



Taxas ambientais aeroportuárias baseadas na valoração de externalidades: o caso do Aeroporto da Portela

FRANCISCO CARBALLO-CRUZ

NIPE/Departamento de Economia – Universidade do Minho

Largo do Paço

4704-553 Braga (Portugal)

Tel. 253 60 45 10 (Ext. 5537)

Fax: 253 60 13 80

E-mail: fcarballo@eeg.uminho.pt

Professor Auxiliar

Resumo

A introdução de taxas ambientais sobre o transporte aéreo tem sido reclamada por certos sectores sociais e alguns governos, com a finalidade de que os preços dos bilhetes reflectam a totalidade dos custos externos gerados por esta actividade de transporte. Neste artigo revê-se uma metodologia para o cálculo de Taxas Ambientais Aeroportuárias (TAA), com base nas externalidades associadas à perturbação por ruído e às emissões de carácter local. Ademais estimam-se as taxas potencialmente aplicáveis no Aeroporto da Portela, por tipo de avião. No caso do ruído utilizam-se custos marginais, enquanto que no caso das emissões poluentes são empregues custos médios. Recorre-se preferentemente à transferência de benefícios, utilizando, sempre que possível, valores específicos para Portugal. A metodologia empregue prova a exequibilidade do cálculo destas taxas e revela que a correcta aplicação das mesmas implica ter em consideração, tanto as especificidades de cada aeroporto como a composição da frota que nele opera.

Abstract

The introduction of environmental taxes on air transport has been advocated by a growing part of society and a considerable number of governments. The main goal is that ticket prices

incorporate all the external costs provoked by these transport activities. In this paper a methodology for the calibration of Airport Environmental Taxes (AET) is reviewed. The main focus is on noise nuisance and local air emissions. Moreover, the set of taxes potentially applied in the Portela Airport, by aircraft type, is estimated. In the case of noise, marginal costs are employed, whilst average costs are used in the case of pollutant emissions. Benefit transfer is generically implemented, applying when possible specific values for Portugal. The methodology employed proves that calibrating this kind of taxes is possible and shows that their correct application requires taking into account both the specificities of each airport and the types of aircraft operating in it.

Palavras-Chave: Externalidades, Taxas Ambientais, Aeroportos.

Key-Words: Externalities, Environmental Taxes, Airports.

1. Introdução

A evolução do transporte aéreo segue uma tendência crescente desde há várias décadas. Apesar de que episodicamente se manifestam alguns fenómenos que provocam um abrandamento temporário do seu ritmo de crescimento, como por exemplo, o 11 de Setembro, existem outros de carácter estrutural, como o aparecimento e expansão das companhias aéreas de baixo custo, que têm permitido contrabalançar os seus efeitos e, inclusivamente, incrementar as taxas de crescimento do sector. Nos últimos anos os governos nacionais e a UE têm procurado que o desenvolvimento do sector respeite determinados padrões de sustentabilidade. Este reposicionamento vai ao encontro de uma preocupação social crescente pelos custos externos que este tipo de actividades impõe ao conjunto da sociedade. Actualmente existe um consenso alargado sobre a necessidade de que esses custos externos sejam internalizados e pagos pelo sector aéreo e os seus utilizadores (EC, 1999 e EC, 2002).

As externalidades mais importantes geradas pelo sector aéreo são a perturbação por ruído e as emissões poluentes. Estas emissões produzem dois tipos de impactos: i) sobre o aquecimento global (mudança climática), maioritariamente durante a fase de cruzeiro, e ii) sobre a qualidade do ar, particularmente durante o ciclo de aterragem e descolagem (LTO – Landing and Take-off Cycle). Portanto, na envolvente dos aeroportos as externalidades mais relevantes são a perturbação por ruído e a poluição do ar.

A crescente importância do ruído aeroportuário fez com que muitos governos obrigassem os operadores a introduzir, nos últimos anos, diversas medidas de gestão do ruído, destinadas nuns casos, a reduzir os níveis actuais de ruído, e noutros, a limitar os níveis máximos permitidos. Para além das restrições das operações nocturnas, outras medidas frequentemente implementadas são a imposição de taxas e penalizações. De facto, estes tipos de soluções têm-se generalizado nos últimos anos. Em 1999, na Europa apenas a Noruega, a Suíça e 10 países da UE tinham algum tipo de taxa sobre o ruído, enquanto que em 2003 os restantes 17 países da UE já tinham introduzido este tipo de taxas (Lu e Morrell, 2006). As medidas para contra-restar o impacto das emissões poluentes do ar estão muito menos generalizadas. Em 1999 apenas alguns aeroportos na Suíça e na Suécia aplicavam taxas sobre emissões de carácter local. A situação em 2003 permanecia inalterada, dado que nenhum outro aeroporto na Europa tinha modificado a sua política a este respeito (Lu e Morrell, 2006).

A distinção entre as externalidades de carácter global (aquecimento global) e as de carácter local (ruído e poluição do ar) é extremamente importante para implementar uma fiscalidade ambiental economicamente eficiente. As externalidades de carácter global são independentes do local onde se produz a emissão, enquanto que as de carácter local dependem em grande medida das condições locais: localização do aeroporto, distribuição da população e certas características dos mercados locais. No primeiro caso a utilização de taxas harmonizadas a nível internacional, idênticas por tipo de avião, permitiria taxar eficientemente as externalidades globais. Neste sentido, as taxas de combustível seriam uma solução adequada, dado que os níveis de emissões estão directamente relacionados com os índices de consumo. Contrariamente a aplicação de taxas harmonizadas para taxar as externalidades locais não é uma solução economicamente eficiente, dado que as taxas devem reflectir as diferenças em custos derivadas da diversidade das condições locais. Neste sentido, Keen e Strand (2007), numa investigação sobre a fiscalidade no sector aéreo a nível internacional, concluem que a fiscalidade ambiental no sector deve assentar numa combinação de taxas sobre o combustível, internacionalmente coordenadas, e de outras taxas incorporadas nos próprios bilhetes.

O objectivo fundamental deste artigo é rever uma metodologia para o cálculo das referidas taxas ambientais associadas às externalidades de carácter local (a seguir denominadas Taxas Ambientais Aeroportuárias – TAA), assente em taxação marginal, no caso do ruído, e em taxação média, no caso das emissões locais. O impacto do ruído é

medido em termos marginais porque os custos adicionais decrescem à medida que o tráfego aumenta. Por esse motivo os custos médios do ruído são, em geral, bastante superiores aos seus custos marginais (INFRAS/WWW, 2000). Contrariamente, o impacto associado à poluição do ar é calculado com recuso a custos médios, dado que este tipo de externalidade tem uma natureza cumulativa. INFRAS/WWW (2000) estima que no caso da poluição do ar os custos médios são muito similares aos custos marginais.¹

Para ilustrar a metodologia utilizou-se o aeroporto da Portela em Lisboa, dado que a sua localização urbana contribui para agravar as externalidades em apreço, particularmente as derivadas das perturbações por ruído. Dado que o impacto ambiental varia em função do tipo de avião, foram calculadas taxas específicas para os três modelos dominantes em termos de movimentações, A-320, A-319 e E-145, os quais são responsáveis por 58% do tráfego do aeroporto de referência. Nas duas seguintes secções explica-se a metodologia para o cálculo das taxas aeroportuárias: na segunda calculam-se as externalidades associadas às perturbações por ruído e, na terceira, as vinculadas às emissões de carácter local. A quarta apresenta brevemente as taxas calculadas e a quinta conclui, enumerando uma série de aspectos sobre a oportunidade de conhecer os custos externos da operação aeroportuária.

2. Ruído

2.1. Introdução e fundamentos

O ruído provocado pelas actividades de transporte é um problema de importância crescente em ambientes urbanos e em localizações próximas das grandes infra-estruturas. Apesar de o ruído ter sido habitualmente considerado como um factor de grande importância na degradação da qualidade ambiental, apenas é encarado como um problema sério em termos de saúde pública desde o início da década de noventa.

Está provado que a exposição ao ruído é pernicioso para a saúde humana (Prasher e Ising, 2000; Stansfeld e Matheson, 2003). Os principais efeitos sobre a saúde causados pelo ruído são a diminuição auditiva, as alterações no sono, os problemas cardiovasculares e psiquiátricos e, inclusivamente, as alterações no desenvolvimento dos fetos (Stansfeld *et al.*, 2000). Níveis de ruído superiores a 40 dBA podem afectar o bem-estar, mas o ruído não começa a ser verdadeiramente perturbador até atingir níveis superiores. Em geral, as pessoas começam a sentir-se moderadamente perturbadas por cima dos 50 dBA e seriamente perturbadas por cima dos 55 dBA.

¹ No caso da mudança climática os custos médios são exactamente iguais aos custos marginais.

A medição de acontecimentos individuais geradores de ruído, como por exemplo uma descolagem aérea, deve basear-se tanto no nível máximo de ruído como na duração do ruído provocado por esse acontecimento. A literatura sobre este tópico tem demonstrado que a resposta humana ao ruído depende tanto do seu nível máximo como da sua duração, por tanto, o nível máximo por si só não é suficiente para avaliar os efeitos do ruído sobre a população afectada.

Uma forma de incorporar a duração do ruído consiste em calibrar o denominado Nível de Exposição ao Ruído (SEL – Sound Exposition Level), que mede a energia total em forma de ruído produzida por um acontecimento individual. Este indicador considera tanto a intensidade como o tempo de exposição. O SEL pode ser entendido como o nível de ruído que seria atingido se toda a energia em forma de ruído do acontecimento se produzisse num único segundo. Isto é, permite que essa energia em forma de ruído, provocado por um acontecimento individual ou por uma série de acontecimentos individuais, possa ser normalizada a uma base de um segundo.

Tanto o nível máximo de ruído como o nível de exposição ao ruído, que servem para medir acontecimentos individuais, são inadequados para medir o ruído em contextos caracterizados pela multiplicidade de acontecimentos individuais, por isso, nesses casos, torna-se necessário utilizar uma medida alternativa, o nível de ruído equivalente, L_{eq} . Esta medida, que é uma média da energia total em forma de ruído num dado período de tempo, tem em consideração tanto o número de acontecimentos individuais como o SEL associado a cada um deles.

Para calcular o custo marginal do ruído aeroportuário é necessário recompilar informação sobre o número total de eventos aéreos por tipo de avião no aeroporto objecto de estudo.² Para o cálculo da quantidade de ruído produzido por um evento aéreo é também necessário obter informação sobre o nível máximo de ruído e sobre a sua duração. A informação sobre o nível máximo de ruído por tipo de avião é relativamente fácil de obter, dado que é normalmente facilitada pelos fabricantes de aviões.³ Contrariamente a informação sobre a duração de um evento é mais difícil de obter.⁴ Uma forma de ultrapassar este

² Um evento está composto por dois movimentos, um de aterragem e um outro de descolagem.

³ A Administração Aérea dos Estados Unidos (FAA) publica informação sobre os níveis máximos de ruído em dBA (FAA, 2002).

⁴ A duração ou o tempo de exposição é o período em segundos durante o qual o nível de ruído se encontra a menos de 10 dBA do nível máximo.

problema consiste em utilizar uma unidade de medida diferente. A alternativa é o denominado Nível de Ruído Efectivamente Percebido (EPNL – Effective Perceived Noise Level), que é uma modificação do Nível de Ruído Percebido (PNL – Perceived Noise Level),⁵ que inclui as componentes de tono no ruído de amplo espectro das operações aéreas e a própria duração do ruído. O Nível de Ruído Efectivamente Percebido é a medida empregue pela Administração Aérea dos Estados Unidos (FAA) para fins de certificação. Esta entidade publica regularmente uma lista actualizada dos Níveis de Ruído Efectivamente Percebido, provocados pelas operações aéreas em contextos aeroportuários, para os tipos de avião certificados nos Estados Unidos. Os níveis de ruído são neste caso medidos em EPNdB.

2.2. Ruído marginal

Para o cálculo da quantidade de ruído marginal, causado por um determinado tipo de avião no aeroporto da Portela, utilizam-se os níveis de ruído em EPNdB publicados pela FAA na Circular 36-1H (Advisory Circular 36-1H) (FAA, 2001). O objectivo principal consiste em calcular a mudança marginal no nível de ruído equivalente (L_{eq}) provocado pela redução de um evento no aeroporto de referência.

⁵ O Nível de Ruído Percebido (PNL – Perceived Noise Level) é uma escala que intenta medir o nível de ruído dos aviões a reacção percebido por observadores a nível do solo. A ideia inicial consiste em desenvolver uma escala que capture diferenças no espectro do ruído, nomeadamente aquelas que fazem com que os aviões a reacção possam ser percebidos como mais ruidosos que os aviões de hélices.



O Quadro 1 mostra o número de eventos semanais e diários por tipo de avião no aeroporto da Portela no ano de 2007.

Quadro 1. Eventos aéreos por tipo de avião no aeroporto da Portela ^(a)

Tipo de avião	Por semana	Por dia
A-320	362.5	51.7
A-319	330.0	47.0
E-145	84.8	12.1
A-321	7.3	10.9
F-100	72.9	10.4
A-310	67.3	9.6
B-752	40.9	5.8
BE-1900	37.9	5.4
A-332	26.3	3.8
CRJ-2	25.4	3.6
B-738	24.7	3.5
B-737	23.8	3.4
A-343	21.6	3.1
B-733	21.0	3.0
MD-88	20.1	2.9
ATR-42-3	14.0	2.0
B-734	13.5	1.9
B-762	8.2	1.2
D-228	8.4	1.2
A-30B	5.3	0.8
MD-87	4.1	0.6

Notas:

^(a) O Anexo I inclui um quadro com a identificação completa dos aviões.

Fonte: ANA

O Quadro 2 apresenta os níveis de ruído médios por tipo de avião medidos em Níveis de Ruído Efectivamente Percebido (EPNdB) e em decibéis A (dBA). Por uma questão de simplicidade unicamente foram incluídos nos cálculos os tipos de avião com mais do que três eventos semanais. Os movimentos destes aviões representam 96% do tráfego no aeroporto da Portela.



Quadro 2. Níveis de ruído médio por tipo de avião na chegada e na partida ^(a)

Tipo de avião	L_i^C (EPNdB)	L_i^P ^(b) (EPNdB)	L_i^C (dBA)	L_i^P (dBA)
A-30B	102.5	94.6	90.7	77.3
A-310	99.2	93.2	89.1	76.0
A-319	94.3	88.1	84.8	70.6
A-320	96.2	89.5	84.3	69.2
A-321	95.8	91.1	85.4	72.8
A-332	97.7	94.7	89.1	76.0
A-343 ^(c)	97.3	93.8	85.3	72.5
ATR-42-3	96.8	83.3	84.8	67.3
B-733	98.6	87.2	89.0	74.7
B-734	98.8	88.2	89.4	77.2
B-737	96.0	88.7	86.2	71.2
B-738	96.5	89.4	87.1	72.6
B-752	96.8	89.6	86.1	71.1
B-762	98.0	91.8	89.3	75.7
BE-1900	88.0	84.4	77.0	66.5
CRJ-2	92.1	80.8	82.5	68.7
D-228 ^(d)	94.8	83.2	83.0	66.8
E-145	92.5	82.0	82.5	68.0
F-100	93.0	87.8	82.5	69.9
MD-87	93.2	91.8	83.8	78.0
MD-88 ^(e)	93.2	91.8	83.8	78.0

Notas:

^(a) Como é impossível conhecer com exactidão o tipo de motor de todos os aviões que operam no aeroporto de referência, os valores em EPNdB e em dBA foram calculados como o valor médio de todos os motores que equipam o tipo de avião em questão, para os quais exista informação disponível.

^(b) Estes valores são uma média dos valores na descolagem e do ruído lateral.

^(c) Como não existe informação detalhada para o A-343, assume-se que os níveis de ruído são similares aos de outros aviões equipados com os mesmos motores.

^(d) Como não existe informação detalhada para o D-228, assume-se que os níveis de ruído são similares aos do D-238.

^(e) Como não existe informação detalhada para o MD-88, assume-se que os níveis de ruído são similares aos do MD-87.

Fonte: FAA (2001) e FAA (2002).

A energia acústica, E_i^C , gerada por um avião do tipo i numa chegada, é dada por:⁶

$$E_i^C = 10^{\left(\frac{L_i^C - 10}{10}\right)} \quad (1)$$

⁶ A dedução de 10 EPNdB segue a metodologia proposta em Pearce e Pearce (2000).

E por partida, E_i^P , é dada por:

$$E_i^P = 10^{\left(\frac{L_i^P}{10}\right)} \quad (2)$$

Onde L_i^C e L_i^P são, respectivamente, o nível médio de ruído na chegada e na partida. A energia acústica diária gerada por todos os aviões do tipo i operando para e desde o aeroporto da Portela é nesse caso:

$$TE_i = N_i E_i^C + N_i E_i^P \quad (3)$$

Onde N_i representa o total de eventos diários do avião tipo i no aeroporto de referência.⁷

A energia acústica total produzida pelos aviões de todos os tipos, no aeroporto de referência num dado dia, obtém-se através do seguinte somatório:

$$TE = \sum_{i=1}^I [N_i E_i^C + N_i E_i^P] \quad (4)$$

Os cálculos anteriores permitem calibrar o Nível de Exposição ao Ruído (SEL – Sound Exposure Level) médio, por dia, no aeroporto de referência, definido como:

$$\overline{SEL} = 10 \log \left(\frac{TE}{N} \right) \quad (5)$$

Onde N é o número diário de eventos que tem lugar, em média, no aeroporto de referência.

Por definição,

$$L_{eq} = \overline{SEL} + 10 \log(N) - 10 \log(T) \quad (6)$$

Ou

$$L_{eq} = 10 \log(TE) - 10 \log(T) \quad (7)$$

Onde T é o período de medição em segundos. Assumiu-se um período de medição de 16-horas, entre as 7:00 a.m. e as 23:00 p.m., dado que está demonstrado que este período está bem correlacionado com perturbações de longo prazo (Critchley e Ollerhead, 1990).⁸ O período nocturno é normalmente considerado de forma independente, dado que as

⁷ A utilização de eventos como medida de contagem implica assumir que o número de chegadas e de partidas no mesmo dia é exactamente o mesmo. Este pressuposto é bastante realista atendendo aos horários do aeroporto de referência.

⁸ No caso do aeroporto da Portela, aproximadamente 3% dos voos têm lugar fora desse período.

perturbações do sono estão melhor correlacionadas com acontecimentos individuais geradores de ruído que com o nível sonoro contínuo equivalente, L_{eq} .

A expressão anterior permite o cálculo da diminuição marginal do ruído derivada da redução de um evento do avião tipo i , no aeroporto de referência. Este valor marginal pode obter-se através da seguinte expressão:

$$\frac{\partial L_{eq}}{\partial N_i} = \frac{TE_i}{TE} \frac{10}{\ln(10)} \quad (8)$$

Para ilustrar a metodologia o Quadro 3 apresenta o ruído marginal produzido por um evento de um A-320, num dia típico, no aeroporto da Portela, e os valores intermédios necessários para efectuar os cálculos. A escolha deste tipo de avião justifica-se por ter sido o predominante no aeroporto de referência, dado que no ano de 2007 o número de movimentos deste tipo de aeronaves aproximou-se dos 38.000 (37.701), representando 27% dos movimentos totais do aeroporto (139,534).

Quadro 3. Mudança marginal no nível de ruído: A-320

E_{A-320}^C	E_{A-320}^P	TE_{A-320}	TE	\overline{SEL}	$\frac{\partial L_{eq}}{\partial N_{A-320}}$
$0.2691 \cdot 10^8$	$0.0831 \cdot 10^8$	$1.8215 \cdot 10^8$	$8.8910 \cdot 10^9$	76.8437	0.0172

Fonte: Cálculos Próprios.

Para o cálculo do ruído marginal causado pelos restantes tipos de avião que operam no aeroporto da Portela seguiu-se um procedimento similar. O Quadro 4 mostra os resultados para os diferentes tipos de avião com um ou mais eventos por dia. O ruído marginal está inversamente relacionado com o nível de actividade, portanto, estes valores marginais tendem a diminuir em aeroportos mais ruidosos.

Quadro 4. Ruído marginal para uma selecção de tipos de avião

Tipo de avião	Variação marginal
A-320	0.0172
A-319	0.0204
E-145	0.0117
A-321	0.0263
F-100	0.0134
A-310	0.0595
B-752	0.0262
BE-1900	0.0046
A-332	0.0595
CRJ-2	0.0123
B-738	0.0340
B-737	0.0268
A-343	0.0253
B-733	0.0535
MD-88	0.0427
ATR-42-3	0.0174
B-734	0.0687
B-762	0.0601
D-228	0.0121

Fonte: Cálculos Próprios.

2.3. A valoração do ruído: preços hedónicos e meta-análise

Os custos sociais do ruído são habitualmente calculados mediante a determinação do valor económico das mudanças nos níveis de ruído. Os custos sociais do ruído das actividades de transporte têm sido estimados na literatura económica através de dois tipos de aproximações: as preferências reveladas (RP) e as preferências declaradas (DP). No contexto da medição de impactos ambientais, as técnicas de preferências reveladas determinam o valor que os indivíduos implicitamente atribuem a determinados bens ambientais, observando as compras de um bem (com mercado), associado ao consumo do bem ambiental em questão. Contrariamente, nas técnicas de preferências declaradas pergunta-se directamente aos indivíduos qual é a sua valoração do bem ambiental de referência.

O método dos preços hedónicos (PH), que se baseia no comportamento do mercado de habitação, tem sido o mais utilizado na literatura para a valoração do ruído aeroportuário. Neste método de preferências reveladas, o preço de um imóvel é explicado por um conjunto de características próprias, entre as quais há alguns bens ambientais, incluído o nível de ruído. Portanto, o método dos preços hedónicos é especialmente apropriado para determinar a relação existente entre níveis de ruído e os preços observados no mercado de habitação, dado

que o comportamento dos indivíduos nesse mercado acaba por revelar a sua disposição a pagar por suportar/não suportar determinados níveis de ruído. O output fundamental dos estudos baseados no método dos preços hedónicos é o denominado Índice de Depreciação por Sensibilidade ao Ruído (NSDI – Noise Sensitivity Depreciation Index), que indica a mudança em termos percentuais nos preços dos imóveis, em resultado de uma variação de um decibel no nível de ruído.

Devido à inexistência de estudos deste tipo para o aeroporto da Portela optou-se por determinar o NSDI em questão utilizando técnicas de transferência de benefícios, as quais permitem transferir estimativas do contexto espacial original para o contexto espacial de política com relativa precisão. Uma das técnicas de transferência de benefícios mais utilizada é a meta-análise. Brower *et al.* (1997) define a meta-análise como a análise estatística de resultados de investigação. Os resultados de cada estudo original são tratados como uma observação individual na nova análise econométrica. A equação da regressão resultante combinada com dados do contexto espacial de política permite o cálculo de um valor único ajustado.

No contexto do ruído aeroportuário identificaram-se duas meta-análises que condensam a informação da maioria dos estudos de preços hedónicos que abordam a relação entre nível de ruído e preços no mercado de habitação residencial. Schipper *et al.* (1998) e Nelson (2004) aplicam esta metodologia ao conjunto de estudos apresentado no Quadro 5, com a finalidade de sintetizar os resultados e permitir uma transferência mais precisa das estimativas encontradas.⁹

A utilização da meta-análise é neste caso extremamente adequada, dado que existe um número significativo de estudos de preços hedónicos e as estimativas resultantes apresentam uma grande diversidade de valores. Especificamente, a estimativa mais baixa e a mais alta na amostra empregue por Schipper *et al.* (1998) diferem num factor de 30 (inclusivamente eliminando os valores extremos, o factor é superior a 15) e no caso do trabalho de Nelson (2004) o factor é de aproximadamente 5.3. O Quadro 6 mostra as estatísticas básicas das meta-análises referidas.

⁹ Outros estudos têm o mesmo tipo de objectivos. Não foram incorporados aqui por diferentes motivos. Nelson (1980), que analisa dezoito estimativas de NSDI calibradas em treze estudos, não foi incluído pela sua simplicidade metodológica, dado que os seus resultados baseiam-se no cálculo de médias não ponderadas. O trabalho de Johnson e Button (1997), baseado em dezoito estimativas, não foi incluído porque os seus resultados são absolutamente inconclusivos e apresenta uma série de problemas metodológicos graves.



Quadro 5. Sumario de Estudos de Preços Hedónicos – Ruído Aeroportuário

Autores do Estudo	Período	Localização – Aeroporto	NSDI
Emerson (1969; 1972)	1967	Minneapolis, MN, USA	0.58
Dygert (1973)	1970	San Francisco, CA, US – S. Mateo	0.50
Dygert (1973)	1970	San Jose, CA, USA	0.70
Price (1974)	1970	Boston, MA, USA – alugueres	0.81
De Vany (1976); NAS (1977)	1970	Dallas, TX, USA	0.80
Blaylock (1977)	1970	Dallas, TX, USA	0.99
Maser <i>et al.</i> (1977)	1971	Rochester, NY, USA	0.55
Maser <i>et al.</i> (1977); Quilan (1970)	1971	Rochester, NY, USA – urbana	0.86
Maser <i>et al.</i> (1977); Quilan (1970)	1971	Rochester, NY, USA – suburbana	0.68
Frome (1978)	1970	Washington, DC, USA – National	1.49
Mieskowski and Saper (1978)	1971	Toronto, Canada	0.52
Mieskowski and Saper (1978)	1969-73	Toronto, Canada – Mississauga	0.87
Mieskowski and Saper (1978)	1969-73	Toronto, Canada – Etobicoke	0.95
Nelson (1978)	1970	Washington, DC, USA – National	1.06
Paik-Nelson (1978)	1960	New York, NY, USA	1.90
Paik-Nelson (1978)	1960	Los Angeles, CA, USA	1.80
Paik-Nelson (1978)	1960	Dallas, TX, USA	2.30
Abelson (1978)	1972	Sydney, Australia – Marrikkville	0.40
Abelson (1978)	1972	Sydney, Australia – Rockdale	0.22
Nelson (1979)	1970	Buffalo, NY, USA	0.52
Nelson (1979; 1980)	1970	Cleveland, OH, USA	0.29
Nelson (1979; 1980)	1970	New Orleans, LA, USA	0.40
Nelson (1979; 1980)	1970	St. Louis, MO, USA	0.51
Nelson (1979; 1980)	1970	San Diego, CA, USA	0.75
Nelson (1979; 1980)	1970	San Francisco, CA, USA	0.58
Nelson (1979; 1980)	1970	Seis Aeroportos	0.55
McMillan <i>et al.</i> (1980); McMillan (1979);	1975-76	Edmonton, Canada	0.51
Mark (1980)	1969-70	St. Louis, MO, USA	0.56
O’Byrne <i>et al.</i> (1985)	1970	Atlanta, GA, USA – bairros	0.64
O’Byrne <i>et al.</i> (1985)	1979-80	Atlanta, GA, USA – casas	0.65
Pennington <i>et al.</i> (1990)	1985	Manchester, UK	0.15
Morey (1990)	1987	Coolidge, AZ, USA	0.10
Tarassoff (1993)	1989-90	Montreal, Canada	0.65
Uyeno <i>et al.</i> (1993); Biggs (1990)	1987-88	Vancouver, Canada – casas	0.65
Uyeno <i>et al.</i> (1993)	1987-88	Vancouver, Canada – condomínios	0.90
BAH-FAA (1994)	1990	Baltimore, MD, USA	1.07
BAH-FAA (1994)	1991	Los Ángeles, CA, USA	1.26
BAH-FAA (1994)	1993	New York, NY, USA – JFK	1.20
BAH-FAA (1994)	1993	New York, NY, USA – La Guardia	0.67
Levesque (1994)	1985-86	Winnipeg, Canada	1.30
Kaufman (1996)	1993	Reno, NV, USA	0.34
Kaufman (1996) ; Espery e López (2000)	1991-95	Reno, NV, USA	0.28
Yamaguchi (1996)	1996	Londres, UK	3.57

Fonte: Schipper *et al.* (1998) e Nelson (2004).

A meta-análise de Schipper *et al.* (1998) sintetiza a informação de 30 estimativas de NSDI obtidas a partir de 19 estudos de caso. A grande maioria das estimativas referem-se a

aeroportos localizados nos Estados Unidos (21), mas também há estimativas relativas a aeroportos do Canada (5), o Reino Unido (2) e Austrália (2). A média simples do NSDI é 0.83, mas este valor vê-se bastante afectado por uma estimativa muito alta para Londres e pelas elevadas estimativas obtidas pelos primeiros estudos sobre a matéria, publicados na década de setenta. A mediana do NSDI é 0.61. Os autores construíram uma meta-variável denominada “preço médio relativo dos imóveis da amostra”, que é um indicador da riqueza relativa da população da mesma. Esta variável é calculada dividindo os preços médios dos imóveis pelo rendimento *per capita*. A meta-regressão tenciona identificar o preço implícito do ruído aeroportuário com base na variável citada anteriormente e outros factores como o momento temporal, o país e a especificação do estudo original de preços hedónicos.

Quadro 6. Estatística descritiva das meta-análises identificadas

Identificação	Estudos	NSDI	Média	Mediana	Máximo	Mínimo
Schipper <i>et al.</i> (1998)	19	30	0.83	0.61	3.57	0.10
Nelson (2004)	20	31	0.75	0.67	1.49	0.28

Fonte: Cálculos próprios.

A principal conclusão desta meta-análise é que a depreciação causada pelo ruído é maior em localizações onde o preço médio dos imóveis é mais elevado, o qual confirma que a tranquilidade e o silêncio são considerados bens de luxo. O Quadro 7 mostra a especificação completa incluída no estudo em questão.

A meta-análise efectuada recentemente por Nelson (2004) é uma análise de regressão de efeitos fixos, baseada em 20 estudos de preços hedónicos que cobrem 33 estimativas de NSDI, correspondentes a aeroportos dos Estados Unidos (26 estimativas) e Canada (7 estimativas). A média não ponderada dos NSDI é de 0.75 e a mediana é de 0.67. A meta-regressão efectuada analisa a variabilidade da depreciação produzida pelo ruído em resposta a variáveis explicativas como o país, o ano, o tamanho da amostra, a especificação do modelo, o valor médio do imóvel, a existência de agregação nos dados, a acessibilidade a emprego no aeroporto e as oportunidades de viagem. No estudo apresentam-se seis especificações alternativas, mas as duas regressões estimadas por mínimos quadrados ponderados, usando a inversa das variâncias para corrigir a heteroscedasticidade, apresentam melhores níveis de ajustamento e significância. Destas duas regressões escolheu-se a que não inclui a variável dummy de acesso, dado que parece existir certa sobreposição entre esta

variável é a correspondente ao tamanho da amostra. A especificação em questão apresenta-se no Quadro 7.

Quadro 7. Resultados das meta-regressões para o NSDI ^(a)

Schipper <i>et al.</i> (1998)		Nelson (2004)	
Regressão WLS		Regressão WLS ^(b)	
Variáveis explicativas	Coefficientes Est. (erro standard)	Variáveis explicativas	Coefficientes Est. (erro standard)
Constante	- 1.54 ** (- 2.57)	Constante	0.5069 ** (1.1425)
Preço médio relativo dos imóveis da amostra	0.30 *** (12.04)	Valor médio real do Imóvel (10 ⁻³)	- 0.0001 (- 0.0013)
Dummy especificação: Log-linear or semi-log = 1	- 0.40 ** (- 2.39)	Tamanho da amostra (log)	- 0.0140 (- 0.0261)
Dummy data Dados de preço 1960 = 1	2.01 *** (3.88)	Dummy especificação: Log-linear = 1	0.3340 ** (0.1544)
Ano de publicação (últimos dois dígitos)	0.01 * (1.83)	Dummy país Canada = 1	0.3357 ** (0.0805)
R-quadrado ajustado	0.94		-
-	-	R-quadrado	0.773
Estatístico F	115.30 ***	-	-
-	-	Estatístico F	0.001
Estatístico Jarque-Bera	0.140	Estatístico Jarque-Bera	0.146
Número de observações	30	Número de observações	29 ^(c)

Notas:

- (a) A variável dependente é o valor absoluto do Índice de Depreciação por Sensibilidade ao Ruído (NSDI – Noise Sensitivity Depreciation Index).
- (b) Esta regressão usa como ponderadores as variâncias inversas.
- (c) Duas estimativas foram eliminadas devido à falta do valor médio do imóvel e outras duas não foram incluídas por não disponibilizar as estimativas para os erros standard.
- (d) (*): $\rho = 0.1$; (**): $\rho = 0.05$; (***): $\rho = 0.01$.

Fonte: Schipper *et al.* (1998) e Nelson (2004).

A selecção da meta-análise para o cálculo do NSDI para o aeroporto da Portela baseou-se fundamentalmente em dois critérios: i) As necessidades de informação: O trabalho de Shipper *et al.* (1998) obriga a dispor de mais informação que o de Nelson (2004). Em ambos é necessário compilar informação sobre os preços dos imóveis afectados pelo ruído, mas no primeiro precisa-se também de dados sobre o rendimento *per capita* das famílias residentes nesses imóveis. A precisão dos cálculos requer a utilização de dados com elevados níveis de desagregação espacial, pelo menos ao nível da freguesia, o qual coloca problemas de acesso, dado que a máxima desagregação dos dados publicados se corresponde, na generalidade dos casos, com o nível concelhio. ii) A qualidade científica: Existem certos aspectos do trabalho de Shipper *et al.* (1998) que deixam transparecer algumas fragilidades

em termos metodológicos. Primeiro, os resultados da regressão apresentam uma constante inexplicavelmente negativa e, segundo, a principal variável explicativa, o preço médio relativo dos imóveis da amostra, dá origem a problemas de incorrecta especificação, dado que o nível de agregação das variáveis que a integram é, em muitos casos, diferente. Em função desses critérios de escolha, seleccionou-se a meta-análise efectuada por Nelson para calcular o NSDI associado ao ruído das operações aéreas no *hinterland* do aeroporto da Portela.

2.4. A valoração do ruído: condições locais e NSDI

Para a determinação da população exposta ao ruído aeroportuário o ideal seria dispor da carta de ruído do aeroporto e, com recurso a um SIG, poder efectuar um cálculo do número de pessoas afectadas.¹⁰ Dado que esse instrumento não é público, houve a necessidade de recorrer a fontes de informação alternativas. Para conhecer as zonas mais afectadas por este tipo de ruído utilizou-se um estudo efectuado pelo Instituto do Ambiente (Valadas *et al.*, 1999), no qual se determinam os contornos de ruído à volta dos principais aeroportos portugueses. Ademais, identificam-se as freguesias parcial ou totalmente afectadas pelo ruído aeroportuário. O Quadro 8 mostra as freguesias em questão por concelho, no caso da Portela.

Este estudo do Instituto do Ambiente sobre-estima a população exposta a este tipo de ruído. Concretamente, estima que 250,000 pessoas na envolvente do aeroporto da Portela suportam níveis de ruído superiores a 55 dBA. A população exposta a este tipo de ruído na cidade de Lisboa é certamente muito significativa devido à localização urbana do aeroporto. Contudo, tendo em consideração que a maior parte das freguesias afectadas pelo ruído pertencem ao concelho de Lisboa e que este supera levemente os 550,000 habitantes, a estimação em questão implicaria que mais de 40% da população do concelho estaria exposta a níveis de ruído superiores a 55 dBA, o qual parece escassamente provável.

Como consequência dessas limitações, optou-se por empregar os dados fornecidos por um outro estudo mais recente, promovido pela Direcção Geral da Energia e dos Transportes da UE, publicado em 2007, sobre a exposição das populações ao ruído num vasto conjunto de aeroportos europeus (MPD, 2007). Neste estudo, estimam-se, com base em dados geo-referenciados dos censos de 2001, os contornos de ruído e a população exposta no *hinterland* da Portela. Segundo o estudo, no ano de 2006, o contorno de ruído (> 55 dBA),

¹⁰ A carta de ruído foi solicitada ao Núcleo de Informação e Gestão da ANA, mas este não a disponibilizou atempadamente.

durante o período diurno, tinha uma superfície de 36 km² e a população exposta cifrava-se em 132,000 pessoas.

Quadro 8. Freguesias afectadas pelo ruído na envolvente do aeroporto da Portela

Lisboa	Loures	Odivelas
Alto da Pina, Alvalade, Ameixoeira, Anjos, Campo Grande, Charneca, Lumiar, Marvila, Nossa Senhora de Fátima, Penha de França, Santa Maria dos Olivais, São João, São João de Brito, São João de Deus, São Jorge de Arroios e São Sebastião da Pedreira	Apelação, Camarate, Frielas, Sacavém, Santa Iria de Azóia, São João da Talha e Unhos	Póvoa de Santo Adrião

Fonte: Valadas *et al.* (1999).

Para calcular os valores necessários para obter o NSDI, através da especificação da meta-análise escolhida, assumiu-se que a aérea afectada pelo ruído é a que corresponde às freguesias identificadas no estudo do Instituto do Ambiente, enquanto que a população exposta ao ruído é a estimada no estudo da Direcção Geral de Energia e dos Transportes da UE. Desta forma, os dados empregues para o cálculo do NSDI referem-se às freguesias identificadas, evitando problemas de agregação dos dados.

Para a calibração do NSDI, com base no trabalho de Nelson (2004), assumiu-se uma forma funcional Log-linear e incluiu-se a variável dummy não-USA. O número de lares afectados pelo ruído foi calculado dividindo a população exposta pelo tamanho médio dos lares nas freguesias de referência (2.7 pessoas), calculado com base nos dados do último censo (INE, 2001). Desta forma, o número de lares (imóveis) expostos ao ruído aeroportuário nesse contexto espacial é de 49,075. Os dados dos preços médios dos imóveis foram disponibilizados pela Imométrica, empresa que elabora a Newsletter Imobiliária Portuguesa, Confidencial Imobiliário, onde se publica um Índice de Preços Imobiliários, que utiliza dados do portal especializado Lardocelar.com, que contém informação de mais de 250,000 imóveis em Portugal.¹¹ Os dados fornecidos pela Imométrica são preços por m², de transacções imobiliárias, por freguesia, no ano de 2007. No caso das freguesias de Lisboa, São Sebastião da Pedreira apresenta o valor mais elevado (2,882 €/m²), enquanto que o valor baixo corresponde à freguesia de Charneca (1,960 €/m²). O valor médio em Lisboa é de 2,327

¹¹ Tentou-se utilizar informação estatística do INE, mas os valores da avaliação bancária para habitação disponíveis não tinham o nível de desagregação espacial pretendido.

€/m², em Loures de 1,457 €/m² e na única freguesia do concelho de Odivelas afectada pelo ruído é de 1,352 €/m².¹² Com base na especificação escolhida e nos dados correspondentes, o Índice de Depreciação por Sensibilidade ao Ruído aeroportuário no *hinterland* da Portela é de 0.56%.

2.5. Cálculo das externalidades por ruído

O NSDI obtido na secção anterior permite calcular a disposição a pagar marginal pela redução do nível de ruído, a qual é uma variável fundamental para determinar o custo externo correspondente. O Impacto sobre o Preço do Imóvel, *IPI*, causado pelo ruído calcula-se através da seguinte expressão:

$$IPI = PMI \cdot NSDI \cdot 10^{-2} \quad (9)$$

Sendo:

- *PMI* o Preço Médio dos Imóveis situados no contorno de ruído.

O impacto sobre o preço do imóvel representa a disposição a pagar marginal, pela redução do nível de ruído, de um proprietário individual residente no contorno de ruído (> 55 dBA), por uma redução de um dBA no ruído aeroportuário. Este valor para o caso em análise é de 1,285 €

A depreciação diária do valor dos imóveis, *DDVI*, representa a agregação das disposições a pagar marginais individuais, do conjunto de proprietários residentes na área afectada pelo ruído, em termos diários. Essa depreciação é dada pela seguinte expressão:

$$DDVI = \frac{IPI \cdot Pr \cdot r}{365} \quad (10)$$

Sendo:

- *Pr* o número de proprietários¹³ residentes no contorno de ruído (> 55 dBA).
- *r* a taxa de juro real anual.

A depreciação diária do valor dos imóveis é no caso em análise de 10,368 € Este valor, juntamente com a quantidade de ruído produzido por um evento aéreo no aeroporto da Portela, permite calcular a externalidade causada esse evento. A expressão utilizada para o cálculo dessa externalidade, por tipo de avião, é a seguinte:

¹² Assumiu-se uma superfície média de 110 m².

¹³ Note-se que se utilizam os termos imóvel e proprietário de forma indistinta.

$$\varepsilon_i^R = DDVI \cdot \frac{\partial Leq}{\partial N_i} \quad (11)$$

Onde ε_i^R é a externalidade associada à perturbação por ruído, de um evento de um avião do tipo i , no aeroporto da Portela.

Quadro 9. Taxas por evento aéreo para uma selecção de tipos de avião

Tipo de avião	t_i^R
A-320	178.4
A-319	211.2
E-145	121.8
A-321	272.5
F-100	139.4
A-310	617.1
B-752	272.0
BE-1900	47.6
A-332	617.1
CRJ-2	127.4
B-738	352.9
B-737	278.3
A-343	262.0
B-733	554.8
MD-88	442.8
ATR-42-3	180.1
B-734	712.1
B-762	623.1
D-228	125.1

Fonte: Cálculos Próprios

Assumindo que as taxas ambientais por ruído devem reflectir os custos marginais correspondentes, as taxas em questão são exactamente iguais às externalidades para cada tipo de avião. O Quadro 9 apresenta as taxas ambientais por evento aéreo (t_i^R), no aeroporto da Portela, para os tipos de avião responsáveis por um maior número de movimentos.

3. Poluição do ar

3.1. Introdução e fundamentos

De acordo com Lee (2004), os impactos atmosféricos da aviação podem dividir-se em duas categorias: sobre a qualidade do ar e sobre a atmosfera global. Por sua vez, estes últimos podem ser subdivididos nos impactos sobre a mudança climática e nos efeitos sobre a destruição do ozono estratosférico. Os impactos sobre a qualidade do ar são maioritariamente de carácter local, enquanto que os que afectam a atmosfera têm um carácter eminentemente global.

Nesta secção calculam-se as externalidades associadas às emissões de carácter local. A análise concentra-se nas emissões no ciclo LTO (altitude inferior a 3,000 pés). As emissões durante o ciclo não-LTO, constituído maioritariamente pela fase de cruzeiro, não são incorporadas na análise. A distinção entre estes dois ciclos do voo é importante por dois motivos. Primeiro, porque durante o ciclo LTO as emissões afectam fundamentalmente a poluição do ar, sendo os impactos sobre a mudança climática escassamente relevantes. Segundo, porque os níveis de emissões de alguns poluentes diferem dependendo da fase do voo (da altitude a qual são libertados) e os seus efeitos ambientais podem também diferir, o qual justificaria a utilização de preços-sombra diferentes.

A poluição do ar é um assunto de grande preocupação para os responsáveis de política, porque as elevadas concentrações de poluentes em determinadas localizações podem causar sérios impactos sobre a saúde humana e importantes danos em plantas, cultivos e florestas. Do conjunto de poluentes libertados durante o ciclo LTO, seleccionamos os seguintes para efeitos de análise: compostos orgânicos voláteis (*VOC*), óxidos de nitrogénio (*Nox*) e óxidos de enxofre (*Sox*).¹⁴

Os compostos orgânicos voláteis compreendem uma ampla variedade de substâncias com um grau de volatilidade suficiente para manter-se na atmosfera como vapor de água. As emissões associadas às actividades de transporte são resultado de processos de combustão incompletos. O nível de emissões é função do tipo de motor, do tipo de combustível, dos

¹⁴ Existem outros poluentes do ar emitidos pelos aviões durante o ciclo LTO, não considerados na análise, como por exemplo as partículas ou o ozono, cujos efeitos na qualidade do ar são importantes ainda que menos conhecidos.

Os efeitos do monóxido de carbono são bem conhecidos e fáceis de medir. Não foram incluídos na análise porque o seu impacto em termos monetários é reduzido, sobretudo porque o preço sombra deste tipo de emissões é extremamente baixo (de acordo com os cálculos efectuados menos de médio centimo de euro por kg).

mecanismos de controlo de emissões e do desempenho do motor. Os óxidos de nitrogénio constituem uma categoria de poluentes, que agrupa dois tipos de compostos resultantes da combinação de oxigénio e nitrogénio: óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogénio (NO_2). Os níveis de emissões de Nox dependem da mistura de combustível e ar, das temperaturas de combustão e dos controlos de poluição posteriores à combustão. Dentro da família dos óxidos de enxofre, o dióxido de enxofre (SO_2) causa efeitos bem conhecidos sobre a poluição do ar. As emissões de SO_2 dependem em grande medida do conteúdo existente no combustível utilizado.

3.2. Índices de emissão

Para o cálculo da externalidade associada às emissões de carácter local foram seleccionados apenas três tipos de avião: A-320, A-319 e E-145, os quais representam à volta de 58% do tráfego total do aeroporto da Portela (ano de 2007). Os cálculos foram efectuados separadamente, dado que algumas categorias de emissões dependem em grande medida do tipo de avião empregue ou, mais especificamente, do tipo de motor em questão.

Parte das emissões do ciclo LTO foram calculadas usando a informação fornecida pela ICAO na AEED – Aircraft Engine Emissions Databank – (ICAO, 2004). Esta base de dados apresenta índices de emissão para os óxidos de nitrogénio e os hidrocarbonetos, e níveis de consumo de combustível, por tipo de motor de avião. A informação é desagregada para as diferentes fases do ciclo LTO: descolagem, ascensão, aproximação e ralenti. Os índices de emissão estão expressos em g/kg de combustível consumido e as taxas de consumo em kg de combustível/segundo. Os hidrocarbonetos (HC) não pertencem ao conjunto de poluentes objecto de análise, mas os seus níveis de emissões são fundamentais para determinar as emissões de $NM VOC$ (Compostos orgânicos voláteis excepto metano). As emissões de compostos orgânicos voláteis (VOC) são proporcionais às emissões de hidrocarbonetos e podem ser estimadas utilizando o factor de correcção proposto pela EPA – Environmental Protection Agency – (EPA, 2000): $VOC/HC = 1.0947$. Com base em Olivier (1991), assume-se que, no ciclo LTO, do total de emissões de VOC , 10% são metano e os restantes 90% são $NM VOC$. Com base em IPCC (1997), assume-se que o conteúdo de enxofre do combustível é de 0.05%.

3.3. Cálculo do combustível consumido

Para o cálculo do consumo em terra combinou-se a informação sobre consumos, por tipo de avião, fornecida pela AED – Aircraft Emissions Databank – (ICAO, 2004), com os tempos reais das fases de Aterragem, Taxi-in, Taxi-out e Descolagem, disponibilizados pela NAV (Aeroportos e Navegação Aérea).¹⁵

Para a estimação das emissões nas restantes fases do ciclo LTO utilizou-se informação sobre os fluxos de combustível, por tipo de avião e nível de altitude, que constam na BADA – Base of Aircraft Data – (Eurocontrol, 2004) e sobre o perfil típico de voo nas fases de ascensão e aproximação, também disponibilizado pela NAV.¹⁶ O consumo de combustível na fase LTO para os três tipos de avião em análise consta no Quadro 10.

Quadro 10. Consumo de combustível por tipo de avião no ciclo LTO

Fase da LTO	A-320	A-319	E-145
Taxi-out	172.8	135.4	70.6
Descolagem	95.8	74.8	31.6
Ascensão	168.2	128.7	60.6
Aproximação	88.0	80.6	13.4
Aterragem	40.8	31.2	7.0
Taxi-in	172.8	135.4	70.6
Total LTO	738.4	568.2	260.8

Fonte: Cálculos Próprios, baseados em Eurocontrol (2004), ICAO (2004) e NAV.

3.4. Cálculo das emissões

As quantidades de emissões durante o ciclo LTO são dadas pela seguinte expressão:¹⁷

$$QE_{i,p} = C_i \cdot IE_{i,p} \cdot 10^{-3} \quad (12)$$

Sendo:

- $QE_{i,p}$ a quantidade do poluente p emitido por um avião do tipo i durante o ciclo LTO (kg).

- C_i o consumo de combustível de um avião do tipo i durante o ciclo LTO (kg).

¹⁵ Os dados foram fornecidos por responsáveis da NAV via e-mail.

¹⁶ Os perfis de voo foram calculados mediante o RAMS Plus Software, que é uma ferramenta de simulação frequentemente utilizada na gestão do tráfego aéreo.

¹⁷ No caso das emissões de óxidos de enxofre a expressão é: $QE_{i,Sox} = 2 \cdot C_i \cdot S \cdot 10^{-2}$, sendo S o conteúdo de enxofre do combustível. Assume-se que neste caso é igual a 0.05%.

• $EI_{i,p}$ o índice de emissão do poluente p correspondente a um avião do tipo i durante o ciclo LTO (g/kg de combustível consumido). Os índices de emissão para os $NMVOC$ e os Nox são específicos para cada tipo de avião.

Quadro 11.Quantidades de emissões por tipo de avião no ciclo LTO (kg)

$QE_{i,p}$	A-320	A-319	E-145
$QE_{i,HC}^{(a)}$	2.00	1.80	0.40
$QE_{i,VOC}^{(a)}$	2.20	2.00	0.45
$QE_{i,NMVOC}$	2.00	1.80	0.40
$QE_{i,NOx}$	6.20	6.50	2.50
$QE_{i,SOx}$	0.35	0.30	0.15

Nota: ^(a) Poluente intermédio.

Fonte: Cálculos Próprios.

O Quadro 11 apresenta as emissões, associadas a um evento aéreo, por tipo de poluente para os três tipos de avião seleccionados.

3.5. Preços sombra e cálculo da externalidade

Para valorizar em termos monetários os impactos sobre a qualidade do ar derivados da operação aeroportuária em Lisboa, efectuou-se uma revisão de literatura sobre o valor económico do dano provocado pela poluição atmosférica. O objectivo é encontrar estimativas do valor dos impactos por unidade de poluente.¹⁸ O Quadro 12 mostra os estudos revistos e os preços sombra utilizados para valorizar os custos da poluição do ar. Os valores são apresentados em preços de 2007.

As emissões de óxidos de nitrogénio dão origem a impactos diferentes dependendo do tipo de poluente produzido após a sua libertação: nitratos ou ozono. Neste caso foram revistos três estudos, os quais apresentam estimativas por país. A estimativa escolhida é a proposta no estudo de BeTa (2002), dado que valoriza as emissões de Nox com independência da fonte e incorpora o seu impacto tanto via nitratos como via ozono. As estimativas dos restantes estudos referem-se a fontes de emissão específicas e têm um carácter parcelar. No caso das emissões de compostos orgânicos voláteis, apesar de ter

¹⁸ Não foram empregues metodologias mais sofisticadas como Impact Pathway Approach (ExternE, 1999a e 1999b), porque implicaria a recolha pormenorizada de dados, o uso de modelos de dispersão no ar e a aplicação de funções dose-resposta. A utilização deste tipo de metodologias extravasa o âmbito desta investigação.

revisto vários estudos, a estimativa escolhida é também a de BeTa (2002), por ser a única que apresenta um valor específico para Portugal.

Quadro 12. Preços sombra empregues na valorização de emissões

Poluente	Estimativa Comparável (€kg – preços 2007)	Estudos Revistos
<i>VOC</i>	1.9	Ralb <i>et al.</i> (1998); IER (1999); COWI (2000); BeTa (2002)
<i>NOx</i>	5.2	EC (1996); ExternE (1998); BeTa (2002)
<i>SOx</i>	7.6	EC (1996); ExternE (1998); COWI (2000); BeTa (2002)

Nota: ^(a) Citado em Defra (2004).

Fonte: Várias Fontes (citadas no Quadro).

Relativamente às emissões de óxidos de enxofre, os estudos que estimam um valor específico para Portugal apresentam valores muito similares. Neste caso, descartaram-se os resultados de BeTa (2002) por apresentar um procedimento de cálculo das estimativas para zonas urbanas pouco rigoroso. O preço sombra é obtido como a média simples das estimativas de EC (1996) e ExternE (1998).

Com base nesses preços sombra e nas quantidades emitidas durante o ciclo LTO calcula-se a externalidade causada pela poluição do ar por médio da seguinte expressão:

$$\varepsilon_i^{PA} = \sum_{p=1}^P QE_{i,p} \cdot PS_p \quad (13)$$

Onde:

- ε_i^{PA} é a externalidade associada à poluição do ar provocada por um evento de um avião do tipo i no aeroporto da Portela;
- PS_p é o preço sombra utilizado para valorizar as emissões do poluente p .

O Quadro 13 mostra as taxas ambientais por evento aéreo no aeroporto da Portela para os tipos de avião responsáveis por um maior número de movimentos. Os resultados confirmam a importância das emissões de *Nox*, dado que os custos externos que se lhe associam, representam à volta de 85% dos custos externos totais por poluição do ar na fase LTO, portanto, na envolvente do aeroporto.

Quadro 13. Externalidade por poluição do ar por evento aéreo para os tipos de avião de referência

Tipo de avião	$\varepsilon_{i,VOC}^{PA}$	$\varepsilon_{i,Nox}^{PA}$	$\varepsilon_{i,Sox}^{PA}$	ε_i^{PA}
A-320	4.20	32.25	2.65	39.1
A-319	3.80	33.80	2.30	39.9
E-145	0.85	13.00	1.15	15.0

Fonte: Cálculos Próprios

4. Taxa ambiental total

A taxa ambiental aeroportuária para os tipos de avião de referência, t_i^A , resulta da soma da externalidade por ruído e da externalidade por poluição do ar.

$$t_i^A = \varepsilon_i^R + \varepsilon_i^{PA} \quad (14)$$

O Quadro 14 apresenta a taxa ambiental aeroportuária total e as taxas por lugar e passageiro.¹⁹ As taxas por lugar permitem uma melhor comparabilidade entre os diferentes tipos de avião. A utilização de custos marginais para o cálculo das taxas por ruído penalizam os aviões com menor capacidade, como o E-145, ainda que o número de eventos também condiciona o custo marginal.

Quadro 14. Taxa por evento aéreo para os tipos de avião de referência

Tipo de avião	t_i^R	t_i^{PA}	t_i^A	t_i^A por lugar	t_i^A por passageiro
A-320	178.4	39.1	217.5	1.50	2.25
A-319	211.2	39.9	251.1	2.00	3.10
E-145	121.8	15.0	136.8	2.75	4.20

Fonte: Cálculos Próprios

Se a taxa for integralmente transferida para o passageiro por parte da companhia, um bilhete de 150 euros de ida e volta num voo de curta distância, veria o seu preço final incrementado entre 1.5 e 3.0%, dependendo do tipo de avião utilizado para cobrir a rota. Convém referir que as TAA, calculadas com esta metodologia, podem colocar problemas de competitividade àqueles aeroportos onde o tamanho das externalidades locais seja considerável. Esta perda de competitividade terá consequências para as companhias que

¹⁹ Assumiu-se a seguinte capacidade para os tipos de avião de referência: A-320: 150 lugares; A-319: 124 lugares e E-145: 50 lugares. Pressupõe-se uma taxa de ocupação de 65%. Esta percentagem aproxima-se das taxas de ocupação médias das principais companhias aéreas portuguesas: TAP e Portugália.

utilizem estes aeroportos como distribuidores (*hub*), e para o sector turístico do *hinterland* do aeroporto, se por efeito do incremento do preço dos bilhetes, outros destinos turísticos alternativos se tornam relativamente mais baratos para os mercados servidos por ligações directas (*point-to-point*).²⁰

5. Conclusão

A crescente preocupação das sociedades europeias pelas externalidades provocadas pelas operações aéreas obriga a que os governos nacionais e a UE promovam soluções que modulem esses impactos. A utilização de incentivos de mercado para melhorar o desempenho ambiental dos operadores é uma solução promotora da eficiência, com algum potencial para alterar o seu comportamento e modelo de operação.

A introdução de taxas ambientais associadas à operação aérea implica a correcta determinação dos custos sociais das externalidades subjacentes, através de mecanismos de calibração técnica e conceptualmente consistentes. Neste artigo apresenta-se uma metodologia para o cálculo dos custos sociais provocados pelas operações aéreas a nível local. Entende-se que as taxas ambientais que gravem os impactos sobre a mudança climática devem resultar de acordos a nível internacional e podem ser facilmente introduzidas associando-as ao consumo de combustível. O objectivo neste caso é determinar uma taxa ambiental aeroportuária que reflecta o verdadeiro custo social provocado pelo ruído aeroportuário e pela poluição do ar a nível local (durante o ciclo LTO).

Em termos genéricos os resultados provam que existem alternativas metodológicas consistentes para o cálculo das externalidades ambientais, e que a introdução de taxas desta natureza (como já acontece em alguns países) pode basear-se em fundamentos económicos sólidos. Em termos específicos, revelam a significativa dimensão dos custos sociais suportados por uma parte considerável da população da área metropolitana de Lisboa, sem que os afectados sejam compensados de alguma forma por isso. Ademais, no relativo às perturbações por ruído, o incremento de tráfego previsto ampliará notavelmente o número de pessoas afectadas, como consequência da inevitável expansão dos contornos de ruído. De acordo com MPD (2007), em 2015 o número de pessoas expostas a ruído aeroportuário na cidade de Lisboa aproximar-se-á das 160,000, quase 30,000 pessoas mais que em 2006.

²⁰ Contudo, convém referir que se a elasticidade preço da procura de viagens for aproximadamente igual a - 1,00, os incrementos de preços implicariam quebras da procura da mesma dimensão, em termos percentuais.

À partida o objectivo fundamental das taxas ambientais em análise é modificar o comportamento das companhias aéreas para conseguir minimizar os impactos ambientais de carácter local. Contudo, a sua margem de manobra em termos de operação é bastante reduzida. A principal razão explicativa dessa realidade é que o custo marginal de reduzir a externalidade é progressivamente crescente. Por esse motivo, este tipo de taxas devem ser parcialmente entendidas como taxas compensatórias, dado que as receitas geradas podem ser utilizadas para compensar a população afectada pelo custo social que lhes é imposto.

O exercício de cálculo das externalidades ambientais não tem apenas aplicação à determinação das taxas aeroportuárias. O seu cálculo é de extrema importância noutros âmbitos da política de transporte. No estudo de caso escolhido tem relevância, por exemplo, na análise da concorrência inter-modal e na avaliação da deslocalização do actual aeroporto. Nesses casos, o conhecimento da dimensão das externalidades ambientais permite incorporá-las na avaliação da introdução de modos alternativos, como o comboio de alta velocidade, ou na avaliação de investimentos na expansão do próprio aeroporto ou na construção de uma nova infra-estrutura aeroportuária.

Referências

- Archer, L.J. (1993), “Aircraft Emissions and the Environment: CO_x, SO_x, HO_x and NO_x” OIES Working Paper EV17, Oxford, Oxford Institute for Energy Studies.
- BeTa (2002), BeTa: Benefits Table Database: Estimates of marginal external costs of air pollution in Europe. Version E1.02a, Bruxelas, DG Ambiente, CCE.
- Brouwer, R., I. Langford, I. Bateman, T. Crowards e R. Turner (1997), “A meta-analysis of wetland contingent valuation studies” CSERGE Working Paper GEC 1997/20, Londres, CSERGE, UCL.
- COWI (2000), A Study on the Economic Valuation of Environmental Externalities from Landfill Disposal and Incineration of Waste. Relatório Final, Bruxelas, DG Ambiente, CCE.
- Critchley J.B. e J.B. Ollerhead (1990), The Use of L_{eq} as an Aircraft Noise Index. DORA Report 9023, Gatwick, CAA.
- DEFRA – Department for Environment and Rural Affairs (2004), Valuation of the External Costs and Benefits to Health and Environment of Waste Management Options, Londres, DEFRA.
- EC – European Commission (2002), Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the establishment of a Community Framework for noise classification of civil subsonic aircraft for the purpose of calculating noise charges. COM (2002), 683 Final – Corrigida, Bruxelas, CCE.
- EC – European Commission (1999), Air transport and the environment: towards meeting the challenges of sustainable development. Communication from the Commission to the Council,

the European Parliament, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM (1999), Bruxelas, CCE.

EC – European Commission (1996), Cost-Benefit Analysis of the Different Municipal Solid Waste Management Systems: Objectives and Instruments for the Year 2000. Relatório Final, Bruxelas, DG do Ambiente, CCE.

EEA – European Environmental Agency (2001), Traffic Noise: Exposure and Annoyance. Transport Indicators, Copenhaga, EEA.

Eurocontrol (2004), Aircraft Performance Summary Tables for the Base of Aircraft Data (BADA) – Revision 3.6, Bruxelas, Eurocontrol.

ExternE (1999a), ExternE: Externalities of Energy, Vol. 7 – Methodology, 1998 Update. Relatório Final, Bruxelas, DG Investigação, CCE.

ExternE (1999b), ExternE: Externalities of Energy, Vol. 10 – National Implementation. Relatório Final, Bruxelas, DG Investigação, CCE.

ExternE (1995-1998), Summary Results for Air Pollutants, Bruxelas, DG Investigação, CCE.

FAA – Federal Aviation Administration (2002), Estimated Airplane Noise Levels in A-Weighted Decibels. Advisory Circular 36-3H, Washington, FAA.

FAA – Federal Aviation Administration (2001), Noise Levels for U.S. Certificated and Foreign Aircraft. Advisory Circular 36-1H, Washington, FAA.

ICAO – International Civil Aviation Organisation (2004), ICAO Aircraft Engine Emissions Databank, Montreal, ICAO.

IER (1999), External Costs of Energy Conversion – Improvement of the ExternE Methodology and Assessment of Energy-related Transport Externalities, Bruxelas, DG Investigação, CCE.

INFRAS/IWW (2000), External Costs of Transport: Accident, Environmental and Congestion Costs in Western Europe, Zurich/Karlsruhe, INFRAS/IWW.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (1999), Aviation and the Global Atmosphere, Cambridge, UK, Cambridge University Press.

Johnson, K. e K. Button (1997), “Benefit transfers: Are they a satisfactory input to benefit cost analysis? An airport noise nuisance study” in Transportation Research D, Vol. 2, nº 2, pp. 223-231.

Keen, M. e J. Strand (2007), “Indirect taxes on international aviation”, in Fiscal Studies, Vol. 28, nº 1, pp. 1-41.

Lee, D.S. (2004), “The impacts of aviation on climate” in R.E. Hester e R.B. Harrison (coords.): Transport and the Environment, Issues in Environmental Science and Technology, Vol. 20, pp. 1-23.

Lu, C. e P. Morrell (2006), “Determination and applications of environmental costs at different sized airports – aircraft noise and engine emissions” in Transportation, Vol. 33, nº 1, pp. 45-61.

MPD Group Limited (2007), Study of Aircraft Noise Exposure at and around Community Airports: Evaluation of the Effect of Measures to Reduce Noise. Relatório Final, Bruxelas, Direcção Geral da Energia e Transportes, CCE.

Nelson, J.P. (2004), “Meta-analysis of airport noise and hedonic property values” in Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 38, nº 1, pp. 1-28.

Nelson, J.P. (1980), “Airports and property values: A survey of recent evidence” in Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 14, nº 1, pp. 37-52.

- Olivier, J.G.J. (1991), Inventory of Aircraft Emissions: A Review of Recent Literature. RIVM Report 736 301 008, Bilthoven, RIVM.
- Pearce, B. e D. Pearce (2000), "Setting environmental taxes for aircraft: a case study for the UK" CSERGE Working Paper GEC 2000/26, Londres, CSERGE, UCL.
- Prasher, D.P. e H. Ising (2000), "Noise as a stressor and its impact on health", in Noise and Health, Vol. 2, nº 7, pp. 5-6.
- Ralb, A., J.V. Spadaro e P.D. McGavran (1998), "Health risks of air pollution from incinerators: A perspective" in Waste Management Research, Vol. 16, nº 4, pp. 365-388.
- Schipper, Y., P. Nijkamp, P. e P. Rietveld (1998), "Why do aircraft noise estimates differ? A meta-analysis" in Journal of Air Transport Management, Vol. 4, nº 2, pp. 117-124.
- Stansfeld, S.A. e M.P. Matheson (2003), "Noise pollution: non-auditory effects on health" in British Medical Bulletin, Vol. 68, nº 1, pp. 243-257.
- Stansfeld, S.A., M. Haines e B. Brown (2000), Noise and Health of Children. TNO Report PG/VGZ/2000.042, Leiden, Organisation for Applied Scientific Research.
- Valadas, B., M. Guedes e J.L. Bento Coelho (1999), Ruído Ambiente em Portugal, Lisboa, Direcção Geral do Ambiente.

ANEXO I. Identificação dos aviões

Quadro I.1. Tipos de Avião

Código Representativo	Fabricante e tipo de avião
A-300B	Airbus Industrie A-300-B
A-310	Airbus Industrie A-310
A-319	Airbus Industrie A-319
A-320	Airbus Industrie A-320
A-321	Airbus Industrie A-321
A-332	Airbus Industrie A-332
A-343	Airbus Industrie A-343
ATR-42-3	Aerospatiale ATR 42-300
B-733	Boeing 737-300 Passenger
B-734	Boeing 737-400 Passenger
B-737	Boeing 737-700 Passenger
B-738	Boeing 737-800 Passenger
B-752	Boeing 757-200 Passenger
B-762	Boeing 767-200 Passenger
BE-1900	Beench 1900/1900C
CRJ-2	Canadair RJ 200
D-228	Dornier 228
E-145	Embraer RJ 145LR
F-100	Fokker 100
MD-87	McDonnell Douglas (Boeing) DC-87
MD-88	McDonnell Douglas (Boeing) DC-88