

VELOCIDADE LIVRE DE CIRCULAÇÃO EM AMBIENTE PERIURBANO: NÍVEIS DE ATUAÇÃO

**António Lobo
Fernanda Sousa
Carlos Rodrigues
António Couto**

CITTA, Faculdade de Engenharia
Universidade do Porto, Portugal

RESUMO

O objetivo deste artigo prende-se com a avaliação macroscópica da influência das características geométricas e ambientais e da sinalização de velocidade limite legal na velocidade em regime livre praticada pelos condutores em zonas periurbanas. Um condutor circula em regime livre quando a sua escolha de velocidade não é condicionada pela presença do veículo precedente. Assim, a velocidade adotada reflete a sua resposta face às características da estrada e do ambiente envolvente. É considerado um conjunto de 27 locais, onde são observadas as velocidades praticadas, a existência de sinalização de velocidade limite legal e diversas variáveis microscópicas caracterizadoras da geometria e do ambiente. Através de métodos estatísticos de análise de dados multivariados, nomeadamente de classificação e de análise em componentes principais, são encontradas variáveis macroscópicas caracterizadoras das zonas periurbanas. Finalmente, uma análise de regressão permite a avaliação dos impactos das diferentes variáveis na velocidade em regime livre.

ABSTRACT

This paper presents a contribution for the evaluation of the effects of posted speed limit, geometric and environmental characteristics on free-flow speed in transition zones, through a macroscopic analysis. A vehicle travels under free-flow conditions if its chosen speed is not affected by the presence of the vehicle ahead. In this sense, the free-flow speed reflects the driver's response to road geometric and environmental characteristics. The drivers' speed, the existence of posted speed limit and some geometric and environmental microscopic characteristics are collected for a set of 27 selected sites. New macroscopic variables reflecting the characteristics of transition zones are created through the use of methods of multivariate data analysis, namely analysis of clusters and principal component analysis. Finally, a regression is performed in order to compare effects of the different variables on the adopted free-flow speed.

1. INTRODUÇÃO

No ambiente rodoviário, as zonas periurbanas, também designadas por zonas de transição, caracterizam-se por marcarem a passagem entre zonas rurais e urbanas, apresentando características intermédias em relação a estas. De facto, uma zona periurbana é geralmente caracterizada pela existência de índices de construção marginal superiores ao ambiente rural – onde a existência de edifícios marginais à estrada é pontual/isolada – sem que, contudo, apresente uma frente urbana consolidada. As necessidades de acessibilidade aumentam com a densidade de construção, pelo que não é de estranhar que as zonas periurbanas apresentem características intermédias para os indicadores que preconizam a acessibilidade de veículos e peões, tais como a densidade de intersecções, passadeiras e passeios. A título de curiosidade, refira-se que uma observação qualitativa sobre a continuidade de passeio pode fornecer uma forte indicação sobre o tipo de ambiente em causa: em zona rural, o passeio é praticamente inexistente; em zona periurbana o passeio é descontínuo e acompanha frequentemente a existência de edifícios (situação muito comum em Portugal); em zona urbana, o passeio é geralmente contínuo.

Situando-se em posição intermédia entre o ambiente rural (limite legal de velocidade de 90 km/h) e o ambiente urbano (limite legal de velocidade de 50 km/h), o ambiente periurbano constitui uma zona de redução de velocidade na aproximação às localidades. No entanto, o

Código da Estrada português não estabelece um limite legal intermédio e específico para este tipo de ambiente, que nem sempre consegue transmitir ao condutor a necessidade de redução de velocidade devido à aproximação de uma zona urbana (Schmidt e Tiffin, 1969; Denton, 1976; Matthews, 1978). As zonas de transição são particularmente sensíveis em termos de sinistralidade, registando taxas de ocorrência de acidentes com vítimas bastante superiores às observadas em ambiente rural (Tziotsis, 1992). A publicação produzida pela NCHRP (2011) contempla uma ampla revisão do estado da arte no que concerne ao estudo da velocidade e à implementação de medidas de acalmia de tráfego nas zonas de transição.

Em Portugal, as entidades gestoras da rede viária (governo central e autarquias) têm prestado uma crescente atenção à problemática das velocidades praticadas em ambiente periurbano, através da aplicação de um grande número de medidas corretivas do traçado e de medidas de acalmia de tráfego, tais como: (i) alterações ao traçado em planta (e. g. construção de rotundas); (ii) alterações ao traçado em perfil longitudinal (e. g. implantação de lombas de abrandamento); (iii) alterações ao traçado em perfil transversal (e. g. construção de passeios ou separadores centrais); (iv) implementação de sinalização diversa (e. g. sinais de limite de velocidade, semáforos ou bandas cromáticas); (v) melhoria dos percursos pedonais (e. g. construção de passeios ou pintura de passadeiras).

Contudo, a adoção destas medidas deve ser racional do ponto de vista de gestão de recursos e eficaz do ponto de vista do cumprimento do seu objetivo: redução da velocidade de circulação entre os ambientes rural e urbano. Assim, as características das zonas de transição devem induzir nos condutores a prática de velocidades adequadas que permitam que o atravessamento destas zonas e das zonas urbanas subsequentes seja seguro e sustentável, quer para os utentes da via, quer para as atividades desenvolvidas à sua margem.

Por isso, o objetivo deste trabalho consiste em avaliar os impactos na velocidade praticada pelos condutores em ambiente periurbano de três características macroscópicas intrínsecas à estrada: geometria, ambiente e limite legal de velocidade. Para tal, recorre-se a um conjunto de 27 locais, onde é conduzida uma campanha de recolha de velocidades e de variáveis microscópicas caracterizadoras da geometria e do ambiente das estradas. Observa-se ainda a presença de sinalização de limite legal de velocidade especificamente adotada nos locais.

O tratamento estatístico dos dados recolhidos permite a agregação das variáveis microscópicas em variáveis associadas às características macroscópicas representativas da geometria da estrada e do ambiente envolvente. Posteriormente, é efetuada uma análise de regressão que permite concluir sobre os efeitos relativos dos diversos aspetos que caracterizam a estrada – geometria, ambiente e sinalização de velocidade limite – nas velocidades praticadas em zonas periurbanas.

Pretende-se que as conclusões deste estudo possam auxiliar projetistas e entidades gestoras da rede viária na consideração das medidas mais úteis para a prática de velocidades adequadas em zonas periurbanas. A implementação deste tipo de medidas ocorre, muitas vezes, em fase de exploração da rede viária, sempre que haja necessidade de intervencionar zonas de transição com elevada sinistralidade ou caso a expansão urbana provoque alterações nos limites das zonas periurbanas. Nesta fase, há que averiguar se as características da estrada e sua envolvente são, por si só, suficientes para que os condutores reduzam a sua velocidade. E, em caso negativo, é necessário definir o campo de atuação mais eficaz.

Devido à natureza dos locais envolvidos, tem-se dado uma maior ênfase ao tratamento de zonas periurbanas de estradas existentes. No entanto, as conclusões deste estudo podem ser úteis em fase de definição do traçado. Por outras palavras, se um projetista é incumbido de elaborar uma estrada com uma determinada velocidade base, deve ponderar as possíveis soluções geométricas e ambientais (caso haja corredores alternativos que atravessem diferentes ambientes) que resultem num traçado que induza a prática dessa mesma velocidade. Para tal, o conhecimento do impacto dos diversos fatores na velocidade é também importante.

2. RECOLHA DE DADOS

2.1. Seleção de locais e variáveis

O presente trabalho é efetuado no âmbito do projeto *SAFESPEED*, atualmente em curso em Portugal, e da respetiva tarefa sobre modelação de velocidade em regime livre em estradas de duas vias. A escolha dos locais e variáveis para cumprimento dos objetivos deste estudo está circunscrita à base de dados do *SAFESPEED*, que resultou de uma vasta campanha de recolha de dados. Assim, foi selecionado um conjunto de 27 locais pertencentes a estradas de duas vias e dois sentidos, situadas no norte de Portugal. Estas estradas são pautadas pelo elevado número de zonas periurbanas, com presença de construção marginal dispersa. A irregularidade do terreno manifesta-se através da elevada sinuosidade do traçado, com muitas curvas de raio inferior a 100 m, mas nem por isso sujeito a inclinações longitudinais significativas, que se mantêm geralmente abaixo dos 6%.

Nos locais selecionados, são recolhidas as velocidades dos veículos (em secção) e diversos indicadores relacionados com a geometria das estradas e com o ambiente envolvente às mesmas. Pretende-se que as velocidades obtidas sejam representativas das zonas de transição onde os locais de recolha se inserem, pelo que se optou pela escolha de locais apenas em reta. Os locais em curva são preteridos, uma vez que o reduzido valor do raio na generalidade das curvas das estradas utilizadas seria o fator preponderante na velocidade praticada pelos condutores. Outro contributo para que os indicadores recolhidos sejam representativos das zonas de transição prende-se com a recolha de características geométricas do troço a montante, constituído pela curva e reta anteriores ao elemento alvo de medição de velocidades. A consideração do troço a montante e de uma variável caracterizadora do perfil longitudinal em relação à secção de medição obriga à separação por sentido de circulação dos dados recolhidos, o que origina um total de 54 observações no presente estudo. As variáveis selecionadas e quantificadas para a totalidade das observações são:

- Variáveis recolhidas nas retas em análise:
 - v_{85} : velocidade de circulação dos veículos em regime livre (km/h);
 - lv : largura das vias [m];
 - lb : largura das bermas [m];
 - dl : desobstrução lateral [m];
 - i : inclinação longitudinal [%].
- Variáveis recolhidas nos troços a montante:
 - rca : raio da curva anterior [m];
 - eca : extensão da curva anterior [m];
 - era : extensão da reta anterior [m].
- Variáveis recolhidas nas retas em análise e troços a montante:
 - dcm : densidade de construções marginais [n.º/km];

- *dpc*: densidade de pontos de conflito [n.º/km];
- *dp*: densidade de passeios [m/km].
- *slv*: existência de sinalização de limite legal de velocidade (variável binária).

A velocidade de circulação em regime livre define-se pela velocidade praticada pelos condutores quando não circulam restringidos pela presença do veículo precedente (AASHTO, 2004). Assim, a velocidade reflete a resposta dos condutores face às características da estrada e do ambiente envolvente. Neste estudo, segue-se a recomendação de Lobo *et al.* (2011), segundo a qual um veículo circula em regime livre quando o intervalo temporal para o veículo precedente (*gap*) é igual ou superior a 6 segundos. A velocidade em regime livre para cada observação é determinada pelo percentil 85 do perfil de velocidades pontuais dos veículos que apresentam um *gap* mínimo de 6 segundos, observado na secção média das retas em análise.

A largura das bermas e a desobstrução lateral consideradas resultam da média dos valores representativos para a reta em análise, medidos à esquerda e à direita. A desobstrução lateral representa a distância entre a guia lateral e um objeto fixo existente à margem da estrada.

As variáveis expressas em forma de densidade foram observadas em ambas as margens da estrada, no conjunto das retas em análise e respetivos troços a montante. A densidade de construções marginais traduz o número de construções por quilómetro, a densidade de pontos de conflito representa o número de intersecções e passadeiras por quilómetro e a densidade de passeios expressa a extensão de passeio (em metros) existente por quilómetro de estrada.

A existência de sinalização de limite legal de velocidade assume valor 1 quando o troço em análise está inserido numa zona onde o limite legal de velocidade é estabelecido pela sinalização vertical num valor inferior a 90 km/h (velocidade máxima permitida pelo Código da Estrada para circulação em estradas de duas vias e dois sentidos, fora das localidades). Caso contrário, a variável assume o valor 0. Verifica-se que, das 46 observações com limite legal de velocidade restringido pela sinalização, 42 estão sujeitas a um limite de 50 km/h e apenas quatro apresentam um limite de 70 km/h. Face a esta disparidade no número de observações, opta-se por agregar os dois limites de velocidade numa única variável binária que representa a presença deste tipo de sinalização.

Foi avaliada a hipótese de inclusão no estudo do comprimento das retas em análise. Contudo, devido aos objetivos do *SAFESPEED*, foram apenas selecionados os locais em reta com extensões mais significativas, de modo a que a velocidade praticada pelos condutores nestes elementos atinja um patamar de estabilização. Então, pode-se dizer que a extensão da reta é uma variável que carece de aleatoriedade, devido ao critério imposto na escolha dos próprios locais em reta. Este facto leva a que esta variável não tenha sido incluída no presente estudo.

2.2. Procedimentos de recolha

A velocidade dos veículos foi aferida com recurso a dispositivos contadores de tráfego, contendo um sensor de radar Doppler, uma memória de dados Flash RAM e um relógio em tempo real, que registam o momento de passagem de cada veículo (*hh:mm:ss*), a respetiva velocidade e o *gap* em relação ao veículo precedente. Os contadores devem ser colocados na secção média dos elementos alvo de levantamento e a sua presença deve ser o mais dissimulada possível, pois os condutores tendem a abrandar sempre que avistam objetos desconhecidos instalados à margem da estrada. As recolhas de velocidades foram realizadas

em condições diurnas, de pavimento seco e de não congestionamento. Os períodos de recolha tiveram uma duração variável, sendo que, para cada observação, foi garantida a obtenção de velocidades de um mínimo de 100 veículos livres, seguindo a recomendação do *Highway Capacity Manual 2000* (TRB, 2000) para efeitos de estimativa de velocidade operacional.

As características do traçado em planta foram obtidas a partir da recolha de pontos (x,y) efetuada com recurso ao veículo instrumentado do Laboratório de Análise de Tráfego da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Neste veículo, foi instalado um sistema de GPS que, para maior precisão na tomada de dados, recebe correções diferenciais enviadas por estações fixas. O ajuste dos elementos do traçado (retas e curvas) aos pontos recolhidos foi posteriormente realizado com recurso ao *software Autodesk Civil 3D 2010*. As características geométricas referentes ao perfil transversal, bem como a inclinação longitudinal, foram medidas *in situ* com recurso a métodos de levantamento expedito.

2.3. Descrição dos dados

Na Tabela 1 são apresentadas algumas estatísticas das variáveis recolhidas.

Tabela 1: Média e desvio padrão e coeficiente de variação das variáveis selecionadas

Variáveis	Média	Desvio padrão	Coeficiente de variação
Recolhidas na reta			
v_{85} [km/h]	74	9	13%
lv [m]	3,48	0,17	5%
lb [m]	1,47	1,11	75%
dl [m]	1,72	1,08	63%
i [%]	0,0	3,2	
Recolhidas no troço a montante			
rca [m]	199	163	82%
eca [m]	105	81	78%
era [m]	232	372	160%
Recolhidas na reta e troço a montante			
dcm [n.º/km]	23	17	71%
dpc [n.º/km]	5	3	70%
dp [m/km]	276	299	108%

Por observação da Tabela 1, é possível salientar a elevada dispersão de algumas variáveis, o que confirma a reduzida homogeneidade das características dos locais em análise.

3. METODOLOGIA

A metodologia proposta tem em vista o cumprimento do objetivo referido na Introdução: avaliação dos impactos na velocidade em regime livre de três características macroscópicas intrínsecas à estrada: geometria, ambiente e limite legal de velocidade. Para tal, são contempladas três etapas: (i) agregação das variáveis originais em variáveis macroscópicas; (ii) formulação numérica das variáveis macroscópicas; (iii) avaliação dos efeitos das diferentes variáveis na velocidade em regime livre. Estas etapas recorrem, respetivamente, a três métodos estatísticos de análise de dados multivariados: classificação hierárquica (análise de *clusters*), análise em componentes principais e análise de regressão.

A variável dependente do estudo (v_{85}) é apenas considerada na análise de regressão. Também a variável svl é unicamente utilizada nessa etapa, uma vez que: (i) representa, por si só, uma das características macroscópicas que se pretende estudar (limite legal de velocidade); (ii) a sua tipologia binária não permite a inclusão no tratamento estatístico da segunda etapa.

Os métodos de tratamento estatístico utilizados nas três etapas foram executados com o auxílio do *software SPSS*, versão 17.0 (Maroco, 2003).

3.1. Agregação das variáveis originais em variáveis macroscópicas

Tendo como objetivo encontrar grupos de variáveis semelhantes, recorre-se a métodos de classificação hierárquica (agregação ascendente) sobre o conjunto de variáveis *lv*, *lb*, *dl*, *i*, *rca*, *era*, *eca*, *dcm*, *dpc* e *dp*. Para medida de proximidade entre as variáveis, utiliza-se o coeficiente de correlação de Pearson. Para critério de agregação entre classes, usam-se três medidas diferentes (Gordon, 1999):

- Ligação pela menor distância (*single linkage*): a distância entre duas classes A e B é dada pelo menor valor de distância entre um elemento de A e um elemento de B, tal como se representa na Equação 1:

$$D(A, B) = \min\{d(a, b), a \in A \wedge b \in B\} \quad (1)$$

- Ligação pela maior distância (*complete linkage*): a distância entre duas classes A e B é dada pelo maior valor de distância entre um elemento de A e um elemento de B, conforme se expressa na Equação 2:

$$D(A, B) = \max\{d(a, b), a \in A \wedge b \in B\} \quad (2)$$

- Ligação média entre grupos (*average linkage between groups*): a distância entre duas classes A e B é dada pela média aritmética dos valores de distâncias entre todos os pares de elementos de A e B, traduzida pela Equação 3:

$$D(A, B) = \frac{1}{n_A n_B} \sum_{a \in A} \sum_{b \in B} d(a, b) \quad (3)$$

em que n_A : cardinal da classe A;
 n_B : cardinal da classe B.

Na Figura 1, apresenta-se o dendrograma resultante do critério de agregação pela ligação média entre classes.

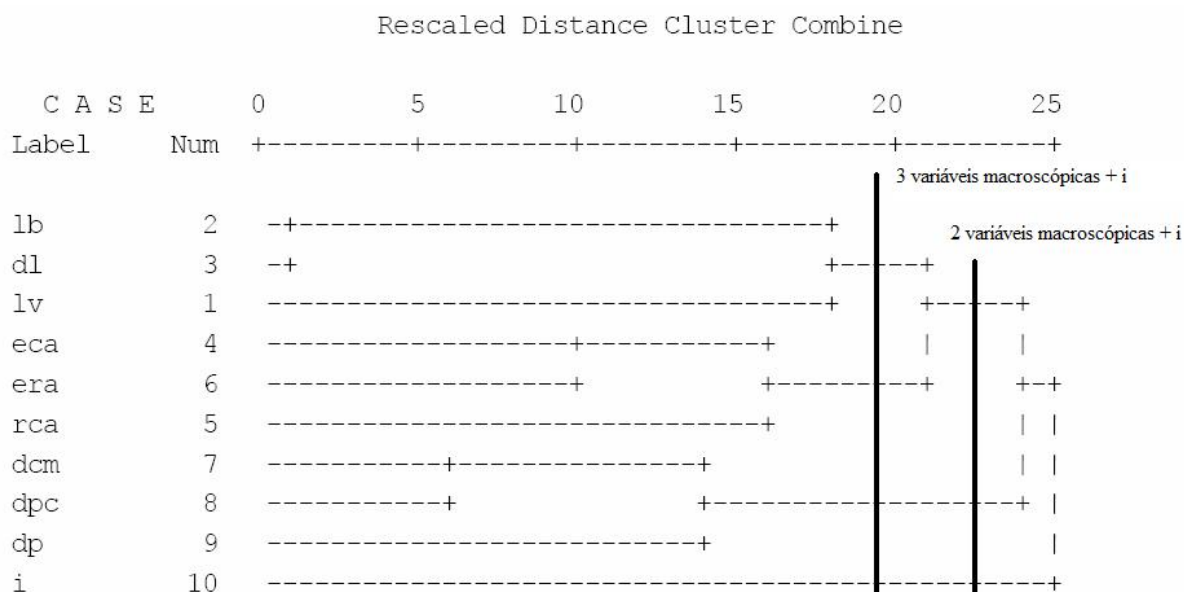


Figura 1 – Dendrograma com utilização da ligação média entre classes (SPSS)

Da análise da Figura 1, verifica-se que, com exceção da variável *i*, todas as restantes se agrupam em classes representativas das características macroscópicas da estrada. Se forem consideradas duas variáveis macroscópicas, estas apresentam a seguinte constituição:

- Geometria da estrada (*geo*): agrupa *lb*, *dl*, *lv*, *eca*, *era* e *rca*;
- Ambiente (*amb*): agrupa *dcm*, *dpc* e *dp*.

Sem prejuízo de uma perspetiva macroscópica, o dendrograma mostra que, à custa da divisão da classe caracterizadora da geometria da estrada em dois subgrupos, é possível uma agregação das variáveis originais em três variáveis macroscópicas:

- Perfil transversal na reta (*ptr*): agrupa *lb*, *dl* e *lv*;
- Traçado a montante (*tm*): agrupa *eca*, *era* e *rca*;
- Ambiente (*amb*): agrupa *dcm*, *dpc* e *dp*.

Os dendrogramas resultantes da aplicação dos métodos agregativos mais extremos (ligação pela menor distância e ligação pela maior distância) produzem classes semelhantes para os mesmos níveis de desagregação, não sendo, por isso, representados neste artigo. No entanto, este facto contribui para validar a estrutura em classes apresentada e confirmar a agregação inicialmente esperada das variáveis em dois grupos principais: geometria e ambiente.

Quer a retenção de duas, quer de três variáveis macroscópicas são estudadas na segunda etapa da metodologia. Uma superior desagregação das variáveis seria nefasta à perspetiva macroscópica que se pretende para este estudo, uma vez que daí resultariam mais classes formadas apenas por uma variável original. De facto, conforme foi anteriormente referido, esta situação já se verifica em relação à variável *i* logo a partir do segundo nível de desagregação. No entanto, por ser a única variável que representa uma outra característica distinta da geometria da estrada – o perfil longitudinal – é a que, globalmente, menos se encontra correlacionada com as restantes variáveis. Devido a estas considerações, a variável *i* não é incluída na segunda etapa da metodologia, entrando diretamente na análise de regressão.

3.2. Formulação numérica das variáveis macroscópicas

Na segunda etapa, utiliza-se o método de análise em componentes principais (Saporta, 1990) com o objetivo da formulação numérica das variáveis macroscópicas. Para cada uma destas variáveis, é extraída a primeira componente principal a partir das variáveis microscópicas que formam o respetivo grupo. Assim, as características macroscópicas passam a ser representadas por combinações lineares das variáveis originais, conforme se traduz na Equação 4.

$$M = \sum w_k m_k \quad (4)$$

em que *M*: variável macroscópica;
m_k: variável microscópica *k*;
w_k: peso da variável microscópica *k* na variável macroscópica *M*.

Atendendo a que o quadro de dados é heterogéneo, considerou-se a normalização das variáveis na análise em componentes principais (passo incluído nas opções do *software SPSS*).

Nas subsecções seguintes, são consideradas as hipóteses de retenção de duas e de três

variáveis macroscópicas, de acordo com a classificação hierárquica obtida na etapa anterior.

3.2.1. Geometria e ambiente

Na Tabela 2, apresenta-se os pesos e a percentagem da variância total explicada relativa à primeira componente principal obtida para as variáveis *geo* e *amb*.

Tabela 2: Primeira componente principal das variáveis *geo* e *amb*

Variáveis	Primeira componente principal
Variável macroscópica: <i>geo</i>	
Variáveis microscópicas:	
<i>lv</i>	0,536
<i>lb</i>	0,796
<i>dl</i>	0,767
<i>rca</i>	0,528
<i>eca</i>	0,662
<i>era</i>	0,557
% variância explicada	42%
Variável macroscópica: <i>amb</i>	
Variáveis microscópicas:	
<i>dcm</i>	0,877
<i>dpc</i>	0,895
<i>dp</i>	0,726
% variância explicada	70%

3.2.2. Perfil transversal na reta, traçado a montante e ambiente

Na Tabela 3, estão representados os pesos e a percentagem da variância total explicada da primeira componente principal estimada para as variáveis *ptr*, *tm* e *amb*.

Tabela 3: Primeira componente principal das variáveis *ptr*, *tm* e *amb*

Variáveis	Primeira componente principal
Variável macroscópica: <i>ptr</i>	
Variáveis microscópicas:	
<i>lv</i>	0,512
<i>lb</i>	0,973
<i>dl</i>	0,949
% variância explicada	70%
Variável macroscópica: <i>tm</i>	
Variáveis microscópicas:	
<i>rca</i>	0,700
<i>eca</i>	0,887
<i>era</i>	0,788
% variância explicada	63%
Variável macroscópica: <i>amb</i>	
Variáveis microscópicas:	
<i>dcm</i>	0,877
<i>dpc</i>	0,895
<i>dp</i>	0,726
% variância explicada	70%

Constata-se que a divisão das características geométricas em duas outras variáveis macroscópicas (*ptr* e *tm*) acarreta vantagens ao nível da percentagem da variância total explicada, uma vez que o seu valor mais baixo sobe de 42% para 63%. Por isso, apenas esta solução agregativa de variáveis é considerada na análise de regressão da terceira etapa.

Da análise da Tabela 3, verifica-se ainda que a primeira componente principal associada à variável macroscópica *ptr* é fortemente influenciada pelos pesos das variáveis *lb* e *dl*. O menor peso de *lv* pode ser explicado pela menor variabilidade da largura das vias face à largura das bermas e à desobstrução lateral nas estradas portuguesas de duas vias, facto que pode ser observado na Tabela 1.

As restantes variáveis microscópicas presentes na Tabela 3 contribuem de forma significativa e com pesos semelhantes para as primeiras componentes principais dos respetivos grupos.

3.3. Avaliação dos efeitos das diferentes variáveis na velocidade em regime livre

Na terceira e última etapa, recorre-se a uma análise de regressão, com vista à avaliação dos efeitos na velocidade em regime livre (*v85*) das variáveis *ptr*, *tm*, *amb*, *i* e *svl*.

São inicialmente considerados três tipos de modelo regressão: linear, não-linear exponencial e não-linear potencial. No entanto, quando comparados com o modelo linear, os modelos não-lineares não se revelaram uma melhor solução no que respeita quer aos valores do coeficiente de correlação, quer aos valores de significância encontrados. Por isso, opta-se por apenas se apresentar neste artigo os aspetos referentes à regressão linear efetuada. Esta regressão é traduzida pela Equação 5.

$$v85 = a_0 + a_1 \times ptr + a_2 \times tm + a_3 \times amb + a_4 \times i + a_5 \times svl \quad (5)$$

em que a_0 : constante de regressão;
 a_1 a a_5 : coeficientes de regressão associados às diferentes variáveis.

Na Tabela 4, apresenta-se os resultados da regressão.

Tabela 4: Resultados da regressão linear

Variável	Coefficiente de regressão	Valor p
Constante (a_0)	78,347	0,000
<i>ptr</i>	1,402	0,214
<i>tm</i>	3,764	0,001
<i>amb</i>	-2,850	0,014
<i>i</i>	-1,504	0,150
<i>svl</i>	-5,494	0,089
Coefficiente de correlação (<i>R</i>)	0,657	
Coefficiente de determinação (R^2)	0,431	

O coeficiente de correlação linear de 0,657 expressa uma correlação considerável entre as variáveis (Cohen, 1988). Consideram-se as variáveis independentes normalizadas (com exceção da variável binária *svl*), de modo a permitir a comparação entre si dos coeficientes de regressão e a conseqüente influência relativa na variável dependente (*v85*).

Na análise dos pressupostos do modelo de regressão linear, considera-se os aspetos associados à multicolinearidade das variáveis independentes e à análise dos resíduos: homocedasticidade, normalidade e independência. Na análise da multicolinearidade, determina-se os valores das estatísticas VIF e de tolerância, sendo que o valor mais baixo da estatística que avalia o limite de tolerância é de 0,853 e o maior valor de VIF é de 1,193.

No que respeita à análise dos resíduos, calcula-se o valor da estatística de Durbin-Watson, realiza-se vários gráficos de resíduos (Figura 2) e efetua-se o teste de Kolmogorov-Smirnov

para avaliar a adequabilidade da distribuição normal aos resíduos. Este teste conduziu a um valor p de 0,634. O valor encontrado para a estatística de Durbin-Watson foi $d = 1,235$. Já os valores de d_L ($d_{inferior}$) e d_U ($d_{superior}$) são, respetivamente, 1,37 e 1,77. O valor obtido de d sugere uma ligeira autocorrelação positiva entre os resíduos. Com exceção do teste de Durbin-Watson, todos os procedimentos indicam que o modelo de regressão é adequado.

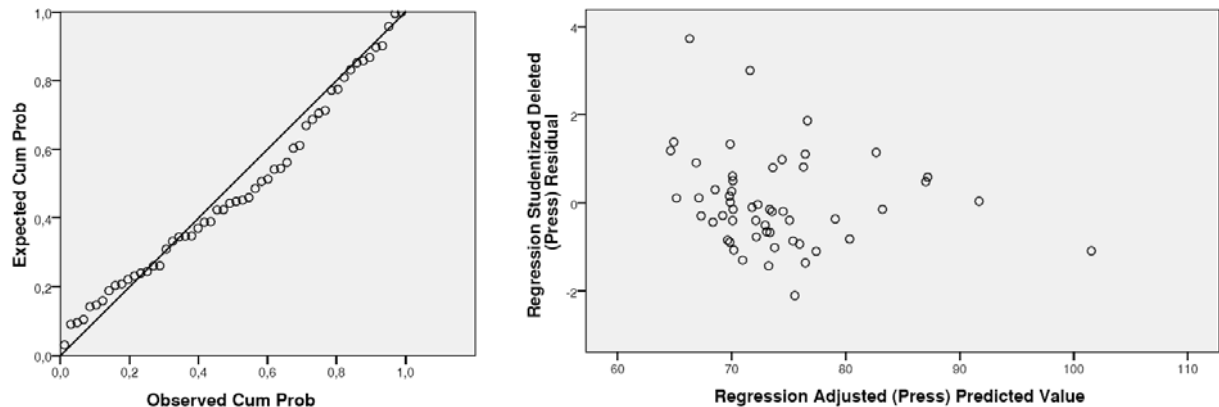


Figura 2 – Gráficos de distribuição dos resíduos (SPSS)

Da análise da Tabela 4, constata-se, em primeiro lugar, que a natureza dos efeitos (positiva ou negativa) que as diferentes variáveis exercem na velocidade livre de circulação está de acordo com a que seria intuitivamente expectável para cada uma das características da estrada analisadas e com o referido por SWOV (2008). Deste modo, têm impactos positivos na v_{85} o incremento da envergadura do perfil transversal e a melhoria da qualidade geométrica do traçado a montante. Em contraponto, o agravamento da inclinação longitudinal reduz as velocidades praticadas, assim como o agravamento do ambiente rodoviário, à medida que o atrito lateral se vai aproximando das características de ambiente urbano.

É também possível verificar que as características do traçado a montante tendem a ser significativamente mais preponderantes para a variação da v_{85} do que o perfil transversal e a inclinação longitudinal no elemento de medição. Isto indicia que a experiência recente sobre o traçado (referente ao troço a montante) seja mais relevante para a escolha de velocidade face à experiência imediata de condução. Ressalve-se, no entanto, que os valores P associados às variáveis ptr e i se situam além do nível de significância de 10% normalmente associado a estudos do género, facto a que poderá não ser alheia a relativamente reduzida dimensão da amostra.

A magnitude dos efeitos induzidos pelo ambiente onde a estrada se insere situa-se num patamar intermédio entre os efeitos causados pelas características da reta em análise e pelas características do traçado a montante.

Finalmente, a interpretação do coeficiente da variável não normalizada (svl) é a mais direta e intuitiva. No conjunto dos locais analisados, sempre que se observa a presença de um sinal vertical que limita a velocidade a um valor inferior aos 90 km/h estabelecidos pelo Código de Estrada, a v_{85} é reduzida em cerca de 5 km/h, valor que está de acordo com o referido por County Surveyors' Society (1994) e SWOV (2008).

4. CONCLUSÕES

A velocidade de circulação em regime livre praticada por um condutor, não dependendo da influência do restante tráfego, sofre impactos significativos causados por dois grandes grupos de características inerentes à estrada: geometria e ambiente envolvente. Esta afirmação é reforçada pelos resultados obtidos no presente trabalho, uma vez que os métodos de classificação utilizados para agregação em variáveis macroscópicas das variáveis microscópicas recolhidas realçam a dicotomia entre geometria e ambiente.

A caracterização geométrica, quando comparada com a ambiental, envolve um superior número de variáveis recolhidas que apresentam níveis de correlação mais baixos entre si. Assim, constata-se que, para a avaliação dos impactos da geometria na velocidade livre, pode ser profícua a agregação das variáveis originais em duas variáveis macroscópicas: uma caracterizadora do perfil transversal na reta e outra caracterizadora do traçado em planta a montante. Como vantagens desta agregação, refere-se:

- A maior percentagem de variância explicada pela primeira componente principal extraída de cada grupo de variáveis e representativa da característica macroscópica associada ao grupo;
- A mais fácil comparação entre a eficácia de adoção de medidas ao nível do perfil transversal e do traçado em planta, por via à obtenção da velocidade de circulação pretendida.

Neste estudo, verifica-se que a qualidade geométrica do traçado em planta a montante produz um impacto na velocidade bastante superior aos impactos produzidos pela envergadura do perfil transversal e pela inclinação longitudinal do elemento de medição. Isto denota que a velocidade é mais influenciada pela experiência recente de condução do que pelas condições do local onde é aferida. Então, de modo a que a velocidade praticada pelos condutores em ambiente periurbano seja inferior à velocidade adotada em ambiente rural e seja adequada à aproximação de uma zona urbana, deve ser equacionada, em primeiro lugar, a hipótese de aumento da sinuosidade do traçado à entrada e ao longo de toda a zona periurbana. Em estradas existentes, esta medida é normalmente preconizada pela construção de rotundas, devido aos impactes reduzidos que produzem sobre terrenos e construções marginais. Menos eficazes que as alterações ao traçado em planta, a redução do perfil transversal e o agravamento da inclinação longitudinal dos trainéis têm efeitos na velocidade similares entre si, embora esta última medida seja de difícil execução prática em estradas existentes. Outras alterações ao perfil transversal, enquadradas nas medidas de acalmia de tráfego, tais como a construção de lombas ou de passadeiras elevadas, não são analisadas por não constituírem objetivo específico deste estudo.

Em relação ao ambiente envolvente à estrada, verifica-se que o seu agravamento causa na velocidade uma redução de magnitude intermédia, comparativamente com os efeitos produzidos pela redução das características geométricas do traçado em planta do troço a montante e do perfil transversal. No entanto, em estradas já construídas, a atuação a este nível está praticamente limitada à construção de passeios e à implementação de passadeiras, dado que o incremento da densidade de construção depende das políticas de expansão urbanística e o aumento do número de interseções está subjacente à construção de novas estradas.

Quanto à imposição de um limite legal de velocidade inferior a 90 km/h por via da instalação

de sinalização vertical, esta medida produz uma redução de velocidade de 5 km/h no conjunto das velocidades praticadas pelos condutores. Não sendo possível a comparação direta com os efeitos provocados pelas restantes variáveis recolhidas, refira-se que esta redução corresponde a cerca de 7% da velocidade livre média observada para o conjunto das observações e a apenas 12,5% a 25% da redução de velocidade imposta pela adoção de limites de 50 km/h e 70 km/h, respetivamente. Deste modo, pode-se constatar a reduzida relevância deste tipo de sinalização na velocidade praticada pelos condutores em zonas periurbanas.

Finalmente, recupera-se a premissa referida na Introdução de que as conclusões do presente estudo podem auxiliar a definição do traçado de uma nova estrada. Nesta perspetiva, pode-se referir que, de modo a que a solução do traçado seja coerente com a velocidade base pretendida, o projetista deve atuar aos seguintes níveis, por ordem decrescente de relevância: (i) traçado em planta; (ii) ambiente (caso existam diversos corredores possíveis); (iii) perfil longitudinal; (iv) perfil transversal.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e a Tecnologia, pelo financiamento providenciado no âmbito do projecto *SAFESPEED* – PTDC/TRA/72998/2006.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (2004) *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (5ª ed.). American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., USA.
- Cohen, J. (1998) *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2ª ed.). Lawrence Erlbaum Associates Inc., Hillsdale, NJ, USA.
- County Surveyors' Society (1994) *Village Speed Control Working Group – Final Report*, Department of Transport Scottish and Welsh Office and Transport Research Laboratory, UK.
- Denton, G. G. (1976) The Influence of Adaptation on Subjective Velocity for an Observer in Simulated Rectilinear Motion. *Ergonomics*, v. 19, p. 409–430.
- Gordon, A. D. (1999) *Classification* (2ª ed.). Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, FL, USA.
- Lobo, A.; M. A. P. Jacques; C. M. Rodrigues e A. Couto (2011) “Free-gap” evaluation for two-lane rural highways. *Transportation Research Record*, in press.
- Maroco, J. (2003) *Análise Estatística com utilização do SPSS* (2ª ed.). Edições Sílabo, Lisboa, Portugal.
- Matthews, M. L. (1978) A Field Study of the Effects of Drivers' Adaptation to Automobile Velocity. *Human Factors*, v. 20, p. 709–716.
- NCHRP (2011) *Speed Reduction Techniques for Rural High-to-Low Speed Transitions*. NCHRP Synthesis 412, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., USA.
- Saporta, G. (1990) *Probabilités analyse des données et statistique*. Editions TECHNIP, Paris, France.
- Schmidt, F. e J. Tiffin (1969) Distortion of Drivers' Estimates of Automobile Speed as a Function of Speed Adaptation. *Journal of Applied Psychology*, v. 53, p. 536–539.
- SWOV (2008) *Speed Choice: the influence of man, vehicle, and road*. Institute for Road Safety Research, Leidschendam, the Netherlands.
- TRB (2000) *Highway Capacity Manual 2000*. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., USA.
- Tziotis, M. (1992) *Crashes on the Approaches to Provincial Cities*, Report No. 31, Monash University Accident Research Centre, Victoria, Australia.