

CUSTOS DO UTENTE NA GESTÃO DA CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS: METODOLOGIAS EXISTENTES

BERTHA SANTOS

*ASSISTENTE, DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE DA
BEIRA INTERIOR*

LUÍS PICADO-SANTOS

*PROFESSOR AUXILIAR COM AGREGAÇÃO, DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
DA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA*

VICTOR CAVALEIRO

*PROFESSOR ASSOCIADO, DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL DA
UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR*

RESUMO

Existem vários Modelos de Custos do Utente que têm vindo a ser utilizados na gestão rodoviária, possuindo muitos deles uma estrutura semelhante à usada no sub-modelo VOC (Vehicle Operating Costs) do Sistema HDM-4 do Banco Mundial.

Esta comunicação descreve a base de funcionamento de alguns destes modelos e apresenta uma proposta para um trabalho de investigação a desenvolver tendo em conta as descrições apresentadas e estudos a efectuar sobre a rede rodoviária portuguesa, que permitam a análise e quantificação dos custos imputáveis aos utentes da estrada. O objectivo final é o desenvolvimento de um módulo de custos de aplicação simples, rápida e de resultados fiáveis, que possa ser usado no âmbito dum sistema de gestão do património rodoviário.

1. INTRODUÇÃO

Nos países desenvolvidos, só nos últimos 25 anos se tornou comum o recurso a avaliações económicas no campo da engenharia rodoviária, incluindo portanto a consideração dos custos do utente da estrada. Este facto deve-se em parte à imposição de regras por parte das agências internacionais, como o Banco Mundial, que requerem este tipo de avaliações como parte dos critérios necessários para a candidatura a empréstimos.

São essencialmente os utentes os que sentem directa ou indirectamente a influência do estado de conservação das estradas, nomeadamente a dos seus pavimentos, assim, os custos associados a estes são importantes e devem ser considerados na fase de planeamento dos projectos de conservação dos pavimentos, em especial em áreas que apresentem elevados volumes de tráfego, devido ao elevado potencial de vir a ocorrer grandes custos associados ao tempo perdido pelos utentes.

2. CUSTOS DO UTENTE DA ESTRADA

Qualquer secção de uma estrada que é percorrida tem associado um custo suportado pelo utente. Para percorrer uma determinada extensão de uma estrada os utentes experimentam custos como o valor do tempo de percurso gasto pelo condutor e a despesa de operação do veículo para percorrer essa secção, assim como os custos dos acidentes para a secção considerada.

De uma forma geral e simplificada, a equação geralmente utilizada para a determinação dos Custos do Utente da Estrada é a seguinte:

$$RUC = VOC + AC + VOT \quad (1)$$

em que:

RUC é o custo do utente da estrada (“road user costs”);

VOC é o custo de operação do veículo (“vehicle operating cost”);

AC é o custo dos acidentes (“accident cost”);

VOT é o valor do tempo ou custo do tempo de percurso (“value of time”).

Em alguns sistemas é considerado ainda um custo adicional, o custo do desconforto. Trata-se de uma componente de difícil determinação, no entanto, é através da avaliação do conforto de circulação que a maioria dos utentes estabelece a sua classificação do estado da estrada.

Assim, considerando o âmbito da conservação dos pavimentos, podemos definir custos do utente da estrada como a estimativa do custo diário para os utentes da estrada resultante da realização de trabalhos na estrada. Este custo é definido principalmente pelo “tempo perdido” devido a diversas situações, entre as quais podem-se destacar:

- O aumento do tempo de percurso devido a desvios e reencaminhamento dos veículos;
- A redução da capacidade da estrada, o que leva a uma diminuição da velocidade de circulação e conseqüentemente ao aumento do tempo de percurso;
- O atraso na abertura ao público da infraestrutura melhorada, o que impede os utentes de beneficiarem do ganho de tempo de percurso correspondente.

2.1. Custo de operação do veículo

Este custo é função do tipo e estado de conservação do veículo, do tipo de camada de desgaste, da velocidade de circulação, da irregularidade da camada de desgaste e das características geométricas da estrada.

Por exemplo, uma superfície que apresente uma irregularidade elevada conduzirá a uma redução da velocidade, logo implica um aumento do tempo de percurso, cujo custo é parcialmente compensado com a redução do consumo de combustível.

O custo de operação dos veículos inclui em geral os custos do combustível, pneus, óleo para o motor, manutenção e desvalorização dos veículos.

2.2. Custo dos acidentes

O custo dos acidentes inclui os custos dos acidentes pessoais (mortais ou “não mortais”) e dos danos materiais, logo, os custos relacionados com a perda de produtividade, assistência médica, custos legais e de tribunais, custos dos serviços de emergência, seguros, atrasos no tráfego e danos de propriedade [1].

Para além das três componentes referidas (acidentes mortais, acidentes com feridos e acidentes com danos materiais), alguns estados dos EUA incluem ainda um factor de multiplicação que tem por objectivo permitir a consideração dos custos dos acidentes relativos a danos materiais provocados em acidentes não reportados. Desta forma, o que se acabou de referir pode ser traduzido pela seguinte equação [2]:

$$AC = FA + NFA + (PDO)x \quad (2)$$

em que:

AC é o custo dos acidentes (“accident cost”);

FA é o custo dos acidentes mortais (“fatal accidents”);

NFA é o custo dos acidentes com feridos (“non-fatal injury accidents”);

PDO é o custo dos acidentes envolvendo apenas danos materiais (“property damage only accidents”);

x é o factor de ajustamento para os acidentes do tipo PDO não reportados.

2.3. Valor do tempo ou Custo do tempo de percurso

O tempo de percurso é essencialmente função da velocidade, a qual por sua vez é função das características geométricas da estrada, do tipo de veículo e do estado do pavimento.

Na sua forma conceptual simples, o valor do tempo é basicamente uma função relativa ao valor do salário médio por unidade de tempo, por exemplo, por hora. No Quadro 1 são apresentados valores do tempo adoptados em alguns estados dos EUA [2].

Quadro 1 – Valor do tempo adoptado em vários estados dos EUA (1998) (\$/hora/pessoa)

Estado	Valor do tempo	
	Veículos ligeiros	Camiões
North Carolina	\$8.70	-
New York	\$9.00	\$21.14
Florida	\$11.12	\$22.36
Georgia	\$11.65	-
Texas	\$11.97	\$21.87
Virginia	\$11.97	\$21.87
California	\$12.10	\$30.00
Pennsylvania	\$12.21	\$24.18
Washington	\$12.51	\$50.00
Ohio	\$12.60	\$26.40

Na determinação do valor do tempo ou tempo de percurso para secções rodoviárias envolvendo a realização de trabalhos de conservação, deve-se incluir uma componente relacionada com o tempo adicional gasto devido à realização destes trabalhos. Os custos do tempo podem assumir valores muito elevados em função da estratégia de conservação proposta, em particular em estradas com tráfego intenso, podendo, em muitos casos, determinar a diferença nos custos globais para o utente.

3. MODELOS PARA DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS DO UTENTE DA ESTRADA

Existem vários Modelos de Custos do Utente que têm vindo a ser utilizados na gestão rodoviária. A maior parte apresenta uma estrutura semelhante à usada no modelo do Banco Mundial e dão sobretudo atenção aos custos de operação dos veículos. No entanto, também são considerados os custos do tempo de percurso, do desconforto e dos acidentes.

3.1. Modelo “Efeitos dos trabalhos efectuados na estrada no tráfego e nos custos do utente” do HDM-4 (“The effects of road works on traffic and user costs”)

Para prever os custos decorrentes da existência de zonas na estrada em que decorrem trabalhos de conservação, o HDM-4 requer informação a respeito do número de veículos que formam fila no local dos trabalhos; do tempo de paragem desses veículos e do tempo adicional em movimento na fila. Estes dados são função do volume de tráfego (TMDA), da

extensão, da capacidade e da velocidade da zona onde decorrem os trabalhos, e ainda do padrão de chegada dos veículos.

O modelo considera que os condutores não têm possibilidade de aceder a um percurso alternativo, pelo que têm de permanecer na fila que se forma devido aos trabalhos de conservação na estrada que apresenta uma capacidade reduzida.

São quatro os tipos de zonas de trabalho consideradas no modelo:

1º Caso – *Estradas multivias com uma ou ambas das direcções afectadas*: a estrada apresenta uma ou mais vias fechadas.

2º Caso – *Estrada de duas vias e dois sentidos com ambas as direcções afectadas*: estradas em que uma das duas vias está fechada. O tráfego das duas direcções percorre a zona onde decorrem os trabalhos alternadamente na via que permanece aberta.

3º Caso – *Estrada multivias, estrada com duas vias e dois sentidos ou estrada com uma via temporariamente fechada*: neste caso a circulação dos veículos é completamente interrompida durante um determinado período de tempo.

4º Caso – Combinação especial do 3º Caso com o 1º Caso ou com o 2º Caso.

Quando o modelo procede à modelação dos efeitos provocados pelos trabalhos a decorrer na estrada, considera as seguintes 3 componentes:

- *O percurso através da zona em que decorrem os trabalhos*, já que a circulação dos veículos é feita a uma velocidade inferior, o que em geral se traduz num aumento dos efeitos para os utentes da estrada;

- *Os efeitos provocados pela formação de filas*. No HDM-4 esta situação é calculada considerando separadamente as filas com veículos em movimento (os custos do combustível e do tempo de percurso são baseados na determinação da velocidade de circulação ao longo da fila) e as filas com veículos parados (o consumo de combustível refere-se ao valor da “inactividade” e do tempo de paragem e o custo do tempo de percurso é proporcional ao tempo de paragem);

- *Os efeitos do ciclo de variação da velocidade*. Ao aproximarem-se da zona de trabalhos, os veículos desaceleram em relação à velocidade de aproximação que praticavam. Estes veículos podem juntar-se às filas existentes (se for o caso) ou atravessar a zona de trabalho a uma velocidade reduzida. Depois de atravessar a zona de trabalho voltam a acelerar até à velocidade inicial. Estas variações nas velocidades praticadas incorrem em custos adicionais de tempo de percurso e de operação dos veículos.

O modelo de simulação ROADWORK é usado no HDM-4 para gerar os valores da informação necessária para prever os custos (nº de veículos na fila, tempo de paragem e tempo adicional em movimento na fila) tendo em conta as condições de tráfego e da zona de trabalho. O “output” do modelo é usado pelo HDM-4 para estimar o tempo e o consumo de

combustível adicional devido à existência de zonas de trabalho, associados a determinado ciclo de variação da velocidade, e com base nesta informação, prever os custos do tempo e os custos de operação dos veículos.

Para determinar os custos do tempo e de operação dos veículos, o HDM-4 adoptou para efectuar as suas análises, depois de proceder a algumas modificações, o Modelo de Custos de Operação dos Veículos da Nova Zelândia (NZVOC). Neste modelo, o custo adicional devido à verificação de ciclos de variação da velocidade é igual à diferença entre os custos verificados tendo em conta a existência de trabalhos a decorrer na estrada, e o custo que se verificaria se o veículo percorresse a mesma distância sem interrupções, o que pode ser traduzido pela seguinte equação [3]:

$$ADDCST = (DECCST + ACCCST) - UNICST \quad (3)$$

em que:

ADDCST é o custo adicional devido à verificação de um ciclo de variação da velocidade;

DECCST é o custo de desacelerar da velocidade inicial para a velocidade final;

ACCCST é o custo de acelerar da velocidade final para voltar à velocidade inicial;

UNICST é o custo de percorrer a mesma distância à velocidade inicial.

Como referido anteriormente, a análise efectuada pelo HDM-4 determina o tempo de percurso e o combustível adicional separadamente para os veículos que são forçados a parar numa fila e para os que percorrem a zona de trabalho sem parar. Desta forma, os efeitos totais devido à existência de zonas de trabalho são determinadas pelo somatório dos custos dos veículos que param e dos que não necessitam de parar.

3.2. Modelo para estimar os custos do utente da estrada (RUC – Road User Costs) do Texas Transportation Institute (TTI)

O TxDOT (Texas Department of Transportation) desenvolveu um manual técnico (que inclui técnicas manuais simplificadas, como é o caso do uso de tabelas) para determinar os RUC em projectos de reabilitação de estradas, incluindo portanto a conservação dos seus pavimentos.

Tendo em conta o tipo de projecto, isto é, *projectos para aumento da capacidade da estrada* ou *projectos de reabilitação*, o TxDOT utiliza uma abordagem analítica para estimar os RUC. No caso dos projectos de reabilitação que não incluem aumento da capacidade da estrada, utilizam uma análise do tipo “Durante a Construção versus Depois da Construção” (“During Construction versus After”), que consiste em comparar os valores estimados para os RUC tendo em conta as restrições efectuadas durante a reabilitação, com os valores estimados para os RUC depois de concluídas as acções de reabilitação da estrada.

Para o caso de projectos de reabilitação o TxDOT desenvolveu uma série de tabelas tendo em conta 7 tipos diferentes de projectos, classificados em função da localização da estrada (rural, suburbana ou urbana), do perfil transversal tipo e da percentagem de camiões, para dois cenários diferentes de restrição das vias. Um dos cenários corresponde a *fechar uma via em uma das direcções* e o outro cenário considera *todas as vias abertas mas com redução da capacidade*. Os valores apresentados nestas tabelas correspondem aos benefícios diários estimados para os utentes que se perdem pelo facto de estar a decorrer uma acção de reabilitação na estrada. No Quadro 2 é apresentado um exemplo das tabelas acima descritas.

Quadro 2 – Tabela para estimar os RUC para zonas de trabalho em estradas rurais com 4 vias, com separador central e 10% de camiões (\$/dia/milha) [2]

Uma via fechada numa direcção		Todas as vias abertas com redução da capacidade	
TODA	RUC	TDA	RUC
5000	0	5000	0
10000	0	10000	0
15000	100	15000	0
20000	200	20000	0
25000	600	25000	100
...

TDA – Tráfego diário anual

O modelo escolhido pelo TxDOT para obter os valores dos RUC das suas tabelas foi o MicroBENCOST. Trata-se de uma ferramenta de análise económica utilizada ao nível da fase de planeamento desenvolvida pelo TTI no projecto NCHRP (“National Cooperative Highway Research Program) 7-12 [4]. O MicroBENCOST é um programa desenvolvido para efectuar análises económicas tendo em conta uma variedade significativa de situações de intervenção para proceder a melhorias das condições das estradas. O programa usa metodologias standards para afectação do tráfego e para a determinação da velocidade/atraso.

Para concluir, a prática corrente do TxDOT é a de incluir os RUC em alguns contratos de construção e, à data do documento consultado [2] (Dezembro de 1999), o estado do Texas limitava-se a considerar apenas a componente do valor do tempo (VOT).

3.3. Modelo de custos do utente do sistema de gestão da conservação (SGC) da Junta Autónoma de Estradas (JAE)

A estrutura do sistema de custos do SGC da JAE é idêntica à utilizada pelo Banco Mundial, mas com um menor número de dados, utilizando relações entre o estado do pavimento (classe

de irregularidade longitudinal) e os custos do utente, de formulação simples, provenientes do Sistema de Gestão de Pavimentos da Noruega [5].

O sistema considera três factores de custo, o custo de operação dos veículos (COV), o custo do tempo de percurso (CTP) e o custo do desconforto (CD), considerados em função da irregularidade longitudinal do pavimento de uma determinada sub-secção (500m) rodoviária, sendo o cálculo realizado a partir da consideração da categoria do itinerário rodoviário (importância e traçado) e das características do tráfego (veículos e utentes respectivos).

O Sistema de Custos está interligado à Base de Dados da Conservação, da qual recebe a informação necessária para efectuar os cálculos. Os dados utilizados pelo sistema dizem respeito à caracterização geométrica da estrada (identificador da secção rodoviária, extensão da secção rodoviária e velocidade média por tipo de veículo); à caracterização do tráfego (tráfego médio diário anual – TMDA, TMDA de veículos ligeiros – TMDAVLI, TMDA de veículos pesados de passageiros – TMDAVPP, TMDA de veículos pesados de mercadorias – TMDAVPM, número de utentes por veículo ligeiro – NUVLI, número de utentes por veículo pesado de passageiros – NUVPP, número de utentes por veículo pesado de mercadorias – NUVPM); à caracterização do estado do pavimento (classe de irregularidade longitudinal correspondente ao estado actual do pavimento e classe de irregularidade longitudinal do pavimento após a realização das acções de conservação); aos custos unitários de referência por quilómetro percorrido (custos de combustível, pneus, reparações e desvalorização para uma irregularidade de referência correspondente a um valor de IRI igual a 2,7) e aos coeficientes de variação dos custos unitários de referência.

O sistema contém uma biblioteca de custos unitários de referência relativos a uma “irregularidade de referência” que representa a qualidade desejável do pavimento. A consideração de diferentes estados funcionais do pavimento expressos pelo valor e classe da irregularidade longitudinal é realizada através da utilização de coeficientes de variação dos custos unitários de referência, resultantes de relações desenvolvidas pelo Sistema de Gestão da Noruega.

No Quadro 3 são apresentadas as equações utilizadas pelo sistema para a determinação dos custos para cada um dos factores de custo considerados e dos custos totais dos utentes.

Assim, para cada sub-secção rodoviária e conhecido o estado desta através da classe de irregularidade longitudinal, é calculado o custo das diferentes componentes (COV, CTP e CCO), cujo somatório representa os custos do utente para cada sub-secção (CUU). O custo do utente por secção rodoviária (CU) é igual ao somatório dos custos das sub-secções rodoviárias.

Quadro 3 – Equações para a determinação dos custos do utente (JAE)

Tipo de custo	Equação
COV	$COV = TMDA \times \sum_{k=1}^3 \gamma_k \times (CF_k \times cv_{fi} + CP_k \times cv_{pi} + CR_k \times cv_{ri} + CD_k \times cv_{di})$
CTP	$CTP = CT \times NU \times l \times \sum_{k=1}^3 \gamma_k / v_k$
CCO	$CCO = CCU \times NU$
CUU	$CUU = COV + CPT + \alpha CCO$
CU	$CU = \sum_{i=1}^n CUU$

COV é o custo de operação dos veículos por sub-secção rodoviária de 500m; CTP é o custo do tempo de percurso por sub-secção rodoviária de 500m; CCO é o custo do desconforto por sub-secção rodoviária de 500m; CUU é o custo total unitário dos utentes por sub-secção rodoviária de 500m; CU são os custos dos utentes por secção rodoviária; TMDA é o tráfego médio diário anual; γ_k é a percentagem dos veículos do tipo k; CF_k é o custo do combustível do veículo k; cv_{fi} é o coeficiente de variação do custo de combustível para a classe de irregularidade CIL_i ; CIL_i é a classe de irregularidade longitudinal correspondente ao estado actual do pavimento; CP_k é o custo de pneus para o veículo k; cv_{pi} é o coeficiente de variação do custo de pneus para a classe de irregularidade CIL_i ; CR_k é o custo de reparações para o veículo k; cv_{ri} é o coeficiente de variação do custo de reparação para a classe de irregularidade CIL_i ; CD_k é o custo de desvalorização do veículo k; cv_{di} é o coef. de variação do custo de desvalorização para a classe de irregularidade CIL_i ; CT é o custo unitário do tempo de percurso por utente, por hora; NU é o número de utentes; l é a extensão unitária (1km); v é a velocidade média para o itinerário e tipo de veículos considerados; CCU é o custo unitário de desconforto; α é um coeficiente que pode apresentar o valor 1 ou 0, para permitir a opção de considerar ou não o custo de desconforto; n é o número de sub-secções rodoviárias de 500m que formam determinada secção rodoviária.

Desta forma, o sistema calcula os benefícios dos utentes para determinada secção rodoviária e TMDA, pela diferença entre os custos para o utente resultantes do estado futuro do pavimento (CLI_{i+1}), devido à realização de acções de conservação, e os custos para o utente resultantes do estado actual do pavimento (CLI_i).

4. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A avaliação que se pretende fazer sobre os custos do ponto de vista do utente, permitirá desenvolver um modelo de custos em que a quantificação destes seja de tratamento acessível e de obtenção de resultados fiáveis, facilitando o seu uso nos sistemas de gestão rodoviária.

É de realçar que o objectivo desta investigação inclui o desenvolvimento de estudos sobre a rede rodoviária portuguesa, de forma a obter resultados mais representativos a serem utilizados pelos Sistemas de Custos a aplicar nas nossas redes nacionais e municipais. Desta forma, a informação poderá ser incluída no processo da análise económica de estratégias de intervenção, produzindo soluções optimizadas, que para além de terem como objectivo

manter em boas condições a maior extensão possível da rede, servirão melhor um maior número de utentes pelo aumento dos benefícios em relação aos custos a estes imputados.

5. CONCLUSÕES

No domínio dos pavimentos, muitos sistemas de gestão de pavimentos não consideram os custos do utente, quer devido às dificuldades de obtenção de dados para definir estes custos, à complexidade dos modelos que os determinam, quer por facilitar a interpretação dos resultados dos modelos de optimização. No entanto, a sua exclusão na análise de estratégias de conservação de pavimentos conduzirá inevitavelmente a soluções não suficientemente representativas da realidade.

Pode dizer-se que numa análise de sensibilidade da avaliação económica tendo em conta os custos do utente, a consideração ou não destes custos, sobretudo relacionados com a variação do tempo de percurso, pode influenciar o período óptimo de intervenção numa estrada, principalmente nas que apresentam tráfego elevado, sendo por vezes o factor determinante na decisão de intervenção.

A importância do estudo dos modelos existentes e do desenvolvimento de um modelo de custos para o utente da estrada de aplicação, tratamento acessível e de obtenção de resultados fiáveis, adaptado à realidade rodoviária portuguesa, prende-se com o facto dos modelos existentes desenvolvidos para outras realidades serem complexos e não permitirem a sua aplicação, com resultados satisfatórios, à nossa situação em Portugal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - Edwards, J. - "Transportation planning handbook". Institute of Transportation Engineers, USA, 1999.
- [2] - Daniels, G., Ellis, D., Stockton, Wm. - "Techniques for manually estimating road user costs associated with construction projects". Texas Transportation Institute, USA, 1999.
- [3] - Bennett, C., Greenwood, I. - "Modelling road user and environmental effects in HDM-4". The Highway Development and Management Séries, 2001.
- [4] - "Microcomputer evaluation of Highway user benefits". Final Report for National Cooperative Highway Research Program, Project 7-12, Texas Transportation Institute, USA, 1993.
- [5] - Pereira, P., Miranda, V. - "Gestão da conservação dos pavimentos rodoviários". Universidade do Minho, Braga, 1999.