

Análise dos Padrões de Mobilidade Intermunicipal na Região do Porto

António Ferreira ¹, António Antunes ², Álvaro Seco ³

Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra

¹ antoniof@dec.uc.pt, ² antunes@dec.uc.pt, ³ aseco@dec.uc.pt

Resumo

Neste artigo apresenta-se uma análise dos padrões de mobilidade intermunicipal da região do Porto, desenvolvida com o objectivo de se obter uma melhor compreensão da forma como esses padrões se relacionam com as características demográficas, sócioeconómicas e urbanísticas da região. Através da análise realizada verificou-se que, na região do Porto, a geração, a atracção e a distribuição de viagens se podem explicar com base num número reduzido de variáveis, a saber: população residente total dos municípios, taxa da população activa no sector terciário, a distância agregada média à população residente, emprego total dos municípios, taxa de emprego no sector primário e taxa de emprego no sector terciário.

Introdução

As condições de mobilidade oferecidas por qualquer região são influenciadas por aspectos de natureza demográfica, sócioeconómica e urbanística. Consequentemente, o planeamento dos transportes e o planeamento do território, para serem capazes de abarcar todos os desafios que as dinâmicas regionais em si encerram, devem ter em conta todos aqueles aspectos.

Neste artigo apresenta-se uma análise dos padrões de mobilidade intermunicipal da região do Porto realizada a partir de informação recolhida no âmbito dos trabalhos do Plano de Mobilidade da Área Metropolitana do Porto, cuja elaboração está a ser coordenada pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra. A análise foi efectuada tendo por referência a formulação do denominado Modelo Clássico de Transportes (McNally, 2000) e, mais concretamente, a dos respectivos módulos de geração/atracção e de distribuição de viagens.

O artigo compreende cinco secções (para além desta Introdução). A primeira contém uma breve caracterização da região do Porto à luz das variáveis chave para a compreensão da mobilidade regional. A segunda secção diz respeito à geração de viagens, nela se apresentando a metodologia de análise seguida e os resultados obtidos através da sua aplicação. A terceira e a quarta secções dizem respeito à atracção e à distribuição de viagens, respectivamente. Finalmente, na quinta secção, conclui-se o artigo com uma reflexão sobre os resultados já obtidos e com a apresentação de possíveis desenvolvimentos futuros.

A região do Porto

Para efeitos deste estudo considerou-se uma região constituída por 33 municípios, onde se incluem todos os que formam a Área Metropolitana do Porto (doravante AMP) e os que a circundam ou que com ela se relacionam de forma sensível. Na Figura 1 apresenta-se a região considerada e a distribuição, em termos qualitativos, da população pelos respectivos municípios (nesta figura, bem como em todas as restantes que representam a região, os valores mais elevados correspondem sempre às tonalidades de cinzento mais fortes).

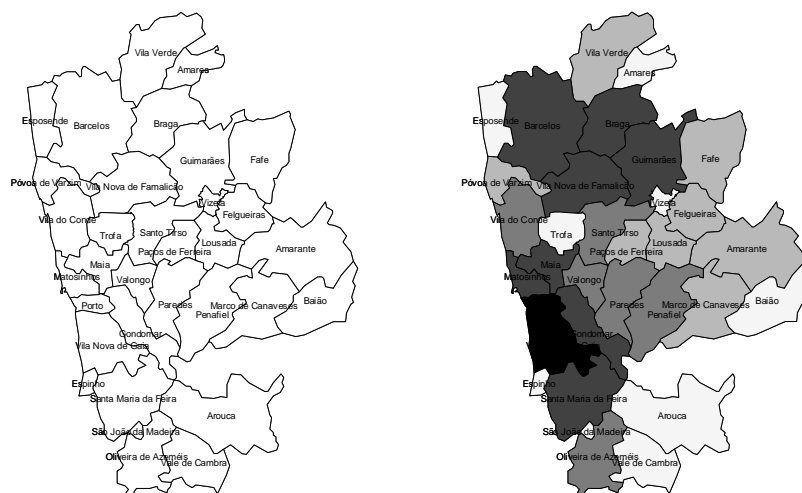


Figura 1 - Municípios da região do Porto e distribuição da população residente pelos municípios

À luz da informação mais recente (Censos 2001), a população da região totaliza 2.839.557 habitantes. A distribuição da população activa pelos diversos sectores encontra-se representada na Figura 2, onde se pode constatar que os trabalhadores do sector primário têm expressão residual na região, existindo um número semelhante de indivíduos que trabalham nos sectores secundário e terciário. No que toca ao sector terciário, o subsector económico tem maior expressividade do que o subsector social (30 contra 19% da população activa empregada). Na Figura 3 são apresentadas, de forma relativa, as taxas de actividade dos diversos municípios para cada um dos três sectores. Note-se que as taxas de actividade dos sectores obedecem a uma lógica de distribuição espacial aproximadamente concêntrica: os municípios com maior taxa de actividade no sector primário são os mais afastados do Porto e os municípios com maiores taxas de actividade no sector terciário são o Porto, os seus municípios vizinhos e Braga. O sector secundário tem maior expressão nos municípios situados a uma distância intermédia do Porto ou na proximidade de Braga.

No que diz respeito à localização do emprego, a Figura 4 mostra as taxas de emprego dos diversos municípios desagregadas por sector de actividade. Da comparação desta figura com a Figura 3 pode constatar-se que existem elevadas semelhanças entre as taxas de actividade sectoriais da população residente nos 33 municípios em estudo e as taxas de emprego destes mesmos municípios.

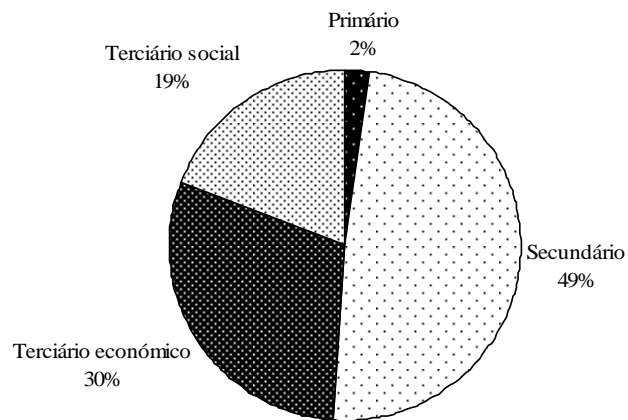


Figura 2 - Taxas de actividade da região do Porto por sector de actividade

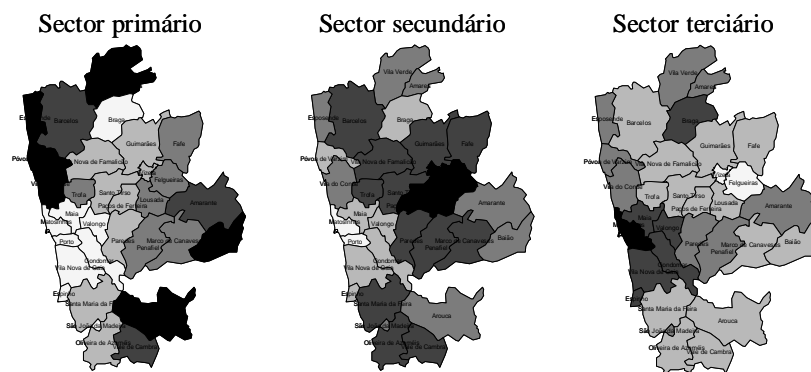


Figura 3 - Taxas de actividade dos municípios da região do Porto por sector de actividade

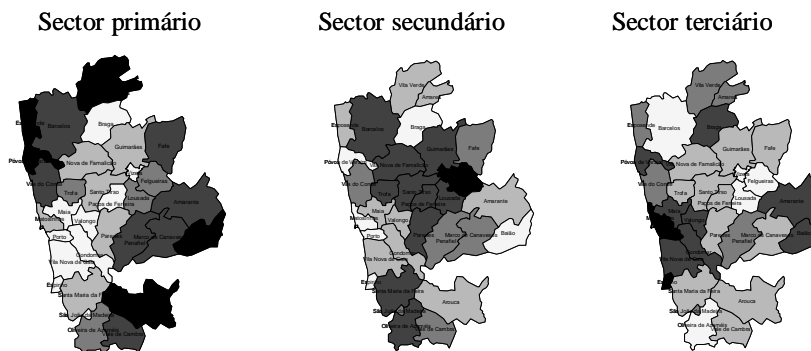


Figura 4 - Taxas de emprego dos municípios da região do Porto por sector de actividade

Outro aspecto considerado na caracterização dos municípios foi a instrução da população residente e a escolarização no ensino superior (licenciatura e bacharelato). Na Figura 5 estão representadas, de forma qualitativa, as taxas da população do escalão etário dos 18 aos 24 anos que frequenta o ensino superior e as taxas da população residente com mais de 25 anos que tem como grau mínimo de instrução o ensino secundário. Da comparação das Figuras 3 e 5 surge a conclusão de que é nos municípios onde se localizam mais trabalhadores do sector terciário que reside um maior número de indivíduos com grau de instrução elevado e um maior número de estudantes do ensino superior.

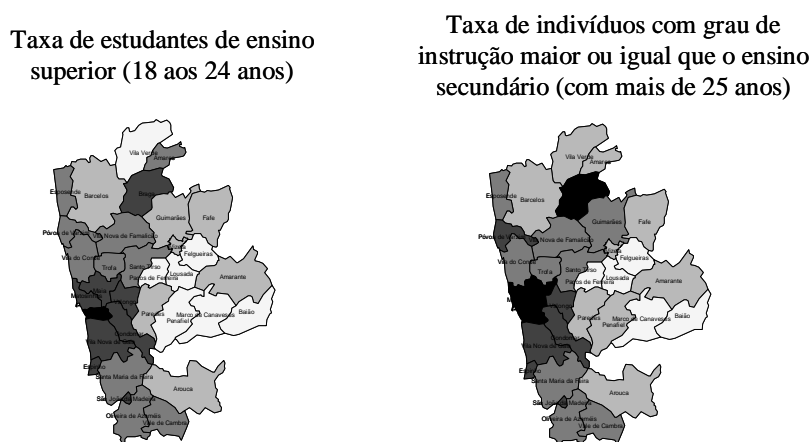


Figura 5 – Taxa de estudantes do ensino superior e de indivíduos com o ensino secundário ou mais nos municípios da região do Porto

De acordo com a informação mais recente (Inquérito à Mobilidade da População Residente 2000) têm diariamente lugar na região do Porto, no período de ponta da manhã (7:00 às 10:00), 1.718.662 viagens, das quais 406.543 (23,6%) são viagens intermunicipais.

A importância dos diferentes municípios da região no que respeita à geração e atracção de viagens está representada, em termos qualitativos, na Figura 6. Desta figura, conclui-se que a capacidade de atracção de viagens dos municípios do Porto, de Matosinhos e Maia é claramente superior à dos demais. A norte, destacam-se Braga e Guimarães como centros atractores, mas não com tanta intensidade. Ao nível da geração de viagens, observa-se que o litoral desta região tem forte capacidade de originar viagens no período de ponta da manhã, sendo ainda de sublinhar a importância de Barcelos a este nível.

Viagens (%)			
Origem	Destino		
	AMP	Exterior da AMP	Total
AMP	57,1	7,0	64,1
Exterior da AMP	8,6	27,3	35,9
Total	65,7	34,3	100

Tabela 1 - Resumo da matriz origem-destino da região do Porto no período de ponta da manhã

No que se refere à mobilidade dentro da AMP no período de ponta da manhã, a observação da Figura 8 ou da Tabela 2 permite tirar duas conclusões: a primeira é que o município do Porto se destaca, de forma preponderante, enquanto atrator de viagens. A segunda é que o papel de geradores de viagens cabe principalmente ao Porto, a Matosinhos, a Gondomar e a Vila Nova de Gaia, sendo de sublinhar a elevada disparidade entre a capacidade de geração e a capacidade de atracção de viagens verificada nestes dois últimos.

Viagens											
Origem		Destino									Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Espinho	0	57	68	183	1335	14	0	12	2012	3682
2	Gondomar	116	0	4170	3548	25616	63	2543	260	2886	39202
3	Maia	121	1551	0	7242	15753	159	3147	1056	1265	30294
4	Matosinhos	133	773	8379	0	28302	660	909	1293	2338	42786
5	Porto	338	4105	6195	13833	0	210	1445	907	7879	34913
6	Póvoa do Varzim	12	55	228	548	1329	0	36	4510	174	6892
7	Valongo	71	2949	3912	1793	8249	27	0	306	766	18074
8	Vila do Conde	13	84	1838	1637	2474	4817	130	0	202	11195
9	Vila Nova de Gaia	3075	1234	2198	3876	33460	84	720	292	0	44937
Total		3878	10808	26987	32660	116518	6034	8930	8635	17522	231974

Tabela 2 - Número médio de viagens intermunicipais das sete às dez horas da manhã na AMP

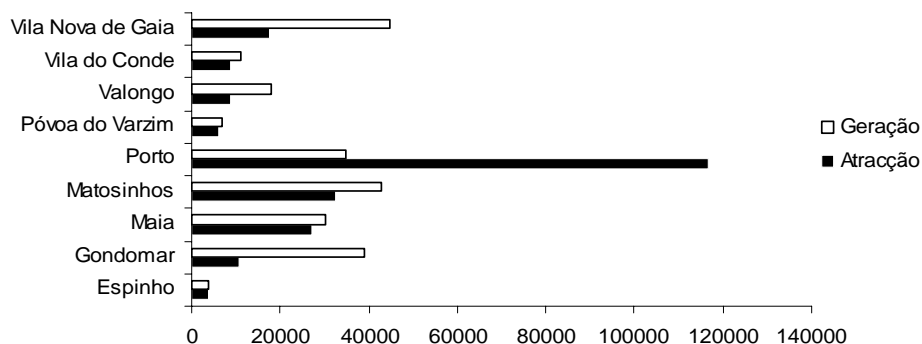


Figura 8 - Valores agregados de geração e atracção de viagens dos municípios da AMP

Geração de viagens

A análise do processo de geração de viagens na região do Porto foi efectuada de acordo com a seguinte metodologia. Em primeiro lugar, identificaram-se as variáveis em princípio capazes de explicar o número de viagens intermunicipais geradas em cada município. Depois, especificaram-se modelos de regressão para relacionar as variáveis. Em seguida, estimaram-se os coeficientes destes modelos através da técnica da regressão *stepwise*, e avaliou-se a qualidade (significância) dos coeficientes e dos modelos. Por fim, em função dos resultados obtidos, seleccionou-se o modelo de regressão que melhor descreve o processo de geração de viagens na região do Porto.

A regressão *stepwise* é uma técnica estatística que, a partir de um conjunto inicial de variáveis independentes X_i , permite determinar quais são as que estão mais correlacionadas com a variável dependente Y , suprimindo as que não estiverem significativamente correlacionadas e as que forem redundantes. Para se aplicar esta técnica foi escolhido o programa *Statview 5.0.1* (SAS Institute, 1999). O algoritmo de regressão *stepwise* nele integrado remove, em cada iteração, a variável independente com menor capacidade explicativa. O critério de remoção é o rácio de F parcial, que é o quadrado do valor do teste t para a hipótese nula do coeficiente da variável em questão ser igual a zero.

As críticas à regressão *stepwise* são frequentes, pois este método de regressão pode ser considerado excessivamente automático. No caso deste estudo, isso foi visto como uma vantagem, pois pretendia-se explorar quais seriam as variáveis que se destacariam nos modelos, à margem de ideias já concebidas sobre os padrões de mobilidade e suas causas.

Para além disso, a dimensão da amostra pode ser considerada pequena para efeitos de utilização desta técnica de regressão, atendendo ao número de variáveis explicativas admitidas (a amostra possui apenas 33 elementos). Precisamente por causa destes aspectos, a regressão *stepwise* foi utilizada de forma muito cautelosa, fazendo-se uma análise atenta dos resíduos e dos coeficientes, com o intuito de minimizar a probabilidade dos modelos terem sido estimados com base em peculiaridades casuísticas da amostra. Para uma discussão aprofundada deste tipo de regressão consultar Draper & Smith (1998).

Foram testados dois tipos de modelos: o modelo linear e o modelo *Cobb-Douglas*. Apresenta-se a formulação geral do modelo linear na Eq. (1) e do modelo Cobb-Douglas na Eq. (2). Na exposição que se seguirá só será apresentada a formulação com melhores resultados para cada conjunto inicial de variáveis explicativas.

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n \quad (1)$$

$$Y = a X_1^{b_1} X_2^{b_2} \dots X_n^{b_n} \quad (2)$$

em que Y : variável dependente; X_1, X_2, \dots, X_n : variáveis independentes (ou explicativas); a, b_1, b_2, \dots, b_n : coeficientes.

Na especificação de um modelo de geração de viagens é vantajoso considerar-se dois tipos de variáveis independentes. Por um lado, deve incluir-se uma ou várias variáveis quantitativas que definam a dimensão de cada um dos municípios enquanto geradores de viagens. A variável escolhida para este fim foi a população residente total. Por outro, devem incluir-se variáveis que descrevam de forma mais qualitativa as características da população residente de cada um dos municípios, na medida em que, por exemplo, diferentes importâncias relativas dos diversos sectores de actividade deverão implicar, em princípio, padrões de mobilidade distintos. Para mais detalhes sobre modelos de geração de viagens consultar Ortúzar & Willumsen (2001).

As variáveis consideradas inicialmente foram as seguintes:

- População residente total (*PRT*)
- Taxa da população activa que trabalha no sector primário (*PA1*)
- Taxa da população activa que trabalha no sector secundário (*PA2*)
- Taxa da população activa que trabalha no sector terciário (*PA3*)
- Taxa da população com mais de 25 anos que tem como grau de instrução o ensino secundário ou superior (*PESEC*)
- Taxa da população do escalão etário dos dezoito aos 24 anos que frequenta o ensino superior (*ESTSUP*)

Para estas variáveis, o modelo com melhor capacidade explicativa foi o modelo linear. Para este modelo, a regressão stepwise seleccionou apenas as variáveis população residente total (*PRT*) e a taxa da população activa que trabalha no sector terciário (*PA3*), eliminando as restantes porque os respectivos coeficientes não eram significativamente diferentes de zero. O modelo ficou com a formulação apresentada na Eq. (3).

$$O_J = -19667,28680 + 0,10654 PRT + 564,04283 PA3 \quad (3)$$

em que O_J : número de viagens intermunicipais geradas no município J no período de ponta da manhã.

O coeficiente de correlação R^2 do modelo resultou igual a 0,80491 (F : 61,88663; $p < 0,0001$), sendo os coeficientes estandardizados β e os coeficientes t apresentados na Tabela 3. Os coeficientes estandardizados β são dados pelo coeficiente b da variável em causa multiplicado pela razão entre o seu desvio padrão e o desvio padrão da variável explicada. Para esta amostra, o valor crítico de t para um intervalo de confiança de 95% é 2,04.

Variável	Coefficiente β	Coefficiente t
<i>PRT</i>	0,52635	5,09517
<i>PA3</i>	0,46861	4,53657

Tabela 3 - Coeficientes estandardizados β e coeficientes t do modelo da Eq. (3)

Este modelo permite tirar algumas conclusões. A primeira advém do facto de ter sido seleccionada a população residente total pelo processo de regressão stepwise (com um coeficiente positivo). Tal mostra, aliás como era de esperar, que existe uma apreciável correlação estatística entre a população residente e o número de viagens geradas por cada um dos municípios, sendo essa correlação positiva. A taxa da população activa empregada no sector terciário também se revela uma variável com capacidade explicativa. Conclui-se que, para dois municípios com uma população residente igual, o que gera mais viagens é aquele que mais população tem a trabalhar no sector terciário.

Depois destas considerações, baseadas em aspectos de forma do modelo, efectuou-se a análise de resíduos, que consiste na comparação das diferenças entre os valores observados

e os valores modelados. Na Figura 9 podem analisar-se estas diferenças, sendo de notar que não são de grande amplitude. A questão coloca-se, portanto, em como determinar quais são os municípios para os quais o modelo não foi capaz de produzir bons resultados. Aplicou-se o seguinte critério: foram considerados inadequadamente modelados os que apresentaram resíduo com valor fora do intervalo $[\bar{x} - \sigma; \bar{x} + \sigma]$, sendo \bar{x} a média dos resíduos e σ o seu desvio padrão. No município de Vizela aconteceu um caso extremo, resultando o valor dado pelo modelo menor do que zero (o que é visível na Figura 9 - atentar no canto inferior esquerdo). Na Tabela 4 são apresentados os municípios cujos valores observados são significativamente maiores do que os modelados, ou vice-versa.

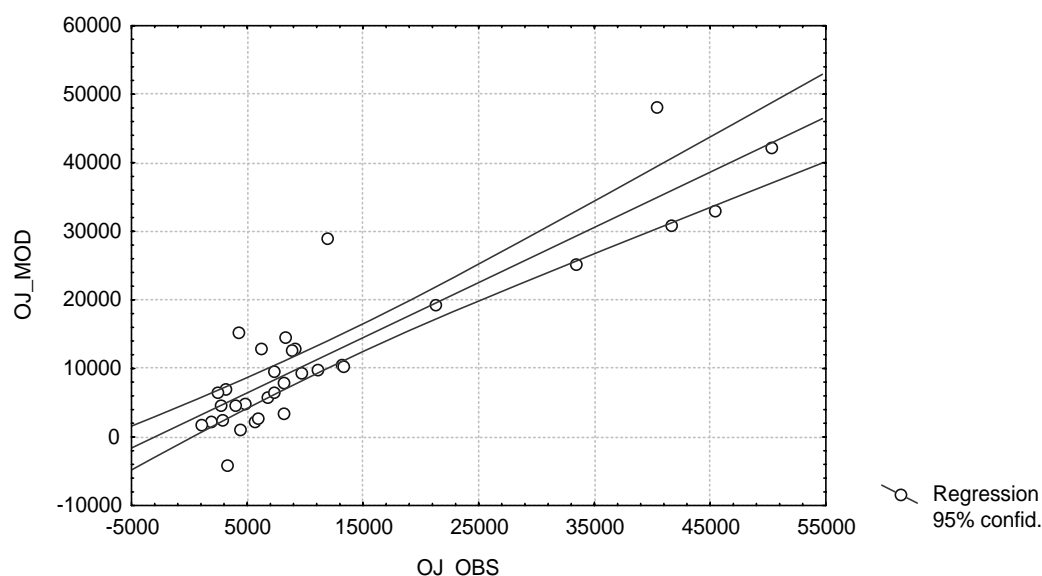


Figura 9 - Valores observados e valores modelados - Eq. (3)

Município	$O_j(obs) \gg O_j(mod)$	$O_j(mod) \gg O_j(obs)$
Braga		✓
Espinho		✓
Guimarães		✓
Porto		✓
S. Maria da Feira		✓
Gondomar	✓	
Maia	✓	
Matosinhos	✓	
V. Nova de Gaia	✓	
Vizela	✓	

Tabela 4 - Municípios com resíduos significativos - Eq. (3)

Da observação da Tabela 4 tirou-se a seguinte conclusão: Braga e Guimarães apresentaram valores modelados significativamente superiores aos valores observados, sucedendo que estes municípios se encontram afastados da AMP. Espinho é um município periférico desta conurbação, sofrendo do mesmo problema de sobrestimação. Por seu turno, os municípios de Gondomar, Maia, Matosinhos e Vila Nova de Gaia apresentam valores modelados pequenos, o que sugere que possuem relações funcionais com os demais municípios da AMP que as variáveis explicativas consideradas (população residente total e taxa de actividade da população activa no sector terciário) não conseguiram estimar. Surgiu assim a ideia de se considerar uma variável que caracterizasse espacialmente as relações de proximidade entre os municípios, na medida em que é normal que os que se encontram mais afastados entre si apresentem relações funcionais menos intensas do que os que estão integrados no espaço metropolitano.

Antes de apresentar o passo seguinte, é de sublinhar o facto do modelo sobrestimar as viagens com origem no Porto. Tal não é surpreendente: a população residente neste município é superior a qualquer dos demais, mas também existe no interior do mesmo uma quantidade substancial de postos de trabalho. A consequência é que esta capacidade de atracção de viagens contrabalança com vantagem a capacidade de geração e, portanto, o modelo prevê mais viagens para o exterior do município do que aquelas que efectivamente se verificam.

A variável que foi integrada no estudo após este conjunto de considerações foi a distância agregada média à população residente (*DAPRT*). Esta foi calculada fazendo o somatório das distâncias mais curtas (por estrada) entre os centróides dos municípios multiplicadas pela população residente nos mesmos e dividindo esse somatório pela população residente total da região. Como o objecto de estudo são as viagens intermunicipais, não se considerou no cálculo da distância agregada média para um determinado município a população residente no próprio município.

Considerando esta variável no processo de regressão stepwise, o melhor resultado foi um modelo do tipo Cobb-Douglas com a formulação apresentada na Eq. (4). Repare-se no sinal negativo do expoente da distância agregada à população residente, que revela a menor capacidade de um determinado município gerar viagens quando se encontra mais afastado.

$$O_J = 27,51331 PRT^{0,60852} DAPRT^{-1,23253} PA3^{1,01213} \quad (4)$$

Este modelo apresentou um coeficiente de correlação igual a 0,87408 ($F: 67,10090$; $p < 0,0001$), o que sugere que a integração da distância média agregada no conjunto das variáveis explicativas foi um passo positivo no processo de modelação (o modelo anterior tinha um coeficiente de correlação igual a 0,80491). Na Figura 10 pode visualizar-se a semelhança entre valores observados e modelados, sendo patente que a diferença entre os valores modelados e os valores observados é menor neste modelo do que no anterior. Como anteriormente, o município do Porto é aquele em que a diferença é maior. Os coeficientes β e t de cada uma das variáveis são apresentados na Tabela 5.

Variável	Coefficiente β	Coefficiente t
<i>PRT</i>	0,47623	5,48019
<i>DAPRT</i>	-0,36424	4,21825
<i>PA3</i>	0,27790	3,56472

Tabela 5 - Coeficientes estandardizados β e coeficientes t do modelo da Eq. (4)

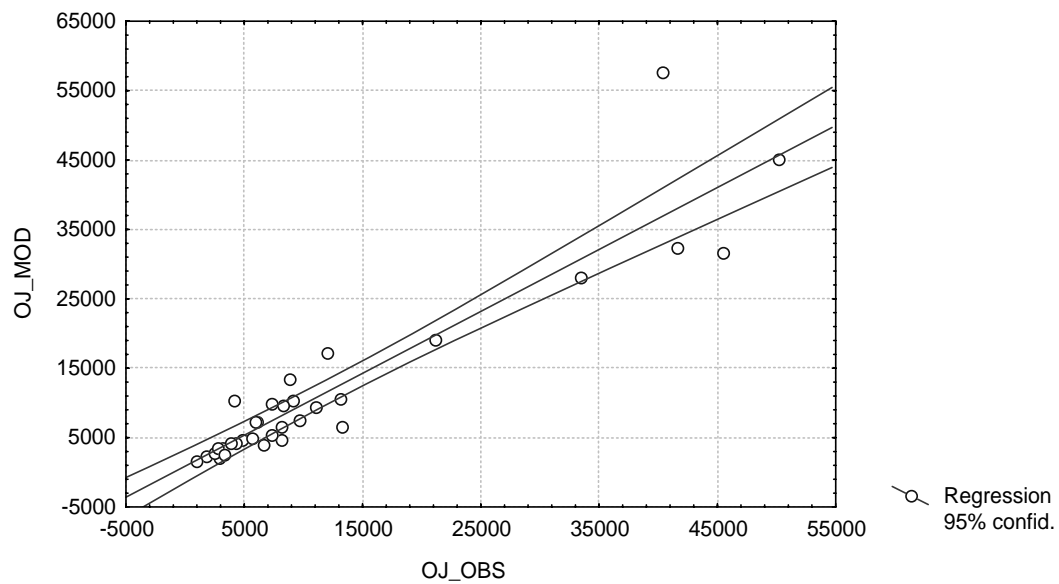


Figura 10 - Valores observados e valores modelados - Eq. (4)

Atracção de viagens

Na elaboração do modelo de atracção de viagens foi seguida uma metodologia em tudo semelhante à utilizada para a elaboração do modelo de geração. O conjunto de variáveis explicativas utilizado foi o seguinte:

- Emprego total (E)
- Taxa de emprego do sector primário ($E1$)
- Taxa de emprego do sector secundário ($E2$)
- Taxa de emprego do sector terciário ($E3$)
- Distância agregada média à população residente total ($DAPRT$)

A distância média agregada foi considerada no modelo de geração de viagens por se ter constatado que os municípios mais afastados originavam menos viagens do que os restantes. Ao nível da atracção, a utilização desta variável não é menos pertinente: será de esperar que um determinado município atraia mais viagens se estiver próximo dos municípios onde reside mais população. Como será verificado adiante, é precisamente esse o caso.

Optou-se por testar os modelos segundo uma sequência semelhante à considerada no estudo de geração: o primeiro modelo considerou apenas o emprego total e as taxas de emprego nos diferentes sectores. Seguidamente experimentou-se o efeito de se considerar a distância agregada média à população residente dos municípios.

Efectuando o processo de regressão stepwise apenas com as variáveis emprego total (E), taxa de emprego do sector primário ($E1$), taxa de emprego do sector secundário ($E2$) e taxa de emprego do sector terciário ($E3$), obtém-se o modelo patente na Eq. (5). Só se apresenta o modelo Cobb-Douglas porque os resultados do modelo linear são inferiores. O coeficiente de correlação deste modelo resultou igual a 0,87173 ($F: 65,69685; p < 0,0001$). Os coeficientes β e t das variáveis são apresentados na Tabela 6.

$$D_K = 0,025767 E^{0,88570} E1^{-0,27701} E3^{0,96042} \quad (5)$$

em que D_K : número de viagens atraídas pelo município K no período de ponta da manhã.

Variável	Coefficiente β	Coefficiente t
E	0,67402	8,09302
$E1$	-0,24582	2,99308
$E3$	0,22160	3,16803

Tabela 6 - Coeficientes estandardizados β e coeficientes t do modelo da Eq. (5)

Na Figura 11 comparam-se valores observados e valores modelados. É de salientar o facto do coeficiente de correlação ser bastante elevado (0,87173). É ainda de sublinhar a taxa de emprego do sector primário ter surgido como variável com relevância estatística e com expoente de valor negativo. Daqui se pode concluir que municípios mais rurais tendem a atrair menos viagens intermunicipais.

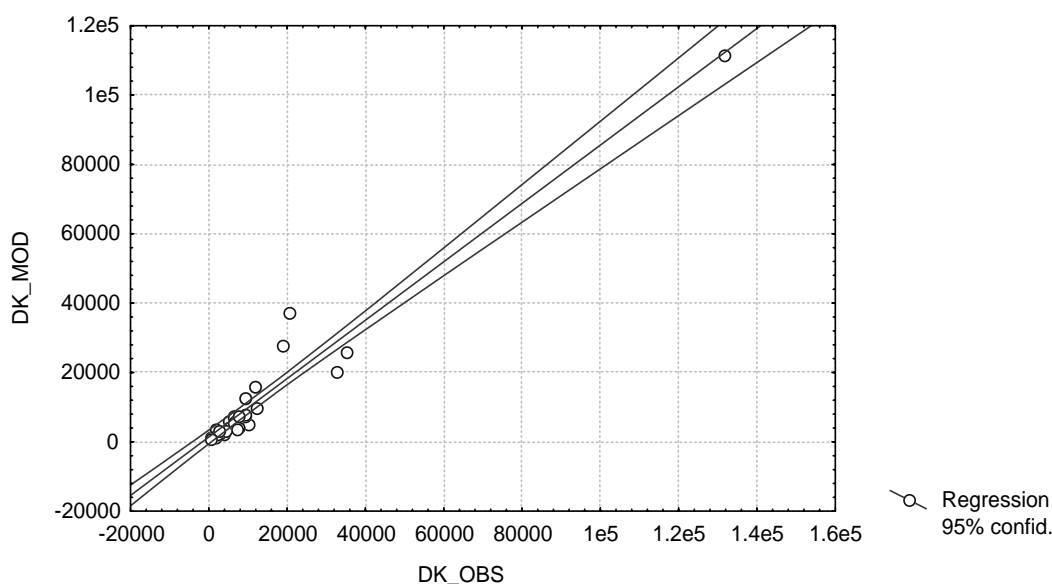


Figura 11 - Valores observados e valores modelados - Eq. (5)

Importa deixar uma nota: como o Porto atrai um número substancialmente maior de viagens do que os restantes municípios, calibrou-se um novo modelo para o mesmo conjunto de variáveis iniciais, mas sem o caso estatístico formado pelo Porto. Este modelo apresenta-se na Eq. (6) e o seu coeficiente de correlação resultou igual a 0,83445 (F : 47,04478; $p < 0,0001$).

$$D_K = 0,036036 E^{0,87083} E1^{-0,27564} E3^{0,90889} \quad (6)$$

Apesar da correlação ser menor, a sua amplitude de variação não é suficientemente grande, nem o modelo sofreu alterações suficientemente profundas, para que seja legítimo afirmar que a presença na amostra do Porto faz subir de forma desproporcionada o valor de R^2 . Também não parece legítimo afirmar que o padrão de atracção de viagens deste município, quando explicado com as variáveis escolhidas, é excessivamente distinto do verificado no resto da região para que seja necessário considerá-lo à parte. Para confirmação destas afirmações apresenta-se a Figura 12, onde se comparam os valores dados pelas Eq. (5) e (6) para todos os municípios excepto o Porto. É notória a semelhança entre valores, apesar da amostra utilizada não ser a mesma (uma incluiu o Porto e a outra não).

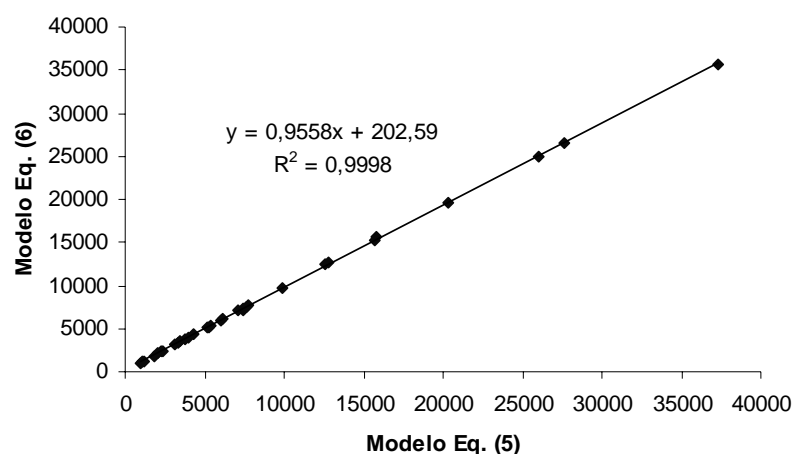


Figura 12 - Comparação dos modelos estimados com e sem o município do Porto

Apesar dos resultados globais serem bastante aceitáveis, e tal como no estudo de geração, considerou-se que o modelo da Eq. (5) era impreciso para os municípios cujo valor do resíduo era exterior ao intervalo $[\bar{x} - \sigma; \bar{x} + \sigma]$, sendo \bar{x} a média dos resíduos e σ o seu desvio padrão. Na Tabela 7 são apresentados os municípios cujos valores observados são significativamente maiores do que os modelados ou vice-versa.

Município	$D_k(obs) \gg D_k(mod)$	$D_k(mod) \gg D_k(obs)$
Braga		✓
Vila Nova de Gaia		✓
Maia	✓	
Matosinhos	✓	
Porto	✓	

Tabela 7 - Municípios com resíduos significativos - Eq. (5)

Estes resultados levaram a que se fizessem algumas reflexões. A primeira diz respeito ao Porto. Verifica-se que este município apresenta valores observados de atracção de viagens significativamente superiores aos modelados, o que não é surpreendente: o número de postos de trabalho que o Porto possui não chega para traduzir a influência que este município tem no Norte de Portugal, logo nos padrões de mobilidade da região. Outra situação que permite tirar conclusões é a disparidade entre valores observados e modelados verificada no município de Braga. O modelo sobrestima as viagens com destino neste município, sugerindo que o afastamento a que Braga está sujeito interfere com a sua capacidade de atrair viagens.

Exactamente por causa da disparidade verificada em Braga optou por se voltar a inserir, no conjunto das variáveis explicativas, a distância agregada à população residente total. Essa experiência originou o modelo expresso na Eq. (7), que apresenta um coeficiente de correlação igual a 0,88410 (F: 73,73816; $p < 0,0001$), o que equivale a uma ligeira subida, pois o modelo anterior apresentava um coeficiente de 0,87173. Os coeficientes β e t das variáveis são apresentados na Tabela 8.

$$D_K = 6,72371 E^{0,82256} E3^{0,85834} DAPRT^{-1,22127} \quad (7)$$

Quando se exclui da regressão o município do Porto, o coeficiente de correlação vem igual a 0,85220, verificando-se assim, para este conjunto de variáveis explicativas, uma amplitude de variação ainda menor do que no caso dos modelos das Eq. (5) e (6).

Da comparação dos modelos expressos nas Eq. (5) e (7) tiraram-se algumas conclusões, nomeadamente que a capacidade explicativa da distância agregada à população residente não só é maior do que a presença de emprego do sector primário (esta variável desapareceu), como é maior do que a da taxa de emprego no sector terciário: repare-se nos coeficientes β e t das variáveis em questão (Tabela 8). Na Figura 13 podem comparar-se os valores observados e os valores fornecidos pelo modelo.

Variável	Coefficiente β	Coefficiente t
<i>E</i>	0,62597	7,47782
<i>E3</i>	0,19804	2,94315
<i>DAPRT</i>	-0,30485	3,60672

Tabela 8 - Coeficientes estandardizados β e coeficientes t do modelo da Eq. (6)

Neste modelo verifica-se uma particularidade: os valores observados e modelados são sempre razoavelmente próximos, excepto no caso do município de Vila Nova de Gaia, onde o resíduo é alto (ponto isolado localizado sobre a zona de 95% de confiança - ver Figura 13). No modelo da Eq. (5), ao município de Vila Nova de Gaia já correspondia um resíduo elevado, mas o mesmo acontecia para outros municípios. Pode portanto admitir-se que foram efectuados progressos globais de um modelo para o outro. Outro município que continua a não apresentar valores perfeitamente satisfatórios é o do Porto: mais uma vez se verifica que o modelo subestima o número de viagens atraídas.

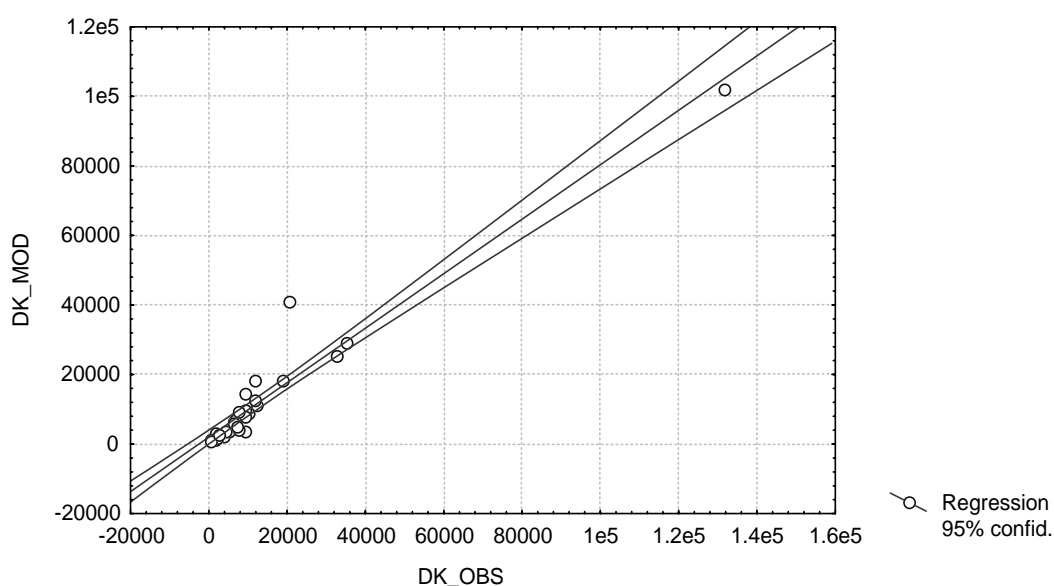


Figura 13 - Valores observados e valores modelados - Eq. (6)

Distribuição de viagens

Para a modelação da distribuição de viagens utilizou-se o denominado Modelo Gravitacional sem Restrições, que tem a formulação geral apresentada na Eq. (8).

$$T_{JK} = f(O_J, D_K, d_{JK}) \quad (8)$$

em que T_{JK} : viagens do município J para o município K no período de ponta da manhã; O_J : indicador de capacidade de geração de viagens do município J (foi utilizado o número total de viagens geradas); D_K : indicador de capacidade de atracção de viagens do município K (foi utilizado o número total de viagens atraídas); d_{JK} : distância entre o município J e o município K (medida por estrada).

As formulações específicas consideradas são as apresentadas na Eq. (9), em que se admitiu uma *função de atrito* do tipo potência - doravante Modelo 1; e na Eq. (10), em que se admitiu uma função de atrito de tipo exponencial - doravante Modelo 2.

$$\text{Modelo 1: } T_{JK} = a \frac{O_J^{c_O} D_K^{c_D}}{d_{JK}^b} \quad (9)$$

$$\text{Modelo 2: } T_{JK} = a \frac{O_J^{c_O} D_K^{c_D}}{e^{b d_{JK}}} \quad (10)$$

em que a, b, c_O, c_D : coeficientes.

A estimação deste tipo de modelos pode ser feita através da linearização dos mesmos por logaritmização, apresentando-se na Eq. (11) a linearização do Modelo 1 e na Eq. (12) a linearização do Modelo 2. Foi com base nestas expressões que se realizou a regressão estatística. Para a regressão foi, novamente, utilizado o programa *Statview*, estando os resultados expressos na Tabela 9. Para todos os modelos apresentados nesta secção obtiveram-se valores para o parâmetro p (indicador de significância do coeficiente de correlação) inferiores a 0,0001.

$$\ln T_{jk} = \ln a + c_O \ln O_J + c_D \ln D_k - b \ln d_{JK} \quad (11)$$

$$\ln T_{jk} = \ln a + c_O \ln O_J + c_D \ln D_k - b d_{JK} \quad (12)$$

Coefficiente	a	c_o	c_D	b	R^2
Modelo 1	41,00812	0,35346	0,59777	2,12155	0,69573
Modelo 2	0,28042	0,33480	0,58456	0,05473	0,61894

Tabela 9 - Coeficientes das variáveis e coeficientes de correlação dos Modelos 1 e 2

Como se pode ver na Tabela 9, a melhor correlação é dada pelo Modelo 1. Porém, o problema que este modelo tem (do qual o Modelo 2 também sofre) não está na sua correlação global, mas na heteroscedasticidade em função da variável d_{JK} , que se pode observar na Figura 14. Nesta figura está patente que os maiores erros do modelo verificam-se para pares origem-destino que têm pequenas distâncias entre si, o que é uma realidade susceptível da seguinte interpretação: entre municípios distantes o número de viagens tende a ser não só mais escasso, como mais previsível. Entre municípios próximos a complexidade das relações funcionais é mais elevada e, portanto, o modelo acaba por ter menor capacidade explicativa precisamente nos casos em que as viagens são mais numerosas. Convém referir que os dois casos que se destacam na parte inferior da Figura 14 são relativos aos pares origem-destino Vila Nova de Gaia - Porto (ponto de ordenada igual a -47534) e Porto - Vila Nova de Gaia (ponto de ordenada igual a -16684).

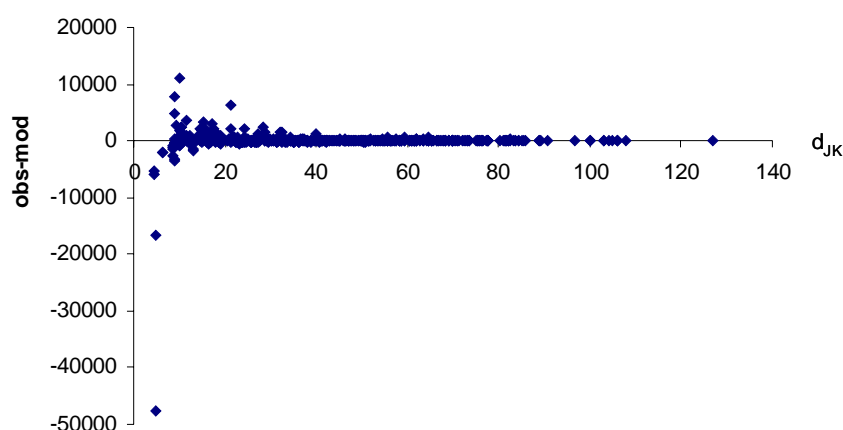


Figura 14 - Resíduos do Modelo 1 em função da variável d_{JK}

De acordo com Pindyck & Rubinfeld (2000), situações de heteroscedasticidade podem ser atenuadas efectuando-se transformações matemáticas que fazem uso da variável independente que induz o comportamento heteroscedástico. Assim, o Modelo 1 pode ser

transformado tal como se apresenta na Eq. (13) e o Modelo 2 pode ser transformado tal como se apresenta na Eq. (14).

$$\frac{\ln T_{jk}}{-\ln d_{JK}} = \frac{\ln a}{-\ln d_{JK}} + c_O \frac{\ln O_J}{-\ln d_{JK}} + c_D \frac{\ln D_k}{-\ln d_{JK}} + b \quad (13)$$

$$\frac{\ln T_{jk}}{-d_{JK}} = \frac{\ln a}{-d_{JK}} + c_O \frac{\ln O_J}{-d_{JK}} + c_D \frac{\ln D_k}{-d_{JK}} + b \quad (14)$$

O objectivo destas transformações é estimar os coeficientes das variáveis dos modelos utilizando como factor de ponderação o inverso da distância entre municípios (repare-se que não se poderia fazer esta ponderação multiplicando os termos pelas distâncias, pois isso tornaria o modelo não linear para a variável d_{JK}). Contudo, e como o inverso da variável que induz heteroscedasticidade é um factor de ponderação adequado para situações em que a variância do erro aumenta directamente com a variável independente em causa, e atendendo a que, neste caso, o erro varia de forma inversa (a menores distâncias correspondem maiores erros), tornou-se necessário afectar os quocientes com sinal negativo. Para mais desenvolvimentos sobre esta matéria consultar a referência acima indicada.

Utilizando esta técnica de regressão produziram-se os resultados expressos na Tabela 10 (no Modelo 1' admitiu-se uma função de atrito do tipo potência e no Modelo 2' do tipo exponencial). É de sublinhar o elevado coeficiente de correlação que o Modelo 2' apresenta.

Coeficiente	a	c_O	c_D	b	R^2
Modelo 1'	44,86509	0,33291	0,58058	2,04787	0,89561
Modelo 2'	0,37118	0,36732	0,64925	0,08767	0,97867

Tabela 10 - Coeficientes das variáveis e coeficientes de correlação dos Modelos 1' e 2' (com correcção de heteroscedasticidade)

Na Figura 15 pode comparar-se a distribuição de resíduos dos Modelos 1 e 1', 2 e 2', sendo visível que as transformações de variáveis expressas nas Eq. (13) e (14) foram eficazes na atenuação da heteroscedasticidade. Importa ainda comentar que, não procedendo à transformação de variáveis, o modelo com função de atrito de tipo potência (Modelo 1) é o

que apresenta melhores resultados globais (apesar da falência pontual visível para as viagens processadas entre Vila Nova de Gaia e Porto, já referida). Procedendo à transformação, é para o modelo com função de atrito de tipo exponencial (Modelo 2') que se obtém os melhores resultados. Convém referir que os cinco casos que se destacam no gráfico da Figura 14, alusivo ao Modelo 2, são relativos aos pares origem-destino Vila Nova de Gaia - Porto (ponto de ordenada igual a 25475), Matosinhos - Porto (ordenada igual a 22134), Gondomar - Porto (ordenada 20067), Porto - Matosinhos (11089) e Maia - Porto (10570). Torna-se assim claro que o problema da fiabilidade do modelo está essencialmente localizado nos pares origem-destino que envolvem o Porto, em particular aqueles que têm como destino este município. Este problema fica, contudo, praticamente resolvido no Modelo 2', em que o nível de heteroscedasticidade se revela mínimo.

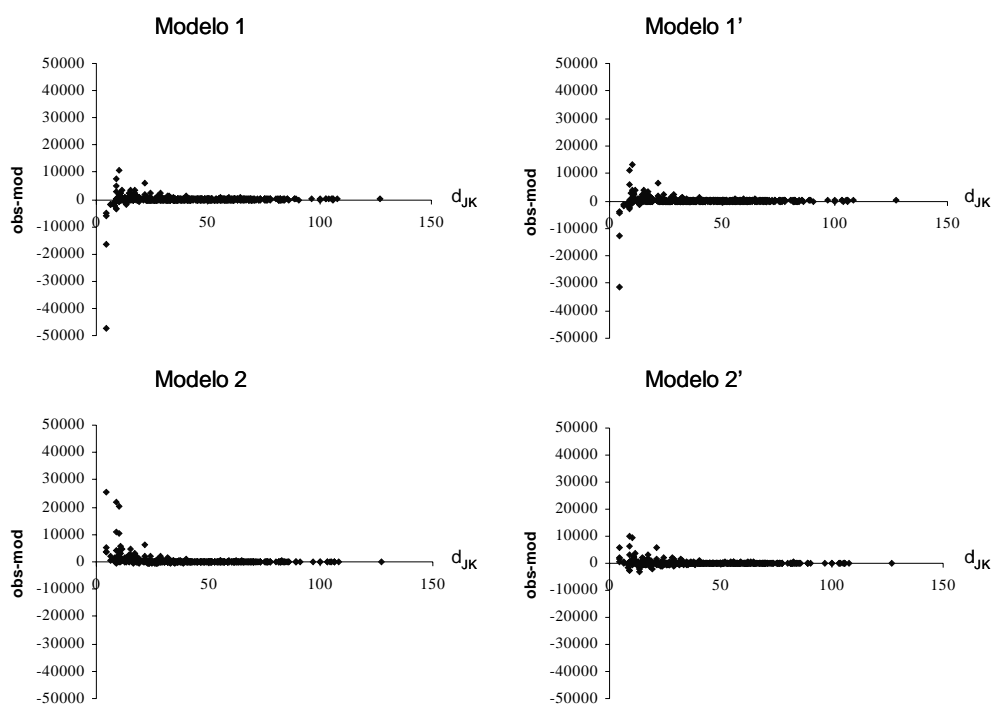


Figura 15 - Distribuição de resíduos em função da variável d_{JK} para os Modelos 1 e 1', 2 e 2'

Conclusão

Neste artigo foi apresentada uma análise dos padrões de mobilidade intermunicipal da região do Porto, desenvolvida com o objectivo de se obter uma melhor compreensão da

forma como esses padrões se relacionam com as características demográficas, socio-económicas e urbanísticas da região. Através dessa análise verificou-se que a geração, a atracção e a distribuição de viagens se podem explicar com base num número reduzido de variáveis, a saber: população residente total dos municípios, taxa da população activa no sector terciário, a distância agregada média à população residente, emprego total dos municípios, taxa de emprego no sector primário e taxa de emprego no sector terciário.

No futuro, os resultados apresentados poderão ser ainda melhorados relativamente a um certo número de aspectos. Em particular, a repartição modal e a análise das consequências da oferta de transportes públicos nos padrões de mobilidade são pontos de análise prioritária em futuros desenvolvimentos. Outro aspecto que será tratado com maior detalhe diz respeito à localização dos centróides representativos dos municípios. No futuro, em vez de serem considerados coincidentes com as sedes de município, serão colocados nos respectivos “centros de gravidade”.

Para terminar resta dizer que, com o bom conhecimento dos padrões de mobilidade intermunicipal da região do Porto de que agora se dispõe, existem condições mais favoráveis para que a questão da mobilidade seja equacionada de forma correcta nos processos de planeamento levados a cabo nesta região do território português.

Bibliografia

Draper, N. R. & Smith, H. (1998), *Applied Regression Analysis*, John Wiley & Sons, Chichester, UK

McNally, M. G. (2000), The four-step model. In Hensher, D. A. & K. J. Button (eds) *Handbook of Transport Modelling*, Amsterdam, The Netherlands, 35-52

Ortúzar, J. D. & Willumsen, L. G. (2001), *Modelling Transport*, John Wiley & Sons, Chichester, UK

Pindyck, R. S. & Rubinfeld, D. L. (2000), *Econometric Models and Economic Forecast*, McGraw-Hill, New York, USA

SAS Institute (1999), *Statview Reference*, Cary, NC, USA