

ÁREA TEMÁTICA: FINANÇAS E ECONOMIA

Avaliação do Desempenho de Linhas Rodoviárias

Performance Evaluation of Bus Routes

Evaluación del Desempeño de las Líneas Viarias

Ana Oliveira Brochado¹

João Rui de Sousa Simões Fernandes Marrana²

Maria Teresa Leite³

Recebido em 06 de fevereiro de 2009 / Aprovado em 22 de abril de 2009

Editor Responsável: Evandir Megliorini, Dr.

Processo de Avaliação: *Double Blind Review*

RESUMO

Um grande número de abordagens divulgadas na literatura tem incidido sobre a análise de empresas de transportes e de sistemas de transportes. No entanto, é importante para os agentes de decisão a disponibilidade de medidas de desempenho desagregadas. Este trabalho pretende apresentar uma metodologia para a avaliação do desempenho entre corredores (linhas). Dado que o desempenho de uma linha deve ser comparado com o de linhas operando em ambientes semelhantes, é proposta uma classificação de 78 linhas que integram a rede de transporte público urbano da cidade do Porto. Esta classificação é realizada tendo por base variáveis físicas, de procura e de oferta, e com recurso a técnicas de análise classificatória. Conclui-se que os grupos obtidos podem ser organizados e associados a diferentes níveis de desempenho financeiro. Antecipa-se que esta avaliação de desempenho desagregado possa fornecer aos agentes de decisão informação operacional para a melhoria da rede de transportes.

Palavras-chave: Análise classificatória. Planeamento de transportes. Transporte público urbano. Desempenho.

ABSTRACT

Existing approaches in the literature have mainly measured performance of transit agencies or whole transit systems. Nevertheless, the challenge for decision-makers remains on how to focus on disaggregated performance measurement. This work intends to present a methodology designed to evaluate the performance within corridors (bus routes). As the performance of a route should be compared with operating routes in similar environments, we first propose a classification of 78 lines which integrate the public transport system in OPORTO city. Such classification is conducted based on physical features, demand characteristics, and supply indicators as well as making the use of cluster analysis techniques. We have concluded that the obtained groups could

1. Doutora em Ciências Empresariais pela Faculdade de Economia da Universidade do Porto. [abrochado@fep.up.pt]

Endereço da autora: Rua Dr. Roberto Frias, 4200-464 Porto – Portugal

2. Mestre em Engenharia Urbana pela Universidade de Coimbra. Professor da Universidade Porucalense. [jmarrana@stcp.pt]

Endereço do autor: António Bernardino de Almeida, 541, 4200-072 Porto – Portugal

3. Licenciatura em Economia pela Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Economia, Portugal. [mtleite@stcp.pt]

be ranked and are associated with different levels of financial performance measures. It is also anticipated that this disaggregate performance evaluation could provide decision-makers with operational insights as how to improve the performance of the bus network as a whole.

Key words: Custer analysis. Transportation planning. Bus. Performance.

RESUMEN

Gran número de enfoques publicados en la literatura, versan sobre el análisis de las empresas de transporte o del sistema de transporte. Sin embargo, es importante que los gestores de decisiones dispongan de evaluaciones de desempeño desagregadas. Este trabajo procura ofrecer una metodología que evalúe el desempeño dentro de los recorridos (líneas). Como el desempeño de una línea debe compararse con el de las líneas que operan en ambientes similares, se propone clasificar 78 líneas que integran el sistema de transporte público urbano de la ciudad de Oporto. Esta clasificación se realiza utilizando como base las variables físicas, de oferta y demanda, complementadas por técnicas de análisis clasificatorio. Se concluye que es posible organizar y asociar los grupos obtenidos a diferentes grados de desempeño financiero. Se prevé igualmente que esta evaluación desagregada del desempeño proporcione más información operacional a los gestores de decisión para mejorar el sistema de transporte.

Palabras clave: Análisis clasificatorio. Planificación de transportes. Transporte público urbano. Desempeño.

1 INTRODUÇÃO

Uma das tarefas importantes na gestão de uma empresa ou de um sistema de transportes consiste na avaliação de desempenho das diversas linhas que estão em exploração. De facto, a existência de uma apreciação contínua e rigorosa do desempenho de cada linha permite implementar

a par e passo ajustamentos da oferta às variações da procura, bem como estimar as motivações que conduziram às variações registradas, avaliando relações causais que possam ser aplicáveis no futuro (PRATT; LOMAX, 1996).

A avaliação do desempenho das linhas é normalmente vista através da rentabilidade que apresentam, a qual é por norma uma relação entre as receitas e os custos associados a cada uma. Esta análise pode porém ser algo redutora, pelo menos em duas situações:

- a) quando há linhas justificadas pela necessidade de garantir um determinado padrão de oferta, esteja esta associada às obrigações de serviço público ou à vantagem decorrente da regularidade do serviço. Pode referir-se como exemplo da primeira situação a oferta de ligações de transporte público urbano em período noturno, em que, embora a procura seja manifestamente incapaz de cobrir os custos de operação, entende-se dever existir essa oferta, seja por razões de segurança ou de garantia de níveis mínimos de acessibilidade das populações;
- b) quando existe o conceito de linhas de alimentação (*feeders*), que desempenham o papel de contribuírem para a procura de outras linhas mais rentáveis. Nas empresas de transporte aéreo de maior dimensão esta situação é relativamente usual, oferecendo frequentemente conexões aos grandes centros de distribuição com tarifas que as tornam menos rentáveis, desde que integradas num percurso de maior procura e maior rentabilidade. Isto é, uma companhia pode ter uma margem nula ou negativa na ligação Porto-Frankfurt se o passageiro seguir viagem na mesma companhia para Joanesburgo, desde que nesta última ligação as margens de exploração sejam mais favoráveis.

Efetivamente, de acordo com Banker e Morey (1986) e Ruggiero (1998), o desempenho de cada

linha de transporte público urbano deve ser comparado com o desempenho de linhas com características semelhantes. Assim, atendendo então à conveniência em estabelecer referenciais de rentabilidade diversos para as diferentes tipologias de linhas, torna-se necessário em primeiro lugar definir classificações para essas linhas. Nalgumas situações, essa classificação poderá estar facilitada, como será o caso das ligações aéreas nas grandes companhias, onde normalmente é acessível a diferenciação das conexões de longo curso das ligações com carácter de *feeders* a partir da extensão e do nível de procura. Noutros casos porém, esta classificação é bastante mais difícil, em particular nas empresas de transporte público rodoviário com alguma dimensão, seja pelo elevado número de linhas, pelo carácter de recolherem passageiros ao longo do percurso (o que quase não acontece no transporte aéreo) ou pela densidade da oferta que conduz ao aparecimento de elevado número de intersecção das áreas servidas pelas diversas linhas.

O presente artigo descreve então uma experiência de agrupamento através da análise de *clusters* das linhas integradas na rede de uma empresa de transporte público rodoviário urbano da cidade do Porto, em Portugal, a qual se descreve graficamente na Figura 1, com base num conjunto de atributos de classificação, com o duplo intuito de por um lado avaliar a viabilidade de utilização deste método para a definição de grupos úteis para a avaliação do desempenho das linhas e, complementarmente, identificar quais os atributos que se revelam, neste caso, mais importantes para a formação dos grupos de linhas. Adicionalmente, pretende-se analisar se os grupos identificados são homogêneos em termos de rentabilidade.

Apesar de um grande número de estudos divulgados na literatura terem abordado a temática do desempenho de empresas de transporte público rodoviário e de sistemas de transportes, poucos estudos têm apresentado metodologias para análises desagregadas do desempenho das linhas em fun-

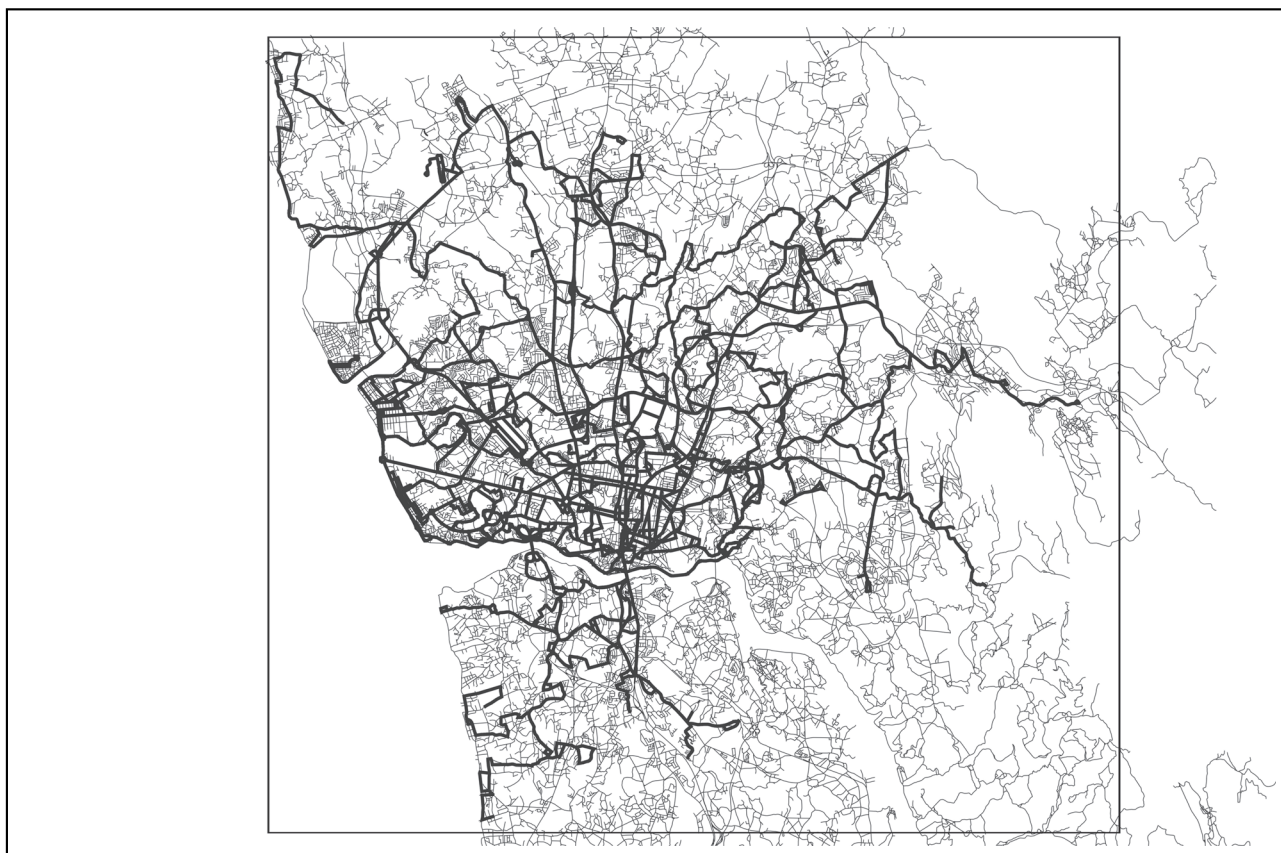


Figura 1 – Planta da rede de linhas de transporte público considerada.

cionamento numa dada empresa (EL-HIFNAWI, 2002; SHETH; TRIANTIS; TEODOROVLAË, 2007). Deste modo, o presente trabalho propõe-se também a apresentar uma metodologia para a realização de análises desagregadas, suscetível de proporcionar informação para a tomada decisão operacional sobre as linhas atualmente em funcionamento e que conjuga informação sobre o prestador do serviço de transportes (oferta) e o utilizador desse serviço (procura).

No ponto seguinte são apresentadas as principais referências bibliográficas sobre avaliação do desempenho no transporte público rodoviário urbano, que serviram de base à elaboração do presente trabalho (ponto 2). De seguida, no ponto 3, são descritos os aspetos metodológicos, relativamente à base de informação considerada e quanto às técnicas de análise estatística utilizadas. No ponto 4 são apresentados os resultados do presente trabalho e, por fim, são apresentadas as conclusões do estudo (ponto 5).

2 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO NO TRANSPORTE PÚBLICO RODOVIÁRIO

Nesta secção propõe-se uma revisão da literatura sobre avaliação do desempenho na provisão de serviços de transporte público rodoviário. Os vários trabalhos revistos revelam um grande número de medidas e dimensões utilizadas neste tipo de estudos. As várias dimensões consideradas refletem múltiplas perspetivas, como a do passageiro, a do prestador do serviço e das implicações para a sociedade como um todo.

Nos últimos anos o paradigma de muitas empresas que prestam serviços de transporte rodoviário passou da simples preocupação com a provisão de um serviço às populações, para o aumento da qualidade e da eficiência do serviço prestado, através da minimização dos custos e do aumento da competitividade relativamente a outras empresas e outros modos de transporte concorrentes. Adicionalmente, em vários países tem-se mesmo assistido à privatização das empresas de transporte público urbano (como por exemplo no Reino Unido).

Pratt e Lomax (1996) sublinham que as medidas de desempenho desenvolvidas devem estar de acordo com os objetivos e metas que o sistema de transportes pretende alcançar, e devem considerar igualmente o ponto de vista do cliente, bem como os impactos para a sociedade como um todo (por exemplo, ambientais). Os autores definem ainda um conjunto de medidas de desempenho que podem ser usadas em estudos analíticos, tais como o tempo de viagem, o percurso, a velocidade média, a capacidade do veículo, a cobertura do serviço, a frequência do serviço, os atrasos totais, entre outros. Ewing (1995) refere que um quadro analítico de análise se deve basear nos conceitos de mobilidade (a facilidade com que os indivíduos se movem, o que depende da velocidade, da densidade de trânsito do percurso, da disponibilidade de estacionamento, entre outros fatores), da acessibilidade, do grau em que o tráfego é calmo e da sustentabilidade (que inclui aspectos como poluição e o consumo de combustíveis). Ryus et al. (2000), por outro lado, dão ênfase a assuntos como a cobertura da rede (relativamente à densidade populacional em termos de residência e de trabalho), à frequência do serviço, à duração da viagem por percurso, à qualidade dos veículos e das paragens. Cood e Walton (1996) analisam vários critérios de avaliação do desempenho que incluem a mobilidade, a conectividade, a acessibilidade, a eficiência em termos de custos, a eficiência energética, a qualidade do ar, o impacto nos recursos naturais, o ruído, a segurança, o impacto nas populações residentes, os efeitos no emprego e outros impactos económicos. Estes autores recomendam que a análise incida num número reduzido de medidas que facilitam a comparação do desempenho inter-modal. El-Hifnawi (2002) considerou critérios relativos aos aspectos de rentabilidade, bem como os efeitos para os utilizadores de sistemas de transporte público urbano e utilizadores de transporte privado de alterações na configuração das linhas oferecidas na cidade de Monterey, no México.

Para além das diferentes dimensões e medidas de desempenho, diferentes técnicas analíticas têm sido propostas para medir o desempenho. Ndoh e Ashford (1994) referem que o nível da

qualidade do serviço se deve basear nas percepções dos utilizadores. Como essas percepções são definidas em termos imprecisos (subjetivos), a teoria dos conjuntos difusos 'fuzzy sets' pode ser utilizada, segundo os autores, para capturar esta imprecisão. Uma abordagem semelhante foi proposta por Yeh, Deng e Chang (2000). Polus e Tomecki (1986) usaram uma análise custo-benefício para obter uma medida única da eficiência do sistema, traduzindo todos os benefícios em termos monetários. Gathon (1989) estudou a eficiência das empresas de transporte urbano, com base em modelos paramétricos (OLS) para comparar o desempenho de 60 empresas considerando como output o número de quilómetros percorridos e o número de horas de fator trabalho como medida de input. Fielding, Babitsky e Brenner (1985) e Fielding, Brenner e Faust (1985) usaram técnicas de análise fatorial para determinar as dimensões mais relevantes da avaliação do desempenho. Os autores definiram uma medida de eficiência que inclui a eficiência global em termos de custos, a utilização do fator trabalho, a utilização dos veículos, a qualidade do serviço e a acessibilidade. Obeng, Benjamin e Addus (1986) introduziram o conceito de produtividade total como uma medida do desempenho, e estimaram o modelo proposto com base no método *Three Stage Least Squares* (3SLS). O *Data Envelopment Analysis* (DEA) tem sido utilizado muito frequentemente para medir o desempenho dos sistemas de transportes. Por exemplo, Husain, Abdullah e Kuman (2000) apresentaram um estudo sobre a avaliação de uma empresa prestadora de serviços de transporte público urbano na Malásia. Chu, Fielding e Lamar (1992) compararam o desempenho de várias empresas que operam nos Estados Unidos. Cowie (2002) estudou o desempenho de 58 empresas de transporte rodoviário no Reino Unido durante 5 anos com o objetivo de testar a hipótese das concentrações terem gerado economias de escala. Nolan (1996) aplicou o DEA para avaliar a eficiência de empresas americanas, no período 1989-1993. Kerstens (1996) estudou o desempenho do transporte público urbano na França. Dervaux, Kerstens e Vanden Eeckaut (1998) procura-

raram identificar os determinantes do congestionamento, com medidas radiais e não radiais. Karlaftis (2003, 2004) usou igualmente modelos de DEA para estudar a relação entre desempenho e economias de escala em sistemas de transporte urbano. Viton (1998) estudou a eficiência das empresas de transporte público urbano nos Estados Unidos e concluiu pela existência de ganhos de eficiência entre 1988 e 1992. Odeck e Alkadi (2001) estudaram a eficiência de vários prestadores de serviços de transporte na Noruega e concluíram que a empresa média operava com rendimentos crescentes à escala. Outro estudo neste mercado foi realizado por Holvad et al. (2004). Cowie e Asenova (1999) estudaram a eficiência das empresas prestadoras de transporte público rodoviário no Reino Unido e concluíram que o tipo de economias de escala varia com a dimensão das empresas. Sheth, Triantis e Teodoroviæ (2007) desenvolveram um modelo, com base no DEA, que permite avaliar o desempenho de um sistema de transportes considerando a perspectiva dos prestadores do serviço, dos utilizadores e do impacto em termos sociais.

Matas e Raymond (1998) estudaram a eficiência de várias empresas no mercado espanhol no período 1983-1995 com métodos paramétricos, baseados na estimação de uma função de custos. Viton (1997) estudou a eficiência de um conjunto de empresas nos Estados Unidos, com recurso a métodos de fronteira estocástica. Ottoz, Fornengo e Giacomo (2009) analisaram o impacto do regime de propriedade (público ou privado) nos custos das empresas de transporte público em Itália, de 1998 a 2002, com métodos paramétricos, concluindo que as empresas do setor privado eram mais eficientes.

Da revisão da literatura efetuada conclui-se que grande parte dos estudos sobre desempenho no setor público rodoviário procuraram avaliar o desempenho na perspectiva da eficiência de várias empresas. No entanto, para cada empresa prestadora de serviços de transporte, é igualmente importante a realização de análises desagregadas (EL-HIFNAWI, 2002; SHETH; TRIANTIS; TEODOROVÆ, 2007), de forma a obter informação que permita a

tomada de decisão operacional sobre como melhorar o desempenho da sua oferta.

3 METODOLOGIA

3.1 Base de informação considerada

A rede da empresa de transporte público rodoviário urbano considerada é constituída por 78 linhas de autocarro, que efetuam as ligações rodoviárias urbanas na área geográfica da cidade do Porto ou entre esta e os concelhos limítrofes, Matosinhos, Maia, Valongo, Gondomar e Vila Nova de Gaia.

A rede de transportes funciona durante 24 horas diárias, todos os dias úteis, sábados, domingos e feriados, com diferentes tipos de serviço em cada uma das linhas que a compõem.

As variáveis selecionadas correspondem à informação secundária, produzida de forma regular pelos sistemas de informação da empresa de transporte público rodoviário em análise. Adicionalmente, seguindo a proposta de Sheth, Triantis e Teodoroviæ (2007) para a avaliação do desempenho de uma rede de transportes, incorporam informação sobre a perspectiva do prestador de serviços (oferta) e do passageiro (procura).

Assim, para cada uma das linhas consideradas foi recolhida informação relativa a um conjunto de 12 atributos disponíveis, os quais se entendeu permitirem diferenciar cada uma das linhas. Na seleção dos atributos considerados, procurou-se obter informação que por um lado fosse representativa das características físicas (extensão das linhas e o seu grau de integração dentro do principal concelho servido), como também de procura (passageiros totais transportados por linha, média de passageiros transportados por viagem, percurso médio efectuado por cada passageiro, grau de utilização do tipo de título de transporte utilizado por cada passageiro, passes ou bilhetes, e a taxa de ocupação média de cada viatura), e de oferta (quilómetros percorridos por tipo de dia, útil ou fins de semana, velocidade comercial das viaturas, intervalos de passagem de cada viatura em cada linha).

Os atributos recolhidos para a caracterização de cada linha reportam-se ao ano de 2004 e foram os seguintes:

- extensão das linhas somatório do comprimento do sentido ida e volta, dividido pelos dois sentidos de cada linha;
- grau de integração no principal concelho servido corresponde à extensão quilométrica de cada linha que se localiza no interior da cidade do Porto;
- passageiros totais por linha integram o total de embarques em cada viatura ao serviço de cada linha, para o período considerado;
- passageiros por viagem correspondem ao total dos passageiros transportados em cada linha, ponderados pelo total das viagens realizadas em cada linha;
- percurso médio por passageiro corresponde ao rácio entre o total dos passageiros embarcados em cada viatura ao serviço de cada linha, e o total dos quilómetros percorridos pelos mesmos, no mesmo período, nessas viaturas;
- coeficiente de ocupação é uma medida de quantificação do rácio entre os lugares ocupados em cada viatura e os lugares oferecidos durante a produção de transporte: $C.O. = N^{\circ} \text{ de Passageiros Transportados} \times \text{Percurso Médio por Passageiro/Lugares. Km Oferecidos}$
- percentagem de passageiros com bilhete de banda magnética corresponde ao *ratio* entre os passageiros embarcados portadores de Bilhetes de Banda Magnética (BBM) e o total de passageiros embarcados;
- velocidade comercial das viaturas corresponde à velocidade média das viaturas de transporte público utilizadas na produção de transporte, em cada linha:
 $VC = \text{Viaturas} \times \text{Km/Viaturas} \times \text{Hora}$
- quilómetros percorridos, também designados por *viaturas.km*, corresponde aos quilómetros percorridos pelas viaturas de transporte público ao serviço de cada linha, durante a produção de transporte, no período considerado;

- percentagem de quilómetros ao fim de semana corresponde ao rácio entre os quilómetros percorridos durante o período de fim-de-semana e o total de quilómetros percorridos, para cada linha.
- intervalo de passagem de cada viatura corresponde ao intervalo de tempo médio entre a passagem de duas viaturas consecutivas em cada linha num dia útil;
- rácio entre o intervalo máximo e mínimo de passagem de cada viatura corresponde à relação, entre o intervalo máximo e o intervalo mínimo de passagem de duas viaturas consecutivas em cada linha, num dia útil.

3.2 Instrumentos estatísticos

Na classificação das 78 linhas de que integram a rede de transporte público urbano considerada é utilizada uma base de segmentação constituída pelas 12 variáveis anteriormente descritas, organizadas em três grupos: características físicas da linha, características da procura e características da oferta. A Tabela 1 apresenta a caracterização estatística da população em estudo.

A classificação é efetuada com recurso ao algoritmo *k-means1* (MCQUEEN, 1967). No entanto, com o propósito de determinar o número adequado de classes (parâmetro necessário para a

Tabela 1 – Caracterização estatística da base de segmentação.

Grupo	Código	Descrição	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
Características Físicas	EXTENS	Extensão das linhas	12119	5647	30490	1665
	% PORTO	Grau de integração no principal concelho servido	55%	36%	100%	0%
Características da Procura	PASST	Passageiros transportados totais por dia médio útil	6475	4276	23879	586
	PASSVIAG	Número de passageiros por viagem e por dia médio útil	63	26	146	19
	PERCMDP	Percurso médio por passageiro por dia médio útil	4	1	9	1
	COEFOCUP	Coefficiente de ocupação	22%	7%	37%	7%
	% BBM	Peso dos passageiros com bilhete de banda magnética	28%	7%	42%	14%
Características da Oferta	VELOCID	Velocidade comercial das viaturas	14	3	23	8
	KMDU	Km percorridos nos dias úteis	352556	218128	1128108	7848
	% FDS	Peso da oferta no fim de semana	5%	2%	9%	0%
	FREQ	Intervalo de passagem de cada viatura (dias úteis) no período de pico da oferta	17	8	40	4
	FMAXMIN	Rácio intervalo máximo/intervalo mínimo entre chegadas de veículos ao longo do dia	1,4	0,5	3,0	1,0

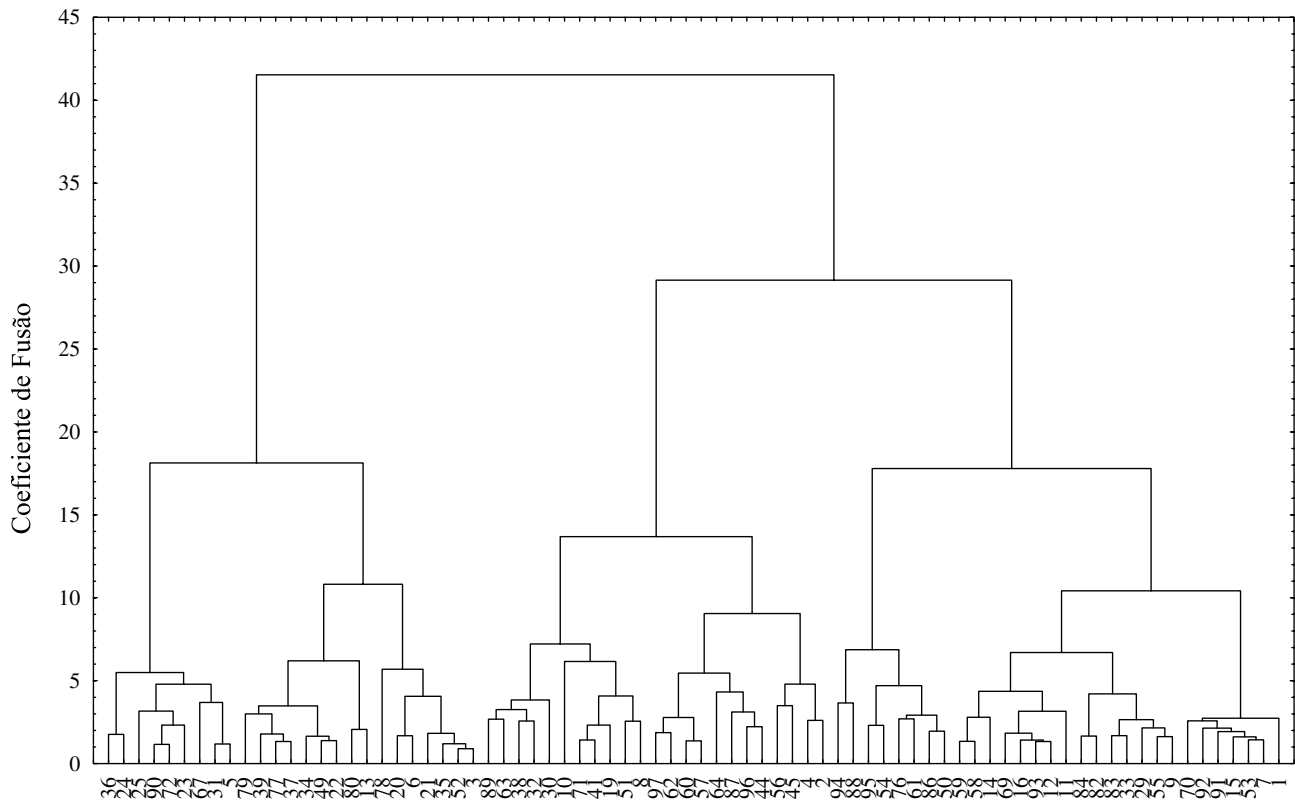


Figura 2 – Dendrograma segundo o método de agrupamento de Ward.

iniciação do algoritmo) foi obtido o dendrograma da estrutura (Figura 2) recorrendo ao método de agrupamento hierárquico de Ward (WARD, 1963). A análise da variação do coeficiente de fusão nos 77 passos do algoritmo sugere o corte do dendrograma na distância 14.0, revelando a existência de cinco grupos nos dados. Foi utilizado o programa SPSS 16.0.

4 RESULTADOS

4.1 Classificação das 78 linhas

A Tabela 2 sintetiza a informação necessária para a interpretação da solução obtida pelo método não hierárquico *k-means*: para cada grupo é apresentado o centroíde das 12 variáveis e, para

Tabela 2 – Solução de agrupamento.

Grupo	Nº Elementos	Centroíde									
		EXTENS	% PORTO	PASST	PASSVIAG	PERCMDP	COEFOCUP	% BBM	VELOCID	KMDU	% FDS
Grupo 1	16	7531	81,4%	2982	36	2,5	18%	22%	12	146585	5%
Grupo 2	9	15272	20,8%	1905	35	5,7	14%	32%	18	232304	3%
Grupo 3	17	9649	93,4%	11650	84	2,7	26%	24%	11	365607	5%
Grupo 4	26	11828	33,3%	6817	70	3,7	27%	32%	15	358756	5%
Grupo 5	10	21580	35,4%	6489	78	4,7	18%	30%	17	752026	5%
Análise da Variância											
Estadística F		25,3	33,2	27,1	23,5	24,5	18,1	15,2	30,0	35,0	3,0
Valor de Prova		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025

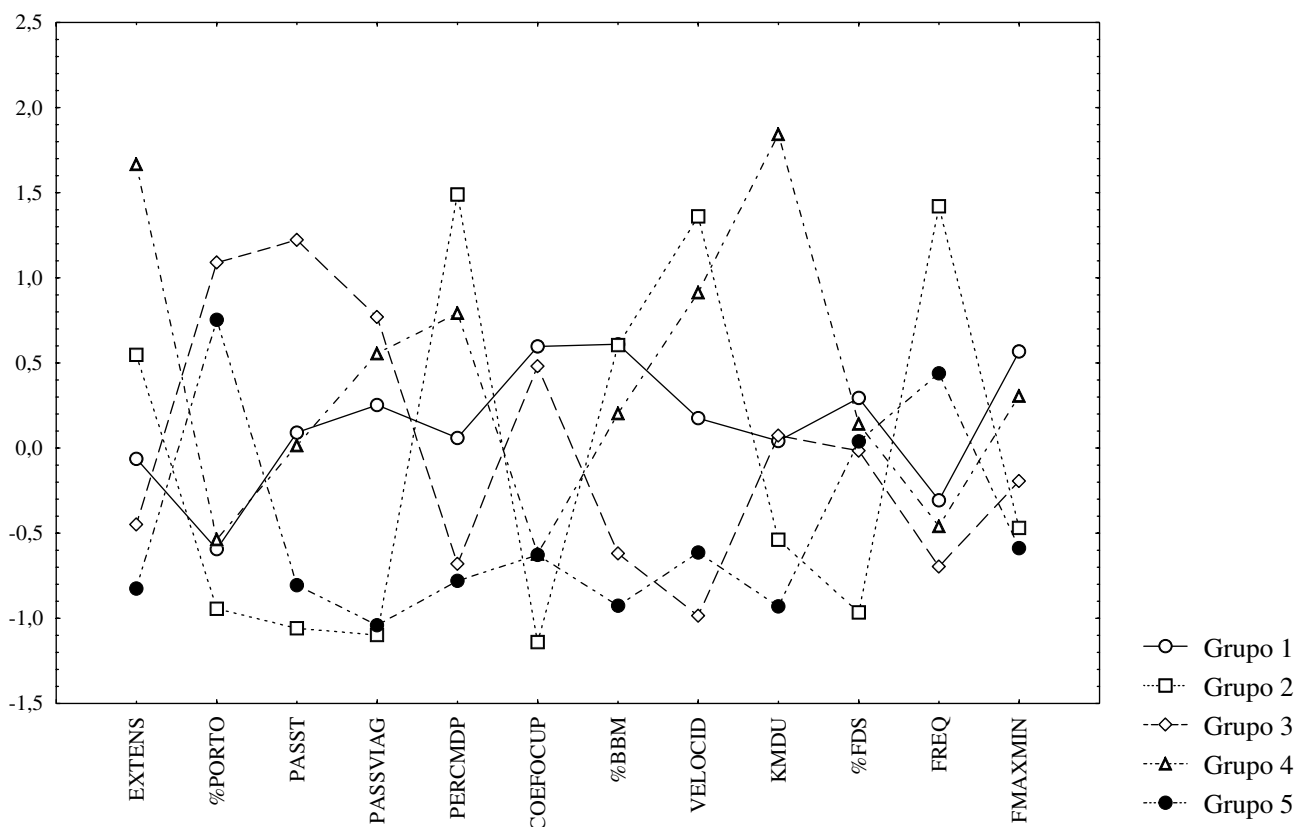


Gráfico 1 – Centroídes para os cinco grupos de linhas.

cada variável, os valores de prova do teste ANOVA às diferenças entre as médias dos grupos. Verifica-se que todas as variáveis exibem diferenças significativas entre os grupos.

Os centroídes dos cinco grupos (variáveis normalizadas) podem ser observados no gráfico 1.

Com o propósito de produzir uma representação num espaço conceitual métrico, caracterizadora da estrutura das linhas de transporte público rodoviário, é aplicada a técnica ‘*Multidimensional Scaling*’ (MDS), partindo da matriz de distâncias euclidianas (calculada com base nas 12 variáveis que integram a base de segmentação) entre os segmentos.

Os resultados do *scree test* (KRUSKAL; WISH, 1978) associados ao objetivo de explicação da matriz de distâncias com um número reduzido de dimensões, determinaram a escolha de um mapa bi-dimensional para a visualização da localização relativa das linhas. A dimensão 1 pode ser interpretada como o grau de integração do principal conceito servido e a dimensão 2 como a dimensão da procura (Figura 3).

4.2 Caracterização dos grupos de linhas

O processo de classificação referido no ponto anterior conduziu à constituição dos 5 grupos, aos quais se atribuiu uma designação para facilitar a sua identificação, revelando a análise da sua dispersão segundo os diversos critérios as seguintes características específicas:

- linhas Atípicas (grupo 1), correspondendo a um conjunto de linhas nas quais não foi possível identificar características específicas a partir da observação da dispersão de resultados segundo as variáveis consideradas;
- linhas com Carácter Periférico (grupo 2), apresentando todas elas um percurso maioritariamente exterior à cidade do Porto, registando uma procura total reduzida, tendo quase todas um percurso médio por passageiro elevado, evidenciando frequências baixas ou muito baixas e coeficiente de ocupação reduzido;

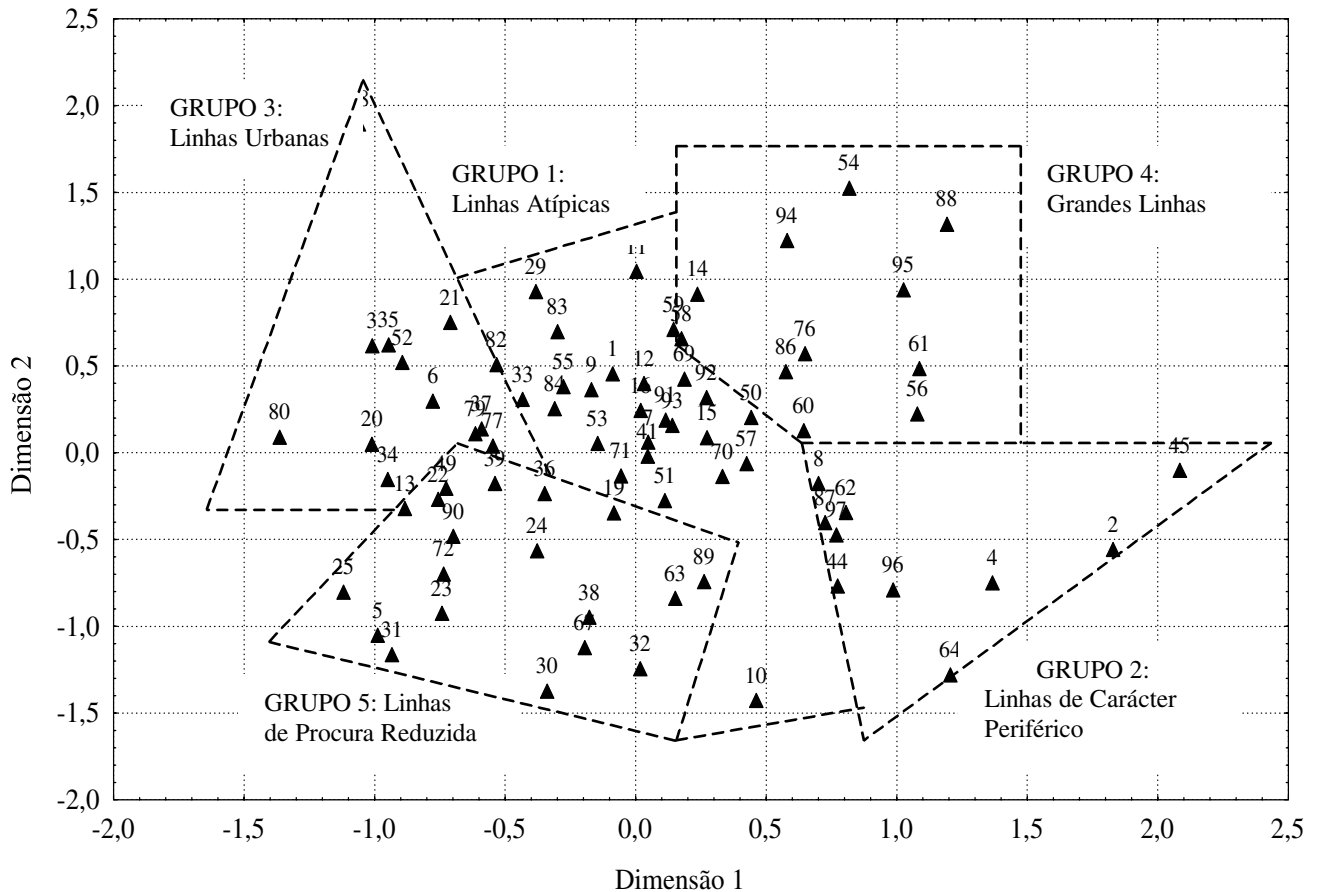


Figura 3 – Mapa Percetual.

- linhas Urbanas (grupo 3), tendo todas elas percurso interno à cidade do Porto, registando valores muito elevados da procura, nas quais os passageiros realizam percursos de distância média reduzida, sendo igualmente baixa a velocidade média.
- grandes Linhas (grupo 4), integrando exclusivamente linhas com extensão apreciável que, embora com frequências muito variáveis, registam os maiores valores para os quilómetros percorridos. Todas estas linhas têm, exceto uma, percursos exteriores à cidade, e em quase todas se registam valores elevados da extensão média percorrida na linha pelos passageiros em cada viagem;
- linhas de Procura Reduzida (grupo 5), quer em termos de passageiros totais, quer de passageiros por viagem, sendo também relativamente curtos os percursos médios dos

passageiros e a quantidade de transporte produzida, medida em veículos.km.

Complementarmente, a análise da dispersão dos valores observados pelos membros de cada grupo segundo cada um dos atributos revela que em alguns destes nenhum dos grupos regista um comportamento estável. Isto é, em alguns critérios observa-se que os 5 grupos apresentam valores bastante dispersos, não revelando por isso nenhum deles um padrão estável que contribua para a identificação de características próprias de algum dos grupos.

Os 3 campos em que isso se observa de forma explícita são a “Percentagem de passageiros com BBM”, o “Peso das viagens ao fim-de-semana” e o “Quociente entre as frequências máxima e mínima”, nos quais todos os grupos revelam uma elevada dispersão de valores dos seus membros.

4.3 Análise da rentabilidade de cada grupo de linhas

Um dos objetivos do presente trabalho consiste em avaliar a metodologia da análise de *clusters* para determinar se os agrupamentos apresentam diferentes níveis de rentabilidade e se os níveis de rentabilidade dentro cada grupo evidenciavam uma relativa estabilidade. Esta metodologia permitiu comparar a rentabilidade de linhas com características semelhantes (BANKER; MOREY, 1986; RUGGIERO, 1998).

Para a avaliação da rentabilidade foi utilizado um indicador que relaciona a receita de cada linha com uma estimativa dos seus custos variáveis médios², dividindo depois essa rentabilidade pelo valor dos veículos.km efetuados na respetiva linha, de forma a obter um indicador adimensional, que, por isso, não se expressa como função da oferta de transporte realizada. Caso contrário, as linhas com uma oferta superior registariam valores absolutos tendencialmente superiores, e, inversamente, as linhas com menor extensão e menor frequência, revelariam valores absolutos inferiores (EL-HIFNAWI, 2002).

Os resultados estatísticos do indicador de rentabilidade utilizado para cada grupo que se apresentam na Tabela 3 permitem concluir que:

- as Linhas Atípicas registam resultados de rentabilidade relativamente equilibrados (-0,04) e alguma estabilidade nos valores apresentados (desvio-padrão de 0,28);
- nas Linhas com Caráter Periférico embora os valores de rentabilidade registem uma

dispersão elevada (desvio-padrão de 0,74) apresentam valores de rentabilidade média bastante desequilibrados (-0,32);

- as Linhas Urbanas são claramente aquelas que registam uma rentabilidade mais elevada (0,33) evidenciando igualmente uma relativa estabilidade nos valores apresentados (desvio-padrão de 0,28);
- o grupo das Grandes Linhas é aquele que apresenta uma menor rentabilidade (-0,35) e uma maior estabilidade dos resultados (desvio-padrão de 0,22);
- as Linhas de Procura Reduzida têm, como seria de esperar, uma rentabilidade negativa (-0,26) correspondendo a um grupo com variações muito grande nos valores registados, como se comprova pelo elevado valor do desvio-padrão (0,45) e pelo fato de integrar linhas com rentabilidade marcadamente positiva.

Com o propósito de analisar a existência de diferenças entre os indicadores de rentabilidade entre os cinco grupos formados foi efetuado o teste (não paramétrico) Kruskal-Wallis (1952), para cada uma das variáveis selecionadas. A análise da estatística do teste ($H(4, N=78)$) e do valor de prova permitem concluir que a hipótese nula de igualdade entre as rentabilidades médias dos seis grupos é rejeitada (nível de significância de 5%). Deste modo concluí-se que os grupos de linhas identificados na análise de clusters se distinguem ao nível do grau de rentabilidade média, tal como esperado.

Tabela 3 – Estatísticas do indicador de rentabilidade por grupo.

Grupo	Valor médio do indicador de rentabilidade	Desvio-padrão do indicador de rentabilidade	Intervalo de Confiança (95%)
1 (Linhas atípicas)	-0,0406	0,281	[-0,04;-0,154]
2 (Linhas com caráter periférico)	-0,3224	0,736	[-0,888;0,243]
3 (Linhas urbanas)	0,3344	0,281	[0,189;0,479]
4 (Grandes linhas)	-0,3525	0,219	[-0,509;-0,186]
5 (Linhas de procura reduzida)	-0,2601	0,454	[-0,502;-0,018]

Kruskal-Wallis $H(4, N=78) = 30,196$ $p=0,000$

5 CONCLUSÕES

Uma revisão da literatura sobre os estudos de desempenho no transporte público rodoviário revelou um grande número de abordagens utilizadas, variáveis selecionadas e técnicas de análise da informação. Grande parte dos estudos propõe-se avaliar o desempenho de um conjunto de empresas do mesmo país. Dados os poucos exemplos de avaliação do desempenho considerando informação desagregada sobre o sistema de transportes, e a importância da informação desagregada para a tomada de decisão, o presente trabalho apresenta uma metodologia para a avaliação do desempenho de um conjunto de linhas de transporte público urbano na cidade do Porto.

A primeira conclusão que se julga importante reter é o da utilidade da análise de *clusters* para o agrupamento e avaliação de uma rede de linha de transporte público, na medida em que permite a criação de grupos relativamente homogêneos de linhas para os quais poderão ser estabelecidas posteriormente critérios de desempenho, em particular de rentabilidade.

No caso específico do conjunto de linhas analisado, a metodologia conduziu à formação de 5 grupos, revelando-se particularmente acessível à caracterização qualitativa de 4 destes. Porém, para um dos grupos, não foi possível através da avaliação dos resultados evidenciados identificar um conjunto de características específicas que se aplicassem universalmente a todos os seus constituintes.

Para além disso, nenhum dos 5 grupos revelou um padrão de comportamento específico em 3 dos atributos considerados, como anteriormente se refere. Esta situação e o fato de ter resultado um grupo com comportamento atípico, poderá aconselhar à realização de desenvolvimentos posteriores deste método de classificação, substituindo os 3 atributos que, do ponto de vista da análise qualitativa se revelaram menos interessantes.

A análise da rentabilidade de cada grupo de linhas veio revelar comportamentos relativamente estáveis dentro dos grupos, em particular no caso das grandes linhas, das linhas urbanas e das linhas atípicas, permitindo assim uma futura

utilização deste indicador para o estabelecimento de exigências de performance a cada uma das linhas em função do grupo em que se integram e, para além disso, poder também vir a estabelecer limites dimensionais máximos para cada grupo em função da estratégia da empresa.

Concluí-se ainda que os sistemas de transporte possuem características específicas, na medida em que para a sua avaliação é necessário considerar várias perspetivas, como a do prestador do serviço e a do passageiro. Entende-se que a perspetiva do passageiro pode ser complementada com a avaliação que este efetua do nível do serviço prestado por cada linha. Deste modo, em termos de perspetivas de investigação futura, pretende-se desenvolver uma metodologia suscetível de incorporar dados sobre a avaliação da qualidade que o passageiro efetua relativamente a um conjunto de linhas, obtidos através da inquirição dos mesmos (da recolha de dados primários). Adicionalmente, resulta da revisão da literatura efetuada a necessidade de consideração, na avaliação dos sistemas de transportes, das externalidades associadas à prestação de serviços, tais como a poluição ou a emissão de ruído. Efetivamente, sendo recomendável a utilização de perspetivas distintas na avaliação de sistemas de transportes, importa ter presente que os vários grupos possuem objetivos distintos: o prestador tem como propósito minimizar os custos para um dado nível do serviço, o utilizador pretenderá maximizar a cobertura da rede e o nível do serviço, e do ponto de vista da sociedade pretende-se minimizar as externalidades negativas. Deste modo, revela-se igualmente necessária a definição de metodologias que conjuguem não só diferentes pontos de vista, como também os objetivos distintos de cada grupo.

Em termos de investigação futura pretende-se ainda utilizar metodologias alternativas no estudo do desempenho, tais como o DEA e os métodos paramétricos de fronteira estocástica. Efetivamente, apesar deste tipo de instrumentos ter sido utilizado essencialmente na comparação da eficiência de diferentes empresas, a extensão da sua aplicação a linhas de transporte poderá revelar resultados interessantes em termos de gestão.

REFERÊNCIAS

- BANKER, R. D.; MOREY, R. C. Efficiency analysis for exogenously fixed inputs and outputs. **Operations Research**, Linthicum, v. 34, n. 4, p. 513-522, July/Aug. 1986.
- CHU, X.; FIELDING, G. J.; LAMAR, B. Measuring transit performance using data envelopment analysis. **Transportation Research Part A: policy and practice**, Oxford, v. 26, n. 3, p. 223-230, 1992.
- COOD, N.; WALTON, C. M. Performance measures and framework for decision making under the national transportation system. **Transportation Research Record**, Washington, v. 1518, p. 70-77, 1996.
- COWIE, J. Acquisition, efficiency and scale economies: an analysis of the British bus industry. **Transport Reviews**, London, v. 22, n. 2, p. 147-157, Apr. 2002.
- _____; ASENOVA, D. Organization form, scale effects and efficiency in the British bus industry. **Transportation**, Amsterdam, v. 26, n. 3, p. 231-248, Aug. 1999.
- DERVAUX, B.; KERSTENS, K.; VANDEN EECKAUT, P. Radial and nonradial static efficiency decompositions: a focus on congestion management. **Transportation Research Part B: methodological**, New York, v. 32, n.5, p. 299-312, June 1998.
- EL-HIFNAWI, M. B. Cross-town routes as a solution for decentralized travel: a cost-benefit analysis for Monterrey, Mexico. **Transportation Research Part A: policy and practice**, Oxford, v. 36, n. 2, p. 127-144, Feb. 2002.
- EWING, R. Measuring transportation performance. **Transportation Quarterly**, Westport, v. 49, n. 1, p. 91-104, 1995.
- FIELDING, G. J.; BABITSKY, T. T.; BRENNER, M. E. Performance evaluation for bus transit. **Transportation Research Part A: general**, New York, v. 19, n.1, p. 73-82, Feb. 1985.
- _____; BRENNER, M. E.; FAUST, K. Typology for bus transit. **Transportation Research Part A: general**, New York, v. 19, n. 3, p. 269-278, May 1985.
- GATHON, H. J. Indicators of partial productivity and technical efficiency in European transit sector. **Annals of Public and Cooperative Economics**, v. 60, n. 1, p. 43-59, 1989.
- HOLVAD, T. et al. Measuring inefficiency in the Norwegian bus industry using multi-directional efficiency analysis. **Transportation**, Amsterdam, v. 31, n. 3, p. 349-369, Aug. 2004.
- HUSAIN, N.; ABDULLAH, M.; KUMAN, S. Evaluating public sector efficiency with data envelopment analysis (DEA): a case study in road transport department, Selangor, Malaysia. **Total Quality Management**, Abingdon, v. 11, n. 4/6, p. 830-836, July 2000.
- KARLAFTIS, M. G. A DEA approach for evaluating the efficiency and effectiveness of urban transit systems. **European Journal of Operation Research**, Amsterdam, v. 152, n. 2, p. 354-364, Jan. 2004.
- _____. Investigating transit production performance: a programming approach. **Transportation Research Part A: policy and practice**, Oxford, v. 37, n. 3, p. 225-240, Mar. 2003.
- KERSTENS, K. Technical efficiency measurement and explanation of French urban transit companies. **Transportation Research Part A: policy and practice**, Oxford, v. 30, n. 6, p. 431-452, Nov. 1996.
- KRUSKAL, J. B.; WISH, M. **Multidimensional scaling**. Beverly Hills: Sage Publications, 1978.
- _____; WALLIS, W. A. Use of ranks in one-criterion variance analysis. **Journal of the American Statistical Association**, Alexandria, v. 47, p. 583-621, 1952.

- MATAS, A.; RAYMOND, J. L. Technical characteristics and efficiency of urban bus companies: the case of Spain. **Transportation**, Amsterdam, v. 25, n. 3, p. 243-263, Aug. 1998.
- MCQUEEN, J. B. Some methods of classification and analysis of multivariate observations. In: BERKELEYSYMPOSIUM ON MATHEMATICAL STATISTICS AND PROBABILITY, 5., 1967, Berkeley. **Proceedings...** California: University of California Press, 1967. 1 CD-ROM.
- NDOH, N. N.; ASHFORD, N. J. Evaluation of transportation level-of-service using fuzzy sets. **Transportation Research Record**, Washington, v. 1464, p. 31-37, 1994.
- NOLAN, J. F. Determinants of productive efficiency in urban transit. **Logistics and Transportation Review**, Vancouver, v. 32, n. 3, p. 319-342, 1996.
- OBENG, K.; BENJAMIN, J. E; ADDUS, A. Initial analysis of total factor productivity for public transit. **Transportation Research Record**, Washington, v. 1078, p. 48-55, 1986.
- ODECK, J.; ALKADI, A. Evaluating efficiency in the Norwegian bus industry using data envelopment analysis. **Transportation**, Amsterdam, v. 28, n. 3, p. 211-232, 2001.
- OTTOZ, E.; FORNENGO G.; GIACOMO, M. D. The impact of ownership on the cost of bus service provision: an example from Italy. **Applied Economics**, v. 41, n. 3, p. 337-349, Feb. 2009.
- POLUS, A.; TOMECKI, A. B. Level-of-service framework for evaluating the efficiency and effectiveness of urban transit systems. **European Journal of Operation Research**, Amsterdam, v. 152, p. 354-364, 1986.
- PRATT, R. H.; LOMAX, T. J. Performance measures for multimodal transportation systems. **Transportation Research Record**, Washington, v. 1518, p. 85-93, 1996.
- RUGGIERO, J. Non-discretionary inputs in data envelopment analysis. **European Journal of Operational Reserach**, Amsterdam, v. 111, n. 3, p. 461-469, Dec. 1998.
- RYUS, P. et al. Development of Florida's transit level-of-service indicator. **Transportation Research Record**, Washington, v. 1731, p. 123-129, 2000.
- SHETH, C.; TRIANTIS, K.; TEODOROVİÆ, D. Performance evaluation of bus routes: a provider and passenger perspective. **Transportation Research Part E: logistics & transportation review**, v. 43, n. 4, p. 453-478, July 2007.
- VITON, P. A. Changes in multi-mode bus transit efficiency, 1988-1992. **Transportation**, Amsterdam, v. 25, n. 1, p. 01-21, Feb. 1998.
- _____. Technical efficiency in multi-mode bus transit: a production frontier analysis. **Transportation Research Part B: methodological**, New York, v. 31. n. 1, p. 23-39, Feb. 1997.
- WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, New York, v. 58, n. 301, p. 236-244, Mar. 1963.
- YEH, C. H.; DENG, H.; CHANG, Y. H. Fuzzy multicriteria analysis for performance evaluation of bus companies. **European Journal of Operations Research**, Amsterdam, v. 126, n. 3, p. 459-473, Nov. 2000.

NOTAS

- ¹ Como sementes iniciais selecionaram-se as observações de modo a maximizar as distâncias iniciais inter-segmentos. As medidas de dissimilaridade entre os aeroportos foram calculadas com base na distância euclidiana.
- ² Decorrente da confidencialidade dos dados utilizados, não se detalha a metodologia de avaliação da rentabilidade das linhas nem as mesmas são concretamente identificadas.