais repercute de maneira positiva porque condiciona uma estrutura de pavimento mais econômica. Entretanto o método de dimensionamento tradicionalmente utilizado no Brasil (DNIT, 2006), estabelecido na década de 1960, não se mostra uma ferramenta adequada para o dimensionamento de pavimentos flexíveis de baixo volume de tráfego, pois ao se empregar este método, incorre-se numa extrapolação das dimensões das camadas do pavimento, que pode conduzir a estruturas pouco econômicas. Por outro lado, na maioria das vezes não possibilita a utilização de materiais locais que apresentam bom comportamento mecânico, diferentemente da metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) que pode ser empregado atualmente para a seleção de materiais locais, que poderia reduzir os custos de pavimentação das referidas vias.

De acordo com Thuler (2005), a utilização de solos de comportamento laterítico em bases de pavimentos de baixo volume de tráfego já está consagrada em vários estados do Brasil, principalmente no estado de São Paulo, apesar destes materiais não atenderem às especificações do método de dimensionamento do DNIT. Sabe-se que a

necessidade de melhor se classificar os solos tropicais levou ao desenvolvimento da metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) por NOGAMI e VILLIBOR (1995), baseados em pesquisa de laboratório e de campo realizados a partir do início da década de 70. Essa metodologia classifica os solos em grupos de comportamento laterítico e não-laterítico. No município de Viçosa-MG várias ocorrências de solos podem apresentar comportamento laterítico sob os critérios da metodologia MCT, conforme estudos de AZEVEDO (1999).

Diante deste contexto, busca-se nesta pesquisa avaliar, através de ensaios geotécnicos físicos e mecânicos, a viabilidade técnica do uso de solos locais, preferencialmente de comportamento laterítico, em camadas de reforço do subleito de rodovias vicinais de baixo volume de tráfego. Para este fim, foram selecionadas, para este estudo, no município de Viçosa-MG duas rodovias não pavimentadas de baixo volume de tráfego. Essas rodovias, além de atenderem a pequenas comunidades e propriedades rurais, apresentam características comuns como: plataforma de terraplenagem pequena (5 a 8 metros), pontos sinuosos com curvas de raio pequeno, deficiência de drenagens superficial e profunda.

## **5.2 Solos de regiões tropicais e subtropicais**

Segundo Nogami e Villibor (1995), solos tropicais podem ser definidos como sendo aqueles que apresentam peculiaridades de propriedades e de comportamentos decorrentes de processos geológicos e/ou pedológicos típicos de regiões tropicais e subtropicais úmidas.

Solos tropicais são tratados normalmente, pela engenharia, como solos residuais. No caso dos solos saprolíticos isso é uma verdade. Contudo, os solos lateríticos geralmente apresentam certo transporte, evidenciando-se a importância dos conhecimentos pedológicos para não estimar erroneamente a origem dos mesmos com relação ao seu substrato geológico. Os minerais primários, nos solos lateríticos, em decorrência do intemperismo, já desapareceram, restando apenas os mais resistentes (NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

Classicamente o termo residual é atribuído a todo solo derivado do intemperismo *in situ* de uma rocha, e que não foi removido do seu local de origem por algum agente transportador como água, vento ou a ação da gravidade. Não existe uma terminologia consensual para descrever as várias classes de solos residuais (BERNARDES, 2003).

A decomposição e a desintegração da rocha nos processos intempéricos, em regiões tropicais e subtropicais, têm características próprias, onde o intemperismo químico é intenso, ocasionando a decomposição dos silicatos. A abundância de chuvas e altas temperaturas possibilitam e aceleram os processos de lixiviação destes elementos através da hidrólise, levando à formação de argilas e concentrações de óxidos de ferro e alumínio (DAVISON DIAS, 1988). Estes processos conduzem à formação do horizonte B evoluído, que em alguns casos é denominado laterítico ou residual maduro, ou de horizonte C menos evoluído, que mantém a estrutura e minerais primários da rocha-mãe, denominado saprolítico ou residual jovem. A pedologia denomina estes solos, respectivamente, como horizonte B, latossólico ou textural e como horizonte C (horizonte saprolítico).

Solos lateríticos são solos bem intemperizados, característicos de áreas bem drenadas, que ocupam as camadas mais superficiais. Apresentam coloração em que predominam as matizes vermelho e amarelo, com uma macroestrutura aparente homogênea e isotrópica. Sua constituição mineralógica é caracterizada pela presença de quartzo e de outros minerais com resistência mecânica e química (magnetita, ilmenita, turmalina, zircão) na fração areia. A fração argila é constituída de argilominerais, geralmente a caulinita, e óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (COZZOLINO e NOGAMI, 1993).

De acordo com Nogami e Villibor (1995), os solos saprolíticos (Horizonte C) são originados da decomposição e/ou desagregação de uma rocha consolidada e, em condições naturais, constituem camadas subjacentes às lateríticas. Sua macroestrutura se caracteriza pela heterogeneidade e anisotropia, geralmente com cores variadas, manchas e mosqueamentos herdados da rocha matriz ou desenvolvidos pelo intemperismo. Apresentam uma composição mineralógica muito variada, que depende do tipo de rocha matriz e do seu grau de intemperização. Na fração areia, podem ocorrer minerais como mica e feldspatos e, na fração argila, minerais expansivos da família das ilitas e das montmorilonitas. A fração silte pode apresentar uma mineralogia muito variada e peculiar, como macrocristais de caulinitas e micas, que podem impor comportamento peculiar a estes solos (COZZOLINO e NOGAMI, 1993).

Ao contrário de solos lateríticos, onde predominam os efeitos dos processos pedogenéticos, a influência do material de origem é bastante pronunciada nos solos saprolíticos. Contudo, à medida que o grau de intemperismo aumenta, o material de origem passa a ter pouca ou nenhuma influência sobre o comportamento de solos residuais formados (TOWNSEND, 1985). Assim, o índice de vazios dos solos

saprolíticos é dependente da textura da rocha de origem e do processo isovolumétrico de alteração e substituição pseudomórfica dos minerais primários da rocha. A preservação da estrutura original da rocha permite que os solos saprolíticos tenham índices de vazios elevados (PERAÇA, 2007).

### 5.3 Material e métodos

#### 5.3.1 Área de estudo

O município de Viçosa, com uma área de 300,2 km<sup>2</sup>, está localizado ao norte da Zona da Mata do estado de Minas Gerais, a 229 km de Belo Horizonte, Brasil, entre as latitudes 20° 41' 20" S a 20° 49' 35" S e as longitudes 42° 49' 36" W a 42° 54' 27" W, a uma altitude média de 650 m. Limita-se ao norte com os municípios de Teixeira e Guaraciaba, ao sul com Paula Cândido e Coimbra, a leste com Cajuri e São Miguel do Anta e a oeste com o município de Porto Firme (IBGE, 2008), conforme se apresenta na Figura 1.

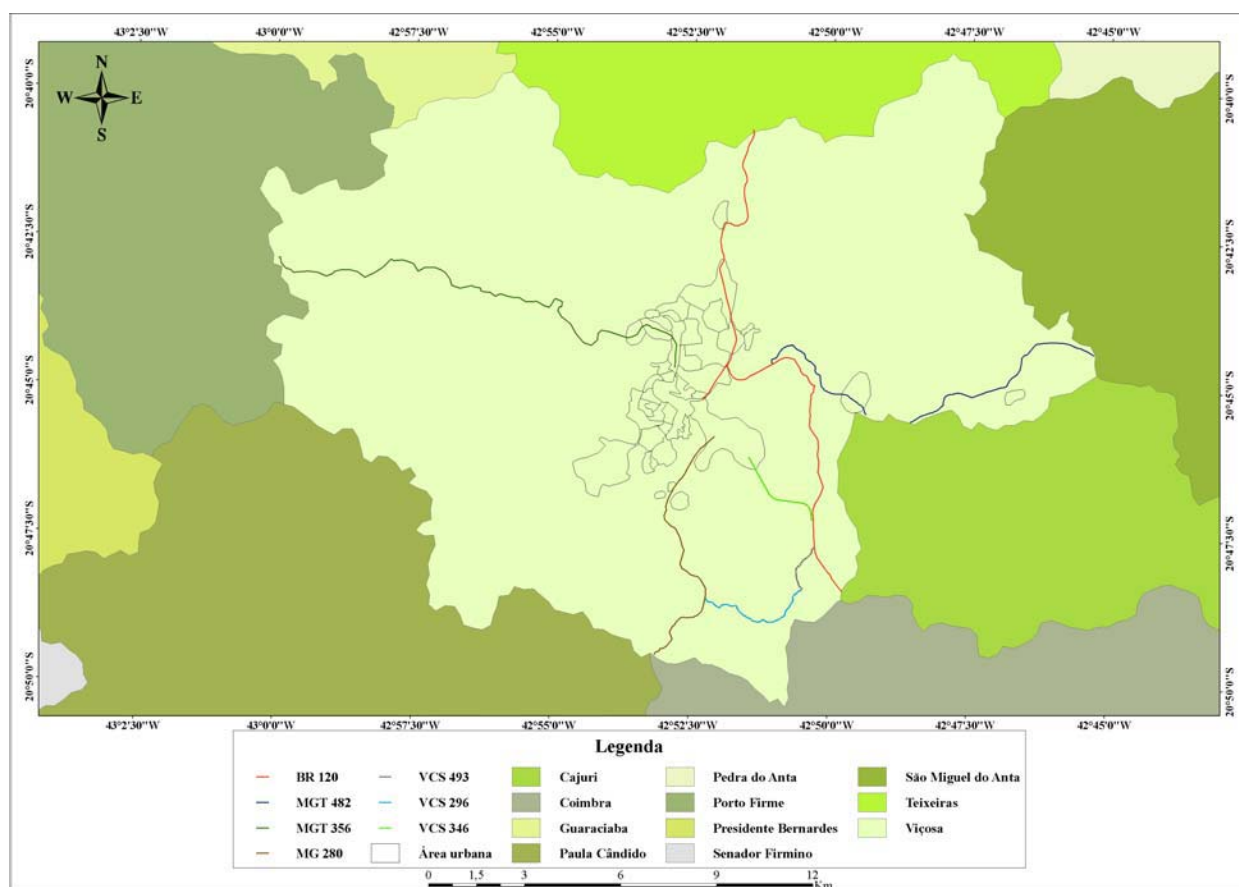


Figura 1: Localização das estradas vicinais VCS 493 e VCS 296 no município de Viçosa-MG

### 5.3.2 Solos

As amostras deformadas de solo utilizadas nesta pesquisa, em número de quatorze, foram coletadas no subleito das estradas vicinais não pavimentadas VCS 493 e VCS 296, localizadas na área rural do município de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. De cada ponto de coleta, extraíram-se aproximadamente 40 kg de solo, em profundidades variando na faixa de 60 a 80 cm. A Figura 2 apresenta duas amostras de solos coletadas nas estacas 15 + 00 e 41 + 00, respectivamente das estradas vicinais não pavimentadas VCS 493 e VCS 296.



Figura 2a: Amostra deformada de solo coletada na Est. 15 + 00 da VCS 493



Figura 2b: Amostra deformada de solo coletada na Est. 41 + 00 da VCS 296

### 5.3.3 Métodos

Inicialmente, as amostras de solos foram secas ao ar, destorroadas, passadas na peneira #4 (4,8 mm), acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas, para serem empregadas em vários ensaios geotécnicos.

#### 5.3.3.1 Ensaios de caracterização geotécnica

Os ensaios geotécnicos para a caracterização tradicional das amostras foram os que seguem: granulometria conjunta (ABNT, 1984a), limites de Atterberg (ABNT, 1984b) e (ABNT, 1994) e massa específica dos grãos do solo (ABNT, 1984c). A Figura 3 apresenta o ensaio de granulometria conjunta e massa específica dos grãos do solo realizado para amostras de solos deformadas coletadas nas estradas vicinais não pavimentadas VCS 493 e VCS 296.



Figura 3a: Ensaio de granulometria conjunta das amostras de solos coletadas nas rodovias vicinais não pavimentadas VCS 493 e VCS 296



Figura 3b: Ensaio de massa específica dos grãos do solo das amostras de solos coletadas nas rodovias vicinais não pavimentadas VCS 493 e VCS 296

### 5.3.3.2 Ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia (CBR)

Os ensaios de compactação foram realizados na energia do ensaio Proctor Normal, segundo a metodologia descrita na (ABNT, 1986), para fins de determinação do peso específico aparente seco máximo ( $\gamma_{dm\acute{a}x}$ ) e da umidade ótima ( $W_{ot}$ ) em solos no estado natural. Definidos os parâmetros ótimos de compactação, determinaram-se os valores dos parâmetros CBR e expansão das amostras de solo analisadas, de acordo com (DNER, 1994a).

### 5.3.3.3 Classificação MCT

As amostras de solo referenciadas anteriormente também foram identificadas, segundo a Metodologia MCT. Para isto, realizaram-se os ensaios de Mini-MCV e perda de massa por imersão, conforme os procedimentos prescritos em (DNER, 1994b), com necessárias consultas complementares à (DNER, 1994c), (DNER, 1994d), (DNER, 1994e) e (DNER, 1994f).

#### 5.3.3.3.1 Ensaio de compactação Mini-MCV e moldagem dos corpos-de-prova

As amostras utilizadas neste ensaio foram passadas na peneira #10 (2,0 mm). O ensaio Mini-MCV consiste, basicamente, da compactação de corpos-de-prova em dimensões reduzidas (diâmetro de 50 mm) em energias variáveis, até alcançar a

exsudação ou o número de 256 golpes. É executado com energia de compactação variável e massa úmida de solo constante, obedecendo-se às seguintes etapas: (i) pesagem de, no mínimo, 5 porções de solo, cada uma com 1 kg, e armazenamento destas em sacos plásticos, com posterior adição de água, de modo a se obter teores de umidade crescentes, mantendo-se as porções fechadas em embalagens plásticas até o início do processo de compactação; (ii) pesagem de 200 g de solo para cada teor de umidade, iniciando-se o processo de compactação pelo ponto mais úmido; (iii) aplicação de números sucessivos de golpes, medindo-se as alturas dos corpos-de-prova a cada 4n golpes; (iv) encerramento do processo de compactação quando a diferença de altura ( $A_n - A_{4n}$ ) for menor que 0,1 mm, quando ocorrer exsudação ou quando o número de golpes totalizar 256; (v) repete-se a seqüência de (i) a (iv), para outros teores de umidade.

Para cada amostra analisada foram confeccionados cinco corpos-de-prova compactados dinamicamente, para diversos números de golpes, com uma variação de umidade em torno de 2% para cada corpo-de-prova, sendo que estes foram compactados na ordem do mais úmido para o mais seco.

#### **5.3.3.2 Ensaio de perda de massa por imersão**

Após a compactação Mini-MCV dos corpos-de-prova, os mesmos são preparados para a obtenção da perda de massa por imersão em água. O procedimento utilizado consistiu em promover a extrusão de cerca de 10 mm do corpo-de-prova do molde metálico, colocando-se em seguida o conjunto na posição horizontal dentro de um recipiente com água, com uma cápsula para a coleta do material desprendido da porção exposta do corpo-de-prova. Cada amostra foi deixada em imersão por um período de tempo em torno de 20 h, com uma lâmina de água de, aproximadamente, 1 cm acima da superfície externa do molde.

### **5.4 Resultados e discussão**

#### **5.4.1 Ensaio de caracterização geotécnica, compactação e CBR**

Os solos são identificados e classificados, comumente, em Mecânica dos Solos, sobretudo nos estudos preliminares ou nas obras de pequeno vulto, mediante a determinação de propriedades físicas via ensaios de granulometria e de limites de

Atterberg. A Tabela 1 apresenta as informações referentes à distribuição granulométrica (ABNT, 1995), os limites de Atterberg e índice de plasticidade, pesos específicos dos grãos das quatorze amostras de solos analisadas. As Tabelas 2 e 3 introduzem, respectivamente, os resultados dos ensaios de compactação e CBR das referidas amostras.

Tabela 1: Resultados dos ensaios geotécnicos: granulometria, limites de Atterberg e índice de plasticidade, peso específico dos grãos dos solos

	Propriedades analisadas	Amostras de solos													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Granulometria ABNT (%)	Argila ( $\phi \leq 0,002$ mm)	73	41	50	67	31	50	61	28	51	72	44	38	47	74
	Silte ( $0,002 < \phi \leq 0,06$ mm)	6	25	4	19	18	15	15	21	11	7	23	16	26	10
	Areia fina ( $0,06 < \phi \leq 0,2$ mm)	8	10	14	4	18	14	4	20	17	6	12	19	5	3
	Areia média ( $0,2 < \phi \leq 0,6$ mm)	12	23	31	9	29	20	17	28	20	14	20	23	16	11
	Areia grossa ( $0,6 < \phi \leq 2$ mm)	1	1	1	1	4	1	3	3	1	1	1	4	6	2
	Pedregulho ( $\phi > 2$ mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LL (%)	92	48	55	72	49	54	90	61	58	84	58	85	55	76
	LP (%)	42	31	32	37	26	31	52	21	35	43	30	36	36	37
	IP (%)	50	17	23	35	23	23	38	40	23	41	28	49	19	39
	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	28	27	28	27	27	28	27	25	27	27	28	28	27	28

Tabela 2: Parâmetros de compactação: umidade ótima e peso específico aparente seco máximo

<b>Parâmetros do Ensaio de Compactação</b>		
<b>Amostras de solos</b>	<b>Umidade ótima -</b>	<b>Peso específico aparente seco máximo -</b>
	<b>w<sub>ot</sub> (%)</b>	<b>γ<sub>dmáx</sub> (kN/m<sup>3</sup>)</b>
1	31,92	14,27
2	21,79	16,37
3	19,37	17,12
4	29,20	14,14
5	21,34	16,17
6	30,00	14,05
7	39,09	12,54
8	30,56	14,16
9	28,19	14,24
10	30,08	14,32
11	28,00	14,47
12	25,90	15,20
13	30,16	14,49
14	31,16	13,66

Tabela 3 – CBR (%) e Expansão<sub>CBR</sub> das amostras analisadas

<b>Amostras de solos</b>	<b>CBR (%)</b>	<b>Expansão<sub>CBR</sub> (%)</b>
1	2,61	0,21
2	3,24	0,42
3	4,92	0,30
4	8,16	0,78
5	4,92	0,72
6	8,42	0,23
7	8,42	0,62
8	2,61	0,21
9	6,52	0,61
10	3,24	0,51
11	8,42	0,62
12	6,52	0,67
13	4,92	0,29
14	8,42	0,40

Os índices físicos limite de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP), ainda são utilizados para se avaliar a variação de volume dos solos compactados, bem como a variação do seu teor por secagem (contração) ou por imersão em água (expansão). A variação de volume excessiva, sobretudo das camadas subjacentes ou constituintes dos pavimentos, é comumente considerada como indesejável para o bom comportamento mecânico dos materiais empregados em camadas de pavimentos flexíveis. Para as finalidades rodoviárias, (DNIT, 2006) adota um máximo de 25% para Limite de liquidez e 6% para o Índice de plasticidade, para materiais empregados em camadas de base estabilizadas granulometricamente.

No entanto, NOGAMI e VILLIBOR (1995) baseados em experiências de laboratório e de campo relataram que os referidos índices possuem aplicações limitadas para os casos de solos e condições ambientais tropicais, o que pode ser verificado, nessa pesquisa, nos resultados de índice físicos e expansão das amostras analisadas, como consta na Tabela 1, em que se têm amostras de solos com LL elevados (acima de 50%), que expandem muito pouco, quando ensaiados nas condições presentes para a determinação dos valores de CBR de acordo com (DNER, 1994a). De acordo com os autores supracitados isso tem ocorrido em amostras de solos classificados

pedologicamente como latossolos e argissolos, que são solos representativos da área de estudo dessa pesquisa conforme estudos de AZEVEDO (1999).

#### 5.4.2 Classificação MCT

Na Tabela 4 encontram-se informações sobre as classificações das amostras apresentadas segundo a Metodologia MCT (NOGAMI e VILLIBOR, 1995) e a classificação pedológica vigente (SANTOS et al, 2006).

Tabela 4: Índices classificatórios e classificações das amostras selecionadas segundo a metodologia MCT e a pedologia

Amostras de solos	Índices classificatórios				Classificação MCT	Classificação pedológica
	c'	d'	Pi (%)	e'		
1	2,44	10,4	0	1,24	NG'	Saprolítico
2	3,11	22	82	1,29	NG'	Saprolítico
3	3,22	42,6	23	0,89	LG'	Saprolítico Latossolo
4	4,78	8,04	0	1,36	NG'	Vermelho - Amarelo
5	4,22	26	58	1,11	LG'	Saprolítico Argissolo
6	4,78	15,1	0	1,10	LG'	Vermelho - Amarelo Latossolo
7	3,56	5,8	0	1,51	NG'	Vermelho Amarelo
8	3,11	4,6	260	1,90	NG'	Saprolítico Argissolo
9	4,78	14	0	1,13	NG'	Vermelho - Amarelo
10	4,00	17,7	0	1,04	LG'	Saprolítico Latossolo
11	4,78	19,4	69	1,20	NG'	Vermelho - Amarelo

Tabela 4: Índices classificatórios e classificações das amostras selecionadas segundo a metodologia MCT e a pedologia. Continuação.

Amostras de solos	Índices classificatórios				Classificação MCT	Classificação pedológica
	c'	d'	Pi (%)	e'		
12	4,22	6,0	82	1,61	NG'	Latossolo Vermelho - Amarelo
13	4,22	85	69	0,97	LG'	Saprolítico Latossolo
14	4,22	20,5	0	0,99	LG'	Vermelho - Amarelo

A geologia do município de Viçosa-MG é constituída por rochas referentes ao Pré-Cambriano, compreendendo gnaisses diversos e migmatitos. Ao longo dos vales e das vias fluviais, aparecem os sedimentos quaternários, constituindo depósitos aluvionares de caráter argiloso, argilo-arenoso ou arenoso (IGA, 1976). Algumas das amostras de solo que foram classificadas pela metodologia MCT como pertencentes ao grupo NG' compreendem os saprolíticos argilosos. De acordo com Nogami e Villibor (1995), se classificam nesse grupo os solos superficiais pedogenéticos não lateríticos. Alguns trechos das estradas vicinais investigadas possuem o leito estradal bastante encaixados no terreno natural devido ao processo errôneo de conformação da plataforma por patrolamento excessivo, existindo pontos críticos que alcançaram o horizonte saprolítico, como mostra a Figura 4.



Figura 04: Trechos da estrada vicinal VCS 296 encaixados no terreno natural

As amostras de solos 1, 2, 3, 5, 8, 10 e 13 foram classificadas pedologicamente como saprolíticos possivelmente provenientes do gnaiss, mineralogicamente, na fração areia dessas amostras, foi possível constatar a presença de pseudomorfo de mineral micáceo, embora as amostras 3, 5, 10 e 13 tenham sido classificadas pela metodologia MCT com pertencentes ao grupo LG'. A presença desse mineral no solo, segundo Nogami e Villibor (1995) pode elevar o limite de liquidez, como constatado nos resultados apresentado na Tabela 1; causar a diminuição da massa específica aparente seca máxima quando compactado e elevar a umidade ótima de compactação, de acordo com o apresentado na Tabela 2, além da diminuição da capacidade de suporte, conforme valores apresentados na Tabela 3.

De acordo com Nogami e Villibor (1995) os integrantes mais freqüentes do grupo LG' da classificação MCT, do qual fazem parte algumas amostras, tais quais as amostras 6 e 14, têm sido as argilas e as argilas arenosas, que constituem o horizonte B dos solos conhecidos pedologicamente por latossolos e argissolos. A colapsibilidade em estado natural, por imersão em água, é uma propriedade freqüentemente observada nos solos desse grupo, sobretudo quando apresentam partículas bem desenvolvidas. Nessa condição, apresentam-se altamente permeáveis, apesar de serem granulometricamente argila, de acordo com análise e relato de AZEVEDO (1999).

## 5.5 Conclusões

Para este estudo as amostras de solo coletadas nos subleitos pertencentes ao horizonte B, em unidades pedológicas de maior ocorrência no município de Viçosa-

MG, apresentaram condições geotécnicas favoráveis, tais quais valores CBR e expansão CBR significativos para os solos pertencentes às classes pedológicas dos argissolos e latossolos, para serem utilizadas em pavimentos de rodovias de baixo volume tráfego de acordo com a classificação MCT e ensaios geotécnicos físicos e mecânicos.

Os solos de comportamento laterítico foram enquadrados pela metodologia MCT no grupo LG'. Esses solos mesmo possuindo elevados valores de LL e IP, quando compactados na energia do ensaio Proctor normal, e conseqüentemente, imersos em água não tiveram expansão CBR significativa.

Numa possível determinação de composições solo-agregado, em que o principal componente é um solo de comportamento laterítico, para utilização em camadas de pavimento, para a região de Viçosa é relevante considerar a natureza mineralógica micácea desses, visto que, esse mineral tem influência significativa sobre a resposta mecânica desses solos sob a ação das cargas rodoviárias, segundo NOGAMI e VILLIBOR (1995).

## **5.6 Agradecimentos**

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela concessão da bolsa de pesquisa ao primeiro autor e a Universidade Federal de Viçosa - UFV, através do Departamento de Engenharia Civil pelo suporte na coleta das amostras deformadas de solos e nos ensaios geotécnicos de laboratório.

## **Referências**

ABNT. **Análise Granulométrica, Solos, Método de Ensaio**, NBR 7181/84. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 15p. 1984a.

ABNT. **Solo, Determinação do Limite de Liquidez**, NBR 6459/84. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 6p. 1984b.

ABNT. **Solo, Determinação da Massa Específica Aparente**, NBR 6508/84. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 8p. 1984c.

ABNT. **Solo: ensaio de compactação – Procedimento**, NBR 7182/86. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 10p. 1986.

ABNT. **Solo, Determinação do Limite de Plasticidade**, NBR 7180/94. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 6p. 1994.

ABNT. **Rochas e Solos: Terminologia**, NBR 6502/95. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 18p. 1995.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES - ANTT. **Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres**. Brasília – DF. 2005.

AZEVEDO, M. A. A. **Contribuição ao Estudo Geotécnico de Solos de Viçosa-MG**. 1999. 169 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG.

BERNARDES, J. A. **Investigação sobre a resistência ao cisalhamento de um solo residual de gnaiss**. 2003. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS.

COZZOLINO, V. M. e NOGAMI, J. S. Classificação geotécnica MCT para solos tropicais. **Revista Solos e Rochas**. V. 16, nº 4, p. 77-91.

D'ÁVILA, A. L. M. **Bases de um sistema de gerência de estradas municipais do estado do Rio Grande do Sul**. 1996. 116p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil – Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos-SP.

DAVISON DIAS, R. Considerações sobre a resistência ao cisalhamento em solos superficiais parcialmente saturados baseadas na pedologia. In: Simpósio sobre Novos Conceitos em Ensaio de Campo e de Laboratório em Geotecnia, Rio de Janeiro. **Anais...**, v.1, p.213-226, 1988.

DNER. **Solos – determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas**, DNER – ME 049/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 14p. 1994a.

DNER. **Classificação de Solos Tropicais para Finalidades Rodoviárias Utilizando Corpos-de-prova Compactados em Equipamento Miniatura**, DNER – CLA 259/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 6p. 1994b.

DNER. **Coleta de Amostras Deformadas de Solos**, DNER – PRO 003/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 4p. 1994c.

DNER. **Compactação em Equipamento Miniatura, Solos, Método de Ensaio**, DNER – ME 228/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 14p. 1994d.

DNER. **Solos Compactados com Equipamento Miniatura – Determinação da Perda de Massa por Imersão, Solos, Método de Ensaio**, DNER – ME 256/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 6p. 1994e.

DNER. **Solos Compactados em Equipamento Miniatura – Mini-MCV, Solos, Métodos de Ensaio**, DNER – ME 258/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 14p. 1994f.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de Pavimentação**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 274 p. 2006.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Informações sobre a população**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br> >. 2002, acesso em 23 de maio de 2008.

IGA (Instituto de Geociências Aplicada). Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG. 295 p. 1976.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo: Villibor, 240p, 1995.

PERAÇA, V. **Qualificando solos para revestimentos primários de rodovias: uma abordagem baseada nas mecânicas dos solos e dos pavimentos**. 2007. 152p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. T. K.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBREIRAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306p. 2006.

THULER, R. B. **Estudo de solos do estado do Rio de Janeiro para aplicação em rodovias de baixo volume de tráfego**. 2005. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ.

TOWNSEND, F. C. Geotechnical characteristic of residual soils. **Journal of Geotechnical Engineering**. v. 111, nº 1, p. 77-94. 1985.

# 6

## SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA COMO SUPORTE À GERÊNCIA DE MANUTENÇÃO DE RODOVIAS VICINAIS NÃO PAVIMENTADAS

**Resumo** – Este artigo aborda a concepção de um modelo de sistema de gerência de manutenção – SGM, específico para rodovias não pavimentadas, contribuindo para o desenvolvimento de duas etapas. A primeira delas consistiu na adaptação de um método de avaliação da condição de serventia de estradas não pavimentadas, para ser utilizada em rodovias vicinais no município de Viçosa-MG. Para este fim, foi definido um Índice de Serventia Relativa por Trecho Viário (IST), utilizando-se níveis de severidade de defeitos comumente encontrados nessas vias. Na segunda etapa, todas as informações geradas no método apresentado foram armazenadas e processadas em um sistema de informação geográfica (SIG), com o objetivo de facilitar o manuseio, o processamento, a visualização e a análise dos dados coletados. A avaliação e a visualização de trechos viários em condições prioritárias de intervenção podem ser feitas, comprovando-se a eficácia do método como suporte para as atividades de manutenção. A partir deste estudo, presume-se que o referido método, com as devidas adaptações, venha a contribuir na formulação de sistemas de gerência de manutenção de rodovias vicinais de outras regiões brasileiras.

**Palavras-Chave:** Rodovias não pavimentadas; Método de análise de defeitos; Sistema de gerência de manutenção

### ***GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AS SUPPORT FOR MAINTENANCE MANAGEMENT OF UNPAVED VICINAL ROADS***

**Abstract** – *This paper addresses the design of a model management system of maintenance - MSM, specific to unpaved roads, contributing to the development of two stages. The first was the adaptation of a method for assessing the serviceability unpaved roads, to be used on vicinal roads in municipal district of Viçosa-MG. To this end, an index was defined road section serviceability index (RSI), using levels of severity of defects commonly found in these roads. In the second stage, all information generated in the proposed method were stored and processed in a geographic information system (GIS), to facilitate the handling, processing, visualization and analysis of data*

*collected. The evaluation and visualization of road sections under priority of intervention can be made, showing up the effectiveness of the method as a support for the activities of maintenance. From this study it is assumed that the method, mutatis mutandis, will contribute to the formulation of management systems for maintenance of roads neighborhood of other Brazilian regions.*

***Keywords: Unpaved vicinal roads; Method of analysis of defects; Management system for maintenance***

## **6.1 Introdução**

As estradas não pavimentadas constituem significativa parcela do total da rede rodoviária no Brasil, aproximadamente 1,45 milhões de quilômetros de extensão, de acordo com a ANTT (2005), e desempenham importante papel socioeconômico, visto que funcionam como vias de ligações para escoamento da produção do setor primário às rodovias pavimentadas, bem como o acesso às áreas urbanas.

Do ponto de vista político, observa-se que o repasse dos recursos estaduais e federais é limitado para atender às demandas sociais dos municípios. Por isso, a alocação desses recursos deve ser realizada racionalmente. Um sistema de gerência de manutenção (SGM) para rodovias não pavimentadas, com certeza, será de grande valia para a alocação dos mesmos.

Desta maneira, percebe-se que, para as administrações municipais atender satisfatoriamente às demandas relacionadas à manutenção das rodovias não pavimentadas, torna-se essencial a implantação de um sistema de gerência, em que sejam utilizados métodos otimizados para a análise da condição funcional e da priorização dos investimentos nas referidas vias.

Um dos ganhos que podem ser obtidos com o uso de um sistema de informação geográfica (SIG), em relação à forma tradicional de analisar a condição de serventia das rodovias vicinais não pavimentadas, é a redução da subjetividade. O SIG possibilita a tomada de decisões mais técnica e menos pessoal, sobre um banco de informações multidisciplinar.

Este estudo apresenta aspectos relativos à implementação de um sistema de informação geográfica na concepção de uma proposta de gerência para a manutenção de trechos da malha viária não pavimentada do município de Viçosa-MG. Esses aspectos são apresentados a partir de análises espaciais ocorridas num ambiente SIG, através de um projeto integrador, que possibilita trabalhar com bancos de dados externo e interno

ao sistema. A geração de informações em banco de dados externo ao SIG, e a posterior inclusão das mesmas ao sistema convencionou-se chamar na literatura técnica de vinculação fraca ou *loose - coupling*.

Diante do exposto, o objetivo desse estudo é apresentar um modelo de gerência para manutenção de rodovias não pavimentadas do município de Viçosa-MG, através do software SIG *ArcView 3.2*.

## **6.2 Concepção e implantação de um SGM para rodovias não pavimentadas**

O processo de concepção de um sistema de gerência de vias não pavimentadas é algo complexo, pela grande quantidade de informações multidisciplinares. Um SGM não toma decisões, mas auxilia o tomador de decisões. Dessa forma, todas as informações armazenadas devem ser coerentes com a realidade da região que abrange as vias inspecionadas, para a concepção de um modelo consistente.

A implantação de um SGM, na maioria das vezes, depara na resistência de mudança de padrões operacionais pré-estabelecidos pelas entidades gestoras das malhas rodoviárias. Assim, as principais etapas do processo de implantação de um SGM, de acordo com CORREIA (2003), são:

- a) conscientização e decisão da entidade gestora da malha rodoviária para implementar o SGM;
- b) composição de uma equipe técnica para as atividades de desenvolvimento e implantação do sistema;
- c) composição de uma equipe de coordenação do SGM, com autonomia sobre as decisões e coordenação das atividades e intervenções do SGM;
- d) organização e desenvolvimento do sistema, segundo os objetivos previamente definidos;
- e) aplicar o SGM recém criado, primordialmente, em pequena escala para a aferição de suas potencialidades;
- f) aperfeiçoamento e aplicação completa do SGM recém criado para toda a malha viária inspecionada.

## 6.3 Sistemas de informação geográfica

### 6.3.1 Introdução

Nos vários campos do conhecimento humano, faz-se necessário o emprego de conhecimentos geográficos ou espaciais no processo de tomada de decisão. Isso ocorre, por exemplo, desde atividades cotidianas como na análise logística de serviços de infraestrutura urbana, ou mesmo na gerência de recursos naturais da qual originou, ao final da década de 60, o primeiro sistema de informação geográfica, denominado *Canada Geographic Information System (CGIS)* (DEMERS, 1997).

Segundo Malczewski (1999), as definições sobre sistemas de informação geográfica baseiam-se em dois aspectos básicos do sistema: a tecnologia empregada e a forma de solucionar problemas. Neste contexto, sistemas de informação geográfica podem ser definidos como um conjunto de ferramentas que possibilitam a entrada, o armazenamento, a manipulação, a análise e a interpretação de dados espaciais (MARBLE et al, 1984). Também, conforme explanado por BROTON (1996), um SIG pode ser compreendido como um sistema de gerenciamento de dados computadorizado.

### 6.3.2 Principais características e funções

De uma forma geral, os sistemas de informações geográficas podem ser subdivididos em quatro subsistemas principais:

- a) **Subsistema de entrada de dados:** é responsável pelo processo de aquisição ou recebimento dos dados, reformatação, georreferenciamento, compilação e documentação dos dados recebidos. Esses dados podem ser de várias naturezas: mapas tradicionais a serem digitalizados, tabelas, gráficos, mapas digitais, fotos aéreas, imagens de satélites, levantamentos topográficos, coordenadas de um sistema de posicionamento global (GPS), dentre outros. Durante o processo de entrada de dados é fundamental que se tenha o cuidado de trabalhar com dados confiáveis para que não gerem informações imprecisas.
- b) **Subsistema de armazenamento e gerenciamento de dados:** é responsável pelo armazenamento, organização e chamada dos dados contidos no universo de estudo. A base de dados pode ser expandida, atualizada, recuperada e compartilhada por vários usuários. Dentre esses dados, distinguem-se as entidades geográficas e os objetos. Uma entidade geográfica representa um

elemento do mundo real, enquanto um objeto é uma representação, no SIG, de uma entidade geográfica. Dessa forma, os objetos que representam os dados espaciais, podem registrar a sua localização na forma gráfica por meio de um ponto, linha ou polígono. A estes objetos são relacionados atributos, que são dados não espaciais que descrevem as suas características (MALCZEWSKI, 1999).

- c) **Subsistema de análise e manipulação de dados:** neste subsistema os dados são manipulados para se obter informações úteis segundo o objetivo da aplicação. Nessa etapa, os objetos são tratados e definidos segundo seus atributos e vários métodos de reclassificação e as buscas de objetos são processadas. Dessa forma, pode-se identificar o que são pontos, linhas e polígonos representados em um mapa temático, como ocorre quando se precisam localizar trechos de rodovias não pavimentadas que demandam intervenções prioritárias de manutenção. Aqui, se processam funções fundamentais e avançadas, tais como: mensuração, para o cálculo associado a pontos, linhas, áreas e volumes (DANGERMOND, 1986).
- d) **Subsistema de saída de dados:** é o subsistema responsável pela interpretação dos dados, ou seja, o formato de saída das informações demandadas, que podem ser na forma de mapa, tabelas diagramas ou combinações de formatos. Em outras palavras, disponibilizar ao usuário os resultados da análise e processamento dos dados do sistema de informações geográficas, que podem ser exibidos, salvos em formato digital apropriado e impressos (DEMERS, 1997).

#### **6.4 Uso de SIG em rodovias não pavimentadas**

As estradas não pavimentadas necessitam de gerência de atividades de manutenção, de tal forma que haja um planejamento contínuo de manutenção e reabilitação da malha viária. Com a utilização desse sistema, criam-se perspectivas de soluções mais eficazes que possam garantir melhores condições de serventia aos seus usuários, mesmo sob influências climáticas adversas (MOREIRA, 2003).

A implementação de um SGM depende principalmente de três fatores: dados confiáveis, modelos realísticos para o processamento dos dados e programas amigáveis para a organização dos dados e apresentação dos resultados (BERTOLLO, 1997).

Bloser e Colbert (2003) relataram que sessenta e cinco municípios da Pensilvânia, nos Estados Unidos da América, adotaram como ferramenta para o gerenciamento e

administração de rodovias não pavimentadas o SIG *ArcView* 3.2. Foram classificados mais de 30.000 km de rodovias não pavimentadas em um período de seis meses, e a principal contribuição foi à identificação de 11.000 pontos de contaminação de ambientes e qualidade de água em córregos.

## 6.5 Material e Método

### 6.5.1 Área de estudo

O município de Viçosa, com uma área de 300,2 km<sup>2</sup>, está localizado ao norte da Zona da Mata do estado de Minas Gerais, a 229 km de Belo Horizonte, Brasil, entre as latitudes de 20° 41' 20" S a 20° 49' 35" S e as longitudes de 42° 49' 36" W a 42° 54' 27" W, a uma altitude média de 650 metros. Limita-se ao norte com os municípios de Teixeiras e Guaraciaba, ao sul com Paula Cândido e Coimbra, a leste com Cajuri e São Miguel do Anta e a oeste com o município de Porto Firme (IBGE, 2008), conforme mostra a Figura 1, que também apresenta as estradas vicinais VCS 346, VCS 296 e trecho viário da VCS 493, que são objetos deste estudo.

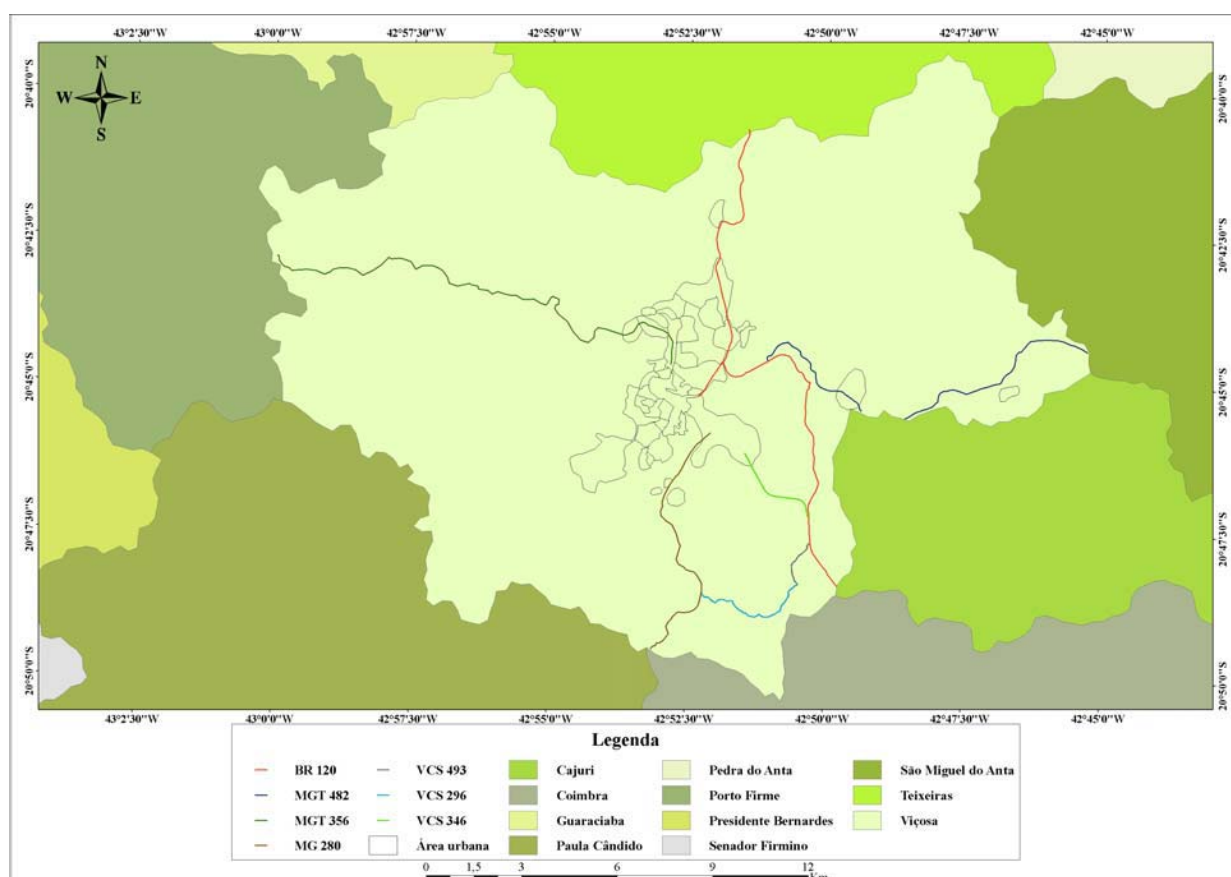


Figura 1: Localização do município de Viçosa – MG.

## **6.5.2 Descrição do material**

Para a realização deste trabalho foram utilizados equipamentos e programas computacionais, descritos a seguir:

### **6.5.2.1 Equipamentos**

- Computador tipo *notebook* com processador de 1,73 GHz, 1GB de memória RAM, HD de 120 GB, para o processamento dos dados no formato digital;
- Estação total eletrônica e GPS topográfico que foram utilizados nos levantamentos topográficos das rodovias vicinais inspecionadas, de acordo com os procedimentos prescritos na (ABNT, 1994).

### **6.5.2.2 Programas computacionais**

- Software Topograph 98 SE, para processamento dos dados topográficos coletados e definição dos traçados horizontais das rodovias vicinais levantadas;
- Software AutoCAD 2004, © Autodesk, Inc (1982 – 2003), para a divisão dos traçados horizontais das rodovias vicinais em trechos viários, de acordo com a marcação em campo;
- Software GIS ArcView 3.2a, © *Environmental System Research Institute, Inc.*, para a operacionalização de um modelo de gerência de manutenção de rodovias não pavimentadas.

## **6.5.3 Aplicação da metodologia em um estudo piloto**

Para aplicar esta metodologia, foram utilizadas as rodovias não pavimentadas VCS 346, trecho viário da VCS 493 e a VCS 296, localizadas no município de Viçosa - MG. Essas rodovias foram escolhidas por servir de artérias de ligação entre rodovias pavimentadas de circunscrição estadual e federal e pela proximidade ao campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), o que facilitou o transporte de pessoas e equipamentos para as finalidades do trabalho.

### **6.5.3.1 Descrição da metodologia**

#### **6.5.3.1.1 Introdução**

A apresentação da metodologia para um modelo de gerência de manutenção de rodovias não pavimentadas, com auxílio do software SIG ArcView 3.2, em função dos tipos de defeitos, de acordo com BAESSO e GONÇALVES (2003) e adaptação da metodologia de (CORREIA, 2003) à realidade das vias do município de Viçosa-MG, tem como principal propósito o estudo da condição de serventia de trechos viários de três rodovias não pavimentadas inspecionadas. Esta condição foi expressa através de um índice de serventia relativa por trecho viário (IST) que, por sua vez, tem como objetivo retratar a condição superficial do pavimento sob avaliação, para classificar em que condições se encontram as vias no momento do inventário dos defeitos e também definir uma escala de prioridades para as vias sujeitas a intervenções de manutenção. Esta condição está relacionada com a quantidade e o tipo de defeitos nos trechos das vias em consideração, servindo para diagnosticar quais delas necessitarão de manutenção urgente e, também, para o planejamento de intervenções a médio e longo prazos.

#### **6.5.3.1.2 Avaliação das condições de serventia das vias**

Para se fazer inventários de defeitos em estradas não pavimentadas existem vários procedimentos. Neste estudo, adotou-se um procedimento baseado em BAESSO e GONÇALVES (2003), considerando o seguinte cenário:

- necessidade de uma atualização periódica, a cada seis meses ou logo após um período de chuvas intensas, do banco de dados relativo aos defeitos da superfície de rolamento da rodovia;
- o defeito poeira não foi incorporado nesta avaliação, visto que seus níveis de severidade são atribuídos segundo um processo perceptivo visual, em que se busca estimar a altura da nuvem de poeira oriunda da passagem de um veículo em velocidade de aproximadamente 40 km/h;
- levantamento amostral preconizado dos defeitos.

Assim, com o intuito de facilitar a determinação do índice de serventia relativa por trecho viário (IST), a partir de adaptações à metodologia de CORREIA (2003) à

realidade das rodovias não pavimentadas do município de Viçosa-MG, adotou-se o procedimento para a caracterização dos defeitos presentes na superfície de rolamento das referidas vias, de acordo com BAESSO e GONÇALVES (2003). Esta avaliação foi feita percorrendo, a pé, as unidades amostrais dos trechos das rodovias não pavimentadas inspecionadas, e anotando-se em planilha elaborada para esse propósito, os valores das áreas das unidades amostrais abrangidas e o número de ocorrência dos defeitos, com os seus respectivos atributos de severidade, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Planilha de inventário de defeitos – características das unidades amostrais/unidade amostral 1 do trecho 1 da VCS 493.

Sigla da rodovia: VCS 493		Data: 12/06/08					
Trecho: 01		Comprimento da UA (m): 50					
Unidade amostral (UA): 01		Largura da UA (m): 5,40					
Condição climática: nublado		Inspetor: Taciano/Márcio					
Desenho da unidade amostral (UA)		Tipos de defeitos:					
Obs: Estaca 2 + 50m à Estaca 3 + 00, Seção em corte.		81** – Seção transversal imprópria (m)					
		82 – Drenagem inadequada (m)					
		83 – Corrugações (m <sup>2</sup> )					
		84 – Buracos (nº de ocorrências)					
		85 – Trilhas de roda (m <sup>2</sup> )					
		86 – Segregação de agregados (m)					
Quantidade de defeitos e severidade							
<b>Tipo de defeito</b>		<b>81</b>	<b>82</b>	<b>83</b>	<b>84</b>	<b>85</b>	<b>86</b>
<b>Quantidade e Severidade*</b>	<b>B</b>			-	15	32,2	100
	<b>M</b>	50		-			
	<b>A</b>		100	-			

\* Os atributos de severidade são os seguintes: B: Baixo, M: Médio e A: Alto.

\*\* Código de defeitos do método de EATON et al (1987).

Foram observados os tipos de defeitos listados a seguir:

- a) Seção transversal imprópria: uma rodovia não pavimentada deve ter sua seção transversal configurada com declividade transversal adequada, suficiente para escoar águas superficiais precipitadas no corpo da plataforma. Os níveis de severidade considerados por BAESSO e GONÇALVES (2003) para esse tipo de defeito são os seguintes:
  - Nível B (Baixo): a rodovia não apresenta qualquer declividade transversal;
  - Nível M (Médio): a seção transversal da rodovia apresenta forma parabólica;
  - Nível A (Alto): a rodovia contém severas depressões na pista.

O defeito seção transversal imprópria é medido em metros lineares (m) por unidade amostral, ao longo do eixo da rodovia ou paralelamente a este. Diferentes níveis de severidade podem existir em uma mesma unidade amostral.

b) Drenagem inadequada: a drenagem é um sério problema para estrada não pavimentada, quando os seus dispositivos não existem ou não estão funcionando adequadamente. Os níveis de severidade considerados por BAESSO e GONÇALVES (2003) para esse tipo de defeito são os seguintes:

- Nível B (Baixo): (i) baixas quantidades de poças de água ou (ii) evidência quanto à sua ocorrência nos dispositivos de drenagem, (iii) vegetação, detritos ou fragmentos de pedras depositados sobre os dispositivos de drenagem;

- Nível M (Médio): (i) moderada quantidade de poças de água ou (ii) evidências quanto à sua ocorrência nos dispositivos de drenagem, (iii) vegetação, detritos ou fragmentos de pedras depositados sobre os dispositivos de drenagem e, (iv) erosões nos dispositivos de drenagem;

- Nível A (Alto): (i) alta quantidade de poças de água ou (ii) evidências quanto à sua ocorrência nos dispositivos de drenagem, (iii) vegetação, detritos ou fragmentos de pedras depositados sobre os dispositivos de drenagem e, (iv) erosões nos dispositivos de drenagem, (v) água fluindo superficialmente à pista ou se infiltrando na plataforma.

O defeito drenagem é medido em metros lineares (m), paralelamente ao eixo da pista da rodovia. O comprimento máximo desse defeito é limitado ao dobro do comprimento da unidade amostral.

c) Corrugações: são depressões transversais à pista, ocorrendo em intervalos regulares de distância. De acordo com BAESSO e GONÇALVES (2003), estas ondulações perpendiculares à direção do tráfego causam muito desconforto ao usuário. Este tipo de defeito surge principalmente onde o trecho for encascalhado com material granular variando entre 5 e 10 mm sem ligante. O tráfego vai acumulando o material em ondulações transversais à estrada, causando significativa trepidação nos veículos (SANTOS et al, 1988). Os níveis de severidade considerados por BAESSO e GONÇALVES (2003) para esse tipo de defeito são os seguintes:

- Nível B (Baixo): as depressões oriundas das corrugações têm profundidade menor que 3,0 cm;
- Nível M (Médio): as depressões oriundas das corrugações têm profundidade entre 3,0 e 8,0 cm;
- Nível A (Alto): as depressões oriundas das corrugações têm profundidade maior que 8,0 cm.

As corrugações são medidas em metros quadrados ( $m^2$ ) para uma dada unidade amostral. A quantidade medida não poderá exceder à área da unidade amostral. Por exemplo, uma unidade amostral pode ter  $230 m^2$  com nível de severidade média e  $50 m^2$  com nível de severidade alta, de acordo com BAESSO e GONÇALVES (2003).

- d) Buracos: são depressões na superfície da rodovia que ocasionam a desintegração da pista pela perda dos materiais constituintes da camada. Os níveis de severidade desse defeito são baseados nas dimensões dos buracos e medidos em baixa, média e alta severidade por unidade amostral, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Níveis de severidade para o defeito buraco, de acordo com BAESSO e GONÇALVES (2003)

Profundidade (h) (cm)	Diâmetro médio ( $\Phi$ ) (m)			
	$\Phi \leq 0,30$	$0,30 < \Phi \leq 0,60$	$0,60 < \Phi \leq 0,90$	$\Phi > 0,90$
$1 \leq h < 5$	Baixo	Baixo	Médio	Médio
$5 \leq h \leq 10$	Baixo	Médio	Alto	Alto
$h > 10$	Médio	Alto	Alto	Alto

- e) Trilhas de roda: são depressões que ocorrem paralelamente ao eixo da pista. Caracteriza-se pela presença de deformações plásticas na estrutura e subleito da estrada, causada pela ação combinada do tráfego repetitivo e influências climáticas. O tipo de material existente no leito e subleito da estrada, bem como as suas condições de compactação exercem grande influência na amplitude das trilhas de roda. Os níveis de severidade considerados para esse tipo de defeito são os seguintes (BAESSO e GONÇALVES, 2003):

- Nível B (Baixo): trilha de roda com profundidade menor que 3,0 cm;
- Nível M (Médio): trilha de roda com profundidade entre 3,0 e 8,0 cm;
- Nível A (Alto): trilha de roda com profundidade superior a 8,0 cm.

Os defeitos trilhas de roda são medidos em metros quadrados ( $m^2$ ) de área em uma dada unidade amostral. Por exemplo, uma unidade amostral pode ter 240  $m^2$  com este tipo de defeito com severidade alta e 75  $m^2$  com nível de severidade baixa.

- f) Segregação de agregados: o tráfego intenso em rodovias não pavimentadas pode causar eventualmente a perda de agregados da superfície de rolamento. Como consequência, as frações desagregadas tendem a se concentrar paralelamente à direção do tráfego formando bermas no centro e ao longo das margens da pista (BAESSO e GONÇALVES, 2003). De acordo com esses autores, os níveis de severidade considerados para esse tipo de defeito são os seguintes:
- Nível B (Baixo): bermas de agregados com altura até 5,0 cm nas margens da pista ou nas áreas menos utilizadas pelo tráfego;
  - Nível M (Médio): bermas de agregados com altura entre 5,0 e 10,0 cm nas margens da pista ou nas áreas menos utilizadas pelo tráfego.
  - Nível A (Alto): bermas de agregados com alturas maiores que 10,0 cm nas margens da pista ou nas áreas menos utilizadas pelo tráfego.

O defeito segregação de agregados é medido em metros lineares (m) paralelamente ao eixo da rodovia em uma unidade amostral. Por exemplo, uma unidade amostral com 50 m de comprimento, pode possuir três bermas com média severidade, uma em cada margem da pista e outra no meio. Para a condição mencionada, a medida desse defeito é de 150 m com média severidade.

#### **6.5.3.1.3 Cálculo do índice de serventia relativa por trecho viário (IST)**

O índice de serventia relativa por trecho viário (IST) é calculado em função das características dos defeitos e dos impactos que os mesmos provocam sobre o estado da superfície de rolamento da via. Seu valor é obtido a partir da contribuição das unidades amostrais, representativas de trechos inspecionados.

As medidas dos defeitos nesta metodologia são baseadas em valores dedutíveis. O valor dedutível é um número de 0 (zero) a 3 (três), em que o valor zero significa que o

defeito não tem impacto na condição de serventia estrada ou que ele inexistente na unidade amostral e o valor três significa que a condição de serventia está completamente comprometida com o defeito. O cálculo do índice de serventia relativa por trecho viário (IST) é composto das seguintes etapas:

- a) definição dos trechos, com extensão variando entre 750 e 1000 m;
- b) definição das unidades amostrais, com extensão de 50 m, podendo ter pequenas variações em curvas;
- c) classificação dos defeitos quanto ao tipo e representações nas unidades amostrais;
- d) representação vetorial dos trechos inspecionados com os respectivos defeitos levantados nas suas respectivas unidades amostrais;
- e) mensuração dos defeitos no sistema de informação geográfica e a atribuição do fator de ponderação ( $f_p$ ), obtido de acordo com os atributos de severidades do tipo de defeito. Os atributos de severidade “Baixo”, “Médio” e “Alto” correspondem aos valores 1, 2 e 3, respectivamente;
- f) cálculo da densidade superficial relativa do defeito por unidade amostral ( $DSR_{def}$ ), que consiste no quociente entre área, extensão ou quantidade do tipo de defeito pela área da unidade amostral, conforme a Equação 1.

$$DSR_{def} = \frac{f_a}{A_{u.a}} \quad (1)$$

em que:  $DSR_{def}$  é a densidade superficial relativa do tipo de defeito na unidade amostral,  $f_a$  é a frequência absoluta do tipo de defeito na unidade amostral e  $A_{u.a}$  é o valor da área da unidade amostral em  $m^2$ ;

- g) determinado os valores de  $f_p$  e  $DSR_{def}$  para cada tipo de defeito, o produto entre eles consiste em um valor indicativo da severidade relativa da unidade amostral por defeito, e é expresso em valores com uma casa decimal, variando de 0,0 a 3,0, sendo denominado de índice de serventia da unidade amostral por tipo de defeito ( $ISU_{def}$ ), conforme ilustra a Equação 2.

$$ISU_{def} = f_p \cdot DSR_{def} \quad (2)$$

em que:  $ISU_{def}$  é o índice de serventia da unidade amostral por tipo de defeito,  $f_p$  é o fator de ponderação do atributo de severidade de cada defeito verificado na unidade

amostral e  $DSR_{def}$  é a densidade superficial relativa do tipo de defeito na unidade amostral.

- h) de posse dos valores do índice de serventia da unidade amostral por tipo de defeito ( $ISU_{def}$ ) determina-se o valor do índice de serventia relativa da unidade amostral, que será o quociente entre o somatório dos valores dos  $ISU_{def}$  por tipo de defeito e o número de tipos de defeitos verificados na unidade amostral, conforme a Equação 3.

$$ISU = \frac{\sum ISU_{def}}{n} \quad (3)$$

em que: ISU é o índice de serventia relativa por unidade amostral,  $\sum ISU_{def}$  é o somatório dos valores dos  $ISU_{def}$  da unidade amostral e n é o número de tipos de defeitos verificados na unidade amostral inspecionada.

- i) com os valores dos índices de serventia relativa das unidades amostrais (ISU), calcula-se os índices de serventia relativa por trecho viário (IST), de acordo com a Equação 4, e cujos atributos de classificação são apresentados na Tabela 3.

$$IST = \frac{ISU_{u.a.1} + ISU_{u.a.2}}{2} \quad (4)$$

em que: IST é o índice de serventia relativa por trecho viário e  $ISU_{u.a.1}$  e  $ISU_{u.a.2}$  são os índices de serventia relativa das unidades amostrais do trecho inspecionado.

Tabela 3: Classificação funcional de trechos viários de rodovias não pavimentadas em função do IST (CORREIA, 2003)

IST	Classificação	Cor representativa no SIG ArcView 3.2
0,0 – 0,1	Excelente	Verde
0,2 – 0,3	Bom	
0,4 – 0,6	Regular	Amarelo
0,7 – 0,9	Ruim	Vermelho
1,0 – 1,4	Muito ruim	
1,5 – 3,0	Péssima	

Quanto às adaptações feitas nesse trabalho à metodologia de CORREIA (2003), salienta-se que em sua pesquisa o referido autor selecionou trechos retilíneos com 100 m de comprimento. Neste estudo, optou-se por selecionar trechos com extensão entre 750 e 1.000 m, compostos por duas unidades amostrais com extensão de 50 m cada uma, atendendo aos limites estabelecidos por BAESSO e GONÇALVES (2003). A outra adaptação feita à metodologia de CORREIA (2003) foi na determinação dos IST, que ficou definido como sendo a média dos valores dos índices de serventia relativa por unidades amostrais (ISU). O referido autor sugeriu que fosse utilizado o maior valor do índice de serventia relativa por trecho por defeito ( $IST_{def}$ ) como parâmetro para a determinação dos IST.

#### **6.5.3.1.4 Inserção dos dados no software SIG ArcView**

A premissa básica para o desenvolvimento do modelo proposto de gerência de manutenção de rodovias não pavimentadas é que o software SIG ArcView 3.2, a partir da análise de uma base de dados, possa emitir relatórios ou mapas indicando ao tomador de decisão as condições funcionais da superfície de rolamento das vias com base no IST e sua localização. Para isso, foi necessária então, dentro da área de abrangência deste estudo, a construção de uma base de dados referente às rodovias inspecionadas, sendo cadastrados os tipos de defeitos e os dados relativos à localização espacial. Sobre esta base de dados foram gerados, posteriormente, os mapas temáticos, que são os produtos principais do modelo de gerência proposto.

Com as informações obtidas em campo, processou-se o cálculo do IST de cada trecho viário inspecionado. Através delas, compôs-se a base de dados tabular do projeto que, depois de inserido no SIG ArcView 3.2, mediante a técnica de *loose-coupling*, passou a compor os atributos de cada trecho.

A Tabela 4 apresenta parte da planilha eletrônica que foi inserida no software SIG ArcView 3.2 e os atributos de severidade utilizados para determinar o índice de serventia relativa por trecho viário (IST) da rodovia não pavimentada VCS 493. Para elaboração dessa planilha de cálculo, utilizou-se o software Microsoft Excel, planilha eletrônica 2003, em decorrência da facilidade de manipulação e inserção dos dados, além da possibilidade de exportação dos mesmos para o formato *dBASE IV*, que é o formato utilizado pelo Software SIG ArcView 3.2 para importar banco de dados externos.

Tabela 4: Planilha de inventário dos defeitos e classificação funcional das unidades amostrais e trechos da VCS 493

ID	Rodovia	Trecho	U.A	Área U.A (m <sup>2</sup> )	Defeito	f <sub>a</sub>	f <sub>p</sub>	DSR <sub>def</sub>	ISU <sub>def</sub>	ISU	IST
2	VCS 493	1	1	270	S.T.I	50	2	0,2	0,4	0,3	0,3
2	VCS 493	1	1	270	D.I.	100	3	0,4	1,1		
2	VCS 493	1	1	270	Corrug.	0	0	0,0	0,0		
2	VCS 493	1	1	270	Buracos	15	1	0,1	0,1		
2	VCS 493	1	1	270	T.R.	32,2	1	0,1	0,1		
2	VCS 493	1	1	270	S.A.	100	1	0,4	0,4		
2	VCS 493	1	2	225	S.T.I	50	2	0,2	0,4	0,3	0,3
2	VCS 493	1	2	225	D.I.	100	3	0,4	1,3		
2	VCS 493	1	2	225	Corrug.	0	0	0,0	0,0		
2	VCS 493	1	2	225	Buracos	30	1	0,1	0,1		
2	VCS 493	1	2	225	T.R.	22	1	0,1	0,1		
2	VCS 493	1	2	225	S.A.	100	1	0,4	0,4		
2	VCS 493	2	1	200	S.T.I	50	2	0,3	0,5	0,5	0,5
2	VCS 493	2	1	200	D.I.	100	3	0,5	1,5		
2	VCS 493	2	1	200	Corrug.	0	0	0,0	0,0		
2	VCS 493	2	1	200	Buracos	61	1	0,3	0,3		
2	VCS 493	2	1	200	T.R.	21,6	1	0,1	0,1		
2	VCS 493	2	1	200	S.A.	100	3	0,5	1,5		
2	VCS 493	2	2	225	S.T.I	50	2	0,2	0,4	0,5	0,5
2	VCS 493	2	2	225	D.I.	100	3	0,4	1,3		
2	VCS 493	2	2	225	Corrug.	0	0	0,0	0,0		
2	VCS 493	2	2	225	Buracos	53	1	0,2	0,2		
2	VCS 493	2	2	225	T.R.	14,9	1	0,1	0,1		
2	VCS 493	2	2	225	S.A.	100	3	0,4	1,3		

ID: identificador relativo à rodovia, U.A: unidade amostral, S.T. I: seção transversal imprópria, D.I: drenagem inadequada, Corrug.: corrugações, T.R.: trilha de roda, S.A.: segregação de agregados.

## 6.6 Resultados e discussão

Na Tabela 6, são apresentados os índices de serventia relativa por trecho viário (IST), obtidos pelo método apresentado neste estudo, conjuntamente com as respectivas identificações e extensões dos trechos inspecionados.

Tabela 6: Índices de serventia relativa do trecho (IST) obtidos pelo método apresentado

Rodovia	Trecho	Extensão (m)	IST	Classificação
VCS 346	1	800	0,3	Bom
VCS 346	2	800	0,5	Regular
VCS 346	3	750	0,4	Regular
VCS 346	4	750	0,5	Regular
VCS 493	1	750	0,3	Bom
VCS 493	2	750	0,5	Regular
VCS 296	1	1.000	0,8	Ruim
VCS 296	2	1.000	0,7	Ruim
VCS 296	3	1.000	0,5	Regular
VCS 296	4	1.000	0,4	Regular

As informações sobre as condições de serventia da superfície de rolamento das rodovias não pavimentadas obtidas pelo método apresentado foram inseridas no SIG ArcView 3.2 para a identificação e visualização em mapa temático do sistema viário dos trechos prioritários para fins de intervenção de manutenção.

### 6.6.1 Geração de mapa temático

Foi criado um projeto no SIG ArcView 3.2, a partir de arquivos com a extensão DXF, provenientes dos levantamentos topográficos das rodovias inspecionadas, contendo trechos viários dessas vias. Esses dados gráficos no SIG ArcView foram convertidos do formato DXF para o formato *Shapefile*. Essa conversão teve como objetivo permitir a edição de informações sobre o tema (dados gráficos), como por exemplo, identificador e nome das rodovias, numeração de trechos e unidades amostrais, área das unidades amostrais, tipos de defeito, dentre outros. A inserção de valores não seria possível se o projeto tivesse outra extensão que não fosse a *Shapefile* (SHP).

Com os arquivos inseridos no SIG ArcView 3.2, criou-se uma *VIEW* que é a apresentação do mapa digital das rodovias não pavimentadas inspecionadas. Nesta *VIEW*, foi adicionada uma tabela de atributos que, através de identificadores dos trechos viários, guardou-se correspondência com o mapa digital da *VIEW*. A Figura 2 apresenta a *VIEW* do projeto, mostrando trechos das estradas não pavimentadas inspecionadas, as principais rodovias pavimentadas, os bairros e o limite do município de Viçosa-MG.

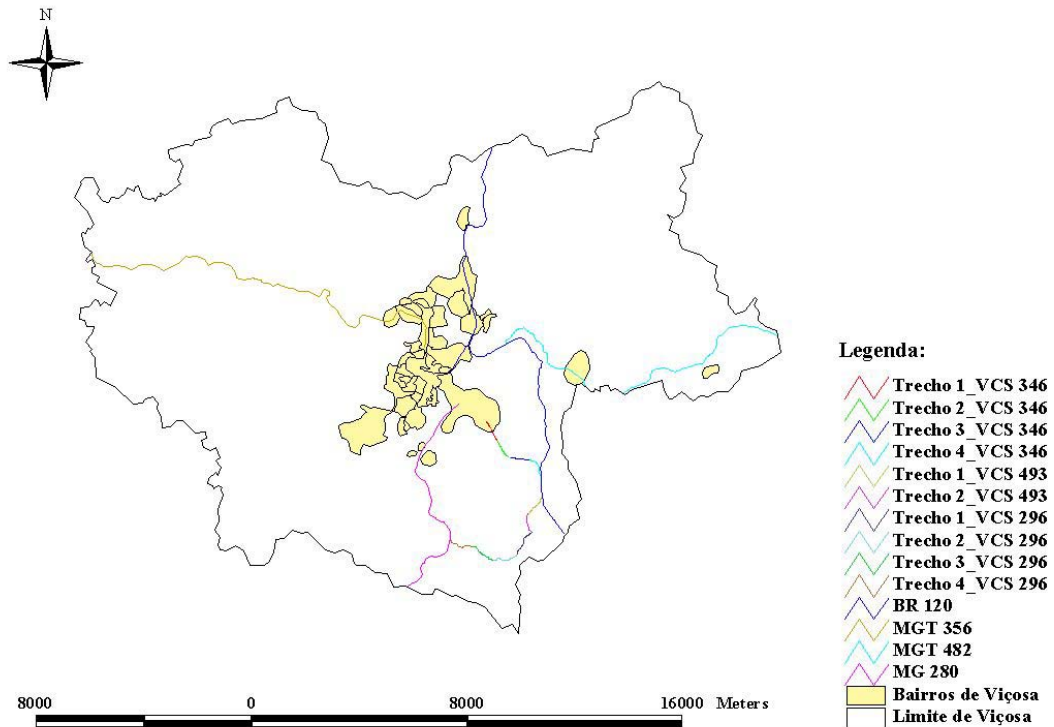


Figura 2: Representação dos trechos viários das rodovias inspecionadas.

A tabela de dados com o nome “cálculo IST trechos” no formato *dBASE IV*, com os tipos de defeitos e suas severidades, foi importada para o software SIG *ArcView 3.2* e convertida para o formato *shapefile* do tipo linha. A Figura 3 apresenta a planilha para o cálculo do IST no formato *dbf*, após aplicação da técnica de *loose-coupling*.

cálculo ist trechos.dbf											
Id	Rodovia	Trecho	Unidade_am	prea_u.a.	Defeito	Fa	Fp	Dsdef	Isudf	Isu	IST
1	VCS 346	1	1	290	S.T.I	50	2	0,2	0,3	0,3	
1	VCS 346	1	1	290	D.I.	100	3	0,3	1,0	0,3	
1	VCS 346	1	1	290	Corrug	0	0	0,0	0,0	0,3	
1	VCS 346	1	1	290	Buracos	34	1	0,1	0,1	0,3	0,3
1	VCS 346	1	1	290	T.R.	4	1	0,0	0,0	0,3	
1	VCS 346	1	1	290	S.A.	100	1	0,3	0,3	0,3	
1	VCS 346	1	2	260	S.T.I	50	3	0,2	0,6	0,3	
1	VCS 346	1	2	260	D.I.	100	3	0,4	1,2	0,3	
1	VCS 346	1	2	260	Corrug	0	3	0,0	0,0	0,3	0,3
1	VCS 346	1	2	260	Buracos	53	1	0,2	0,2	0,3	
1	VCS 346	1	2	260	T.R.	9	1	0,0	0,0	0,3	
1	VCS 346	1	2	260	S.A.	0	0	0,0	0,0	0,3	
1	VCS 346	2	1	235	S.T.I	50	2	0,2	0,4	0,5	
1	VCS 346	2	1	235	D.I.	100	3	0,4	1,3	0,5	
1	VCS 346	2	1	235	Corrug	0	0	0,0	0,0	0,5	0,5
1	VCS 346	2	1	235	Buracos	120	1	0,5	0,5	0,5	
1	VCS 346	2	1	235	T.R.	0	0	0,0	0,0	0,5	
1	VCS 346	2	1	235	S.A.	100	2	0,4	0,9	0,5	
1	VCS 346	2	2	235	S.T.I	50	2	0,2	0,4	0,5	
1	VCS 346	2	2	235	D.I.	100	3	0,4	1,3	0,5	
1	VCS 346	2	2	235	Corrug	0	0	0,0	0,0	0,5	0,5
1	VCS 346	2	2	235	Buracos	80	1	0,3	0,3	0,5	
1	VCS 346	2	2	235	T.R.	15	1	0,1	0,1	0,5	
1	VCS 346	2	2	235	S.A.	100	2	0,4	0,9	0,5	
1	VCS 346	3	1	295	S.T.I	50	1	0,2	0,2	0,4	
1	VCS 346	3	1	295	D.I.	100	3	0,4	1,3	0,4	
1	VCS 346	3	1	295	Corrug	105	1	0,4	0,4	0,4	
1	VCS 346	3	1	295	Buracos	38	1	0,2	0,2	0,4	
1	VCS 346	3	1	295	T.R.	0	0	0,0	0,0	0,4	
1	VCS 346	3	1	295	S.A.	100	1	0,4	0,4	0,4	
1	VCS 346	3	2	285	S.T.I	50	1	0,2	0,2	0,4	
1	VCS 346	3	2	285	D.I.	100	3	0,4	1,1	0,4	
1	VCS 346	3	2	285	Corrug	0	0	0,0	0,0	0,3	0,4
1	VCS 346	3	2	285	Buracos	86	1	0,3	0,3	0,4	
1	VCS 346	3	2	285	T.R.	19	1	0,1	0,1	0,4	
1	VCS 346	3	2	285	S.A.	100	1	0,4	0,4	0,4	
1	VCS 346	4	1	395	S.T.I	50	2	0,1	0,3	0,5	

Figura 3: Tabela para o cálculo do IST desenvolvida para o método apresentado

Além da visualização, o software ArcView 3.2 possui ferramentas que possibilitam realizar análise exploratórias de dados coletados e gerados. Uma dessas ferramentas particularmente úteis é a que possibilita a realização de consultas (*Queries*). A consulta *QUERY* permite selecionar informações específicas de um determinado tema e, através de operadores lógicos, relacioná-las com informações de outros temas. Neste estudo, esta ferramenta foi utilizada para selecionar os trechos viários prioritários de manutenção, de acordo com o índice de serventia relativa do trecho viário (IST).

Para auxiliar nesta tarefa, outros atributos desses trechos podem ser convenientemente utilizados no SIG ArcView 3.2 na realização de consultas complementares. A vantagem de realizar esta tarefa no ArcView é que o software possibilita a visualização dos trechos viários nas mais variadas condições de serventia.

Determinou-se qual seria o critério de decisão para a priorização da manutenção dos trechos das rodovias inspecionadas, que consistiu na adoção do índice de serventia relativa por trecho viário (IST), para um intervalo referente à condição ruim na escala de classificação.

Na janela da ferramenta *Query Builder*, o campo “*Fields*” armazena os atributos referentes ao tema selecionado, como por exemplo, rodovia, trecho, unidade amostral, defeitos, entre outros. Assim, constroem-se as *Queries* desejadas com os atributos, utilizando-se os operadores lógicos disponíveis.

Para identificar os trechos viários cujos atributos satisfazem às condições da *Query*, utilizou-se a tecla *New Set*. O ArcView, então, destacou automaticamente, em amarelo, estes trechos. Assim, puderam-se evidenciar os trechos viários que apresentam condição de serventia ruim, de acordo com a escala de classificação do IST. A Figura 4 apresenta o resultado da consulta *Query* para os trechos considerados ruins, de acordo com a escala de classificação funcional do método IST.

ArcView GIS 3.2a

File Edit Table Field Window Help

24 of 120 selected

cálculo ist trechos.dbf

ID	Reserva	Trecho	Unidade_am	area_u.a.	Defeito	Fa	Fp	Durdef	Iusdef	Iru	IST
2	VCS 493	2	1	200	S.A.	100	3	0.5	1.5		0.5
2	VCS 493	2	2	225	S.T.I	50	2	0.2	0.4		0.5
2	VCS 493	2	2	225	D.I.	100	3	0.4	1.3	0.5	0.5
2	VCS 493	2	2	225	Corrug.	0	0	0.0	0.0		0.5
2	VCS 493	2	2	225	Buracos	53	1	0.2	0.2		0.5
2	VCS 493	2	2	225	T.R.	15	1	0.1	0.1		0.5
2	VCS 493	2	2	225	S.A.	100	3	0.4	1.3		0.5
3	VCS 296	1	1	185	S.T.I	50	2	0.3	0.6		0.8
3	VCS 296	1	1	185	D.I.	100	3	0.6	1.8		0.8
3	VCS 296	1	1	185	Corrug.	0	0	0.4	0.4		0.8
3	VCS 296	1	1	185	Buracos	32	1	0.6	0.6	0.9	0.8
3	VCS 296	1	1	185	T.R.	67	1	0.2	0.2		0.8
3	VCS 296	1	1	185	S.A.	100	3	0.6	1.8		0.8
3	VCS 296	1	2	185	S.T.I	50	2	0.3	0.5		0.8
3	VCS 296	1	2	185	D.I.	100	3	0.5	1.6		0.8
3	VCS 296	1	2	185	Corrug.	63	1	0.0	0.0		0.8
3	VCS 296	1	2	185	Buracos	102	1	0.6	0.6	0.8	0.8
3	VCS 296	1	2	185	T.R.	31	1	0.3	0.3		0.8
3	VCS 296	1	2	185	S.A.	100	3	0.5	1.6		0.8
3	VCS 296	2	1	185	S.T.I	50	2	0.3	0.5		0.7
3	VCS 296	2	1	185	D.I.	100	3	0.5	1.6		0.7
3	VCS 296	2	1	185	Corrug.	0	0	0.0	0.0	0.8	0.7
3	VCS 296	2	1	185	Buracos	119	1	0.6	0.6		0.7
3	VCS 296	2	1	185	T.R.	63	1	0.3	0.3		0.7
3	VCS 296	2	1	185	S.A.	100	3	0.5	1.6		0.7
3	VCS 296	2	2	200	S.T.I	50	2	0.3	0.5		0.7
3	VCS 296	2	2	200	D.I.	100	3	0.5	1.5		0.7
3	VCS 296	2	2	200	Corrug.	0	0	0.0	0.0	0.6	0.7
3	VCS 296	2	2	200	Buracos	80	1	0.4	0.4		0.7
3	VCS 296	2	2	200	T.R.	15	1	0.1	0.1		0.7
3	VCS 296	2	2	200	S.A.	100	2	0.5	1.0		0.7
3	VCS 296	3	1	170	S.T.I	50	2	0.3	0.6		0.5
3	VCS 296	3	1	170	D.I.	100	3	0.6	1.8		0.5
3	VCS 296	3	1	170	Corrug.	0	0	0.0	0.0		0.5
3	VCS 296	3	1	170	Buracos	65	1	0.4	0.4	0.7	0.5
3	VCS 296	3	1	170	T.R.	65	1	0.5	0.5		0.5
3	VCS 296	3	1	170	S.A.	150	1	0.9	0.9		0.5

cálculo ist trechos.dbf

Fields: [Fa], [Fp], [Durdef], [Iusdef], [Iru], [IST]

Values: 0.3, 0.4, 0.5, 0.7, 0.8

[IST] >= 0.7 and [IST] <= 0.9

Update Values, New Set, Add To Set, Select From Set

Figura 4: Resultado da consulta *Query* dos trechos considerados ruins pelo método IST

A Figura 5 apresenta o resultado gráfico da consulta *Query*, em que os trechos viários que aparecem na cor vermelha apresentam condições de serventia ruins e muitos ruins, de acordo com a escala de classificação do método IST.

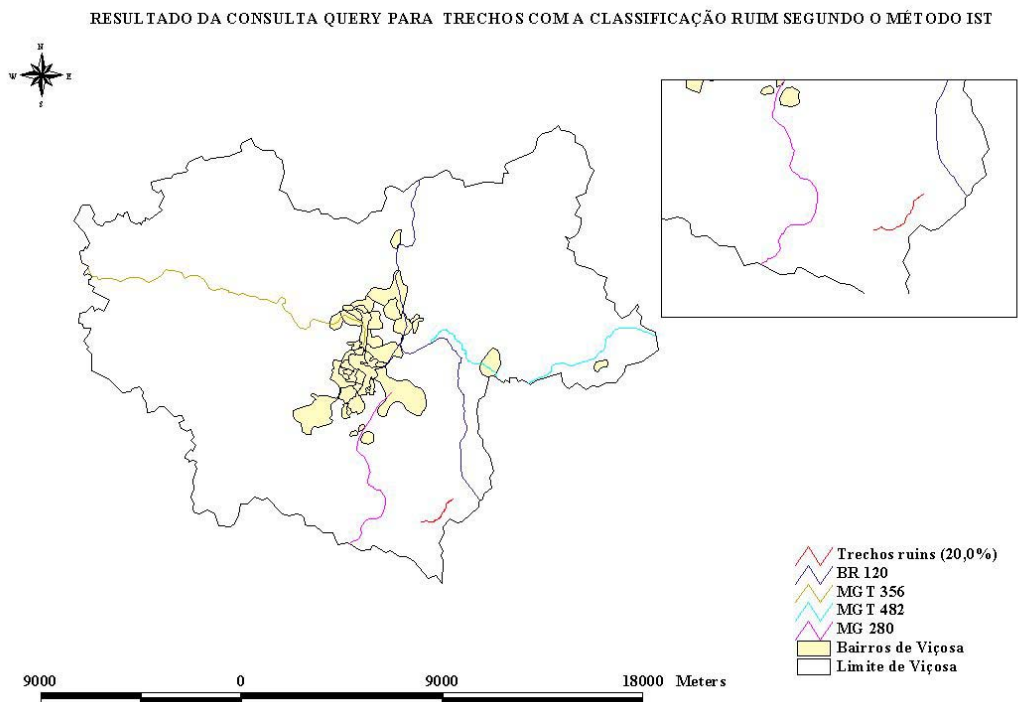


Figura 5: Apresentação gráfica da consulta *Query* dos trechos com condições de serventia ruim, de acordo com método IST

A Figura 6 apresenta o resultado da consulta *Query* para os trechos considerados regular, de acordo com a escala de classificação funcional do método IST.

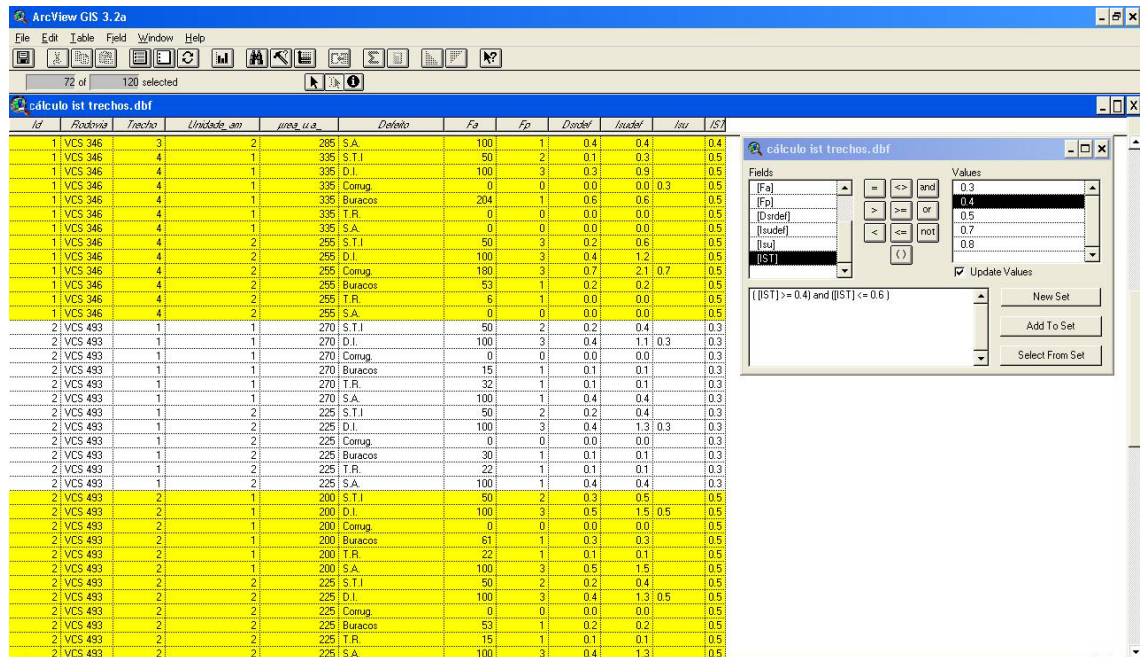


Figura 6: Resultado da consulta *Query* dos trechos considerados regular pelo método IST

A Figura 7 apresenta o resultado gráfico da consulta *Query*, em que os trechos viários que aparecem na cor amarela apresentam condições de serventia regular, de acordo com a escala de classificação do método IST.

RESULTADO DA CONSULTA QUERY PARA TRECHOS COM A CLASSIFICAÇÃO REGULAR SEGUNDO O MÉTODO IST

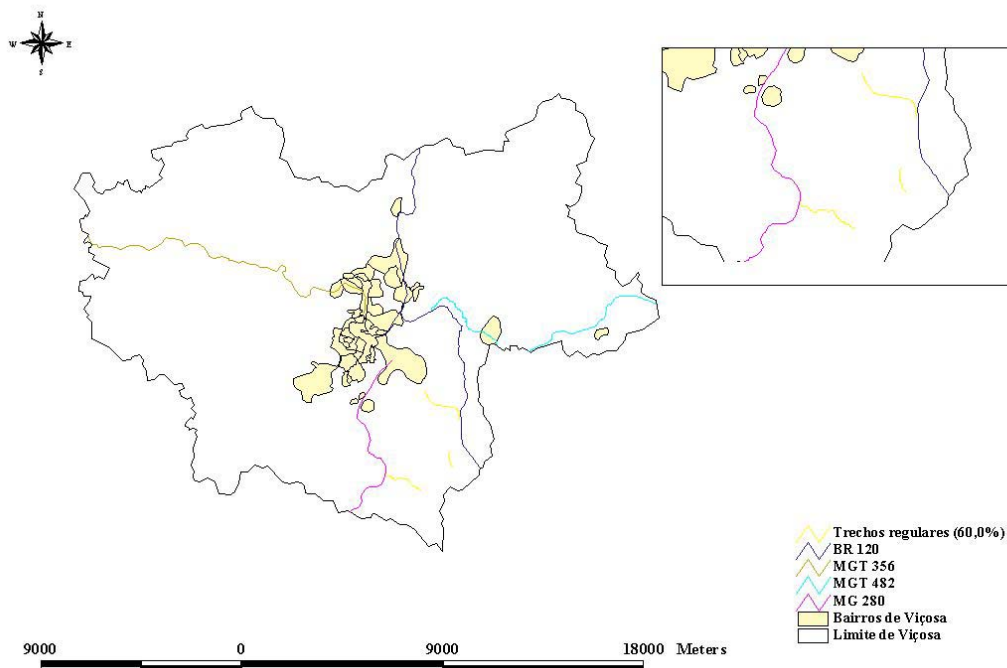


Figura 7: Apresentação gráfica da consulta *Query* dos trechos com condições de serventia regular, de acordo com método IST

A Figura 8 apresenta o resultado da consulta *Query* para os trechos bons, de acordo com a escala de classificação funcional do método IST.

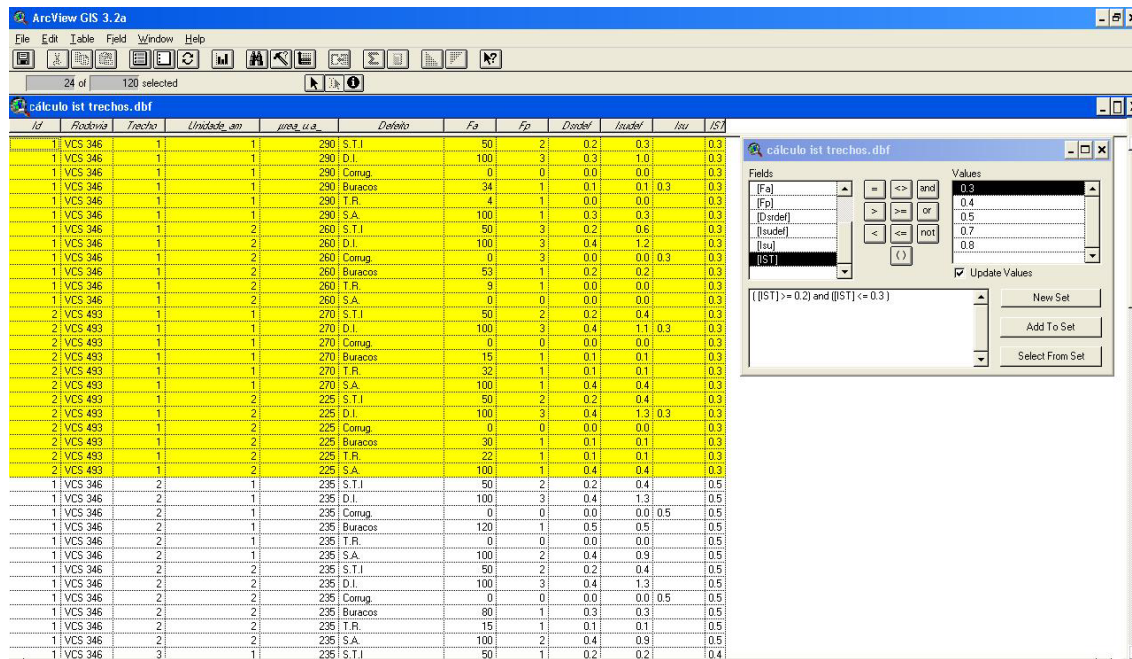


Figura 8: Resultado da consulta *Query* dos trechos considerados bons pelo método IST

A Figura 9 apresenta o resultado gráfico da consulta *Query*, em que os trechos viários que aparecem na cor verde apresentam boas condições de serventia, de acordo com a escala de classificação do método IST.

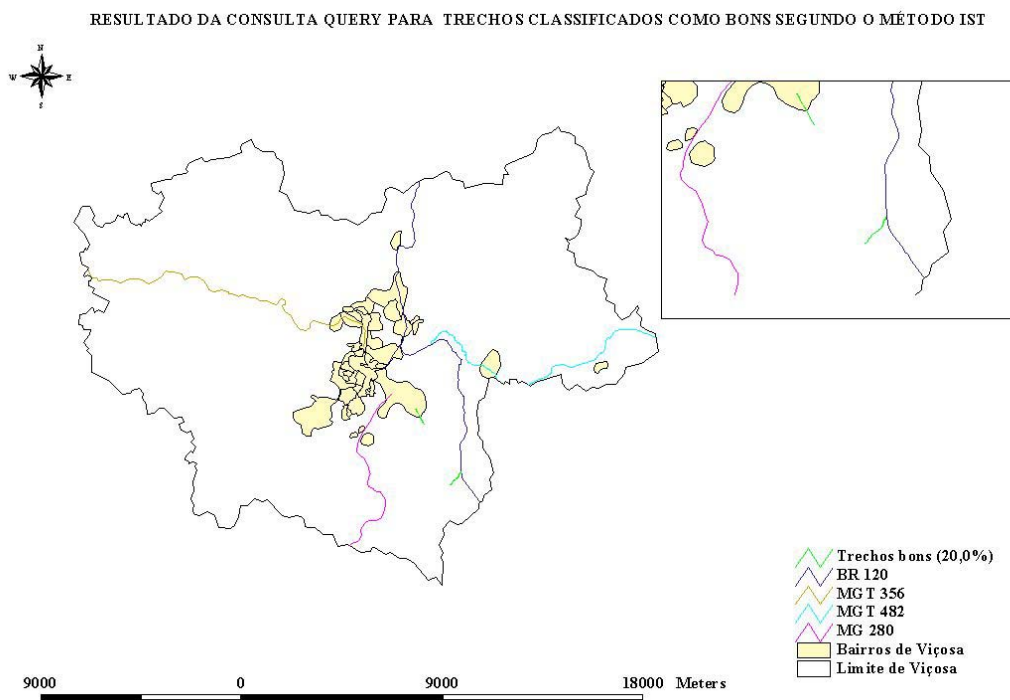


Figura 9: Apresentação gráfica da consulta *Query* do trecho com boa condição de serventia, segundo o método IST

Para os trechos viários selecionados, a partir da escala de classificação do IST, precisa-se estabelecer uma ordem de prioridade para a execução dos serviços de manutenção. Os critérios de decisão para a determinação da ordem em que os trechos receberão tais serviços podem ser baseadas no volume de tráfego e, de forma complementar, a sua composição, em parâmetros ambientais e sócio-econômicos. No entanto, neste estudo não se utilizou desse critério, devido aos valores dos parâmetros supracitados serem muito próximos para os trechos considerados ruins pela escala de classificação do IST e pelos referidos trechos serem contíguos.

## 6.7 Conclusões

O índice de serventia relativa por trecho viário (IST) aplicado neste estudo, baseado na metodologia de CORREIA (2003) foi desenvolvido com base em experiências de campo e observação às características da seção transversal da plataforma e suas patologias. Como o IST baseou-se na quantidade e severidade dos

defeitos, sua avaliação é de fácil compreensão, tendo a vantagem de ser transferível a outras regiões brasileiras.

Verificou-se que em função dos defeitos encontrados nos 10 trechos viários inspecionados, a implantação de dispositivos de drenagem, com restauração do greide original, quando possível, constitui a intervenção mais indicada para estas vias, visto que o defeito drenagem foi o que teve o maior peso, em função da sua quantidade e severidade, na determinação dos índices de serventia relativa por trecho viário (IST).

No modelo de gerência de manutenção apresentado e testado neste estudo, o SIG ArcView 3.2 otimizou o processamento e o manuseio dos dados coletados em campo e proporcionou uma melhor visualização dos resultados das consultas, além de viabilizar a seleção dos trechos viários críticos para intervenção de manutenção.

As informações relativas ao estudo geotécnico de subleito para determinação de algumas propriedades físico-mecânicas, a análise da influência dos fatores carga por eixo e pressão de enchimento, relativos ao tráfego comercial, também podem implementar o modelo de gerência de manutenção apresentado neste estudo para estradas não pavimentadas.

## **6.8 Agradecimentos**

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela concessão da bolsa de pesquisa ao primeiro autor e à Universidade Federal de Viçosa - UFV, através do Departamento de Engenharia Civil, pela disponibilização de toda infraestrutura necessária para a realização deste estudo.

## **Referências**

ABNT. **Execução de levantamento topográfico**, NBR 13133/94. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 35p. 1994.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES - ANTT. **Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres**. Brasília – DF. 2005.

ALMEIDA, R. V. O. **Concepção de Modelos de Avaliação de Condições de Rolamento e Indicação de Priorização de Vias como Etapas de Um Sistema de Gerência de Vias Não Pavimentadas**. 2006. 178p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.

- American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO. ***Guidelines for Pavement Management Systems***. Washington, D. C., USA, 1990.
- BAESSO, D. P. e GONÇALVES, F. L. R. ***Estradas Rurais – Técnicas Adequadas de Manutenção***. Departamento de Infra-Estruturas do Estado de Santa Catarina – DEINFRA/SC. Florianópolis – SC. 204 p. 2003.
- BERTOLLO, S. A. M. ***Considerações Sobre a Gerência de Pavimentos Urbanos em Nível de Rede***. 1997. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.
- BLOSER, M. S. e COLBERT, J. W. ***Cutting Red Tape and Pollution from Unpaved Roads by Using a Geographic Information System***. Transportation Research Record. n° 1819. v.1. p. 141-148. 2003.
- BROTEN, M. ***Agency Pavement Management Application Guide***. The Northwest Technology Transfer Center. Washington State Department of Transportation, Olympia, Washington, USA, 1996.
- CORREIA, J. A. B. ***Um Modelo de Análise de Defeitos em Estradas Não Pavimentadas de Suporte à Concepção de um Sistema de Gerência de Pavimentos***. 2003. 101p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.
- DANGERMOND, J. The software toolbox approach to meeting the user's need for GIS analysis. In: ***Geographic Information Systems Workshop proceedings***. Atlanta, GA. Am. Soc. For Photogrammetry and remote Sensing, Falls church, VA. Pp. 66-75. 1986
- DEMERS, M. N. ***Fundamentals of Geographic Information Systems***. New York: John Wiley & Sons. 1997. 480p.
- EATON, R. A.; GERARD, S.; DATILLO, R. S. ***A Method for Rating Unsurfaced Roads***. ***Transportation Research Record***, n. 1106, vol. 02, pp. 34-42, 1987.
- IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). ***Informações sobre a população***. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br> >. 2002, acesso em 23 de maio de 2008.
- MALCZEWSKI, J. ***GIS and multicriteria decision analysis***. New York: John Wiley, 1999. 362p.
- MARBLE, D.F., CALKINS, H.W., PEUQUET, D.J.: ***Basic Readings in Geographic Information Systems***. Williamsville, New York: Spad Systems Ltd., 1984.
- MOREIRA, F. E. B. ***Um Modelo de Avaliação da Evolução Geométrica das Patologias em Vias Não Pavimentadas: Aplicação ao Caso do Município de***

**Aquiraz.** 2003. 176p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.

SANTOS, A. R.; PASTORE, E. L.; AUGUSTO JR, 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., 2ª Edição, São Paulo. 1988.

# 7

## CONCLUSÕES GERAIS

Com base nos estudos apresentados nos capítulos anteriores, apresentam-se as seguintes conclusões:

- para os materiais analisados para o estudo comparativo entre as classificações geotécnicas tradicionais USC e TRB e a metodologia MCT, os solos de comportamento não laterítico se enquadraram no grupo NG', que compreende sobretudo os saprolíticos argilosos, o que pareceu coerente pela geologia do município de Viçosa-MG que é constituída por rochas referentes ao Pré-Cambriano, compreendendo gnaisses diversos e migmatitos.
- os solos de comportamento laterítico que se enquadraram no grupo LG' em que os integrantes mais freqüentes são as argilas arenosas que constituem o horizonte B dos solos conhecidos pedologicamente por latossolos e argissolos, embora apresentando elevados valores de LL e LP, quando compactados na energia do ensaio Proctor Normal e conseqüente imersão em água, não apresentaram expansão expressiva no ensaio CBR.
- os resultados das classificações geotécnicas tradicionais USC e TRB e da metodologia MCT tornaram possível estabelecer agrupamentos, concluindo que as propriedades típicas desses grupos de solo, sob o ponto de vista granulométrico, estabelecem condições propícias para este propósito.
- a aplicação do método de EATON (1987) às vias não pavimentadas investigadas nesta pesquisa, apresentou valores de índices de condições de estradas não pavimentadas (URCI) muito divergentes, o que corrobora a necessidade de adaptações à realidade brasileira para sua aplicação.
- percebeu-se na análise da variação da máxima deflexão recuperável e da tensão vertical no subleito que a amplitude da carga por eixo e da pressão de enchimento dos pneus são fatores que influenciam consideravelmente o processo de deterioração de camadas de reforço de subleito de estradas não pavimentadas.
- na determinação do FEC (DNIT, 2006), para eixo simples de rodas duplas, em função das deflexões recuperáveis previstas, ficou evidente que as informações sobre o carregamento por eixo e pressão de enchimento dos pneus da frota

comercial que solicita a via não pavimentada, são mais coerentes do que simplesmente basear-se em informações sobre o volume médio diário do tráfego misto.

- para reforço de subleito de estradas não pavimentadas, alcançar a resistência mecânica requerida para a via, o processo de estabilização química é uma opção viável para se atingir camadas menos espessas, porém com a rigidez necessária para atender a função estrutural.
- a utilização do método de dimensionamento empírico-mecânico e da metodologia MCT, são recursos eficazes para um melhor aproveitamento de solos locais em estruturas de pavimento de rodovias não pavimentadas.
- para a metodologia de avaliação de condições da superfície de rolamento para estradas não pavimentadas através de um índice próprio e de simples aplicação, o índice de serventia relativa por trecho viário – IST, desenvolvido com base em experiência de campo e observação das patologias dessas superfícies, verificações do IST para condições adversas são de grande contribuição, visto que não houve aplicações em outras regiões.
- o modelo de gerência apresentado e testado neste estudo é simples do ponto de vista técnico, mas é constituído das principais etapas que qualquer outro SGM contempla, além de usar uma ferramenta SIG, que se integra completamente ao modelo de gerência e aumenta a capacidade de suporte à decisão. Ressalta-se ainda, que mesmo simples, é capaz de interagir com quaisquer outros sistemas e possibilitar atualização do seu banco de dados, por exemplo, com informações provenientes de estudos geotécnicos de subleitos para obtenção de parâmetros físico-mecânicos e análise da influência dos fatores carga por eixo e pressão de enchimento, relativos ao tráfego comercial.

# 8

## RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A fim de complementar os resultados obtidos nesta pesquisa, seguem algumas sugestões para pesquisas futuras:

- coletar amostras de solo de subleito de vias não inspecionadas da malha viária não pavimentada do município de Viçosa-MG, com o propósito de fomentar novos agrupamentos entre as classificações geotécnicas tradicionais (USC e TRB) e a metodologia MCT.
- estudar o comportamento dos solos analisados nesta pesquisa quanto à resistência mecânica e à abrasão imposta pelo ação do tráfego no contato pneu-superfície de rolamento. O último fator é relevante para qualificar solos para revestimento primário e não foi avaliado neste trabalho.
- avaliar os solos investigados neste trabalho quanto à erosão hídrica;
- em função dos níveis de severidade do defeito drenagem inadequada observados em todos os trechos viários inspecionados nesta pesquisa, salienta-se a importância de se procederem estudos hidrológicos que possam subsidiar a implantação de dispositivos de drenagem para a malha viária não pavimentada do município de Viçosa-MG.
- estudo de composição de custos relativos à manutenção de estradas não pavimentadas, englobando equipamentos, materiais, mão-de-obra e produção de equipes;
- testar a operacionalidade do método apresentado nesta pesquisa para avaliação das condições de serventia de superfície de rolamento, em vias não pavimentadas de outras regiões, tendo em vista as diferenças de geometria, de volumes e tipos de tráfego.