

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE ESTRADAS DE BAIXO TRÁFEGO: ESTUDO COMPARATIVO

Laura Jorge¹, Silvino Capitão² e Luís Picado-Santos³

¹ Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Rua Pedro Nunes, 3030-199 Coimbra, Portugal.

² Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Rua Pedro Nunes, 3030-199 Coimbra, Portugal & CESUR, CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. capitao@isec.pt

³ CESUR, CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos, Av. Rovisco Pais, 1, 1049-001 Lisboa, Portugal.

Sumário

A utilização máxima de materiais locais não processados é um pilar central da filosofia de projeto nas Estradas de Baixo Volume de Tráfego (EBVT). O artigo centra-se na análise e aplicação de métodos de dimensionamento, com diferentes configurações e pressupostos, cuja utilização é mais frequente em vários países africanos. A metodologia de trabalho incluiu a realização de um estudo paramétrico de dimensionamento que permitiu averiguar as eventuais diferenças entre os diferentes procedimentos, quer no que diz respeito à recolha de dados de projeto, quer no que diz respeito às estruturas de pavimentos a que se chega para situações de solicitação similares.

Palavras-chave: Dimensionamento de pavimentos; estradas de baixo volume de tráfego; pavimentos não revestidos; pavimentos revestidos.

1 INTRODUÇÃO

O foco de investimentos nas infraestruturas rodoviárias está, geralmente, voltado para as estradas ditas de alto tráfego. No entanto, deverá ser dada também relevância às Estradas de Baixo Volume de Tráfego (EBVT), dada a sua importância económica e social. Estas, pela mobilidade de pessoas e bens que proporcionam, são responsáveis por permitir o acesso às necessidades básicas, assegurando a alimentação, a educação e os cuidados de saúde à população rural. São também responsáveis por grande parte do transporte de matérias-primas, o que torna evidente a sua importância para os territórios que as EBVT servem.

É indiscutível que o transporte eficaz desempenha um papel crucial no desenvolvimento rural, socioeconómico e na redução da pobreza. A situação típica na maioria dos países pobres é o facto de uma grande parte da população rural ter uma economia baseada na agricultura. Nestas situações é imperativo fornecer às comunidades rurais um acesso seguro e sustentável aos serviços básicos. Aqueles países geralmente apresentam uma rede de estradas rurais não pavimentadas, sendo difícil implementar soluções de pavimentação com os materiais de construção convencionais, por serem muitas vezes escassos ou estarem somente disponíveis a alto custo. É, portanto, cada vez mais importante incentivar o desenvolvimento de redes de estradas rurais de uma forma acessível e sustentável, utilizando de forma eficiente os recursos locais para fornecer infraestruturas de transporte de baixo custo.

As especificações atuais, particularmente nas zonas do mundo mais desenvolvidas, tendem a excluir o uso de muitos materiais naturais, não transformados (solos naturais, misturas de solo-cascalho e cascalho) em camadas de pavimentos, em favor de materiais britados mais caros. Esta é a abordagem padrão das especificações, a qual estabelece requisitos orientados para as estradas de alto volume de tráfego. No entanto, trabalhos recentes [1] têm mostrado que os chamados materiais não-padrão podem, muitas vezes, ser usados com sucesso e de forma rentável em pavimentos de EBVT, desde que sejam tomadas as precauções adequadas.

2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS PAVIMENTOS DE EBVT

Pelo seu baixo volume de tráfego, os pavimentos das EBVT não são habitualmente dotados de uma camada superficial de revestimento. São construídos diretamente com o material natural, ou sobre uma camada constituída geralmente por um solo local com alguma percentagem de cascalho, o qual torna o pavimento mais resistente à ação do tráfego e das intempéries. A ausência de um revestimento adequado para materializar a superfície de circulação inibe o aumento de tráfego e o desenvolvimento regional, além de constituir uma solução agressiva para o meio ambiente, pois requer, a médio e a longo prazo, mais material para a sua conservação em comparação com uma superfície de circulação com revestimento [2, 3].

Numa estrutura de pavimento para EBVT as espessuras das camadas, os materiais e as técnicas utilizados devem ser função do tráfego solicitante e da disponibilidade de materiais locais, resultando assim num custo menor.

Existe uma vasta gama de revestimentos de pavimentos, tanto betuminosos como não betuminosos, os quais podem ser usados em várias combinações, sendo geralmente adequados para incorporação em pavimentos de EBVT. Estas opções permitem o máximo uso dos materiais disponíveis localmente e a redução de materiais de pavimentação mais caros e de melhor qualidade, especialmente quando têm de ser processados ou transportados por longas distâncias.

As EBVT de certas regiões de países desenvolvidos podem apresentar um tráfego equivalente a um tráfego alto ou médio em outras regiões de países em desenvolvimento, com diferentes densidades populacionais e tipos de ocupação do solo. Assim, os problemas enfrentados pelas autoridades rodoviárias são diferentes de região para região, ou de país para país, pois estão relacionados com a qualidade dos materiais de pavimentação disponíveis, com o clima e com os volumes de tráfego.

É necessário estabelecer um limite superior para o volume de tráfego nas estradas que podem ser incluídas dentro da abordagem de EBVT. Em termos gerais, esse limite corresponde às situações em que o tráfego deixa de ser o fator dominante de deterioração das estradas, havendo outros fatores do ambiente rodoviário que condicionam o futuro estado da infraestrutura, tal como pode ser observado na Figura 1.

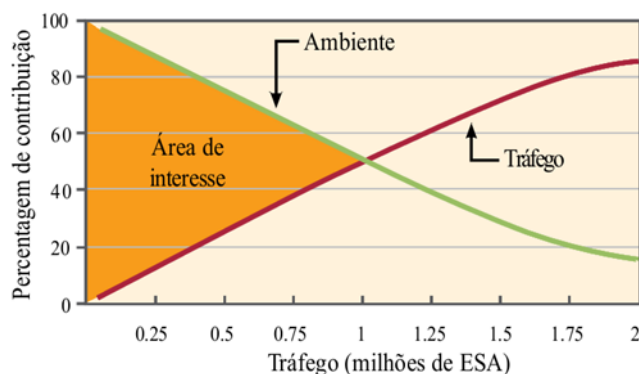


Fig. 1. Impactos relativos do tráfego e outros fatores do ambiente rodoviário na deterioração de uma EBVT [1]

Em geral, pode considerar-se que as EBVT são estradas que têm baixa utilização (um Tráfego Médio Diário Anual - TMDA inferior a 400 veículos por dia), baixas velocidades base (normalmente menos de 80 km/h), e características geométricas correspondentes à baixa velocidade base considerada. A maioria das estradas em áreas rurais são EBVT [2, 3].

Quando não têm um revestimento betuminoso, os pavimentos de EBVT exigem ações de manutenção relativamente frequentes, as quais incluem o reperfilamento, a regularização superficial, a recarga de material granular, o preenchimento de covas e mesmo a aplicação de técnicas de redução ou supressão de poeira [4, 5].

3 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE EBVT

3.1 Métodos de dimensionamento

3.1.1 Guia de Pavimento de SATCC [6]

O manual da SATCC (*Southern Africa Transport and Communications Commission*) - *Draft Code of Practice for the Design of Road Pavements*) é um manual de dimensionamento de pavimentos rodoviários novos que inclui um catálogo de estruturas de diferentes tipologias de pavimentos. As estruturas são dimensionadas em função do tráfego, da classe de fundação e das condições climáticas.

Os catálogos de dimensionamento da SATCC são usados para estradas com tráfego inferior a 30 milhões de eixos-padrão (ESA).

O processo de dimensionamento neste guia desenvolve-se em cinco etapas:

- i) Estimativa do tráfego acumulado esperado durante a vida do pavimento;
- ii) Definição da resistência da fundação sobre a qual o pavimento será construído;
- iii) Definição do clima durante o período de operação (seco ou húmido);
- iv) Determinação de aspetos práticos complementares que irão influenciar a seleção do pavimento;
- v) Seleção de possíveis estruturas de pavimento.

Das estruturas alternativas equivalentes propostas para o pavimento, a seleção final é normalmente realizada com base em critérios económicos e de disponibilidade dos materiais.

3.1.2 Método do Cone de Penetração Dinâmica (DCP) [2]

Um dos métodos de dimensionamento de pavimento de EBVT aplicados na África do Sul utiliza o Cone de Penetração Dinâmica – DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*), o qual foi desenvolvido para a modernização de estradas, quer com pavimentos não revestidos quer revestidos, tendo sido aplicado com sucesso em vários países africanos. Basicamente, no método do DCP compara-se o perfil de resistência do solo até 800 mm de profundidade com o perfil exigido para cada classe de tráfego, de modo a verificar se é necessário melhorar a resistência *in situ*, refazendo camadas, substituindo materiais ou adicionando novos.

O ensaio com DCP consiste em cravar uma vara no solo, através da aplicação sucessiva de golpes de um martelo, com uma determinada massa, deixado cair de uma altura fixa. No ensaio mede-se a penetração por golpe no material constituinte das diferentes camadas. Esta taxa de penetração, DN, em mm/golpe, é uma função da resistência ao corte *in situ* do material, no momento da realização do ensaio, sendo um bom indicador do valor de CBR (em %), nas condições prevalecentes de humidade e baridade *in situ*. De acordo com o manual Moçambicano [7], a correlação entre CBR e DN pode traduzir-se pela equação (1), aplicável no caso de EBVT para valores de CBR *in situ* até cerca de 150%.

$$CBR(\%) = 410 \times DN^{-1,27} \quad (1)$$

O objetivo do método do DCP é conseguir um dimensionamento que valorize a resistência do material existente. Ao longo dos anos e sob o tráfego, as faixas de rodagem dos pavimentos das estradas sem revestimento atingem um elevado nível de compactação, as áreas localizadas mais fracas tendem a tornar-se mais resistentes e a acumulação de cascalho na camada de desgaste existente poderá ser utilizada como camada de suporte para o novo pavimento revestido. Estas circunstâncias geralmente resultam numa redução da necessidade de importação de grandes quantidades de material virgem.

O método de conceção de pavimentos baseado no DCP já foi testado e adotado em alguns países africanos, como é o caso do Malawi [2], do Sudão do Sul [8], da Etiópia [1] e de Moçambique [7].

3.1.3 Método do catálogo Moçambicano [7]

Os métodos baseados em catálogos são os mais simples de utilizar e, de facto, os mais comuns para o dimensionamento de pavimentos. Para cada tipo de estrutura são produzidos modelos com base em intervalos de resistência da fundação (classes desde S2, com CBR de 3 a 4%, a S6, com CBR acima de 30%) e de níveis de

solicitação de tráfego (5 classes, de LV1, com menos de 0,01 milhões de eixos-padrão, a LV5, com 0,5 a 1 milhão de eixos-padrão). O projetista tem que estimar, ou medir, a resistência da fundação, avaliar o volume de tráfego esperado, escolher o tipo de estrutura preferida e procurar no catálogo apropriado a constituição e as dimensões das camadas da estrutura do pavimento que permitem dar resposta à situação de dimensionamento em estudo.

O manual desenvolvido pelas autoridades moçambicanas apresenta vários catálogos para os seguintes tipos de pavimentos com revestimentos superficiais, com bases estabilizadas, com revestimentos semiestruturais, com revestimentos de elementos discretos e com revestimentos estruturais.

Os catálogos acima referidos são idênticos aos catálogos constantes no *Ethiopia Low Volume Roads Manuals* [1]. Quer o manual Moçambicano quer o Etíope, apresentam catálogos para diferentes pavimentos que variam consoante a classe de fundação e outros fatores, e apresentam como alternativa o Método do DCP anteriormente referido.

3.1.4 TRL/SADC [9]

O manual desenvolvido pelo TRL para a zona SADC (*Southern African Development Community*), aplica-se às EBVT, as quais, tipicamente têm menos de 200 veículos por dia e, ao longo de um período de 20 anos, mesmo com altas taxas de crescimento do tráfego, é improvável que alcancem um número acumulado de eixos padrão (CESA) superior a um milhão. Assim, aquele manual fornece orientações para o dimensionamento de pavimentos para uma variedade de níveis de tráfego inferiores a um valor acumulado de 300.000 ESA de 80 kN que não estavam contemplados nos guias emitidos pelo TRL [10] e no *Code of Practice for the Design of Road Pavements (draft)*[11]. Os dados utilizados na elaboração do manual foram obtidos a partir de estudos efetuados no Botswana, Malawi e Zimbabué, abrangendo uma variedade de climas, áridos a semiáridos, sazonalmente húmidos e molhados.

3.2 Comparação de Métodos de Dimensionamento

Nesta secção comparam-se as metodologias de projeto de pavimento utilizadas essencialmente em África para EBVT, considerando um conjunto de dados que representam situações típicas obtidas em campo, designadamente de contagens de tráfego, campanhas de DCP e outros ensaios de campo. A comparação faz-se através da obtenção de estruturas por diferentes métodos e para diversas situações hipotéticas de projeto.

Pretende-se determinar a estrutura do pavimento para uma estrada a ser beneficiada em Moçambique com uma extensão de 5 km, numa área rural com clima húmido, tendo em conta os seguintes parâmetros:

- Período de dimensionamento, $N = 15$ anos;
- Largura da estrada = 5m;
- Resumo da contagem de tráfego de 7 dias (TMDA ambos os sentidos), conforme se apresenta no Quadro 1;
- Taxa de crescimento anual de veículos, $r = 3,5\%$ para todas as classes de veículos;
- Fatores de equivalência entre veículos e eixos-padrão, conforme se indica no Quadro 2;
- Resultados de ensaios com o DCP, com intervalos de 50 m, ao longo da extensão de 5 km. Da campanha de DCP realizada, foram estabelecidas 6 secções uniformes, apresentando-se os valores de DN – penetração média em mm/golpe do DCP – para o percentil 80 (Quadro 3); os trechos homogêneos são determinados com base na representação gráfica, em função da distância à origem, da soma acumulada das diferenças entre os valores de DN, em mm/golpe, obtidos em intervalos regulares e o valor médio daqueles valores, sendo os limites das secções uniformes dados pelas posições onde ocorrem alterações da inclinação do gráfico;
- Durante o levantamento de campo verificou-se que o teor em água do solo *in situ* era inferior ao teor em água de equilíbrio esperado a longo prazo, pelo que os resultados dos ensaios com o DCP devem ser ajustados para traduzirem condições mais representativas da situação *in situ*; para valores inferiores a 0,5 milhões de ESA e para condições de maior humidade que no momento do ensaio, deve considerar-se o percentil 80 para os valores de DN [10];

- Da realização de ensaios sobre as amostras recolhidas no campo, resultaram os dados constantes no Quadro 4. O dimensionamento que se apresenta abaixo é efetuado para a secção uniforme nº1.

Quadro 1. TMDA* em ambos os sentidos

Dia	Carro	Pick-up	4x4	Autocarro pequeno	Autocarro grande	Autocarro médio	Carrinha	Camião médio	Camião pesado	Tractor	Mota	Bicicleta	Carro de tracção animal
Seg	34	5	7	3	1	2	6	2	0	0	15	56	3
Ter	24	7	8	3	1	4	12	1	0	2	21	52	3
Qua	35	12	5	3	3	2	3	1	0	2	17	46	2
Qui	67	14	9	1	5	3	6	1	0	1	17	67	4
Sex	45	22	15	7	5	3	7	3	0	3	23	75	5
Sáb	78	16	12	10	6	13	19	3	0	4	27	56	3
Dom	23	4	6	4	6	2	12	2	0	6	14	34	2
TMDA	43,7	11,4	8,9	4,4	3,9	4,1	9,3	1,9	0,0	2,6	19,1	55,1	3,1

* Para efeitos de dimensionamento, consideram-se apenas os veículos pesados

Quadro 2. Fatores de equivalência (EF) de veículos e eixos-padrão [3]

Tipo de veículo	EF (ESA/veículo)
Autocarro grande	1,2
Autocarro médio	0,8
Carrinha	1,0
Camião médio	1,5
Camião pesado	3,5

Quadro 3. Valores DN - Percentil 80

Camada do pavimento (mm)	Valores DN - Percentil 80					
	Secção uniforme nº					
	1	2	3	4	5	6
0 - 150	5,0	3,1	3,6	6,6	3,1	5,6
150 - 300	7,8	3,9	5,2	10,0	3,5	5,8
300 - 450	10,0	6,0	8,6	9,4	6,2	6,3
450 - 600	10,5	8,2	12,0	14,8	7,5	13,2
600 - 800	11,3	8,1	17,2	18,4	9,4	13,8

3.2.1 Determinação da classe de tráfego

- Estimativa do ESA médio diário (DESA) para todas as classes de veículos, através da equação (2):

$$DESA = TMDA \times EF \quad (2)$$

Utilizando a equação (2), os fatores de equivalência e os valores de TMDA indicados para o caso de estudo, obtém-se um valor de DESA de 20,11 ESA / dia.

- Estimativa do ESA acumulado (CESA) para todas as classes de veículos ao longo da vida de projeto:

O CESA de projeto pode ser calculado a partir da Equação (3):

Quadro 4. Caracterização do material existente

Descrição	Dados
Estação da realização dos ensaios com o DCP	Estação seca
Tipo de solo <i>in situ</i>	Areia e argila
CBR médio saturado (obtido a 95% do Proctor Modificado) da secção uniforme n° 1	11%
Índice de plasticidade médio (IP): resultados da secção uniforme n° 1	14

$$CESA = 365 \times DESA \times [(1 + r)^N - 1]/r \quad (3)$$

resultando num valor de 0,14 milhões de ESA em ambos os sentidos.

iii. Estimativa do tráfego de projeto para a estrada com 5 m de largura (Quadro 5):

Segundo o *Design Manual for Low Volume Roads* [1], em estradas estreitas o tráfego tende a ser mais canalizado que em estradas mais largas, pelo que para a determinação da ação do tráfego de projeto (ESA) deve fazer-se a distribuição de veículos pesados pelas vias que constituem a faixa de rodagem, de acordo com o Quadro 5.

Quadro 5. Estabelecimento do tráfego de projeto (adaptado de [1])

Perfil Transversal	Largura Pavimentada	Tráfego de projeto a considerar no dimensionamento (ESA)	Notas explicativas
Faixa de rodagem única	< 3,5 m	Total do ESA em ambos os sentidos	Tráfego muito canalizado neste tipo de perfil transversal
	3,5 m < largura < 4,5 m	Total do ESA em ambos os sentidos	O tráfego em ambos os sentidos usa a mesma zona da faixa de rodagem
	4,5 m < largura < 6,0 m	80% do total do ESA em ambos os sentidos	Sobreposição do tráfego nos dois sentidos na zona central do pavimento
	> 6,0 m	Total do ESA no sentido mais solicitado	Sobreposição pequena do tráfego na zona central do pavimento
Mais do que uma via em cada sentido		90% do total do ESA no sentido estudado	A maioria dos veículos usa uma via diferente em cada sentido

Considerando os critérios indicados no Quadro 5, deve considerar-se para o tráfego de projeto um valor de 80% do total de ESA em ambos os sentidos, o que resulta no valor acumulado (CESA) de 0,11 milhões de ESA.

iv. Definição da classe de tráfego para o projeto do pavimento (Quadro 6):

Quadro 6. Classes de tráfego para o projeto de pavimentação (adaptado de [3])

Classe de tráfego	Número acumulado de ESA (CESA) na via de projeto, milhões
LE 0,01	0,003 – 0,01
LE 0,03	0,01 – 0,03
LE 0,10	0,03 – 0,10
LE 0,30	0,10 – 0,30
LE 0,70	0,30 – 0,70
LE 1,0	0,70 – 1,0

Tendo em consideração as classes indicadas no Quadro 6, o valor de CESA de 0,11 milhões, corresponde à classe de tráfego de projeto LE 0,30. A designação da classe é a mesma para o método do DCP [2]. Pela aplicação do catálogo Moçambicano [7] designa-se LV3, pelo método TRL/SADC [6] chama-se 0,3 M, designando-se T1 no método SATCC [6].

3.2.2 Comparação das estruturas de Pavimento Obtidas

Conforme se descreveu anteriormente, foram comparados quatro métodos diferentes utilizados essencialmente em África, nomeadamente: o Método DCP [2], o método do catálogo Moçambicano [7], o método TRL /SADC [9], e o método SATCC [6]. A comparação foi feita para uma secção uniforme com um tráfego entre 0,10 e 0,30 milhões de CESA e um clima húmido.

As estruturas de pavimento determinadas, apesar da sua simplicidade, são representativas dos pavimentos dimensionados para a grande maioria das EBVT. As estruturas dimensionadas incluem um revestimento superficial cujos objetivos são reduzir a penetração de água no pavimento e melhorar o conforto dos utentes [12].

Os resultados apresentados na Figura 2, mostram que o método de DCP conduz a um menor número de camadas e a uma espessura total inferior aos restantes métodos, sendo, consequentemente, o mais económico em termos da construção da estrutura inicial.

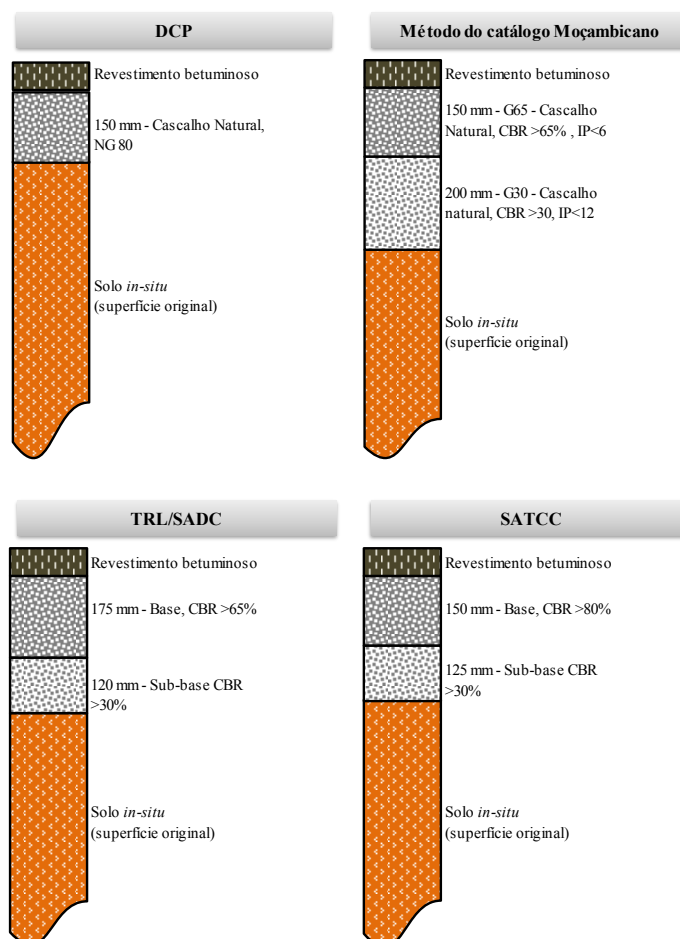


Fig. 2. Comparação das estruturas de pavimento obtidas com os diferentes métodos de dimensionamento

3.3 Estudo Paramétrico

Para os métodos utilizados no caso prático que se apresentou, simularam-se 8 cenários, variando o CBR da fundação, o tráfego e o clima da zona onde irá operar hipoteticamente o pavimento, no sentido de avaliar as diferenças nas propostas de estruturas de pavimento (Quadro 7). O estudo paramétrico não incluiu o método do DCP por não se dispor de resultados de campo fidedignos para efeitos de comparação com todos os cenários avaliados.

As estruturas de pavimento obtidas pela aplicação dos métodos referidos são apresentadas no Quadro 8, identificando-se, ainda, o CBR do material.

Quadro 7. Cenários utilizados no estudo paramétrico

Casos	CBR da fundação	Tráfego (10 ⁶ ESA)	Clima
Caso 1	3%	0,04	Húmido
Caso 2	3%	0,04	Seco
Caso 3	3%	0,4	Húmido
Caso 4	3%	0,4	Seco
Caso 5	16%	0,2	Húmido
Caso 6	16%	0,2	Seco
Caso 7	16%	0,9	Húmido
Caso 8	16%	0,9	Seco

Quadro 8. Estruturas de pavimento obtidas no estudo paramétrico (espessuras em mm)

Casos	Método do Catálogo Moçambicano ¹	TRL/SADC ¹	SATCC ¹
Caso 1	150 G65 ⁽²⁾ 125 G30 150 G15	120 Base CBR 65 120 Sub-base CBR 30 120 Solos selecionados CBR 15	150 Base CBR 80 150 Sub-base CBR 30 200 Solos selecionados CBR 15
Caso 2	150 G65 120 G30 120 G15	120 Base CBR 65 120 Sub-base CBR 30 120 Solos selecionados CBR 15	150 Base CBR 80 150 Sub-base CBR 30 200 Solos selecionados CBR 15
Caso 3	175 G80 175 G30 175 G15	175 Base CBR 80 150 Sub-base CBR 30 150 Solos selecionados CBR 15	150 Base CBR 80 200 Sub-base CBR 30 200 Solos selecionados CBR 15
Caso 4	175 G80 150 G30 150 G15	175 Base CBR 80 150 Sub-base CBR 30 150 Solos selecionados CBR 15	150 Base CBR 80 200 Sub-base CBR 30 200 Solos selecionados CBR 15
Caso 5	150 G65 150 G30	120 Base CBR 55 120 Sub-base CBR 30	200 Base CBR 80
Caso 6	175 G65	150 Base CBR 55	200 Base CBR 80
Caso 7	175 G80 150 G30	200 Base CBR 65 120 Sub-base CBR 30	50 Mistura Betuminosa ⁽³⁾ 150 Base CBR 80 100 Sub-base CBR 30
Caso 8	175 G65	150 Base CBR 65 120 Sub-base CBR 30	150 Base CBR 80 100 Sub-base CBR 30

¹ Salvo quando indicado de forma diferente, deve aplicar-se às estruturas de pavimento apresentadas um revestimento superficial betuminoso

² Por exemplo, uma solução de 150 G65 representa uma camada com 150 mm de espessura de material G65 (características definidas em [7]).

³ O método preconiza uma camada superficial em mistura betuminosa com 50 mm de espessura.

A análise efetuada permite evidenciar alguns aspetos relevantes relativos à aplicação dos diferentes métodos:

- TRL/SADC – para fundações mais fracas, como é o caso da fundação S2, a estrutura de pavimento é igual para cada classe de tráfego e é independente do clima ser seco ou húmido;

- TRL/SADC – este método apresenta para a classe de fundação mais baixa estruturas de pavimento menos espessas que os restantes métodos;
- SATCC – a classe de tráfego mais baixa corresponde a um tráfego inferior a 0,3 milhões de ESA, enquanto que os métodos do catálogo moçambicano e do TRL/SADC apresentam 3 e 4 classes de tráfego, respetivamente, até este limite. Este facto, conjugado com classes de fundação baixas, traduz-se, em regra, em estruturas de pavimento substancialmente mais espessas no SATCC comparativamente aos outros dois métodos;
- SATCC – todas as estruturas de pavimento são idênticas para ambientes secos ou húmidos, com exceção dos casos 7 e 8, com classe de fundação S5 e tráfego de 0,9 milhões de ESA, nos quais para ambiente húmido se prevê a execução de uma camada de mistura betuminosa com 50 mm em vez de revestimento superficial.

Na Figura 3 comparam-se as estruturas de pavimentos obtidas para os cenários estudados no estudo paramétrico.

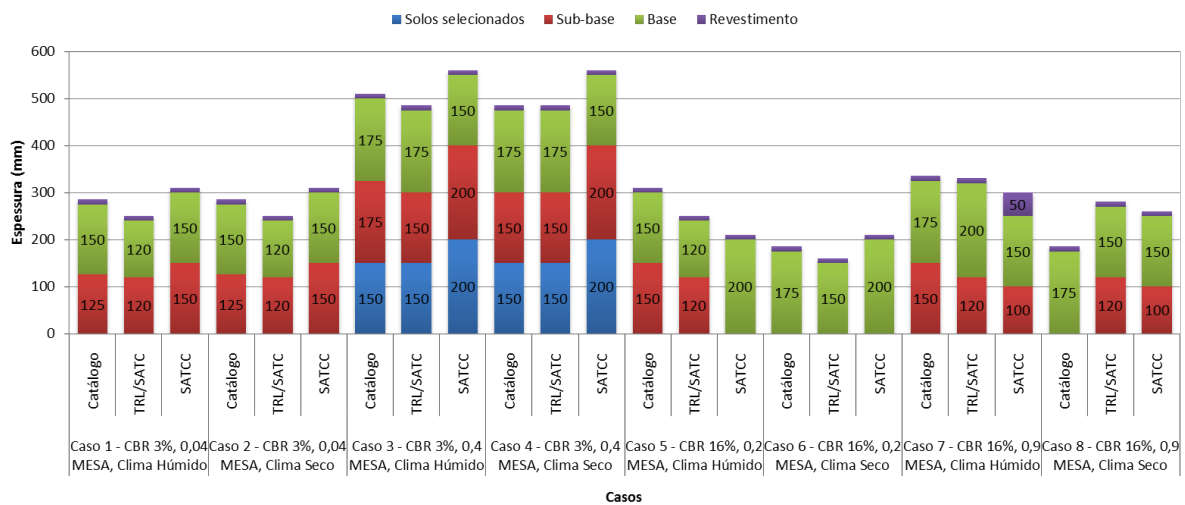


Fig. 3. Comparação das estruturas de pavimentos obtidas para os cenários estudados no estudo paramétrico

4 CONCLUSÕES

A densidade de estradas na maioria dos países, essencialmente nos africanos, é relativamente baixa, sendo muitas EBVT relativamente longas (mais de 25 km de extensão). As rotas alternativas são muitas vezes extensas, ou mesmo inexistentes, e as consequências da indisponibilidade são elevadas. É prudente, portanto, a adoção de requisitos de projeto que forneçam níveis adequados de fiabilidade e de serviço, compatíveis com as características funcionais da estrada.

O foco deste artigo foi o de fornecer uma revisão sobre os guias de projeto para EBVT, juntamente com uma visão geral do funcionamento típico de uma EBVT. Salientam-se as seguintes conclusões:

- CBR – o *California Bearing Ratio*, embora sendo um parâmetro empírico, ainda permanece como o principal parâmetro de resistência de material para fins de dimensionamento de pavimentos de EBVT. Estão disponíveis correlações com o DCP e existem vários métodos que consideram o DCP uma ferramenta importante para a avaliação da capacidade de carga existente antes do dimensionamento;
- No dimensionamento de pavimentos para EBVT os parâmetros de entrada devem ser determinados com os recursos à disposição das entidades gestoras da estrada, o que conduz à utilização de equipamentos simples, como o DCP, ou à avaliação das propriedades dos materiais com base no conhecimento de comportamentos típicos para cada tipo de material;

- O estudo paramétrico realizado mostra alguma variação entre as estruturas de pavimentos obtidas quando se utilizam diferentes métodos de dimensionamento. Pode, portanto, concluir-se que a experiência dos diferentes países, vertida para os métodos geralmente utilizados, tende a conduzir a níveis de risco diferentes, e a níveis de investimento iniciais também diferentes.

Refira-se que, paralelamente à utilização de métodos de dimensionamento relativamente expeditos para o dimensionamento de pavimentos de EBVT, podem ser utilizadas com vantagem abordagens empírico-mecanicistas, as quais permitem considerar propriedades e materiais diversificados e, assim, atender a condições particulares, embora as leis de comportamento dos materiais disponíveis envolvam ainda uma incerteza considerável.

Finalmente, assinala-se que os pavimentos de EBVT exigem geralmente a aplicação de ações de conservação frequentes, de modo a manter as condições para uma utilização adequada.

5 REFERÊNCIAS

1. ERA, *Design Manual for Low Volume Roads, Part A, Part B and Part C*, Ethiopian Roads Authority, Federal Democratic Republic of Ethiopia, 2011.
2. MTPW, *Design Manual for Low Volume Sealed Roads Using the DCP Design Method*, Ministry of Transport and Public Works Republic of Malawi, 2013.
3. MTPW. *Design Manual For Low Volume Sealed Roads*. Ministry of Transport and Public Works, Republic of Malawi, 2013.
4. Henning T. F. P., Giummarra G. J., Roux D. C., *The development of gravel deterioration models for adoption in a New Zealand gravel road management system*, Land Transport New Zealand. Research Report 348, New Zealand (2008).
5. MAI, *Maintenance Manual For Low Cost Rural Roads In Romania*, Ministry of Administration and Interior, Romania (2005).
6. SATCC, *Code of Practice for the Design of Road Pavements (draft)*, Southern Africa Transport and Communications Commission, Maputo, 1998.
7. ANE, Administração Nacional de Estradas, *Low Volume Rural Roads Manual Volume 1 - Planning and Design*, Moçambique, 2014.
8. MRB, *South Sudan low volume design manual, Volume 1*, Ministry of Roads and Bridges, Government of South Sudan, 2013.
9. Gourley, C., Greening, P., *Performance of Low-volume Sealed Roads: Results and Recommendations from Studies in Southern Africa*, TRL Published Report PR/OSC/167/99. Crowthorne, 1999.
10. TRL, *A Guide to the Structural Design of Bitumen-Surfaced Roads in Tropical and sub-Tropical Climates. Overseas Road Note 31*. Transportation Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire. (4th edition), 1993.
11. CSIR, *SATCC – Draft – Code of Practice for the Rehabilitation of Road Pavements*. CSIR. Pretória, 1998.
12. Jorge, L., *Constituição, Dimensionamento e Conservação de Pavimentos para Baixos Volumes de Tráfego*, Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Construção Urbana, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Instituto Politécnico de Coimbra, 2014.