

RUÍDO DE COMBOIOS DE ALTA VELOCIDADE

Emissão e Medidas Mitigadoras

HENRIQUE MANUEL FERREIRA DA SILVA GONÇALVES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS

Orientador: Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho

FEVEREIRO DE 2008

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Ao meu afilhado João Pedro Gonçalves Neto Vieira

«Tudo o que está no plano da realidade já foi sonho um dia»

Leonardo da Vinci

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	III
RESUMO	IX
ABSTRACT.....	XI
1 INTRODUÇÃO	1
2 OS COMBOIOS DE ALTA VELOCIDADE	3
2.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA.....	3
2.2 A SITUAÇÃO EM PORTUGAL	6
2.3 CUSTO/BENEFÍCIOS.....	8
3 RUIDO DE COMBOIOS DE ALTA VELOCIDADE	11
3.1 EMISSÃO	11
3.1.1 RUIDO DE ROLAMENTO	11
3.1.2 RUIDO AERODINÂMICO	13
3.1.3 IMAGEM ACÚSTICA.....	15
3.1.3.1 COMO É O RUIDO MEDIDO?	15
3.1.3.2 IMAGENS ACÚSTICAS DO TGV ATLÂNTICO.....	17
3.2 MODELOS DE PREVISÃO.....	18
3.2.1 INDICADORES DE RUIDO	20
3.2.1.1 INCOMODIDADE	20
3.2.1.2 NÍVEL SONORO.....	20
3.2.1.3 NÍVEL SONORO MÁXIMO $L_{A,MAX}$	21
3.2.1.4 NÍVEL SONORO EQUIVALENTE $L_{A,eq}$	21
3.2.1.5 INDICADORES ESTATÍSTICOS.....	22
3.2.1.6 INDICADORES BÁSICOS $L_{A,DAY}$, $L_{A,EVENING}$, $L_{A,NIGHT}$ E $L_{A,24H}$	22
3.2.1.7 INDICADOR COMPOSTO L_{DpN}	22
3.2.2 MÉTODO DE MEDIDA	22
3.2.3 MODELO DE DESCRIÇÃO DO RUIDO NA FONTE	23
3.2.4 MODELO DE PROPAGAÇÃO	24
3.3 MEDIDAS MITIGADORAS	25
3.3.1 NA FONTE.....	25
3.3.1.1 RUIDO DE ROLAMENTO	25
3.3.1.2 TRATAMENTOS DE AMORTECIMENTO AO NÍVEL DAS RODAS.....	25
3.3.1.3 OPTIMIZAÇÃO DA FORMA DA RODA.....	26

3.3.1.4 REDUÇÃO DA RADIAÇÃO NAS RODAS	26
3.3.1.5 RIGIDEZ AO NÍVEL DOS CARRIS.	27
3.3.1.6 TRATAMENTOS DE AMORTECIMENTO AO NÍVEL DOS CARRIS.....	27
3.3.1.7 OPTIMIZAÇÃO NO TRAÇADO DOS CARRIS.....	28
3.3.1.8 MOBILIDADE DOS CARRIS	28
3.3.1.9 CARRIS EM FORMA BALASTRO.....	28
3.3.2 RUIDO AERODINÂMICO	29
3.3.3 BARREIRAS ACÚSTICAS PARA O TRÁFEGO FERROVIÁRIO.	30
3.3.3.1 CONSIDERAÇÕES FÍSICAS.....	34
3.3.3.2 ESTRUTURA	34
3.3.3.3 SEGURANÇA	34
3.3.3.4 MANUTENÇÃO	34
3.3.3.5 APARÊNCIA VISUAL.....	34
4 LEGISLAÇÃO	35
4.1 DECRETO-LEI N.º 146/2006.....	35
4.2 DECRETO-LEI N.º 9/2007.....	41
4.3 DIRECTIVA COMUNITÁRIA N.º 2002/49/EC DE 25 DE JUNHO	48
5 CONCLUSÕES	49
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Estação de Santa Justa em Sevilha [Foto do autor].	1
Fig. 2 – Zona residencial em Madrid em que não são usadas barreiras acústicas [Foto do autor].	2
Fig. 3 – O TGV Sud-Est [7].	3
Fig. 4 – O TGV Atlantique [7].	4
Fig. 5 – O Eurostar [7].	4
Fig. 6 – O Thalys [7].	5
Fig. 7 – O AVE [7].	5
Fig. 8 – O Shinkansen [7].	6
Fig. 9 – Traçado da rede de alta velocidade mista em Portugal [14].	7
Fig. 10 – Notícia do Diário Digital de 19 de Janeiro de 2008 [17].	8
Fig. 11– Nível de pressão sonora a 25 m da linha em função da velocidade de diferentes tipos de comboios. 1 BR Mk II (travões normais). 2 BR Mk III (travões de disco). 3 Talgo (travões de tambor). 4 ICE (travões de disco). 5 TGV-A (travões de disco). 6 TGV-A. 7 TGV-PSE [6].	12
Fig. 12 - Ruído de interacção roda/carril [6].	13
Fig. 13 - Mapa de ruído do TGV à velocidade de 300 km/h na banda 1/3 de oitava dos 1250 Hz [16].	13
Fig. 14 – Mapa de ruído aerodinâmico do TGV obtido por medições com antenas nos 1250 Hz [8].	14
Fig.15 – Antena SYNTACAN para medição do ruído [11].	16
Fig. 16 – Antena SYNTACAN para medição do ruído [11].	16
Fig. 17 – Imagem acústica do TGV Atlântico [15].	17
Fig.18 – Resultado de medição em túnel de vento [10].	23
Fig. 19 – Níveis de emissão do comboio Thalys, consistindo em duas locomotivas e dez carruagens à velocidade de 250 km/h [6].	24
Fig. 20 – Zona das rodas do veículo utilizado pela AVE (Alta Velocidade Espanhola). [Foto do autor].	25
Fig. 21 – Contacto entre os carris e solipas Estação de Santa Justa (Sevilha). [Foto do autor].	27
Fig. 22 – Carris em forma de balastro. Estação de Atocha. [Foto do autor].	28
Fig. 23 - Zonas onde o ruído aerodinâmico é mais significativo: ventiladores (superior esquerda); pantógrafo (superior direita); ligação entre carruagens (inferior esquerda);	29

Fig. 24 – Nível de pressão sonora estimado do comboio <i>Shinkansen</i> nos seus diversos pontos críticos medido sem a presença de barreiras acústicas á velocidade de 300 km/h, a 25 m [11].	30
Fig. 25 – Barreira Acústica <i>Larmspoiler</i> [1].	31
Fig. 26 – Comparação barreira acústica <i>Larmspoiler</i> (dir.) com as barreiras acústicas tradicionais (esq.) [1].	32
Fig. 27 – Algumas soluções para barreiras acústicas a ser usadas no tráfego ferroviária [1].	33

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Algumas características dos comboios de alta velocidade [16].	6
Quadro 2 – Valores limites de exposição do RGR, artigo n.º 11.	45

AGRADECIMENTOS

Na realização deste trabalho muitas foram as pessoas que me ajudaram e sem as quais esta missão teria sido sem dúvida muito mais difícil. A todas elas, as quais seria fastidioso aqui enunciar, a minha profunda gratidão.

Algumas delas pelo apoio especial e permanente que me prestaram ao longo deste trabalho quero agradecer de uma forma particular, não podendo deixar de expressar a minha sentida gratidão:

Ao Professor António Pedro Oliveira de Carvalho, meu orientador que desde o primeiro minuto desta caminhada, me incentivou e ajudou na realização deste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, na pessoa do seu Presidente Professor José Ferreira Lemos, pelas excelentes condições que facultou aos seus alunos ao longo do curso.

À Mota-Engil Engenharia, na pessoa do seu Presidente Engenheiro Arnaldo Figueiredo, pela confiança depositada em mim, pelo convite para estagiar na maior empresa nacional.

Finalmente à minha família que foi suporte fundamental na minha formação a todos os níveis, apoiando em todos os momentos mais difíceis e aconselhando-me na decisão de estudar engenharia civil.

RESUMO

Durante as últimas décadas, os comboios de alta velocidade notaram um franco desenvolvimento. A razão para tal acontecer é uma baixa proporção de poluição por passageiro, comparativamente aos veículos automóveis, e as elevadas velocidades alcançadas nos comboios modernos, são disso exemplo: o TGV Francês, o *Eurostar*, *Thalys*, o *Germânico ICE*, e a alta velocidade Britânica, o Italiano *Pendolino*, o *Sueco X2000*, o japonês *Shinkansen*, etc. O TGV Francês, por exemplo atingiu um máximo de 515 km/h em Maio de 1990, e uma velocidade de cerca 300 km/h em viagens comerciais.

Perspectiva-se que em 2010 as novas linhas da Europa Central liguem em alta velocidade Paris, Londres, Bruxelas, Amesterdão, Colónia e Frankfurt que consiga competir com vantagem sobre os transportes aéreos o veículos automóveis em pequenas e médias distancias. Planos semelhantes estão também a ser desenvolvidos nos Estados Unidos e Japão.

Infelizmente á medida que o tráfego de alta velocidade aumenta o ruído gerado por este meio de transporte aumenta também, o que representa a problema ambiental nas imediações de residências, escolas e hospitais. É fundamental uma consciencialização dos operadores da alta velocidade e autoridades locais para o ruído gerado por este tipo de transporte e para os métodos usados para o mitigar.

A alta velocidade é um dos investimentos que serão realizados em Portugal com vista a recuperar o atrasado em relação aos países mais desenvolvidos da Europa, esperemos que o consiga com sucesso. E saiba aproveitar o *know-how* dos países em que os comboios de alta velocidade já estejam fortemente implementados e evitar os erros que muitos destes cometeram, por serem os primeiros e ainda não existir conhecimento adquirido na matéria.

Os comboios de alta velocidade podem ser uma ferramenta de desenvolvimento de um país e uma forma de melhorar os padrões qualidade dos seus habitantes. É portanto fundamental que isso aconteça e não haja habitantes que vejam a sua qualidade de vida deteriorada por questões como o ruído.

Este trabalho visa descrever a principais formas de ruído gerado, bem os fenómenos que as originam. Assim como as medidas que permitem minimizar o ruído, em comboios de alta velocidade.

A temática do ruído em comboios de alta velocidade está bastante documentada, o que mostra que existe uma elevada consciencialização para o problema. É imperativo que os responsáveis pela alta velocidade em Portugal (RAVE) bem como os nossos governantes estejam cientes do problema do ruído em comboios de alta velocidade para que este não seja o calcanhar de Aquiles deste meio de transporte.

Palavras-chave: Comboios de Alta Velocidade, Ruído, Emissão, Medidas Mitigadoras, Ruído de Rolamento, Ruído Aerodinâmico, Barreiras Acústicas.

ABSTRACT

During the last decades, the high speed trains had a big development. The reason of this is a small rate of pollution per passenger, comparing with cars, the high speed this modern trains reach, for example: the French TGV, the Eurostar, Thalys, the German ICE, the British high speed, the Italian Pendolino, the Swedish X2000, the Japanese Shinkansen, etc. The French TGV reach the highest speed of 515 km/h in May of 1990, and a speed of almost 300 km/h in comercial travel.

Briefing to 2010 the new central European lines conect the high speed of Paris, London, Brussels, Amesterdam, Cologne, Frankfurt and take advantage in the competition with the air transporte and cars in small and medium distances. In United States and Japan are also being developed simillar plans.

Unfortunately as the high speed traffic increases the noise also increases, witch represents an enviromental problem nearby the houses, schools and hospitals. It is crucial that the high speed operators and the local authorities be aware to the noise created by this kind of transport and the methods used to minimize it.

The high speed is one of the investment to be made in Portugal in order to recover the arrears in relation to the more developed countries of Europe, it is very important that this goal is reached successfully. And learn harness the expertise of the countries in which the high-speed trains are already heavily implemented and avoid the mistakes that many of those earned, for being the first and still there is knowledge acquired in the field.

The high-speed trains can be a tool for development of a country and a way to improve the quality standards of its inhabitants. It is therefore essential that this happens and there are no inhabitants who see their quality of life damaged by issues such as noise.

The goal of this work is to describe the main forms of noise created by the high speed trains.

The theme of noise in high speed trains is well documented, which shows that there is a high awareness of the problem. It is imperative that the responsible for high speed in Portugal (RAVE) and our leaders are aware of the problem of noise in high speed trains.

Keywords: High speed trains, Noise, Emission, Minimizing Methods, Noise from Roller, Aerodynamic Noise, Acoustic Barriers.

INTRODUÇÃO

1.1 OBJECTIVOS/ ESTRUTURA DO TRABALHO

Os comboios de alta velocidade são um meio de transporte com excelentes perspectivas num curto espaço de tempo em Portugal, e tem se revelado um sucesso nos países em que já se encontra implementado há alguns anos. É um meio de transporte rápido, económico, confortável e acima de tudo limpo uma vez que é movido a energia eléctrica, que é cada vez mais obtida a partir de energias renováveis, esse factor será decisivo para o sucesso dos comboios de alta velocidade visto que a grande maioria dos países tem demonstrado grandes dificuldades em cumprir o tratado de Quioto.

A maior desvantagem dos comboios de alta velocidade é o ruído por estes produzidos, que se torna um problemática grave quando este passa junto de zonas sensíveis.

O ruído em comboios de alta velocidade foi portanto o objecto de estudo deste trabalho em duas vertentes a emissão e a sua mitigação. Para a realização deste trabalho realizei um vasta pesquisa sobre a matéria e uma visita à primeira infra-estrutura Espanhola de comboios de alta velocidade, concluída 1992 antes da EXPO 92.



Fig. 1 – Estação de Santa Justa em Sevilha [Foto do autor].

Uma viagem, que teve lugar no dia 5 de Outubro de 2007 com partida estação de *Santa Justa*, fig. 26, em Sevilha e chegada à estação de *Atocha*, em Madrid. No dia seguinte regresssei fazendo o caminho

inverso. A qualidade deste meio de transporte excedeu as minhas melhores expectativas, contudo durante a viagem notei a quase inexistência de barreiras acústicas, mesmo em zonas sensíveis, fig. 27.



Fig. 2 – Zona residencial em Madrid em que não são usadas barreiras acústicas [Foto do autor].

Também foram encetados contactos com os responsáveis da *Renfe* empresa estatal detentora da *AVE* (Alta Velocidade de Espanha) no sentido de agendar uma reunião com técnicos de acústica da referida empresa. Os responsáveis da *Renfe* responderam cordialmente aos nossos intentos, disponibilizado técnicos para uma reunião, contudo as datas disponíveis não eram compatíveis com o prazo limite de entrega do trabalho.

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo é a introdução do trabalho onde se encontram os objectivos do trabalho bem como a sua estrutura.

No segundo capítulo designado por «Os Comboios de Alta Velocidade» é realizada a descrição desta modalidade de transportes ferroviários ao nível de evolução histórica, a situação em Portugal e por último é feita uma análise custo/benefício.

O terceiro capítulo cujo título é «Ruído em Comboios de Alta Velocidade» foi dividido em 3 pontos principais. No primeiro ponto «Emissão» são descritos os mecanismos de emissão do ruído em comboios de alta velocidade. O ponto 2 «Modelos de Previsão» é explicado como se chegam a previsões de ruído e são caracterizados os vários indicadores de ruído. O ponto 3, «Medidas Mitigadoras», são apresentadas várias formas de minimizar o ruído em comboios de alta velocidade.

No quarto capítulo, «Legislação» é feita uma análise da legislação relacionada com o ruído em comboios de alta velocidade, actualmente em vigor em Portugal e é feita a transcrição dos artigos de maior relevo na matéria.

Por último efectua-se as conclusões, capítulo 5, analisando as limitações no estudo, os principais contributos e perspectivas de futuro.

2

OS COMBOIOS DE ALTA VELOCIDADE

2.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA

A sigla TGV, correntemente usada para descrever este tipo de comboio provém do francês (*Train à Grande Vitesse*) e denomina os comboios de alta velocidade. É um símbolo nacional de França e um grande sucesso na Europa. O TGV é construído pela empresa *Alstom*, e é uma marca registrada da SNFC (*Société Nationale des Chemins de Fer Français*), empresa pública de transporte ferroviário francesa. Em 3 de Abril de 2007, durante um teste de velocidade, o TGV atingiu a velocidade de 574,8 km/h em Le Chemin, perto de Champanha-Ardenas, na linha Paris-Estrasburgo, que foi aberta a passageiros no dia 10 de Junho de 2007. Com uma velocidade de ponta de 574,8 km/h, a composição V150, fabricada pela *Alstom*, estabeleceu um novo recorde mundial de velocidade sobre carris (o *Shinkansen JR-Maglev* não utiliza carris, mas sim sustentação magnética), ultrapassando com folga o objectivo de 540 km/h que havia sido inicialmente previsto (V150 querendo significar 150 metros *por segundo*, ou seja 540 km/h). O TGV Paris-Estrasburgo circula comercialmente a uma velocidade máxima de 320 km/h, ou seja, vinte quilómetros por hora mais rápido do que as outras linhas TGV em actividade em França [16].



Fig. 3 – O TGV Sud-Est [7].

A ideia do TGV foi inicialmente proposta no anos 60, depois do Japão começar a construir o *Shinkansen* em 1959. Na altura o governo Francês criou um programa que favorecia as novas tecnologias. Foi planeado originalmente que funcionaria a gás, o que o possibilitava atingir grandes velocidades durante um grande período de tempo, foi assim construído o primeiro protótipo, o TGV 001. Seguiu-se a crise energética de 1973, tendo o preço do crude tornado o uso de gás neste tipo de comboio impraticável e o projecto passou a funcionar a electricidade, que seria gerado nas novas

centrais nucleares Francesas. Contudo o TGV 001 não foi um projecto falhado. As suas turbinas a gás foram aproveitadas em muitas tecnologias do TGV, bem como os travões de alta velocidade desenvolvidos, que tinham a capacidade de dissipar uma grande quantidade de energia cinética, toda a forma aerodinâmica do veículo foi também aproveitada. O protótipo alcançava a velocidade de 318 km/h, o que continua a ser o recorde mundial de velocidade de um comboio não eléctrico. Os interiores e exteriores foram desenhados pelo designer francês Jacques Cooper e formaram a base do TGV como hoje o conhecemos [16].



Fig. 4 – O TGV Atlantique [7].

Em 1976 o governo Francês fundou o projecto TGV e construiu a primeira linha de alta velocidade, o LGV *Sud-Est*, (fig. 3). Depois da produção de dois comboios (chamados *Patrick* e *Sophie*), foram substancialmente modificados em relação às primeiras versões e depois de altamente testados foram entregues em 25 de Abril de 1980. O primeiro serviço do TGV ao público abriu entre Paris e Lyon em 27 de Setembro de 1981. As primeiras viagens eram destinadas somente para executivos. A popularidade do TGV foi aumentando pois a duração das viagens era inferior aos comboios normais, carros e aviões. Seguiu-se a construção da linha LGV *Atlantique* (fig. 4), que liga *Tours* a *Le Mans* e mais seis linhas, a última das quais o LGV *Est* entre Paris e Estrasburgo inaugurada no verão de 2007, que no primeiro mês em funcionamento atingiu 1 milhão de passageiros. Linhas de alta velocidade baseadas na tecnologia LGV ligam a França à Bélgica, Holanda e Reino Unido. O *Eurostar* (fig. 5) foi inaugurado em 1994, ligando a França ao Reino Unido pelo canal da Mancha, em 3 horas [16].



Fig. 5 – O Eurostar [7].

O *Thalys* (fig. 6) de nacionalidade Belga é o segundo TGV internacional na Europa, liga Paris, Bruxelas e Amesterdão. Deriva do TGV Francês apenas com pequenas modificações. O problema com comboios internacionais é a existência de diferentes padrões e regulamentos entre diferentes países, como o fornecimento de electricidade, o tamanho dos túneis ou distância a entre linhas [16].



Fig. 6 – O *Thalys* [7].

O *AVE* (fig. 7) é o comboio utilizado pela Alta Velocidade Espanhola e deriva do *TVG Atlantique* construído com alguns componentes espanhóis. Tem a particularidade que a sua bitola, que corresponde à distância entre carris ser de 1668 mm diferindo da bitola Europeia que é 1435 mm, a mesma bitola que e usada em Espanha, 1668 mm, será adoptada na alta velocidade Portuguesa umas vez que o nosso país tem as suas ligações de alta velocidade com Espanha. Será portanto difícil uma ligação da alta velocidade Espanhola com os seus homólogos Franceses. Já foram construídos 471 km de linha de alta velocidade em Espanha usando tecnologia Alemã, onde se atingiram velocidades na ordem dos 300 km/h [16].



Fig. 7 – O *AVE* [7].

O Japão foi um dos primeiros países a deparar-se com graves problemas de trânsito rodoviário, com cidades densamente povoadas como Tóquio. Os Japoneses foram também os responsáveis pelo desenvolvimento de um dos primeiros comboios de alta velocidade o *Shinkansen* (fig. 8) [16].



Fig. 8 – O Shinkansen [7].

Existem outros comboios de alta velocidade ou comboios bastante rápidos como são exemplo o *ICE* Alemão ou o *Pendolino* Italiano. Um pouco por todo o mundo estão a surgir novos comboios e linhas de alta velocidade, tornando esta tecnologia universal [16]. No quadro 1 apresenta-se resumo das principais características de alguns comboios de alta velocidade.

Quadro 1 – Algumas características dos comboios de alta velocidade [16].

Nome	TGV Paris Sud-Est	TGV Atlantique	AVE	TGV Réseau	Eurostar	TGV Duplex	TGV Thalys	TGV NG
Introduzido	1981	1989	1991	1993	1994	1996	1996	2005
Velocidade Média	218 km/h	Desconhecido	209 km/h	254 km/h	258 km/h	248 km/h	213 km/h	260 km/h
Velocidade a que opera	270 km/h	300km/h	300km/h	300km/h	300km/h	300 km/h	300km/h	360km/h
Velocidade de Projecto	270 km/h	300km/h	300km/h	320km/h	320km/h	320km/h	320km/h	360km/h
Velocidade Recorde	380 km/h	515km/h	330km/h	350km/h	355km/h	330km/h	330km/h	Indisponível
Velocidade máxima em carris normais	220km/h	220km/h	Não aplicável	220km/h	160km/h	Não aplicável	Desconhecido	250km/h
Comentários	Famosos TGV cor de laranja	Velocidade Recorde	TGV Espanhol	Pressão Vedada	Estritamente não de um TGV	Dois Pisos	TGV Internacional	Nova Geração

2.2 A SITUAÇÃO EM PORTUGAL

Foi criada em Portugal legislação que permite a construção da alta velocidade ferroviária em Portugal, destacando-se os seguintes decretos-lei:

- Resolução do Conselho de Ministros 1988 - RCM nº 6/88 de 8 de Fevereiro que aprovou o Plano de Modernização dos Caminhos de Ferro relativo ao período de 1990/1997.
- Decreto 32/94, de 3 de Novembro. É aprovado, para adesão, o Acordo Europeu sobre as Grandes Linhas de Transporte Combinado Internacional e Respectivas Instalações.
- Decreto-Lei nº 323/H/2000 de 19 de Dezembro (www.dr.incm.pt), que cria a sociedade RAVE, Rede Ferroviária de Alta Velocidade, SA e aprova os seus Estatutos.
- Decreto-Lei 93/2000, de 23 de Maio. Estabelece as condições a satisfazer para a realização no território nacional da interoperabilidade do sistema ferroviário transeuropeu de alta velocidade [14].

A XIX Cimeira Ibérica, realizada a 7 e 8 de Novembro de 2003, formalizou a decisão política de implantar a Rede Ferroviária de Alta Velocidade como solução para as necessidades de mobilidade de pessoas e bens dentro e fora do país, sendo de destacar as seguintes potencialidades:

- Ligações mais rápidas entre as principais cidades portuguesas e destas com Espanha e conseqüentemente a França e o resto da Europa;
- Possibilitar ao Norte do país uma nova centralidade de transportes;
- Acréscimo da competitividade dos eixos de mercadorias nacionais para o resto da Europa;
- Efeitos benéficos nos aeroportos do Porto e Faro;
- Condições para a integração na Europa, permitindo uma maior interoperabilidade ferroviária e a utilização dos portos portugueses como “porta de entrada” na Península Ibérica;
- Redução dos custos ambientais dos transportes.



Fig. 9 – Traçado da rede de alta velocidade mista em Portugal [14].

Relativamente às viagens Lisboa-Porto, as projecções de procura, realizadas em 2005, apontam para uma redução da quota de mercado do veículo particular, que ronda

actualmente os 80%, para cerca de 61%, retirando ao modo aéreo uma quota de 40% das actuais ligações Porto-Lisboa.

No que se refere às viagens Lisboa-Madrid, de acordo com as estimativas realizadas, o modo aéreo perde cerca de 30% do tráfego, o veículo particular 27% e o autocarro 23% [14]. Na fig. 7 pode-se ver como será o traçado da rede de alta velocidade em Portugal.

Na fig. 10 podemos ver uma notícia relativa á recente cimeira ibérica, que teve lugar em Braga. A alta velocidade foi um dos assuntos principais desta cimeira.



Cimeira Luso-Espanhola em Braga (EPA/ESTELA SILVA)

«Portugal tem de avançar em força»

2008/01/19 | 13:11 | [Filipe Caetano](#)

✉ José Sócrates anuncia que vai ser lançado concurso para a construção de mais um troço da futura linha de TGV que ligará Lisboa a Madrid. Terceira travessia do Tejo «não atrasará projecto, que estará concluído em 2013» e avisa: «Não podemos esperar toda a

vida, temos de avançar em força»

José Sócrates não quer perder tempo, porque sente que «Portugal não pode ficar para trás» na senda do desenvolvimento. Aproveitando a 23ª Cimeira Luso-Espanhola, que se realizou em Braga, o primeiro ministro aproveitou para anunciar oficialmente o lançamento de mais um concurso para a construção da linha de TGV Lisboa-Madrid, atestando a importância de um projecto que considera essencial para o crescimento do país.

Fig. 10 – Notícia do Diário Digital de 19 de Janeiro de 2008 [17].

2.3 CUSTO/BENEFÍCIOS

A União Europeia aposta fortemente numa rede europeia de Alta Velocidade, como elo indispensável de um desenvolvimento económico ambientalmente mais sustentável contribuindo decisivamente para a coesão territorial e social do espaço Europeu [6].

É por isso que a alguns dos países europeus já está a concretizar os seus projectos (Espanha, França, Alemanha, Inglaterra, Bélgica, Itália, Holanda, Suécia, Grécia, Suíça, República Checa, etc.). Todos os quadrantes políticos chegaram a consenso em relação ao facto de conjuntamente Portugal viver um período de dificuldades económicas não justifica o adiamento deste projecto. O seu adiamento só agravaria as possibilidades de Portugal recuperar o atraso em modernidade e competitividade que mantém no espaço Ibérico e Comunitário, adiando, simultaneamente, uma oportunidade única para a criação de um número significativo de postos de trabalho e de desenvolver a inovação, a tecnologia, a competitividade da economia e a coesão social e territorial do País [5].

Acresce, com relevância incontornável que, face à posição periférica de Portugal, é imperativo dotar o país de acessibilidades que permitam padrões de mobilidade sustentável competitivos com os restantes países europeus, no transporte de passageiros e mercadorias [5].

Por outro lado, e pese embora o seu carácter periférico, a posição geográfica de Portugal na fronteira Oeste-Atlântica do Continente Europeu, zona privilegiada de confluência de rotas internacionais, confere-lhe importantes vantagens competitivas que importa valorizar,

potenciar e aproveitar assumindo-se, à sua escala, como um importante pólo de mobilidade da Península Ibérica [5].

A concretização das linhas de Alta Velocidade Lisboa-Porto e Lisboa-Madrid terá um impacto significativo no PIB português e no emprego, quer durante o período de construção, quer durante o de exploração. Com efeito, de acordo com o estudo realizado pelo Centro de Estudos Aplicados da Universidade Católica Portuguesa, estima-se que o efeito global na riqueza seja na ordem dos 7 mil milhões de euros, entre 2005 e 2023 (valor descontado a uma taxa de 5%) e que o emprego atinja os 100 mil postos de trabalho, no ano de pico da construção (2012) [4].

Em 2003, as deslocações de média a longa distância que se processam na relação Lisboa-Porto ascendiam a 7,8 milhões, sendo a quota do caminho-de-ferro de cerca de 12% e representando o transporte individual cerca de 78%. Considerando o âmbito das deslocações internas do mercado em que a Alta Velocidade ferroviária se insere neste Corredor, a procura nesse ano era superior a 40,7 milhões de deslocações, em relação às quais o caminho de ferro detinha apenas 3% da quota de mercado e o veículo particular cerca de 93% [4].

As últimas projecções elaboradas, já em 2005, apontam para uma procura na Alta Velocidade de cerca de 6 milhões de passageiros em 2015, atingindo um valor superior a 12,2 milhões em 2033. A quota de mercado do caminho-de-ferro passaria dos actuais 12% para 36% nas deslocações de média a longa distância e, considerando o âmbito interno deste mercado no Corredor, de 3% para 8%. Os estudos de mercado realizados restringiram-se essencialmente ao Corredor, estando em curso um trabalho mais aprofundado, englobando uma área de influência mais alargada que irá contemplar também a procura adicional resultante do efeito de rede, quando as restantes ligações forem concretizadas [4].

Os custos totais previstos são de 7,7 mil milhões de euros incluindo as contingências. Para a ligação Lisboa-Porto, o investimento previsto é de 4,7 mil milhões de euros. A ligação Lisboa-Madrid custará 3,0 mil milhões de euros, incluindo 25% relativos a contingências, representando a linha de Alta Velocidade 2,4 mil milhões de euros desse total e 600 milhões de euros a parte da nova ponte ferroviária sobre o rio Tejo imputável ao Projecto de Alta Velocidade [4].

As propostas para o orçamento comunitário para o período 2006-2013 contemplam o apoio à concretização das redes transeuropeias de infra-estruturas e serviços de transportes. Os objectivos fundamentais consistem na promoção de um maior equilíbrio entre os diferentes modos de transporte, em assegurar a interoperabilidade das redes em todo espaço comunitário e na redução dos estrangulamentos. O Projecto poderá candidatar-se a três tipos de Fundos:

- a) Fundo de Coesão, que será o Fundo que se espera venha a representar mais de 50% da ajuda comunitária global ao Projecto;
- b) Redes Transeuropeias de Transportes: Dado que quer a linha Lisboa-Porto, quer a linha Lisboa-Madrid estão inscritas como Projectos Prioritários nas RTE-T, fazendo ambas parte do Projecto Prioritário n.º 3, os fundos provenientes das RTE-T poderão representar uma ajuda importante no financiamento dos Projectos, em particular no eixo Lisboa-Madrid que, por se consubstanciar numa ligação entre dois países, poderá beneficiar de uma percentagem de co-financiamento mais elevada;
- c) Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER)

Em qualquer uma das linhas, as receitas operacionais são superiores aos custos operacionais agregados (incluindo os relativos ao *leasing* do material circulante), pelo que o *cash-flow* operacional gerado pelo Projecto é globalmente positivo. Portanto, não há qualquer necessidade previsível do Estado subsidiar a exploração.

As análises custo-benefício, realizadas de acordo com a metodologia da UE para os dois eixos, permitem concluir que o Projecto tem retorno significativo para a economia nacional, com taxas internas de rentabilidade económica muito apreciáveis, em particular no eixo Lisboa-Porto (6,8%) [4].

Consequências económicas do investimento na construção da Rede de Alta Velocidade de um estudo realizado pela Universidade Católica:

- Os efeitos da construção da RAV (Rede de Alta Velocidade) na actividade económica fazem-se sentir sobretudo entre o 5º e o 8º ano do projecto. No seu pico, que ocorrerá no 7º ano, implicará um aumento no PIB de 1,6% e de 2,0% no emprego, relativamente aos níveis de 2005 [4].
- Os ramos de actividade em que estes efeitos são maiores, são os da construção, da produção de máquinas e equipamento eléctrico e de serviços -imobiliários, financeiros e prestados às empresas. Globalmente o projecto tem interesse para um conjunto mais amplo de actividades [4].
- Evidenciam-se as consequências do projecto em mercados, como a construção, onde existe, actualmente, excesso de capacidade instalada e algum desemprego. A construção da RAV pode contribuir para aumentar a utilização da capacidade existente em mercados como este [4].
- A construção da RAV foi analisada como um projecto incremental relativamente à situação económica portuguesa de 2000, independentemente de outros projectos, alternativos ou não. As estimativas obtidas são sensíveis à estrutura da actividade económica dos anos recentes, no que diz respeito à estrutura de custos, à formação e utilização do rendimento nacional e, finalmente, à composição da oferta interna [4].

Com base nas previsões da procura de transportes e na proporção do tráfego induzido na RAV, estimam-se, por efeito eficiência resultantes da exploração da RAV, acréscimos no PIB:

- Anuais de 0,16% (2020), 0,18% (2030), 0,19% (2034) [5].
- Acumulados (2014 a 2023) de 1134 milhões de euros relativamente aos valores que se observariam sem a implementação da RAV [5].

3

Ruído de Comboios de Alta Velocidade

3.1 EMISSÃO

As principais fontes de emissão de ruído são:

- O ruído de rolamento, que é composto por:
 - A interacção entre as rodas e carris.
 - Ruído de propulsão das locomotivas e o seu motor, caixa de mudanças, sistema de exaustão (motor a diesel) ou controlo de tracção (motor eléctrico).
 - Ruído de equipamento auxiliar como sistema de refrigeração do motor, compressores ou ar condicionado.
- Ruído aerodinâmico, normalmente a partir dos 300 km/h.

A monitorização do ruído de infra-estruturas ferroviárias tem como principais objectivos:

- Avaliar as emissões acústicas das ferroviárias em exploração; esta avaliação quantificará os níveis sonoros junto dos receptores sensíveis, comparando-os com os máximos permitidos na legislação e identificará populações expostas a níveis não regulamentares
- Identificar necessidades de execução de acções de redução de ruído, face à avaliação efectuada.
- Verificar a eficácia real das acções executadas.

3.1.1 RUIÍDO DE ROLAMENTO

À medida que as necessidades de transporte aumentam, aumentam os impactes ambientais de tais tipos de transporte. Os caminhos-de-ferro são uma opção normalmente amiga do ambiente pois uma grande quantidade de passageiros é transportada sem que se despenda uma grande quantidade de energia.

Contudo o ruído gerado pela alta velocidade é um dos seus pontos fracos. A construção de novas linhas de alta velocidade tem provocado a resistência das populações locais e os seus promotores tem cada vez mais isso em consideração e muitos dos projectos de alta velocidade da Europa tem sido afectados deste modo. Sem reduzir o nível individual dos comboios de alta velocidade, esta legislação acabará implicar uma redução quer a nível de tráfego quer á velocidade de tráfego. As barreiras acústicas que são a forma mais usual de minimizar o problema já estão amplamente expandidas. Contudo estas têm algumas desvantagens uma vez que podem ser visualmente intrusivas para os

residentes bem como para os passageiros, e o seu preço é elevado (o preço das barreiras acústicas está balizado entre os 110 e 150 €/m² [6].

Com a crescente preocupação na comunidade da alta velocidade, métodos para a redução de ruído na fonte são necessários. Uma vez que as infra-estruturas ferroviárias têm uma esperança média de vida de 30 anos a sua concepção para uma baixa emissão de ruído é fundamental, uma vez que um custo inicial superior pode ser facilmente amortizado durante a sua vida, com vantagens ambientais evidentes. Para tal é necessário um elevado conhecimento de como é gerado o ruído na fonte, são necessários modelos computacionais detalhados que nos permitam perceber a geração de ruído, no intuito de poder desenvolver rodas e carris que produzam pouco ruído [10]. O ruído de rolamento é uma das principais fontes de ruído. Este tipo de ruído contém elevada energia entre as bandas de frequência de 200 Hz e 5000 Hz e utilizando a curva de ponderação «A» o ruído é mais significativo nas bandas 1 kHz e 2 kHz, dependendo da velocidade. A fig. 10 mostra curvas de pressão sonora mais frequentes medidas a 25 m da linha em função da velocidade. É de notar que para uma velocidade «V», há um aumento no nível de pressão sonora a uma taxa de $30 \log V$. Para uma velocidade superior a 300 km/h o ruído aerodinâmico torna-se dominante, que depende altamente da velocidade como se pode constatar na fig. 9 através do aumento do declive da curva verificado a partir dos 300 km/h. A fig. 11 mostra que o ruído provocado por veículos com travões normais é bastante superior aos provocados por veículos com travões de disco puro ou de tambores [6].

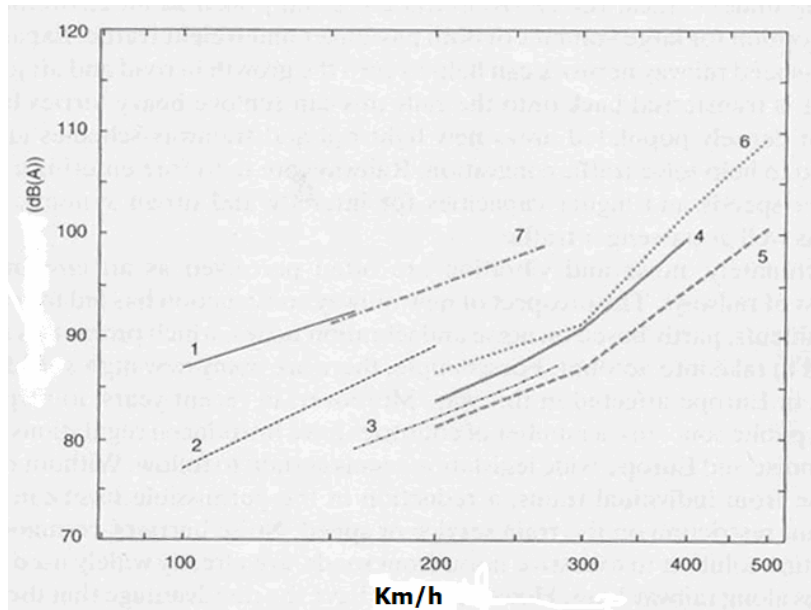


Fig. 11– Nível de pressão sonora a 25 m da linha em função da velocidade de diferentes tipos de comboios. 1 BR Mk II (travões normais). 2 BR Mk III (travões de disco). 3 Talgo (travões de tambor). 4 ICE (travões de disco). 5 TGV-A (travões de disco). 6 TGV-A. 7 TGV-PSE [6].

O fenómeno de geração de ruído entre a roda e os carris pode ser explicado uma vez que a superfície de contacto entre os dois não é completamente lisa e homogénea, mas contém rugosidades de pequena amplitude, o que provoca uma vibração relativa entre rodas e carris. Existem vários modelos teóricos que explicam este fenómeno e mesmo programas computacionais desenvolvidos para avaliar este fenómeno, como é o caso do programa TWINS (*Track Wheel Interaction Noise Software*) [6].

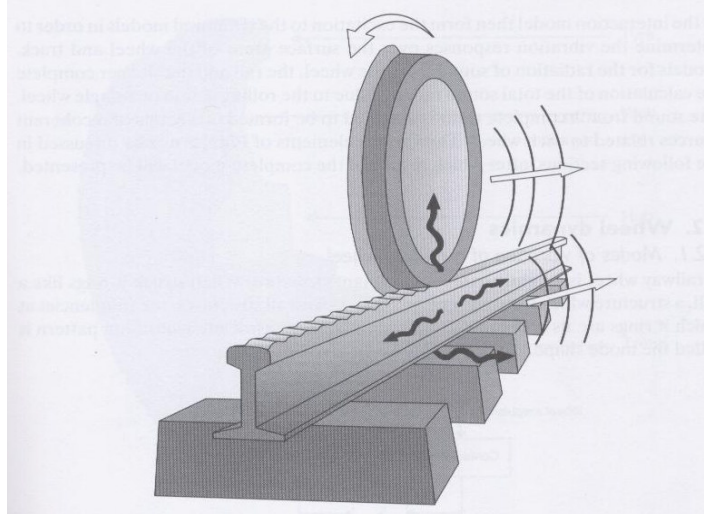


Fig. 12 - Ruído de interação roda/carril [6].

Modelos de geração de ruído de rolamento mostram que as rodas, carris e solipas (que são as travessas em forma de paralelepípedo em que assentam os carris podem ser em madeira ou mais recentemente estas são realizadas em betão, peças pré-fabricadas, são normalmente assentes nas em camadas de forma, normalmente brita, ou mesmo no solo, quando este se encontra fortemente consolidado) podem ser emissores significantes ruído em baixos níveis de frequência, fig. 10. Estes modelos têm se mostrados suficientemente sofisticados para permitir conceber rodas e carris que provocam um baixo nível de ruído, assunto que será tratado no ponto 3.2.1.1 *Medidas Mitigadoras Interação entre Rodas e Carris*.

3.1.2 RÚIDO AERODINÂMICO

O ruído aerodinâmico começa a ganhar importância a partir de uma velocidade de circulação 300 km/h. As fontes de ruído aerodinâmico têm importância apenas em comboios que circulem a altas velocidades, o que acontece geralmente longe das zonas urbanas. Contudo há aspectos significantes no ruído aerodinâmico que tornam importante o seu estudo. A velocidade tende a aumentar no futuro, se a alta velocidade quiser concorrer com outros meios de transporte em longas distâncias, o que agrava a problemática em estudo [8].

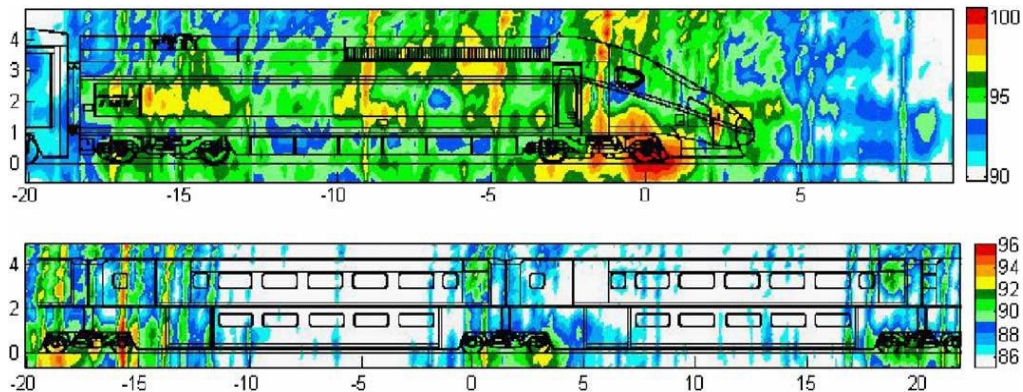


Fig. 13 - Mapa de ruído do TGV à velocidade de 300 km/h na banda 1/3 de oitava dos 1250 Hz [16].

Adicionalmente se se conjugar a hipótese de utilizar barreiras acústicas para mitigar o ruído da interacção das rodas e carris, esta hipótese irá aumentar o efeito de ruído aerodinâmico que passa por cima da barreira. A redução ao nível do ruído nas fontes mecânicas tem um grande significado comparativamente ao ruído aerodinâmico para baixas velocidades, o que gerar um limite abaixo do qual não se pode reduzir o ruído sem acautelar o ruído aerodinâmico [8].

A turbulência do fluxo de ar, que pode ser causado por muitas partes do veículo, pode tornar-se na principal fonte do ruído aerodinâmico (figuras 13 e 14). O ruído emitido pelo comboio é resultado do fluxo de turbulência do ar que pode ser separado em ruído radiado directamente pelo fluxo e ruído gerado indirectamente pelas superfícies excitadas pelo fluxo que entram em vibração.

As principais contribuições do ruído são causadas pela interacção entre as rodas e carris. O ruído de propulsão das locomotivas e equipamento auxiliar é geralmente dominante com o comboio parado, ou em marcha a baixas velocidades, o ruído aerodinâmico ganha relevância a partir de altas velocidades. Existem no entanto outras formas de ruído mais específicas, como o ruído em curva ou o ruído das travagens, embora com menor relevância a nível da resultante final do ruído.

As irregularidades microscópicas e rugosidade das rodas e carris provocam uma excitação do sistema roda/carril que induzem vibrações responsáveis pelo ruído de rolamento gerado. Cada componente envolvido tem uma forma de vibração típica o que irradia ruído de diferentes distribuições espectrais. A locomotiva contribui principalmente para ruído de baixas frequências, normalmente entre os 200 e 400 Hz. As solipas irradiam um som na ordem dos 500 Hz. Os carris contribuem para um ruído de média frequência entre os 750 e 1500 Hz e o ruído das rodas é em altas frequências entre os 2 e 4 kHz.

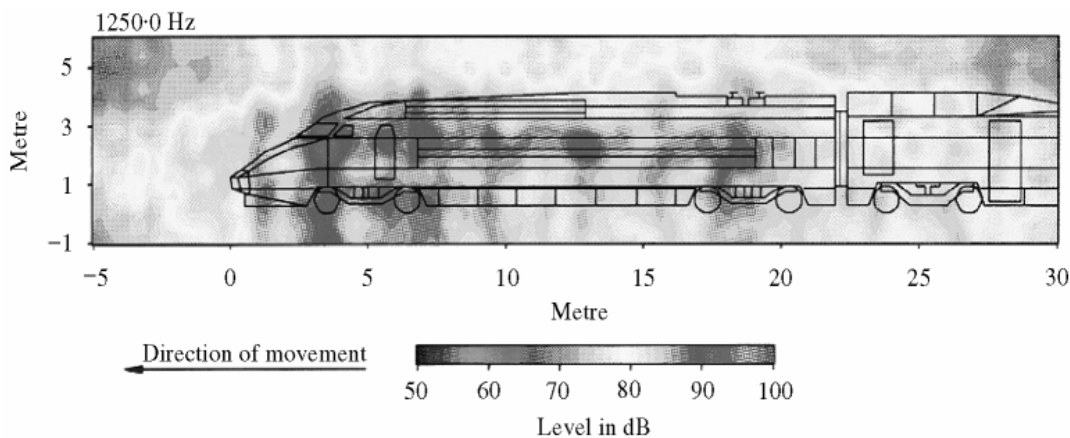


Fig. 14 – Mapa de ruído aerodinâmico do TGV obtido por medições com antenas nos 1250 Hz [8].

A potência (W) de várias fontes de ruído aerodinâmico depende da velocidade de circulação do comboio na relação:

$$W \approx V^\varphi$$

Os vários componentes dos comboios de alta velocidade podem ser classificados consoante a sua forma para avaliação do ruído aerodinâmico por estes gerados. Esta classificação está dividida em polar, bipolar ou quadripolar para comboios reais e está baseada em métodos empíricos, medidos usando técnicas experimentais avançadas como conjuntos de microfones colocados em pontos de passagem dos comboios ou túneis de vento.

Para uma fonte de ruído polar, como o fluxo de ar que passa num tubo de exaustão, φ toma o valor de 4. Para uma fonte bipolar como a criação de um vórtex a partir de um cilindro, φ é igual a 6. A partir

de uma fonte quadripolar como o fluxo do vento, φ é 8. Estes tipos de medições podem ser complementados com o uso de métodos computacionais de fluidos dinâmicos, que estão neste momento em rápido desenvolvimento e com grande aplicabilidade a problemas reais de elevada complexidade [12].

3.1.3 IMAGEM ACÚSTICA

As medições do ruído produzido pelos comboios de alta velocidade em rápido movimento são uma importante área de pesquisa em franco desenvolvimento. A potência do som dissipado é proporcional ao cubo da velocidade, sendo o ruído causado pelos comboios de alta velocidade bastante mais elevado que o dos demais comboios. Medições acústicas podem indicar-nos exactamente de onde o ruído provém, com importância em diversas aplicações:

- Avaliação do Impacto Ambiental: É usada para o desenvolvimento de esquemas de previsão do ruído para avaliação dos níveis de emissão de ruído ao longo da linha da alta velocidade;
- Projecto de Barreiras Acústicas: É usada para avaliar a eficácia das barreiras acústicas consoante as suas características, que tem a intenção de reduzir o ruído junto das zonas habitadas e outras situações sensíveis.
- Projecto do Comboio: Identifica as principais fontes de ruído, como melhorar o design aerodinâmico e a blindagem do comboio de forma a reduzir a emissões sonoras para o ambiente.

3.1.3.1 Como é o ruído medido?

As imagens acústicas, uma das formas de medir o ruído, podem ser obtidas com o *SYNTACAN*, sistema composto de antenas acústicas do *TNO Institute for Applied Physics (TNO-TPD)* em Delft, na Holanda.

O *SYNTACAN* é concebido para medições do ruído altamente direccionais. O sistema completo é composto por 36 microfones dispostos ao longo de 80 metros igualmente espaçados (figuras 15 e 16). As medições são registradas em computador e junto à linha são colocados mais dois instrumentos: um radar com velocímetro, para a medição da exacta velocidade do comboio e uma fonte de ruído artificial para calibrar e alinhar a antena acústica.

Usando a técnica de análise bidimensional de Fourier, o campo sonoro é decomposto em frequências dependendo da contribuição em diferentes direcções, que podem ser associadas a fontes de som parciais. O sistema *SYNTACAN* permite medições em 1/1 banda de oitava de 125 até 2000 Hz com resolução de 1/12 banda de oitava.

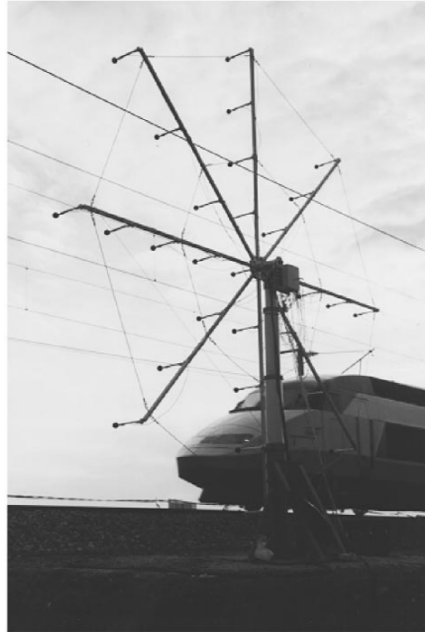


Fig.15 – Antena SYNTACAN para medição do ruído [11].

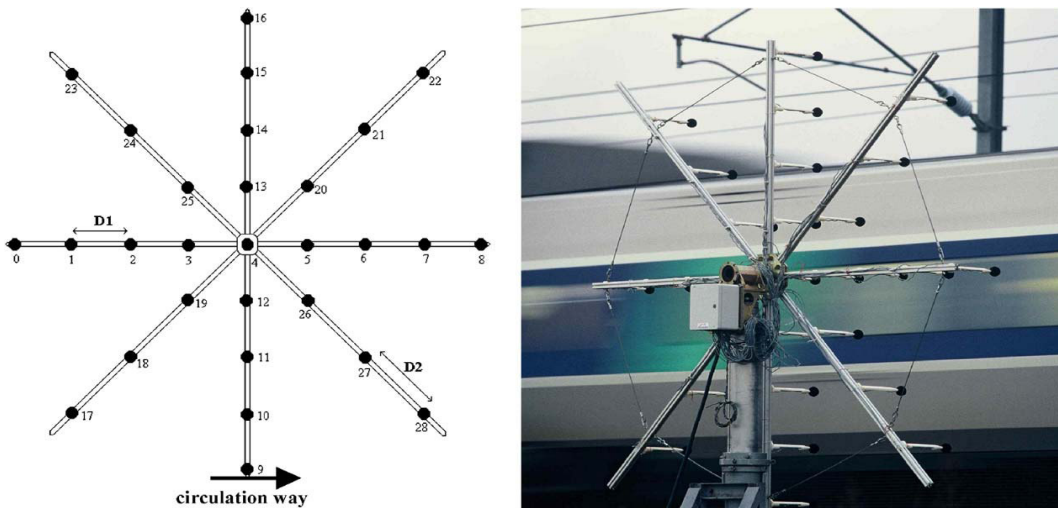


Fig. 16 – Antena SYNTACAN para medição do ruído [11].

3.1.3.2 Imagens Acústicas do TGV Atlântico

Depois de realizado o processo acima descrito, uma série de dados são recolhidos usando o conjunto de microfones e pode ser gerada uma imagem do comboio como se olhos humanos fossem capazes de visualizar as fontes sonoras (fig. 17). A imagem não se parece muito com o seria de esperar do TGV Atlântico, mas se se observar com atenção, existem vários pontos de interesse nesta imagem.

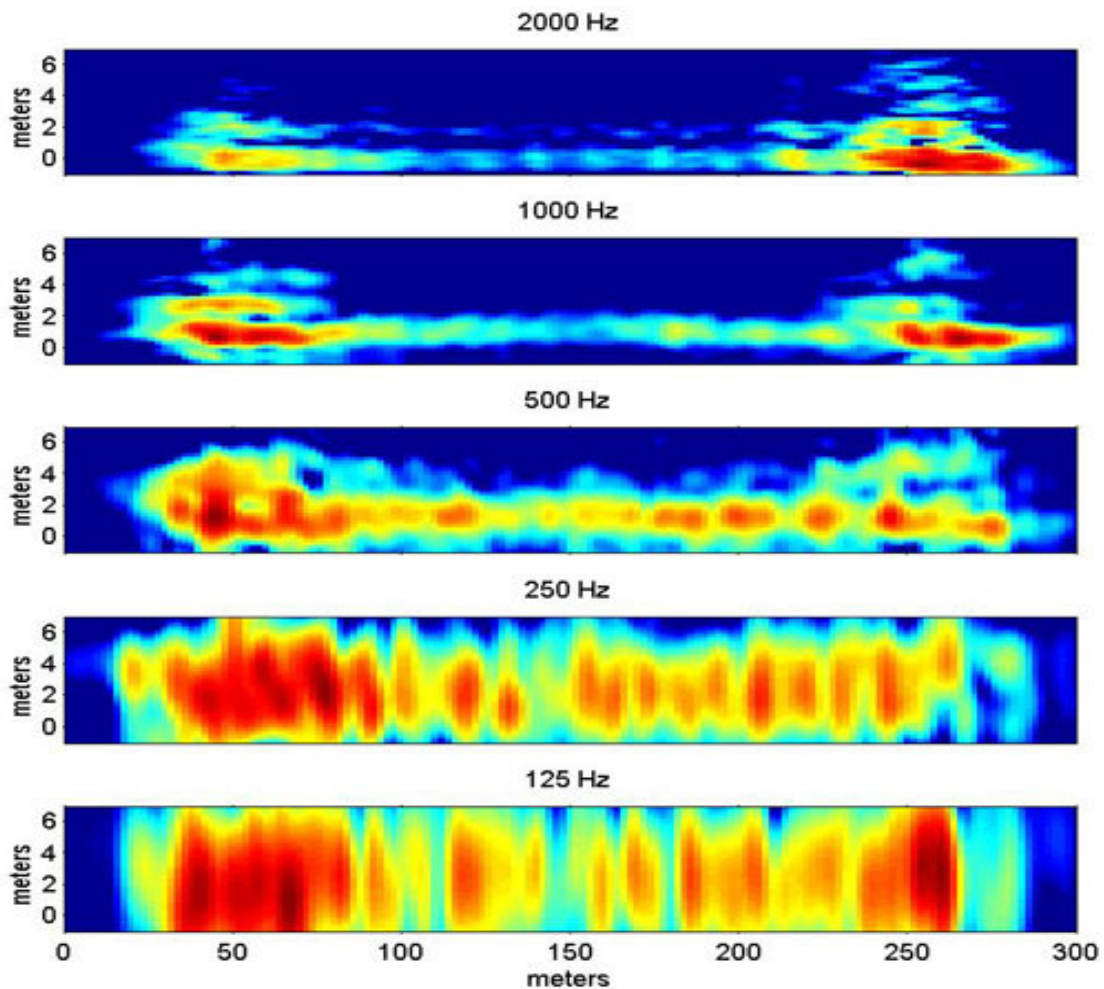


Fig. 17 – Imagem acústica do TGV Atlântico [15].

O que se pode ver na fig. 17, é essencialmente uma visão das zonas laterais do comboio a duas dimensões, em cada banda de oitava. A banda de frequência para cada imagem, está indicada acima desta. As imagens representam a medida do nível de pressão sonora na posição da antena, em função da altura e posição lateral ao longo do comboio. A pressão sonora mais elevada corresponde ao vermelho (ruído mais intenso), enquanto que o azul-escuro corresponde ao nível de pressão sonora mais baixa (ruído menos intenso). As imagens são diferentes a consoante banda de oitava, pois varia a importância das características de radiação das fontes sonoras e a fonte de radiação que gera o ruído. A maior parte da emissão acontece ao nível da linha (0 metros na escala vertical).

O ruído aerodinâmico distribui-se ao longo do comboio. A potência sonora é claramente a mais elevada que resulta nas manchas vermelhas em ambos os lados da imagem.

Usando este tipo de imagens, é possível conceber comboios menos ruidosos, melhores barreiras acústicas e estimar melhor o impacto do ruído das linhas de alta velocidade [15].

3.2.1 MODELOS DE PREVISÃO

A previsão de ruído nas imediações das linhas de alta velocidade é de extrema importância quando uma nova linha está a ser projectada. Uma das primeiras reacções das pessoas que vivem na

proximidade é acerca do ruído gerado e qualidade ambiental junto das suas habitações. Também o impacto do ruído junto a edifícios sensíveis, como é o caso de hospitais, escolas, lares de idosos, ou casas para pessoas com necessidades especiais, deve ser considerado [8]. Outro aspecto a considerar é a poluição ambiental junto da natureza. Não será portanto solução para evitar o ruído junto das populações desviar as linhas para zonas protegidas sob o ponto de vista ambiental [6].

Os modelos de previsão são geralmente baseados em fórmulas empíricas. O modelo de previsão de ruído deve conter duas partes principais:

- Modelo de descrição do ruído na fonte;
- Modelo de propagação;

A primeira parte de um modelo de previsão genérico é a descrição do conjunto carris/veículos como objecto gerador de ruído, que pode ser descrito como uma fonte de ruído ou a combinação de diferentes fontes de ruído. Cada fonte tem uma potência sonora à qual tem que ser atribuída uma posição e peso. Também a relação entre a velocidade e diferentes tipos de linhas tem que ser descrita e por fim também o tipo de comboio.

Modelos de propagação acústica são muito gerais. O modelo de propagação dá a descrição da atenuação sonora desde a fonte até ao receptor. Com o objectivo de prever o nível sonoro num ponto receptor particular desde uma fonte sonora conhecida, utilizamos a teoria acústica de um espaço aberto. A fórmula de previsão usada para o cálculo do nível sonoro é:

$$L_{A,eq} = L_{WE} - A_{propagação} \quad (1)$$

Em dB/oitava ou dB(A). Em que $L_{A,eq}$ é o nível sonoro equivalente no ponto receptor, L_{WE} é a potência da emissão sonora na fonte e $A_{propagação}$ é a atenuação sonora da propagação do som. A descrição da propagação sonora desde a fonte até ao receptor está presente em diferentes modelos de propagação [6].

Aconselha-se que os modelos a adoptar para a previsão de ruído sigam o método de cálculo recomendado na Directiva 2002/49/CE, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, para ruído de tráfego ferroviário (Standaard Rekenmethod II – método holandês). O método francês (NMPB-fer) pode igualmente ser adoptado uma vez que cumpre idênticos critérios de validade técnica.

Os pontos de medição devem localizar-se junto dos receptores sensíveis que previsivelmente estão expostos a valores não regulamentares. Relativamente a estradas que tenham sido sujeitas a AIA, interessa monitorizar os receptores identificados no EIA como alvo de medidas de minimização, os receptores para os quais foram previstos níveis sonoros próximos dos valores regulamentares, e outros eventualmente referidos no relatório da Comissão de Avaliação.

Na generalidade das situações, as medições devem ser efectuadas no exterior a, pelo menos, 3,5 m de qualquer estrutura reflectora e a uma altura do solo entre 1,2 e 1,5 m, tal como indicado no ponto 5.2.1 da parte 1 da NP 1730.

Nos aglomerados,

- devem ser seleccionados os receptores considerados mais expostos. Num tipo de povoamento disperso com receptores em situações aproximadas de exposição,
- deve ser seleccionado o receptor considerado mais exposto; casos sejam detectados valores acima dos regulamentares, deve monitorizar-se o receptor seguinte.

Em receptores protegidos por barreiras acústicas,

- devem ser seleccionados os mais próximos dos extremos das barreiras e, caso se detectem valores superiores ao(s) valor(es)-objectivo no(s) qual(ais) se baseou o dimensionamento da barreira (valores regulamentares ou não), deve monitorizar-se o receptor seguinte no sentido

da zona que previsivelmente esteja mais protegida (nos casos mais comuns, a zona mais central da barreira);

- em edifícios de dois ou mais pisos, caso se detectem, ao nível do rés-do-chão, valores superiores aos valor(es)-objectivo, deve monitorizar-se, sempre que possível, o piso superior; nesses casos as medições realizam-se de acordo com o ponto 5.2.2 da parte 1 da NP 1730, subtraindo-se ao resultado, regra geral, 3 dB de forma a obter dados comparáveis.

Para a selecção dos pontos de medição há que ter ainda em atenção a minimização da influência de outras fontes sonoras, em especial de outras rodovias que não estejam em avaliação.

Idealmente as medições devem ser efectuadas em contínuo e por períodos de 2 dias (consecutivos ou não), no mínimo. Os resultados destas medições devem ser discriminados pelos períodos de referência. A obtenção de medições representativas, recorrendo à técnica de amostragem, pode revelar-se de alguma dificuldade prática dado ser estritamente necessário garantir que:

- O número de passagens de composições contabilizadas durante a amostragem seja proporcional ao respectivo número (médio) de passagens/dia na linha;
- Os diferentes tipos de composições sejam incluídos na amostragem. A duração total da amostra é função destas condicionantes.

Alternativamente, se tal se revelar mais prático no caso em estudo, pode optar-se por realizar medições de “acontecimentos discretos de ruído” (sendo um “acontecimento discreto de ruído” a passagem de cada tipo de composição). Esta metodologia é, no entanto, tanto mais fiável quanto mais próximo o ponto de medição (receptor) se localizar da ferroviária, facilitando a percepção do “acontecimento” e minimizando a influência de outras fontes sonoras. Os passos a efectuar são os seguintes:

- Em cada medição de um “acontecimento” deve registar-se o LAE (nível de exposição sonora). Para cada tipo de “acontecimento”, o cálculo do nível sonoro contínuo equivalente pode ser obtido aplicando a fórmula constante do ponto 5.4.5 da parte 1 da NP 1730.
- Efectuar medições representativas do ruído residual de um “dia médio”.
- Calcular $L_{Aeq,T}$ para um “dia médio” utilizando a fórmula

$$L_{Aeq,T} = 10 \text{Log} \left[\frac{1}{T} \sum t_i \times 10^{\frac{L_{Aeq,ti}}{10}} \right] \quad (2)$$

onde, T é a duração do período de referência; $L_{Aeq,ti}$ é o nível sonoro contínuo equivalente de cada tipo de “acontecimento” relativo à duração acumulada desse “acontecimento”, bem como do ruído residual.

Independentemente do tipo de metodologia adoptada (medição em contínuo, técnica de amostragem ou medição de “acontecimento discreto”), em caso de ocorrerem flutuações significativas de tráfego - diárias, semanais, sazonais - deverão efectuar-se medições em mais dias ou obter-se mais amostras para caracterizar estes regimes de circulação ferroviária. O objectivo é determinar um valor de $L_{Aeq,1ano}$ e $L_{Aeq,1mês}$ do mês mais crítico.

Caso contrário, o valor obtido de $L_{Aeq,T}$ para um “dia médio” pode ser considerado válido para um período anual.

Durante as medições devem ser registados:

- Número de passagens, por tipo de composição
- Velocidade média de circulação, por tipo de composição
- Condições meteorológicas (de acordo com o ponto 4.2.5 da parte 3 da NP 1730).

O recurso a modelação afigura-se ser uma metodologia preferencial quando se tratar de troços ferroviários extensos e com muitos receptores potenciais em situações de exposição diversas.

A maioria dos modelos necessita, como dado de entrada, do número de passagens por período de referência (diurno ou nocturno), por tipo de composição, o qual, para a generalidade dos casos, deve ser obtido a partir do tráfego estabelecido para a via em causa, num dia útil (“dia médio”).

Nestas condições, o período temporal da previsão reporta-se a um ano.

Caso a ferrovia apresente marcadas flutuações semanais ou sazonais de tráfego, o número de passagens, por período de referência e por tipo de composição, necessário para o modelo, deve resultar da média ponderada do tráfego de dia útil e de fim-de-semana, em horário de Verão e de Inverno.

Nestas condições, o LAeq,T assim determinado pode ser assumido como representativo de um período anual; o período temporal da previsão reporta-se, portanto, a um ano.

Adicionalmente, deve ser calculado o valor de LAeq,1mês considerando o número de passagens, por período de referência e por tipo de composição, calculado a partir da média ponderada do tráfego de dia útil e de fim-de-semana do semestre com maior tráfego.

3.2.2 INDICADORES DE RÚIDO

Os indicadores de ruído são escalas físicas que têm como objectivo a descrição do ruído que tenham uma relação com um efeito prejudicial. No presente ponto faz-se a descrição dos indicadores de ruído mais relevantes para a avaliação do ruído em comboios de alta velocidade.

3.2.2.1 Incomodidade

Incomodidade é o termo usado para descrever as sensações negativas associadas ao ruído. Uma vez que incomodidade pode ter significados diferentes para pessoas diferentes, é importante definir incomodidade de forma mais precisa. Geralmente incomodidade é definida como a sensação negativa relativa ao ruído que um largo número de pessoas sente. Não existe uma escala internacional para incomodidade [6].

Um índice de ruído deve estar relacionado com a percepção de incomodidade, antes de quaisquer cálculos. Para avaliar a incomodidade devemos o nível sonoro equivalente durante o período diurno e nocturno e o máximo nível sonoro durante a passagem do comboio. Outro factor importante é definir o estado do tempo que se usa para fazer a avaliação.

3.2.2.2 Nível sonoro

O decibel é a unidade que está associada ao ruído. É usada para descrever variações de pressão e intensidade sonoras, e é usada em escala logarítmica. O parâmetro acústico mais usado para caracterizar o ouvido humano é o filtro «A» em dB (A). O ouvido humano ouve nas frequências entre 20 Hz e 20 kHz, diminuindo esta amplitude com a idade, principalmente nas altas frequências [6].

3.2.2.3 Nível Sonoro Máxima $L_{A,máx}$

O nível sonoro máximo é o valor máximo num certo espaço de tempo usando a média da raiz quadrada da pressão sonora obtida usando um rápido indicador característico, expresso em decibéis.

O nível de pressão sonora máxima é usualmente mais próximo da correlação de um ruído de curta duração associado a um determinado evento do que a escolha de uma pressão sonora [6].

3.2.2.4 Nível sonoro Equivalente $L_{A,eq}$

Para qualquer tipo de flutuação, a média linear da raiz média quadrada da pressão sonora dá o mesmo valor do nível sonoro para um som com a mesma quantidade de energia física durante um determinado período de observação. A média do nível sonoro é uma média linear da pressão sonora pelo método da

raiz quadrada num longo período de tempo expresso em decibéis. A média do nível da pressão sonora num determinado período de tempo não é o mesmo que média de máximos níveis sonoros separados de uma sequência de eventos que ocorram dentro do mesmo período de tempo.

O nível sonoro ponderado com o filtro «A» é a base do sistema de harmonização do indicador de ruído ambiental na Europa [6].

O nível sonoro equivalente ao longo do tempo é cálculo usando um modelo de previsão que pode ser comparado com medições de um determinado número de veículos em movimento. O nível sonoro equivalente é definido pela fórmula:

$$L_{eq} = 10 \log \left[\left(\frac{1}{T} \right) \int \left(\frac{P(t)}{P_0} \right)^2 dt \right] \quad (3)$$

Em dB ou dB(A), onde P é a pressão sonora, P₀ é a pressão sonora de referência de 20μPa e T o intervalo de tempo. O tempo de avaliação pode ser de 4, 8, 12 h ou outro. De facto a duração deste intervalo não é relevante, pois o nível sonoro equivalente é uma média energética ao longo do tempo [6].

A melhor forma de determinar completamente a energia sonora radiada de um comboio é medir o nível de exposição sonora *SEL* (*sound exposure level*), que é definido como nível de ruído constante durante o período de tempo de 1 s com a mesma energia acústica que a energia recebida. O *SEL* é igual a:

$$SEL = 10 \log \left[\int \left(\frac{P(t)}{P_0} \right)^2 dt \right] \quad (4)$$

Em dB ou dB(A). Para determinar o nível sonoro equivalente a partir do nível de exposição sonora, pode ser usada a fórmula:

$$L_{eq} = SEL + 10 \log \left(\frac{Q}{T} \right) \quad (5)$$

Em dB ou dB(A), onde Q é o número de unidades a passar durante o período em análise, expresso como o número unidade de tempo T é o período de tempo, na mesma unidade de tempo. O nível de exposição sonora é igual ao nível sonoro equivalente quando Q/T é igual a 1. A maior parte das vezes são necessárias medições da radiação sonora vertical para definir o som das várias fontes. As medições para determinar a radiação sonora vertical podem ser realizadas usando antenas acústicas (figs. 15 e 16).

3.2.2.5 Indicadores Estatísticos

O indicador estatístico L_{An} é definido como o nível sonoro que é excedido em n por cento do período de observação definido. O nível sonoro que é definido com *input* para análises estatísticas é o nível determinado na média de um curto período exponencial da raiz quadrada da pressão sonora, obtida um rápido indicador característico expresso em dB(A). Na maior parte dos casos o indicador usado é o L_{A95}. Vários países usam o L_{A10}, o L_{A50} ou o L_{A90}. O indicador L_{A50} foi utilizado entre o ano de 1987 e 2000. O L_{A95} ou L_{A90} caracteriza o ruído de fundo, enquanto que o L_{A5} ou L_{A15} caracteriza o ruído máximo.

O nível estatístico não é usado como indicador de incomodidade em comboios [6].

3.2.2.6 Indicadores Básicos $L_{A,day}$, $L_{A,evening}$, L_{Anight} e $L_{A,24h}$

O indicador usado para definição de políticas estratégicas para o ruído ambiental é o nível sonoro equivalente durante um período do dia ponderado com um filtro «A». Este período pode ser o período diurno (*daytime*), o entardecer (*evening*) ou o período nocturno (*night*), normalmente estes indicadores são expressos na língua inglesa. O período de tempo destes indicadores é geralmente tema de alguma controvérsia.

Em Portugal por força Decreto-lei n.º 9/2007 é o período do diurno é das 7h00 às 20h00, o entardecer das 20h00 às 23h00 enquanto que o período nocturno é das 23h00 às 7h00. O indicador $L_{A,24h}$ é o nível sonoro equivalente durante um período de 24 horas, ponderado usando um filtro «A» [6].

3.2.2.7 Indicador Composto L_{den}

Com os três indicadores de dia, final de tarde e noite é possível definir um indicador relevante para as 24 horas do dia. O indicador L_{den} pode ser determinado calculando a média a longo tempo do $L_{A,eq}$ para o dia, final da tarde e noite. Deve-se no entanto considerar uma penalização de 5 dB(A) para o final da tarde e de 10 dB(A) para a noite [6]. O indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno (L_{den}) é dado pela expressão.

$$L_{den} = 10 \times \log \frac{1}{24} \left[13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right] \quad (6)$$

3.2.3 MÉTODO DE MEDIDA

O controlo do ruído é um dos maiores problemas que as autoridades das linhas de alta velocidade ferroviária se deparam ao nível de gestão de infra-estruturas do ponto de vista da legislação ambiental. A chegada dos comboios de alta velocidade implica um crescente tráfego nocturno, maiores velocidades e consequente ruído é um ponto de preocupação geral. Muito trabalho tem sido feito para reduzir o ruído na alta velocidade mas muitas questões estão ainda por resolver.

Um dos maiores problemas para o controlo do ruído é o da metodologia de medição. A compreensão dos mecanismos que geram o ruído e das suas técnicas de medição estão na base da criação de produtos que reduzam o ruído na alta velocidade.

Existem diferentes técnicas de medição do ruído no interior e exterior do comboio, contudo só os do último tipo interessam neste trabalho, como é o caso dos túneis de vento (fig. 18). Conhecer os mecanismos de geração de ruído é essencial para determinar a técnica mais apropriada para medir o ruído.

O nível de ruído medido é o resultado da soma das várias componentes de ruído envolvidas, a sua decomposição permite-nos uma melhor compressão do resultado final obtido numa medição. Tomemos como exemplo uma medição do nível de pressão sonora usando o filtro «A», temos que o ruído total é de 83,9 dB. A contribuição rodas é de 80,0 dB, a dos carris é de 79,4, a da locomotiva é 70,1 e as outras contribuições são muito baixas. Se reduzirmos o ruído dos carris em 3 dB, para 76,4 dB o decréscimo a nível do ruído total é inferior a 1 dB, abaixo daquilo que esperávamos. A emissão de ruído varia devido a factores como o tipo de veículo, a sua velocidade e a distância [6].

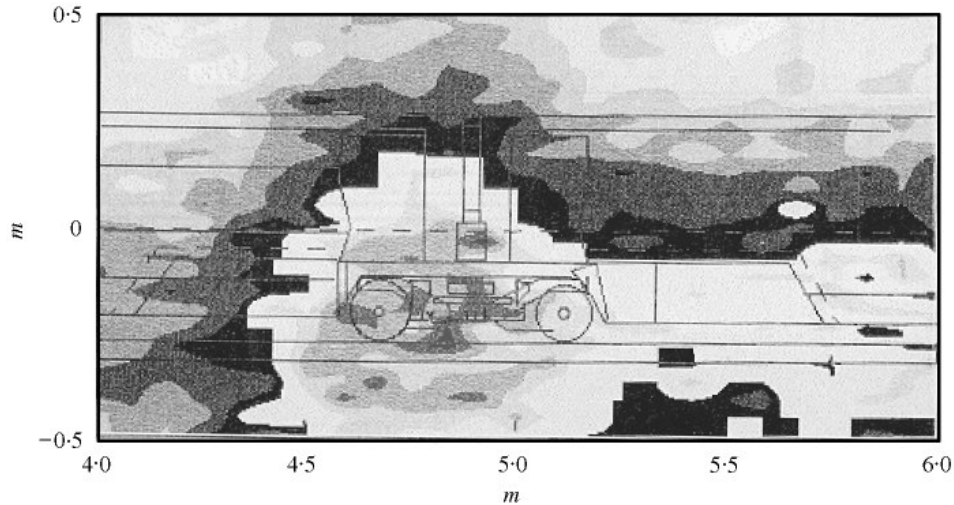


Fig.18 – Resultado de medição em túnel de vento [10].

3.2.4 MODELO DE DESCRIÇÃO DO RUÍDO NA FONTE

A descrição da fonte de ruído é função do nível de potência sonora e está dependente da sua posição. É claro que o conhecimento do nível de potência sonora de diferentes fontes sonoras é essencial, como o ruído gerado pela interação das rodas e carris ou o ruído aerodinâmico. A altura da fonte sonora acima dos carris ou do solo é essencial para o cálculo da propagação sonora entre a fonte e o receptor. Uma fonte sonora numa posição elevada, por exemplo, vai ter uma menor atenuação devido á absorção sonora do solo. Ou mesmo o uso de uma barreira acústica vai provocar uma atenuação sonora na fonte. O nível de emissão sonora está dependente do tipo de comboio, da velocidade e do número de veículos que passam. O nível de potência sonora do comboio pode ser descrito pela seguinte fórmula empírica:

$$L_{w,n} = \alpha_n + \beta_n \log\left(\frac{V}{V_0}\right) + C_{r,n} \quad (7)$$

Onde $L_{w,n}$ é o nível de potência sonora do comboio em dB ou dB(A), α_n é o nível de pressão sonora emitido por um veículo, dependente na altura da fonte e na frequência, β_n é o valor do nível de pressão sonora emitido em cada fonte função da velocidade e da frequência, V é a velocidade do veículo em km/h, V_0 é a velocidade de referência em km/h e $C_{r,n}$ é a correcção para diferentes tipos de carris em dB por oitava ou em dB(A).

O nível de emissão equivalente de uma linha de alta velocidade ou o nível de emissão de diferentes fontes de ruído da linha é igual a:

$$L_{weq,n} = L_{w,n} + 10 \log\left(\frac{Q}{V}\right) + C_{r,n} + 30 \quad (8)$$

Onde $L_{weq,n}$ nível sonoro equivalente de potência emitida pelo comboio em dB/m por oitava ou em dB(A)/m e Q é o número de comboios ou fluxo de tráfego em número/h.

Na fig. 19 é dado o exemplo do nível de emissão sonora equivalente do ruído de um comboio de alta velocidade operando à velocidade de 250 km/h. Este nível de emissão foi calculado para a passagem de um comboio por hora, que é composto por dez carruagens e duas locomotivas.

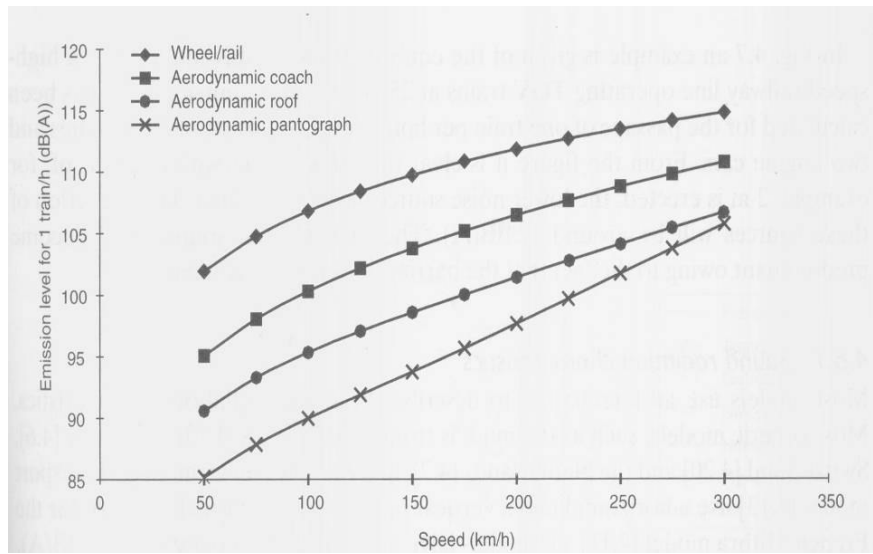


Fig. 19 – Níveis de emissão do comboio *Thalys*, consistindo em duas locomotivas e dez carruagens à velocidade de 250 km/h [6].

3.2.5 MODELO DE PROPAGAÇÃO

Para calcular a propagação do ruído pode-se utilizar a seguinte expressão:

$$L_{A,eq} = L_{WE} - \Delta_{div} - \Delta_{ar} - \Delta_{solo} - \Delta_{barreira} - \Delta_{misc} - C_{refl} - C_{meteorológico} - 25 \quad (9)$$

Em em dB(A). Em que $L_{A,eq}$ é o nível sonoro equivalente no ponto receptor, o L_{WE} é a emissão sonora do ruído na fonte por metro ou nível de potência sonora por metro; Δ_{div} é a atenuação sonora por divergência geométrica; Δ_{ar} é a atenuação sonora devido à absorção atmosférica; $\Delta_{barreira}$ é a atenuação sonora devido à existência de uma barreira acústica ou qualquer outro obstáculo vertical; Δ_{misc} é a atenuação acústica devido a qualquer outro elemento adicional; C_{refl} é a correcção acústica devido a reflexões sonoras; C_{meteo} é a correcção devido a efeitos meteorológicos e o 25 é a constante relacionada com as unidades e outras correcções.

Estes factores de correcção são dependentes das unidades usadas, se usarmos km em vez de m, a definição de divergência geométrica virá em radianos em vez de graus.

A propagação do som ao ar livre é como vimos influenciada por vários factores que contribuem para a sua atenuação, uma vez que este assunto foge ao âmbito do presente trabalho, recomenda-se para melhor compressão e aprofundamento deste fenómeno a consulta da bibliografia apropriada. A título de exemplo tal fenómeno encontra-se documentado em «Acústica Ambiental e de Edifícios» (6ª Edição), de António Oliveira de Carvalho (FEUP) [2].

3.3 MEDIDAS MITIGADORAS

3.3.1 NA FONTE

Como foi referido no ponto 3.1.1 o ruído de rolamento é a fonte de ruído dominante nas operações de alta velocidade ferroviária a velocidades baixas e moderadas. O ruído aerodinâmico tem o seu maior crescimento com a velocidade e assume igual importância ao ruído da interação rodas carris a uma velocidade de 300 km/h. Portanto a discussão da redução de ruído na fonte a baixas velocidades concentra-se no ruído de rolamento [6].

3.3.1.1 Ruído de Rolamento

Antes de tentar encontrar formas de reduzir o ruído na interação entre as rodas e carris é fundamental perceber a importância relativa das várias fontes no fenómeno. Uma efectiva redução no ruído provocado pelas rodas (fig. 20) pode ter um pequeno impacto na redução do ruído gerado pelo conjunto em situações em que o ruído dos carris é predominante. Mais crítico é o aumento do ruído global provocado pelo aumento do ruído numa fonte gerado no intuito de reduzir a outra.

Existem vários métodos para reduzir o ruído da interação das rodas e carris como: amortecimento, modificações estruturais e isolamento que reduza as vibrações [6].



Fig. 20 – Zona das rodas do veículo utilizado pela AVE (Alta Velocidade Espanhola).

[Foto do autor].

3.3.1.2 Tratamentos de Amortecimento ao Nível das Rodas

O baixo amortecimento que inicialmente as rodas têm leva a tentar reduzir o ruído por estas gerado, aumentando o seu amortecimento. Os tratamentos de amortecimento a nível das rodas provocam uma redução efectiva ou mesmo eliminação do ruído de rolamento, principalmente em curva. Com este tipo de tratamentos a nível das rodas é possível reduções de ruído entre os 5 e 8 dB(A) para velocidades da ordem dos 200 km/h, resultados que foram obtidos na Alemanha.

Na Holanda e na França foram também realizados testes para velocidades de 120 km/h, contudo, os resultados não tiveram o mesmo sucesso que na Alemanha, obtendo-se reduções de ruído entre 1 e 3 dB(A). Os resultados mostraram que as maiores reduções foram obtidas nas frequências a cima dos 1,6 kHz, onde se espera que o ruído gerado pela roda seja significativo. Contudo apesar desta redução do ruído ao nível da roda, não há uma redução do ruído ao nível dos carris, sobressaindo este último. Uma alternativa aos sistemas de amortecimento convencionais é a utilização de tratamentos visco-elásticos, que consiste em envolver as partes interiores e exteriores das rodas com uma fina película de material visco-elástico. Este tipo de tratamentos tem sido usado com bastante sucesso nos últimos dez anos no Reino Unido, com o intuito de prevenir o ruído de rolamento em curva. Este tipo de material deve estar protegido contra elevadas temperaturas, que normalmente se desenvolvem durante os períodos de travagem, podendo chegar aos 200 °C. Os tratamentos visco-elásticos provocam uma redução do ruído de rolamento entre 3 e 4 dB(A) [6].

3.3.1.3 Optimização da Forma da Roda

A secção lateral das rodas tem uma influência significativa no ruído irradiado. Várias tentativas para obter uma forma optimizada da roda que provocassem o mínimo de ruído foram feitas. Foram realizadas rodas na Alemanha, com a sua forma optimizada, com resultados bastante satisfatórios uma vez que a roda produzia o mesmo ruído que rodas que foram sujeitas a tratamentos de amortecimento. As características diferiam das restantes, por esta ser mais fina, com alinhamento mais vertical e com um maior raio (diâmetro de 920 mm). Obtendo uma diferença ao nível do ruído produzido em relação às restantes rodas na ordem de 6 dB(A) para altas frequências. Contudo o design desta roda nunca foi aplicado. Foi desenvolvida outra roda com características idênticas à anterior mas com menor raio (diâmetro de 640 mm) tendo obtido em testes uma redução de 18 dB(A), contudo devido à redução da superfície de contacto com os carris provocava um aumento no ruído gerado pelos carris na ordem dos 2 dB(A). Há no entanto grande dificuldade em compatibilizar estas rodas de forma optimizada às soluções existentes de veículos, uma pequena alteração no raio da roda pode não ser tolerada pelas dimensões das locomotivas [6].

3.3.1.4 Redução da Radiação nas Rodas

Existe uma técnica para reduzir o nível de ruído irradiado pelas rodas e o seu nível de vibrações. O modelo teórico de uma roda perfurada tem sido estudado, em que a ideia consiste em reduzir a radiação criando um pequeno circuito acústico entre a parte frontal e traseira da roda. O efeito depende do tamanho e espaçamento dos buracos. A roda perfurada demonstra uma efectiva redução do ruído para baixas frequências, onde uma redução entre 6 e 9 dB(A) pode ser alcançada, dependendo do tamanho e espaçamento dos buracos. Contudo essas reduções não se verificam para frequências acima dos 1 kHz, onde o ruído da roda é geralmente dominante [10].

Outra forma de reduzir a radiação é montar uma protecção na parte exterior da roda, que intercepte o som radiado. Esta protecção deve ser montada por forma a não produzir vibrações, tem que ser resiliente e deve possuir amortecimento. Deve ser feita em material que gere uma elevada perda de transmissão [6].

3.3.1.5 Rigidez ao Nível dos Carris.

O ruído gerado pelos carris está altamente relacionado com a rigidez dos mesmos, em particular com a zona de ligação entre o carril e solipa (fig. 21).



Fig. 21 – Contacto entre os carris e solipas Estação de Santa Justa (Sevilha). [Foto do autor].

A ligação entre o carril e a solipa em material resiliente, normalmente material com capacidade de amortecimento, tem o mesmo efeito que se os dois materiais se encontrassem desligados, minimizando o ruído ao nível da solipa, contudo permitindo que o carril vibre mais livremente. Deste modo as ondas sonoras podem deslocar-se de forma livre por uma maior distância, aumentando assim o ruído gerado pelos carris. No entanto usando uma ligação rígida a contribuição do ruído do carril diminui, aumentando a contribuição da solipa. Deve ser portanto encontrado um compromisso entre as duas formas de ruído gerado, que segundo medições modeladas ocorre para uma rigidez de 2500 MN/m que equivale a uma ligação de 5 mm, mas não é compatível com as instalações usadas na alta velocidade. Esta ligação obtinha uma redução entre 4 e 5 dB(A) no ruído dos carris, e se se duplicasse o factor de amortecimento obtinha uma redução extra de 2 dB(A).

Com o objectivo de reduzir as forças aplicadas nos carris e proteger as solipas de danos, tem sido regra instalar material de ligação resiliente. De acordo com modelos de previsão este tipo de ligação provocam bastante mais ruído que as ligações rígidas para a mesma rugosidade. Para uma ligação com rigidez de 80 MN/m são 8 dB(A) mais ruidosas que para uma rigidez de 800 MN/m. Usando uma rigidez de 140 MN/m obtém-se uma redução de 2 dB(A) em relação aos 80 MN/m [6].

3.3.1.6 Tratamentos de Amortecimento ao Nível dos Carris

O facto de se usar tratamentos de amortecimento ao nível dos carris tem a vantagem de provocar uma elevada taxa de decaimento do ruído gerado pelos carris, sem com isso alterar o isolamento das solipas. Se for utilizado material resiliente neste tipo de tratamentos, são alcançadas reduções significativas no ruído gerado. O problema neste tipo de tratamentos é que os carris por si só já têm uma elevada taxa de amortecimento. Foi estudada a adição de material de amortecimento e conclui-se que os benefícios eram bastante pequenos. Ao acrescentar 1 mm deste material em carris com uma rigidez de 80 MN/m foi obtida uma redução de apenas 2 dB. Para carris com a rigidez de 300 MN/m foi obtida uma redução na ordem dos 6 dB [6].

3.3.1.7 Optimização no traçado dos Carris

Uma redução no tamanho dos carris pode levar a reduções significantes no ruído irradiado. A redução da área de contacto provoca uma redução na taxa de radiação sonora. Em baixas frequências a eficiência cai numa taxa proporcional ao cubo da frequência. Ao se reduzir a área de secção dos carris aumentamos a frequência. Ao reduzir a altura diminui-se a radiação sonora lateral, enquanto que ao reduzir a largura diminui-se a radiação sonora vertical. Uma pesquisa desenvolvida pelos Comboios Britânicos, em 1991, levou ao desenvolvimento de carris com dimensões óptimas, com 110 mm de altura e peso de 50 kg/m, contudo os testes acústicos efectuados mostraram-se inconclusivos, uma vez que foram utilizadas solipas em madeira por questões práticas, que provocaram elevados níveis de

ruído, que infelizmente mascararam o ruído gerado pelos carris com dimensões ótimas. Contudo os ganhos acústicos esperados eram na ordem dos 4 dB(A) [6].

3.3.1.8 Mobilidade dos Carris

A resposta dinâmica dos carris, caracterizado como a sua mobilidade (velocidade/força), tem um efeito na interação roda/carril. Entre os 100 e os 1000 Hz o carril possui muito maior mobilidade do que a roda, vibrando com uma amplitude próxima da rugosidade do carril. Em frequências altas, onde a mobilidade dos carris é mais baixa que a da roda, uma redução na mobilidade teria um efeito benéfico. No entanto na região acima dos 1 kHz a mobilidade é influenciada apenas pela massa e rigidez do carril, e não pela sua estrutura de suporte. Como vimos no ponto anterior, aumentar o tamanho do carril de forma a reduzir a sua mobilidade teria efeitos negativos ao nível do som irradiado. Desta forma não é possível obter uma redução sonora alterando a mobilidade dos carris, de qualquer modo o carril não é a fonte sonora dominante para frequências elevadas [6].

3.3.1.9 Carris em forma Balastro

Os carris em forma de balastro (fig. 20) estão a aumentar de popularidade em alguns países que possuem alta velocidade. Neste tipo de linha, o carril está ligado a uma base de betão com espessura de 0,5 m, ligado por material resiliente, dá origem a linhas com um baixo custo de manutenção. Contudo este tipo de carris tem a fama de ser ruidoso, com um acréscimo sonoro em relação às soluções tradicionais entre os 2 e 4 dB(A). A razão para tal acontecer está relacionado com o facto da absorção sonora oferecida pelo balastro ser eliminada. Contudo esta explicação apenas provocaria uma redução de 1 dB(A).



Fig. 22 – Carris em forma de balastro. Estação de Atocha. [Foto do autor].

Um efeito mais importante reside no facto da base de betão ser um material com características mais resilientes, o que leva a um ruído mais elevado do carril, que como vimos anteriormente, levam a que estes vibrem ao longo de um comprimento maior. Há também um aumento considerável da rigidez sem que a componente do ruído gerado por esta seja significativa em comparação com o ruído gerado pelos carris. Uma redução no ruído gerado pode ser conseguida embebendo o material de ligação entre os carris e o betão em material visco-elástico, que possibilita o uso de uma secção de carril bastante mais pequena, sendo a rigidez transmitida pelo balastro de betão aos carris. O uso desta geometria leva a uma penalização do ruído de 2 dB(A) devido ao balastro em betão que é colmatado com um benefício de 4 a 5 dB(A) no ruído dos carris [6].

3.3.2 RÚIDO AERODINÂMICO

Não é possível uma redução global do ruído em comboios de alta velocidade se o ruído aerodinâmico não for reduzido [7].



Fig. 23 - Zonas onde o ruído aerodinâmico é mais significativo: ventiladores (superior esquerda); pantógrafo (superior direita); ligação entre carruagens (inferior esquerda); ligação entre locomotivas (inferior direita) [Fotos do autor].

Só existe uma forma de reduzir o ruído aerodinâmico que passa pela redução do coeficiente de forma, quantificado em túnel de vento de forma semelhante ao dos automóveis, da locomotiva. Desta forma a locomotiva deve ter uma forma óptima para reduzir o atrito provocado pelo ar. Forma esta que deve aproximar-se da forma de uma gota de água [7].

Todas as irregularidades que os veículos apresentam são responsáveis pela geração de ruído, são exemplo disso, como se pode ver nas figuras 21 e 22, os ventiladores, o pantógrafo, a ligação entre carruagens ou a ligação entre locomotivas. A concepção destes deve ser executada de forma a criar o mínimo atrito possível com o ar [7].

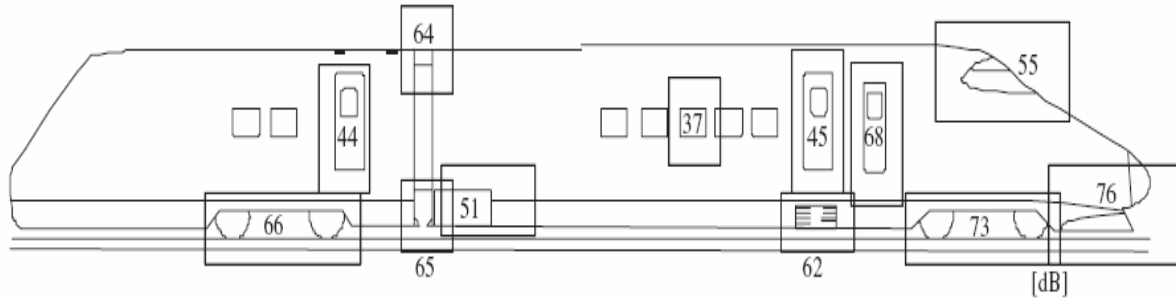


Fig. 24 – Nível de pressão sonora estimado do comboio *Shinkansen* nos seus diversos pontos críticos medido sem a presença de barreiras acústicas à velocidade de 300 km/h, a 25 m [11].

3.3.3 BARREIRAS ACÚSTICAS PARA O TRÁFEGO FERROVIÁRIO.

As barreiras acústicas são elementos ou sistemas construtivos colocados entre uma fonte sonora e um receptor de forma a reduzir o ruído recebido no auditor [2]. Barreiras acústicas são essencialmente elementos de protecção ambiental. Melhorias ao nível de desempenho e isolamento, qualidade acústica e design são necessárias.

As barreiras acústicas que são usadas para atender ao ruído ferroviário só precisam de ser eficazes para o ruído mais significativo destes veículos que é o contacto roda/carril. Por isso a barreira acústica necessita apenas de ter uma pequena altura e deve ser colocado próximo da linha [12].

Para evitar que o ruído seja reflectido da barreira para o comboio e deste para habitações próximas (por cima da barreira) é necessário que a barreira seja acusticamente absorvente na sua face interior (e assim também não aumenta o ruído no interior do comboio).

A empresa *CALMA-TEC Larmspoiler* [] desenvolveu uma nova barreira acústica de elevado desempenho (patenteada como «*Larmspoiler*») após 10 anos de estudos, testes empíricos e estudos de protótipos (fig. 25).



Fig. 25 – Barreira Acústica *Larmspoiler* [1].

O protótipo de 2 m de altura consegue um desempenho superior às barreiras tradicionais obtendo uma melhoria em relação a estas de 4,5 dB(A) (fig. 26). A principal inovação destas barreiras é um projecto

especial de refração no topo, o design e de materiais com formas especiais. Outro aspecto a realçar é a sua elevada durabilidade. Pode-se verificar que este tipo de barreiras é mais eficaz que as tradicionais como se mostra na fig. 24 pois a sua forma curva provoca um superior atenuação do ruído [1].

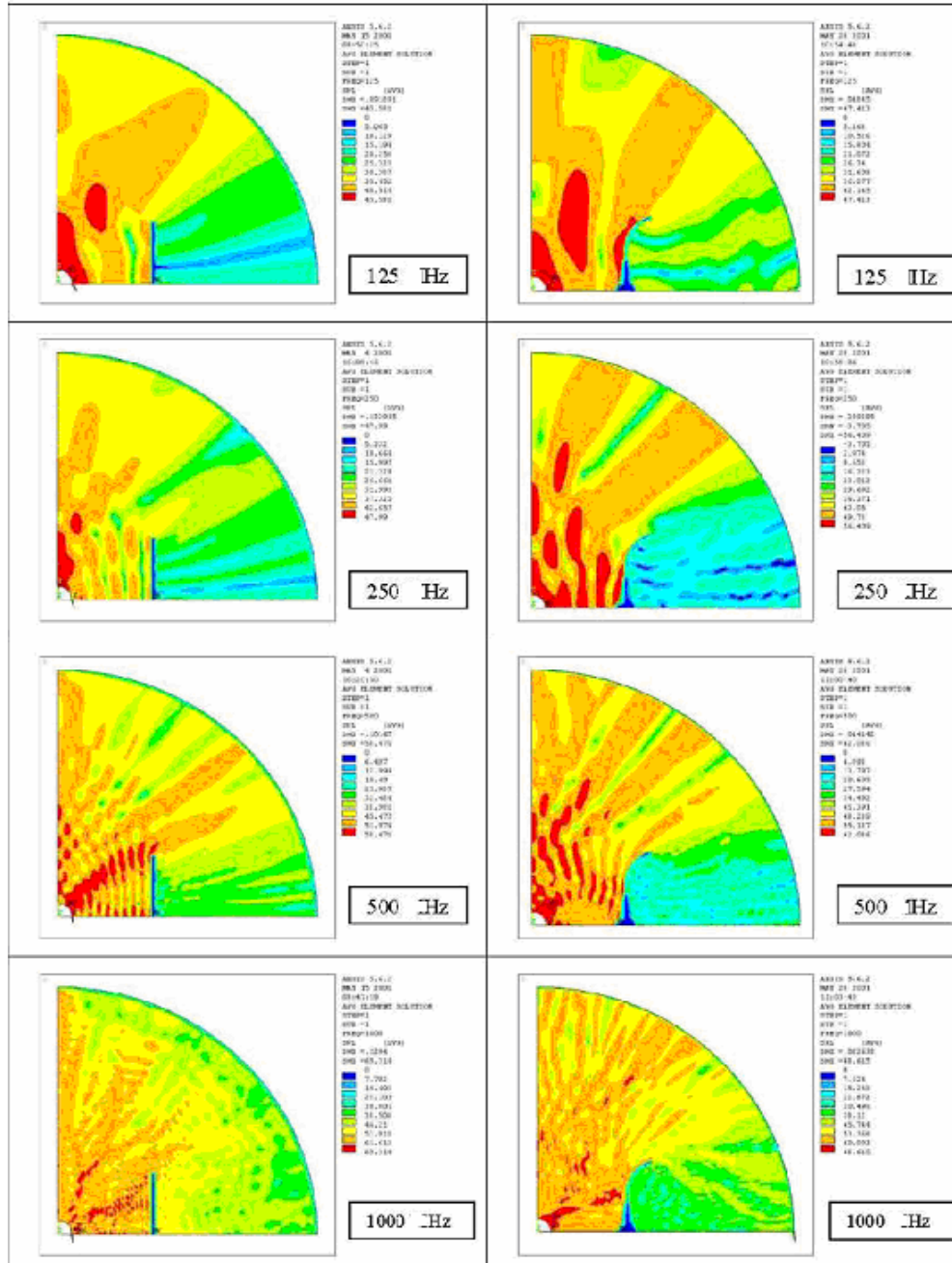


Fig. 26 – Comparação barreira acústica *Larmspoiler* (dir.) com as barreiras acústicas tradicionais (esq.) [1].

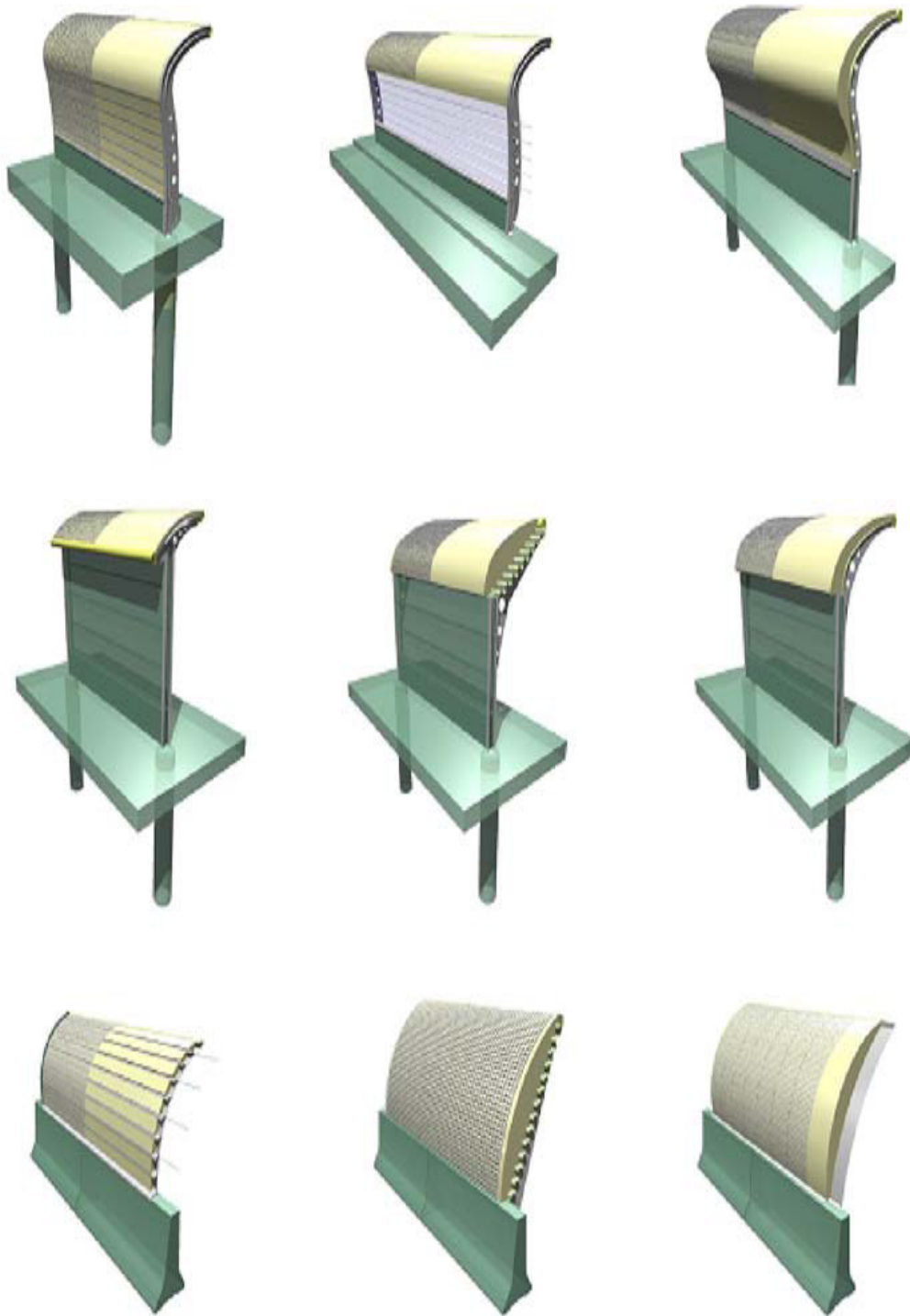


Fig. 27 – Algumas soluções para barreiras acústicas a ser usadas no tráfego ferroviária [1].

3.3.3.1 Considerações Físicas

As considerações físicas a ter em atenção ao nível das barreiras acústicas são: a estrutura, segurança, manutenção e aparência visual (fig. 27) [2].

3.3.3.2 Estrutura

A estrutura deve resistir às várias acções mecânicas a que pode ser sujeita como é o caso de seu peso próprio, o vento, sismos, devem resistir ou choque e qualquer tipo de solicitação mecânica durante a sua vida útil.

É necessário ter o cuidado de eliminar espaços de ar, por onde passe o som, como os espaços painéis/pilares ou painéis/solo. É necessário o correcto tratamento nos pontos de acesso, de que são exemplo: hidrantes ou portas para peões. Não se pode também descurar as infra-estruturas necessárias ao correcto escoamento da água.

3.3.3.3 Segurança

Há que acautelar uma zona de segurança, os painéis devem ser correctamente fixados pois existe o perigo de queda, por exemplo, em viadutos e pontes em que a acção do vento é mais notada.

Existe o perigo de embate de aves nos painéis, por vezes os painéis contem a imagem de uma ave, por vezes um falcão, que serve para afastar as outras aves. As extremidades devem ter protecção que atenuem os embates.

3.3.3.4 Manutenção

Deve existir um plano de manutenção das barreiras acústicas com uma periodicidade definida, no intuito de prolongar a vida útil destas estruturas, que estão sujeitas a várias agressões externas, como é o caso grafites, vegetação, lixo, choques. Inúmeras estruturas colectivas e lugares públicos são alvo de actos de vandalismo. Os indivíduos responsáveis por estes actos "apreciam" colocar em qualquer suporte transparente como barreiras acústicas, pinturas não autorizadas conhecidas usualmente por grafitis. As pinturas em aerossol mais usualmente utilizadas secam rapidamente e aderem bem ao painel. Para eliminá-las é necessário a utilização de dissolventes fortes com um tempo de contacto que será tanto maior quanto mais antigo for o grafiti. O mercado disponibiliza muitas variedades de dissolventes para aerossóis, que contêm, entre outros componentes, acetona, acetato de etilo, metanol e detergentes. Estes dissolventes são muito agressivos e atacam a maioria dos materiais plásticos, provocando uma dissolução da superfície assim como a perda de brilho e transparência

3.3.3.5 Aparência Visual

As barreiras acústicas devem ser agradáveis à vista e não uma forma de poluição visual, o seu aspecto deve ser agradável e ser integradas na paisagem e a sua manutenção cuidada.

LEGISLAÇÃO

O ruído em comboios de alta velocidade enquadra-se em dois decretos-lei o n.º 146/2006, de 31 de Julho foi rectificado pela Declaração de Rectificação n.º 57/2006 de 31 de Agosto e o n.º 9/2007 de 17 de Janeiro foi rectificado pela Declaração de Rectificação n.º 18/2007, de 16 de Março e alterado pelo Decreto-lei n.º 278/2007, de 1 de Agosto.

No presente capítulo é feita a transcrição e comentários das partes da referida legislação que aplicável ao comboios de alta velocidade em Portugal, que considero de relevância, estes decretos lei além de nos fornecerem informação sobre os valores limite de emissão, a sua forma de medição previsão e cálculo também nos ajudam a perceber a condicionantes ao nível do traçado das linhas de alta velocidade, fornecem-nos informações de quem são as entidades acreditadas para controlar o ruído ou mesmo as sanções a aplicar.

4.1 DECRETO-LEI N.º 146/2006

A primeira parte do decreto-lei n.º 146/2006 descreve os objectivos do mesmo, refere qual era o anterior decreto-lei que este vem substituir, o decreto-lei n.º 292/2000 de 14 de Novembro, que já tinha sido alterado por dois decretos-lei que se seguiram a este, em Março de 2002 e em Novembro de 2003 respectivamente. A grande novidade que este decreto-lei trás é a obrigatoriedade de realização de mapas estratégicos de ruído que resulta do estipulado na Directiva Europeia n.º 2002/49/CE, estes mapas devem ser realizados sempre que se esteja na presença de uma grande infra-estrutura como é o caso das linhas de alta velocidade que se enquadram no item, grandes infra-estruturas ferroviárias. Para a realização dos mapas de ruído é necessário a utilização de indicadores e métodos harmonizados, ou seja, que sejam utilizados nos restantes países em que a referida Directiva Europeia esteja em vigor. Acresce ainda o decreto-lei n.º 146/2006 que os mapas de ruído devem estar disponíveis a consulta pública, o que já acontece em Portugal em algumas das autarquias onde passam as futuras linhas de alta velocidade.

Decreto-Lei n.º 146/2006

de 31 de Julho

A prevenção e o controlo da poluição sonora constituem objectivos fundamentais para a salvaguarda da saúde e do ambiente. Nessa perspectiva, a Directiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, que tem como objectivo prevenir e reduzir os efeitos prejudiciais da exposição ao ruído ambiente, veio estabelecer a obrigatoriedade de efectuar a recolha de dados acústicos nos vários Estados membros e de elaborar relatórios sobre o ambiente acústico ao nível comunitário de forma a criar uma base para a definição de uma futura política comunitária neste domínio e a garantir uma informação mais ampla ao público.

Assinale-se que esta matéria havia sido já abordada no Regulamento Geral do Ruído, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de Novembro, com as alterações introduzidas pelos Decretos-Leis n.ºs 76/2002, de 26 de Março, 259/2002, de 23 de Novembro, e 293/2003, de 19 de Novembro. No

entanto, transpondo a referida directiva para a ordem jurídica interna, estabelece-se agora um regime especial para a elaboração de mapas estratégicos de ruído, impondo a obrigação de recolha e de disponibilização de informação ao público relativa aos níveis de ruído ambiente sob a forma de mapas estratégicos de ruído, de acordo com critérios definidos ao nível comunitário, e a utilização de indicadores e métodos de avaliação harmonizados, bem como para os planos de acção. Essa obrigação recai sobre as grandes infra-estruturas de transporte rodoviário, ferroviário e aéreo e as aglomerações de maior expressão populacional. Com base em mapas estratégicos de ruído, o presente decreto-lei prevê ainda a elaboração de planos de acção destinados a gerir o ruído ambiente e os problemas dele derivados. Estes planos definem medidas prioritárias de redução de ruído, em particular quando os níveis respectivos possam ter efeitos nocivos na saúde humana, incluindo o incómodo daí decorrente, e integram um procedimento que garante a consulta e a participação dos cidadãos na sua elaboração e revisão.

Foi promovida a audição à Assembleia Legislativa da Região Autónoma dos Açores.

Foram ouvidas a Assembleia Legislativa da Região Autónoma da Madeira e a Associação Nacional de Municípios Portugueses.

Assim: Nos termos da alínea a) do n.º 1 do artigo 198.º da Constituição, o Governo decreta o seguinte:

CAPÍTULO I

Disposições gerais

Artigo 1.º

Objecto

O presente decreto-lei transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, determinando:

- a) A elaboração de mapas estratégicos de ruído que determinem a exposição ao ruído ambiente exterior, com base em métodos de avaliação harmonizados ao nível da União Europeia;
- b) A prestação de informação ao público sobre o ruído ambiente e seus efeitos;
- c) A aprovação de planos de acção baseados nos mapas estratégicos de ruído a fim de prevenir e reduzir o ruído ambiente sempre que necessário e em especial quando os níveis de exposição sejam susceptíveis de provocar efeitos prejudiciais para a saúde humana e de preservar a qualidade do ambiente acústico.

O Artigo 2, que define o âmbito de aplicação, no ponto 1 refere todos os equipamentos aos quais o referido decreto-lei é aplicado, bem como aqueles a que não se aplica, ponto 2. Como seria de esperar o trânsito ferroviário aparece no ponto 1. É importante referir o decreto-lei n.º 146/2006 não se aplica ao ruído no interior dos comboios de alta velocidade, que também não é objecto deste trabalho. Mas em relação ao ruído no interior dos meios de transporte, nos comboios de alta velocidade esta temática faz cada vez menos sentido pois o ruído é quase nulo nos veículos de alta velocidade actuais, existindo apenas duas situações em que este ruído é notado, quando dois comboios se cruzam, ou quando um comboio entra numa passagem inferior.

Artigo 2.º

Âmbito de aplicação

1— O presente decreto-lei é aplicável ao ruído ambiente a que os seres humanos se encontram expostos em zonas que incluam usos habitacionais, escolares, hospitalares ou similares, espaços de lazer, em zonas tranquilas de uma aglomeração, em zonas tranquilas em campo aberto e noutras zonas cujo uso seja sensível ao ruído e que seja produzido nas aglomerações ou por grandes infra-estruturas de transporte rodoviário, ferroviário ou aéreo.

2— *O presente decreto-lei não é aplicável ao ruído produzido pela própria pessoa exposta, ao ruído de vizinhança, ao ruído em locais de trabalho ou no interior de veículos de transporte e ainda ao ruído gerado por actividades militares em zonas militares.*

O Artigo 4 define as competências. Os três organismos representados neste artigo participam no processo de elaboração e aprovação dos mapas de ruído para a alta velocidade.

Os municípios em que passam as linhas de alta velocidade têm que fazer o seu mapeamento e classificação, ou seja a execução de um mapa que indique o limite superior do ruído que pode ser produzido em cada local.

Á entidade concessionária da infra-estrutura ferroviária, no caso português a RAVE (Rede Ferroviária de Alta Velocidade), compete a execução do mapa de ruído que será previsivelmente gerado pela passagem dos veículos de alta velocidade.

Ao Instituto do Ambiente cabe a fiscalização das duas entidades anteriores, a recolha de toda a informação para enviar para a Comissão Europeia e para prestar informação ao público.

Artigo 4.o Competência

1— Compete, no âmbito do presente decreto-lei:

a) Aos municípios elaborar, aprovar e alterar os mapas estratégicos de ruído e os planos de acção para as aglomerações;

b) Às entidades gestoras ou concessionárias de infra-estruturas de transporte rodoviário, ferroviário ou aéreo elaborar e rever os mapas estratégicos de ruído e os planos de acção das grandes infra-estruturas de transporte, respectivamente, rodoviário, ferroviário e aéreo;

c) Ao Instituto do Ambiente (IA):

i) Aprovar os mapas estratégicos de ruído e os planos de acção referidos na alínea b), bem como as respectivas alterações;

ii) Centralizar todos os mapas estratégicos de ruído e planos de acção elaborados no âmbito do presente decreto-lei;

iii) Recolher as informações e os dados disponibilizados pelas entidades competentes referidas nas alíneas

a) e b) e enviá-las à Comissão Europeia;

iv) Prestar informação ao público.

2—A elaboração dos mapas estratégicos de ruído e dos planos de acção para as aglomerações compete aos serviços municipais e as respectivas aprovação e alteração competem à assembleia municipal, sob proposta da câmara municipal.

O Capítulo II é relativo aos mapas estratégicos de ruído e planos de acção. Neste Capítulo destaco, o Artigo 7.º, Conteúdo dos mapas estratégicos de ruído, o Artigo 9.º, Elaboração e aprovação dos mapas estratégicos e o Artigo 11, Revisão dos mapas estratégicos de ruído e planos de acção.

O Artigo 7 é bastante claro definindo como conteúdo dos mapas estratégicos de ruído, o limite superior de ruído e o número estimado de pessoas afectadas, que são os dois pontos de abordagem possíveis deste tipo de mapas. O ponto 2 do artigo remete-nos para o anexo IV que será analisado posteriormente.

Artigo 7.o Conteúdo dos mapas estratégicos de ruído

1—Os mapas estratégicos de ruído são compostos por uma compilação de dados sobre uma situação de ruído existente ou prevista em termos de um indicador de ruído demonstrando a ultrapassagem de qualquer valor limite em vigor, o número estimado de pessoas afectadas e de habitações expostas a determinados valores de um indicador de ruído em determinada zona.

2—Os mapas estratégicos de ruído devem ainda obedecer aos requisitos mínimos estabelecidos no anexo IV do presente decreto-lei, do qual faz parte integrante.

O Artigo 9 apenas se refere à elaboração de mapas estratégicos de ruído para o ano de 2006, aprovados em 2007, e posteriormente para o ano de 2011, aprovados em 2012. À primeira vista este artigo não contempla os anos entre 2007 e 2011, o que parece uma falha da lei, deixando em aberto a não existência de mapas de ruído durante os referidos anos. Contudo a explicação para este facto aparece no Artigo 11, que diz que a alteração e reavaliação dos mapas de ruído é feita de 5 em 5 anos. Os mapas estratégicos de ruído de 2006 vigoram até 2011 e é a partir destes que estão a ser projectadas as linhas de alta velocidade. O ponto 2 do Artigo 9 refere a data limite de entrega dos mapas de ruído pela entidade concessionária da infra-estrutura ferroviária com mais de 60000 passagens anuais o que dá aproximadamente 165 passagens diárias, um comboio em cada 9 minutos, valor que nenhuma linha de alta velocidade em Portugal irá atingir nos primeiros anos de funcionamento, o que nos leva a uma conclusão curiosa, se as linhas de alta velocidade estiverem em funcionamento antes de 2011 não necessitam de mapas estratégicos de ruído.

Em 2011 o número de passagens anuais necessárias para a existência de mapas de ruído estratégico é de 30000, ou seja aproximadamente 82 diárias, um comboio em cada 18 minutos, que é um número bastante difícil de alcançar. Na minha opinião estes números são bastante permissivos e a título de exemplo podemos fazer a comparação com o trânsito rodoviário em que é necessário um mapa estratégico de ruído em 2006 para uma infra-estrutura 6 milhões de passagens de veículos por ano, o que dá 11,4 veículos por minuto o que se verifica em inúmeras estradas em Portugal. Actualmente passam por minuto 34,7 veículos no troço que liga Matosinhos ao Porto na auto-estrada A28.

No ponto 7 deste Artigo faz referência à realização destes mapas nas zonas fronteiriças em que tal estudo é desenvolvido conjuntamente com o país vizinho, o que acontecerá para as linhas de alta velocidade que ligam o Porto a Vigo e Lisboa a Madrid.

Artigo 9.o

Elaboração e aprovação de mapas estratégicos de ruído

1—Os mapas estratégicos de ruído relativos à situação no ano civil de 2006 para todas as aglomerações com mais de 250 000 habitantes são elaborados, aprovados e enviados ao IA até 31 de Março de 2007, juntamente com a informação indicada no n.o 1 do anexo VI.

2—Os mapas estratégicos de ruído relativos à situação no ano civil de 2006 para todas as grandes infra-estruturas de transporte rodoviário com mais de 6 milhões de passagens de veículos por ano, para todas as grandes infra-estruturas de transporte ferroviário com mais de 60 000 passagens de comboios por ano e para todas as grandes infra-estruturas de transporte aéreo são elaborados e enviados ao IA até 31 de Março de 2007, juntamente com a informação indicada no n.o 2 do anexo VI.

3—O IA aprova os mapas estratégicos de ruído referidos no número anterior até 30 de Junho de 2007, sem prejuízo da faculdade de solicitar a apresentação de elementos adicionais ou a correcção dos elementos inicialmente apresentados destinados a garantir o cumprimento do disposto no artigo 7.o

4—Os mapas estratégicos de ruído relativos à situação no ano civil de 2011 para todas as aglomerações com mais de 100 000 habitantes, depois de elaborados e aprovados, são enviados ao IA até 31 de Março de 2012, juntamente com a informação indicada no n.o 1 do anexo VI.

5—Os mapas estratégicos de ruído relativos à situação no ano civil de 2011, para todas as grandes infra-estruturas de transporte rodoviário com mais de 3 milhões de passagens de veículos por ano e para todas as grandes infra-estruturas de transporte ferroviário com mais de 30 000 passagens de comboios por ano, são elaborados e enviados ao IA até 28 de Fevereiro de 2012 para aprovação, juntamente com a informação indicada no n.o 2 do anexo VI.

6—O IA aprova os mapas estratégicos de ruído referidos no número anterior até 30 de Junho de 2012, sem prejuízo da faculdade de solicitar a apresentação de elementos adicionais ou a correcção

dos elementos inicialmente apresentados destinados a garantir o cumprimento do disposto no artigo 7.o

7—Os mapas estratégicos de ruído de zonas fronteiriças devem ser elaborados em colaboração com as autoridades competentes do Estado vizinho.

Artigo 11.o

Revisão dos mapas estratégicos de ruído e dos planos de acção

1—Os mapas estratégicos de ruído e os planos de acção são reavaliados e alterados de cinco em cinco anos a contar da data da sua elaboração.

2—Os mapas estratégicos de ruído e os planos de acção são ainda reavaliados e alterados sempre que se verifique uma alteração significativa relativamente a fontes sonoras ou à expansão urbana com efeitos no ruído ambiente.

ANEXO II

Métodos de avaliação dos indicadores de ruído

(a que se refere o artigo 6.o)

1 — Introdução. — Os valores dos indicadores L_{den} e L_n podem ser determinados quer por metodologia de cálculo quer por medição (no ponto de avaliação). No caso de previsões, apenas é aplicável a metodologia de cálculo. Nos n.os 2 e 3 do presente anexo apresentam-se os métodos provisórios de medição e de cálculo.

2— Métodos provisórios de cálculo dos indicadores L_{den} e L_n :

a) Os métodos provisórios de cálculo dos indicadores L_{den} e L_n são:

1) Para o ruído industrial: NP 4361-2:2001, «Acústica—Atenuação do som na sua propagação ao ar livre.

Parte 2: Método geral de cálculo». Os dados de emissão de ruído (dados de entrada) apropriados para este método podem ser obtidos a partir de medições, efectuadas de acordo com cada uma das seguintes normas:

ISO 8297:1994, «Acoustics — Determination of sound power levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment—Engineering method»;

NP EN ISO 3744:1999, «Acústica—Determinação dos níveis de potência acústica emitidos pelas fontes de ruído a partir da pressão sonora—Método de perícia em condições que se aproximam do campo livre sobre um plano reflector»;

EN ISO 3746:1995, «Acoustics—Determination of sound power levels of noise sources using an enveloping measurement surface over a reflecting plane»;

2) Para o ruído das aeronaves: ECAC.CEAC Doc. 29, «Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports», 1997. Entre as diferentes abordagens quanto à concepção das rotas de voo, será utilizada a técnica de segmentação mencionada na secção 7.5 do Doc. 29 da ECAC.CEAC;

3) Para o ruído do tráfego rodoviário: o método de cálculo francês NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB), publicado no «Arrêté, du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal Officiel, du 10 mai 1995, article 6», e na norma francesa XPS 31-133. No que se refere aos dados de entrada relativos à emissão, estes documentos remetem para o «Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prévision des niveaux sonores, CETUR, 1980»;

4) Para o ruído do tráfego ferroviário: o método de cálculo nacional Standaard-Rekenmethode II dos Países Baixos, publicado na «Reken—Meetvoorschrift Railverkeerslawaal' 96, Ministerie Volkshulvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 de Novembro de 1996». Em alternativa, desde que seja demonstrada a obtenção de resultados equivalentes, pode ser utilizado outro método adaptado e validado ao material ferroviário e às condições de circulação em território nacional;

b) Estes métodos têm de ser adaptados à definição dos indicadores L_{den} e L_n .

As orientações sobre estes métodos, bem como sobre os dados de emissões relacionados, constam da Recomendação da Comissão n.º 2003/613/CE, de 6 de Agosto.

3—O método provisório de medição dos indicadores L_{den} e L_n tem por base a definição dos indicadores e

os procedimentos descritos da norma portuguesa NP 1730:1996, «Acústica—Descrição e medição de ruído ambiente», ou na versão actualizada correspondente. Os resultados de medição obtidos diante de uma fachada ou de outro elemento reflector devem ser corrigidos de molde a excluir a contribuição da reflexão dessa fachada ou elemento [regra geral, isso implica uma correcção de -3 dB(A) em caso de medição a menos de 3,5 m da referida fachada ou elemento].

O Anexo IV define com deve ser os mapas estratégicos de ruído.

ANEXO IV

Requisitos mínimos para os mapas estratégicos de ruído (a que se refere o artigo 7.º)

1—Um mapa estratégico de ruído é uma apresentação dos dados referentes a um dos seguintes aspectos:

Situação acústica existente ou prevista em função de um indicador de ruído;

Ultrapassagem de um valor limite; Número estimado de habitações, escolas e hospitais numa determinada zona que estão expostas a valores específicos de um dado indicador de ruído; Número estimado de pessoas localizadas numa zona exposta ao ruído.

2—Os mapas estratégicos de ruído podem ser apresentados sob a forma de: Figuras/cartografia (elementos considerados essenciais); Dados numéricos em quadros; Dados numéricos sob forma electrónica.

3—Os mapas estratégicos de ruído relativos às aglomerações incidem particularmente no ruído emitido por: Tráfego rodoviário; Tráfego ferroviário; Tráfego aéreo; Instalações industriais, incluindo portos.

4—Os mapas estratégicos de ruído são utilizados para os seguintes fins: Proporcionar uma base de dados que sustente a informação a enviar à Comissão Europeia, de acordo com o estabelecido no artigo 15.º e no anexo VI; Construir uma fonte de informação para os cidadãos, de acordo com o estabelecido no artigo 13.º; Servir de base para elaboração dos planos de acção, de acordo com o estabelecido no artigo 10.º

Os mapas estratégicos de ruído são apresentados de acordo com o respectivo fim, com a informação tratada em função da utilização do mapa.

5—Os requisitos mínimos para os mapas estratégicos de ruído relativos aos dados a enviar à Comissão Europeia são estabelecidos nos n.ºs 1.5, 1.6, 2.5, 2.6 e 2.7 do anexo VI.

6—Para fins de informação aos cidadãos, de acordo com o estabelecido no artigo 13.º, e de elaboração dos planos de acção, de acordo com o previsto no artigo 10.º do presente decreto-lei, são necessárias informações adicionais e mais pormenorizadas, tais como: Uma representação gráfica; Mapa em que é apresentada a ultrapassagem de um valor limite (mapas de conflito); Mapas diferenciais em que a situação existente é comparada com diferentes situações futuras possíveis; Mapas em que é apresentado o valor de um indicador de ruído a uma altura diferente de 4 m, se adequado.

7—Os mapas estratégicos de ruído para aplicação local, regional ou nacional são elaborados para uma altura de avaliação de 4 m e gamas de valores de L_{den} e de L_n de 5 dB(A), conforme definido nos n.ºs 1.5, 1.6, 2.5 e 2.6 do anexo VI.

8—No que diz respeito às aglomerações, são elaborados mapas estratégicos de ruído distintos para o ruído do tráfego rodoviário, o ruído do tráfego ferroviário, o ruído do tráfego aéreo e o ruído industrial. Podem ser elaborados mapas adicionais para outras fontes de ruído.

9—A elaboração do mapa estratégico de ruído deve seguir as orientações expressas no guia de boas práticas publicado pela Comissão Europeia, contendo no mínimo a isófona de 55 dB(A) para o indicador L_{den} e a isófona de 45 dB(A) para o indicador L_n .

4.2 DECRETO-LEI N.º 9/2007

O Decreto-lei n.º 9/2007, tal como acontecia no decreto-lei n.º 146/2006, vem substituir o decreto-lei n.º 292/2000.

Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro

A prevenção do ruído e o controlo da poluição sonora visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações constitui tarefa fundamental do Estado, nos termos da Constituição da República Portuguesa e da Lei de Bases do Ambiente. Desde 1987 que esta matéria se encontra regulada no ordenamento jurídico português, através da Lei n.º 11/87, de 11 de Abril (Lei de Bases do Ambiente), e do Decreto-Lei n.º 251/87, de 24 de Junho, que aprovou o primeiro regulamento geral sobre o ruído.

O Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de Novembro, que aprovou o regime legal sobre poluição sonora, revogou o referido decreto-lei de 1987 e reforçou a aplicação do princípio da prevenção em matéria de ruído. A transposição da directiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, tornou premente proceder a ajustamentos ao regime legal sobre poluição sonora aprovado pelo Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de Novembro, com as alterações introduzidas pelos Decretos-Leis n.ºs 76/2002, de 26 de Março, 259/2002, de 23 de Novembro, e 293/2003, de 19 de Novembro, de modo a compatibilizá-lo com as normas ora aprovadas, em especial a adopção de indicadores de ruído ambiente harmonizados.

Na oportunidade considerou-se importante proceder também à alteração de normas do regime legal sobre poluição sonora que revelaram alguma complexidade interpretativa com consequências para a eficácia do respectivo regime jurídico. Urge pois clarificar a articulação do novo Regulamento Geral do Ruído com outros regimes jurídicos, designadamente o da urbanização e da edificação e o de autorização e licenciamento de actividades. Acresce que o regime legal sobre poluição sonora foi objecto de alterações introduzidas por diversos diplomas legais, pelo que se justifica actualizar as suas normas e conferir coerência a um regime que se revela tão importante para a saúde humana e o bem-estar das populações.

Foram ouvidos a Associação Nacional dos Municípios Portugueses e os órgãos de governo próprio das Regiões Autónomas.

Assim: No desenvolvimento do regime jurídico estabelecido pela Lei n.º 11/87, de 7 de Abril, e nos termos das alíneas a) e c) do n.º 1 do artigo 198.º da Constituição, o Governo decreta o seguinte:

Em 17 de Janeiro de 2007 foi publicado um Novo Regulamento Geral do Ruído (RGR), Decreto-Lei n.º 9/2007, dada a necessidade de se proceder à transposição da directiva 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, tendo entrado em vigor no dia 1 de Fevereiro de 2007.

Desde logo o primeiro aspecto a merecer um comentário são as novas definições, com especial destaque para as de grande infra-estrutura de transporte (aéreo, ferroviário e rodoviário) e os novos períodos de referência:

Período Diurno – das 7 às 20 horas;

Período do Entardecer – das 20 às 23 horas;

Período Nocturno – das 23 às 7 horas.

O RGR apresenta de novo 3 períodos de referência, o que constitui uma alteração significativa já que o anterior regulamento (DL n.º 292/200, de 14 de Novembro) apresenta apenas o Período Diurno e o

Período Nocturno. Nas definições, destaque ainda para os novos indicadores de ruído: «Indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno (L_{den}) o indicador de ruído.

REGULAMENTO GERAL DO RUÍDO

CAPÍTULO I

Disposições gerais

Artigo 1.º

Objecto

O presente Regulamento estabelece o regime de prevenção e controlo da poluição sonora, visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações.

No Artigo 2, âmbito vemos as aplicações do Regulamento Geral de Ruído, aí se incluem as infra-estruturas ferroviárias, inseridas no item infra-estruturas de transporte. O ponto 4 do artigo 2 refere que o decreto-lei não é aplicado para dispositivos sonoros de sinalização que tem a função de preservar a segurança em passagens de nível, tal facto não tem especial interesse no caso de comboios de alta velocidade nas suas linhas não existem passagens de nível, apenas passagens desniveladas.

Artigo 2.º

Âmbito

1—O presente Regulamento aplica-se às actividades ruidosas permanentes e temporárias e a outras fontes

de ruído susceptíveis de causar incomodidade, designadamente:

- a) Construção, reconstrução, ampliação, alteração ou conservação de edificações;*
- b) Obras de construção civil;*
- c) Laboração de estabelecimentos industriais, comerciais e de serviços;*
- d) Equipamentos para utilização no exterior;*
- e) Infra-estruturas de transporte, veículos e tráfegos;*
- f) Espectáculos, diversões, manifestações desportivas, feiras e mercados;*
- g) Sistemas sonoros de alarme.*

2—O Regulamento é igualmente aplicável ao ruído de vizinhança.

3—O presente Regulamento não prejudica o disposto em legislação especial, nomeadamente sobre ruído nos locais de trabalho, certificação acústica de aeronaves, emissões sonoras de veículos rodoviários a motor e de equipamentos para utilização no exterior e sistemas sonoros de alarme.

4—O presente Regulamento não se aplica à sinalização sonora de dispositivos de segurança relativos a infra-estruturas de transporte ferroviário, designadamente de passagens de nível.

O Artigo 7 é sobre os mapas de ruído atribuindo às câmaras municipais a responsabilidade de elaborar estes documentos excepto em zonas exclusivamente industriais.

O ponto 6 deste Artigo é na minha opinião o mais interessante pois obriga todos os municípios com mais de 100000 habitantes ou com uma densidade populacional superior a 2500 habitantes/km², o que se aplica somente aos maiores municípios do país, à realização de mapas estratégicos de ruído, que aparecem descritos no decreto-lei n.º 146/2006.

Artigo 7.º
Mapas de ruído

1—As câmaras municipais elaboram mapas de ruído para apoiar a elaboração, alteração e revisão dos planos directores municipais e dos planos de urbanização.

2—As câmaras municipais elaboram relatórios sobre recolha de dados acústicos para apoiar a elaboração,

alteração e revisão dos planos de pormenor, sem prejuízo de poderem elaborar mapas de ruído sempre que tal se justifique.

3—Exceptuam-se do disposto nos números anteriores os planos de urbanização e os planos de pormenor

referentes a zonas exclusivamente industriais.

4—A elaboração dos mapas de ruído tem em conta a informação acústica adequada, nomeadamente a obtida por técnicas de modelação apropriadas ou por recolha de dados acústicos realizada de acordo com técnicas de medição normalizadas.

5—Os mapas de ruído são elaborados para os indicadores L_{den} e L_n reportados a uma altura de 4 m acima do solo.

6—Os municípios que constituam aglomerações com uma população residente superior a 100 000 habitantes e uma densidade populacional superior a 2500 habitantes/km² estão sujeitos à elaboração de mapas estratégicos de ruído, nos termos do disposto no Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de Julho.

Relativamente ao Artigo 11, Capítulo III é de especial interesse a alínea d) do ponto 1 que limita a produção de ruído para as infra-estruturas de transporte não aéreas, nas quais se enquadram as infra-estruturas ferroviárias cujo limite superior é 60 dB (A) para o indicador L_{den} e 50 dB(A) para o indicador L_n . Valores que são algo penalizadores em relação aos limites dos mesmos indicadores para infra-estruturas de transporte aéreo. O que se compreende dada a dificuldade de controlar o ruído presente nestas últimas infra-estruturas.

CAPÍTULO III

Regulação da produção de ruído

Artigo 11.º
Valores limite de exposição

1—Em função da classificação de uma zona como mista ou sensível, devem ser respeitados os seguintes

valores limite de exposição:

a) As zonas mistas não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo

indicador L_{den} , e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador L_n ;

b) As zonas sensíveis não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador L_{den} , e superior a 45 dB(A), expresso pelo indicador L_n ;

c) As zonas sensíveis em cuja proximidade exista em exploração, à data da entrada em vigor do presente Regulamento, uma grande infra-estrutura de transporte não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador L_{den} , e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador L_n ;

d) As zonas sensíveis em cuja proximidade esteja projectada, à data de elaboração ou revisão do plano municipal de ordenamento do território, uma grande infra-estrutura de transporte aéreo não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador L_{den} , e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador L_n ;

e) As zonas sensíveis em cuja proximidade esteja projectada, à data de elaboração ou revisão do plano municipal de ordenamento do território, uma grande infra-estrutura de transporte que não

aéreo não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 60 dB(A), expresso pelo indicador L_{den} , e superior a 50 dB(A), expresso pelo indicador L_n .

2—Os receptores sensíveis isolados não integrados em zonas classificadas, por estarem localizados fora dos perímetros urbanos, são equiparados, em função dos usos existentes na sua proximidade, a zonas sensíveis ou mistas, para efeitos de aplicação dos correspondentes valores limite fixados no presente artigo.

3—Até à classificação das zonas sensíveis e mistas a que se referem os n.os 2 e 3 do artigo 6.o, para efeitos

de verificação do valor limite de exposição, aplicam-se aos receptores sensíveis os valores limite de L_{den} igual ou inferior a 63 dB(A) e L_n igual ou inferior a 53 dB(A).

4—Para efeitos de verificação de conformidade dos valores fixados no presente artigo, a avaliação deve ser efectuada junto do ou no receptor sensível, por uma das seguintes formas:

a) Realização de medições acústicas, sendo que os pontos de medição devem, sempre que tecnicamente possível, estar afastados, pelo menos, 3,5 m de qualquer estrutura reflectora, à excepção do solo, e situar-se a uma altura de 3,8 m a 4,2 m acima do solo, quando aplicável, ou de 1,2 m a 1,5 m de altura acima do solo ou do nível de cada piso de interesse, nos restantes casos;

b) Consulta dos mapas de ruído, desde que a situação em verificação seja passível de caracterização através dos valores neles representados.

5—Os municípios podem estabelecer, em espaços delimitados de zonas sensíveis ou mistas, designadamente em centros históricos, valores inferiores em 5 dB(A) aos fixados nas alíneas a) e b) do n.o 1.

Em função da classificação de uma zona como mista ou sensível, o RGR estabelece no artigo 11º os seguintes valores limite de exposição (ruído ambiente exterior):

Quadro 2 – Valores limites de exposição do RGR, artigo n º 11.

Tipo de zona	Descritor L_{den} [dB(A)]	Descritor L_n [dB(A)]
Zona Mista	≤ 65 ^{a)}	≤ 55 ^{a)}
Zona Sensível	≤ 55 ^{a)}	≤ 45 ^{a)}
Zona Sensível com uma grande infra-estrutura de transporte em exploração na proximidade	≤ 65	≤ 55
Zona Sensível com uma grande infra-estrutura de transporte aéreo projectada para a proximidade	≤ 65	≤ 55
Zona Sensível com uma grande infra-estrutura de transporte que não aéreo projectada para a proximidade	≤ 60	≤ 50
Zona não classificada	≤ 63 ^{b)}	≤ 53 ^{b)}

a) Os municípios podem estabelecer em espaços delimitados, designadamente em centro históricos, valores inferiores em 5 dB(A).

b) Valores limite a aplicar aos receptores sensíveis

Os receptores sensíveis isolados não integrados em zonas classificadas, por estarem localizados fora dos perímetros urbanos, são equiparados, em função dos usos existentes na sua proximidade, a zonas sensíveis ou mistas.

Para a verificação da conformidade destes valores, a avaliação deve ser efectuada junto do ou no receptor sensível, através da realização de medições acústicas ou da consulta de mapas de ruído.

Os valores limite de exposição que são apresentados neste novo regulamento não trazem nada significativamente diferente do anterior. No entanto, as diversas alíneas que constituem este artigo permitem um melhor entendimento do diploma e até de esclarecimento de algumas questões que eram levantadas pelo anterior.

O Artigo 13 na alínea 2 enuncia as medidas mitigadoras para actividades ruidosas permanentes, indicando inclusive a sua ordem de aplicação. O ordem de aplicação das medidas mitigadores ocorre apartir do emissor no sentido do receptor.

Artigo 13.o

Actividades ruidosas permanentes

1—A instalação e o exercício de actividades ruidosas permanentes em zonas mistas, nas envolventes das zonas sensíveis ou mistas ou na proximidade dos receptores sensíveis isolados estão sujeitos:

- a) Ao cumprimento dos valores limite fixados no artigo 11.o; e*
- b) Ao cumprimento do critério de incomodidade, considerado como a diferença entre o valor do indicador LAeq do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular da actividade ou actividades em avaliação e o valor do indicador LAeq do ruído residual, diferença que não pode exceder 5 dB(A) no período diurno, 4 dB(A) no período do entardecer e 3 dB(A) no período nocturno, nos termos do anexo I ao presente Regulamento, do qual faz parte integrante.*

2— Para efeitos do disposto no número anterior, devem ser adoptadas as medidas necessárias, de acordo com a seguinte ordem decrescente:

- a) Medidas de redução na fonte de ruído;*
- b) Medidas de redução no meio de propagação de ruído;*
- c) Medidas de redução no receptor sensível.*

3— Compete à entidade responsável pela actividade ou ao receptor sensível, conforme quem seja titular da autorização ou licença mais recente, adoptar as medidas referidas na alínea c) do número anterior relativas ao reforço de isolamento sonoro.

4— São interditos a instalação e o exercício de actividades ruidosas permanentes nas zonas sensíveis, excepto as actividades permitidas nas zonas sensíveis e que cumpram o disposto nas alíneas a) e b) do n.o 1.

5— O disposto na alínea b) do n.o 1 não se aplica, em qualquer dos períodos de referência, para um valor do indicador LAeq do ruído ambiente no exterior igual ou inferior a 45 dB(A) ou para um valor do indicador LAeq do ruído ambiente no interior dos locais de recepção igual ou inferior a 27 dB(A), considerando o estabelecido nos n.os 1 e 4 do anexo I.

6— Em caso de manifesta impossibilidade técnica de cessar a actividade em avaliação, a metodologia de determinação do ruído residual é apreciada caso a caso pela respectiva comissão de coordenação e desenvolvimento regional, tendo em conta directrizes emitidas pelo Instituto do Ambiente.

7— O cumprimento do disposto no n.o 1 é verificado no âmbito do procedimento de avaliação de impacte ambiental, sempre que a actividade ruidosa permanente esteja sujeita ao respectivo regime jurídico.

8— Quando a actividade não esteja sujeita a avaliação de impacte ambiental, a verificação do cumprimento do disposto no n.o 1 é da competência da entidade coordenadora do licenciamento e é efectuada no âmbito do respectivo procedimento de licenciamento, autorização de instalação ou de alteração de actividades ruidosas permanentes.

9— Para efeitos do disposto no número anterior, o interessado deve apresentar à entidade coordenadora do licenciamento uma avaliação acústica.

No artigo n ° 12 refere que são interditos a instalação e o exercício de actividades ruidosas de carácter permanente em zonas sensíveis, excepto as actividades permitidas em zonas sensíveis. Estas

actividades, as actividades ruidosas permanentes que se instalem em zonas mistas, nas envolventes das zonas sensíveis ou mistas ou na proximidade dos receptores sensíveis isolados, estão sujeitas:

- Cumprimento dos valores limite de exposição;
- Cumprimento do critério de incomodidade.

O critério de incomodidade é considerado como a diferença entre o valor do indicador L_{Aeq} do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular da actividade ou actividades em avaliação e o valor do indicador L_{Aeq} do ruído residual, diferença que não pode exceder 5 dB(A) no período diurno, 4 dB(A) no período do entardecer e 3 dB(A) no período nocturno, nos termos do anexo I do regulamento.

Este critério não apresenta novidades, tirando o limite inerente à inserção do período do entardecer, que foi agora introduzido com a lógica esperada.

No que se refere ao anexo I, não há nada de novo no que se refere à correcção tonal e impulsiva mas, no que respeita à correcção a efectuar ao valor limite devida à duração do ruído particular relativamente à duração do período (D), para além da duração da actividade ruidosa agora ser expressa em termos de uma relação percentual, há implicações práticas que são novidade. Por exemplo, se a duração de uma actividade ruidosa permanente for de 9 horas no período diurno, de acordo com o antigo regulamento $D=0$ e o limite seria de 5 dB(A), mas segundo o novo RGR, $D=1$ e o limite passa a 6 dB(A).

Ainda no anexo I, o n.º 4 refere que para efeitos da verificação do critério de incomodidade, o intervalo de tempo a que se reporta o indicador L_{Aeq} corresponde ao período de um mês, devendo corresponder ao mês mais crítico do ano em termos da emissão sonora das fontes de ruído em avaliação, no caso de se notar marcada sazonalidade anual.

O que parece indicar é que se teriam de efectuar medições de ruído ambiente e de ruído residual, em cada local de monitorização e em cada período em que se desenvolver a actividade, com a duração mínima de um mês cada. Ora isso para além de ter um custo insustentável para as empresas, tecnicamente será muito complicado de executar, pois, por ex., não devem haver muitas empresas que cessem completamente a sua actividade durante um mês, as empresas existentes no mercado não estão dotadas dos equipamentos necessários para efectuar este tipo de medições em todas as actividades ruidosas permanentes. Aqui, mais uma vez é urgente que o Instituto do Ambiente defina directrizes para que haja uniformidade nos procedimentos a adoptar pelos laboratórios, que talvez passem por encontrar formas de extrapolar os resultados de medições de menor duração.

Para além disso, este diploma introduz outra agravante para as actividades ruidosas permanentes, que é o facto da obrigatoriedade destas actividades cumprirem os valores limite de exposição (artigo 11º), requerer que seja sempre determinado o L_{den} , o que implica que se tenha de determinar sempre o L_d , L_e e o L_n , durante uma série de períodos representativos de um ano, mesmo que a actividade ruidosa permanente seja exercida apenas no período diurno. Obviamente esta alteração vai implicar custos acrescidos para empresas que laborarem apenas num ou em dois períodos e que tiverem de proceder à avaliação do ruído ambiental. Outro aspecto inovador deste novo diploma e que parece trazer maior justiça, é o facto da adopção de medidas de redução de ruído no receptor sensível (isolamento sonoro) ser da responsabilidade da actividade ou do proprietário do receptor sensível, conforme quem seja titular da autorização ou licença mais recente. Na prática, se for licenciada a construção de uma habitação junto de uma fábrica já em laboração e licenciada ou de uma grande infra-estrutura de transporte, compete ao proprietário da habitação reforçar o seu isolamento sonoro.

Por último, importa referir que o critério de incomodidade, não se aplica em qualquer dos períodos de referência, quando o valor do L_{Aeq} do ruído ambiente exterior for igual ou inferior a 45 dB(A) ou o L_{Aeq} do ruído ambiente no interior dos locais de recepção for igual ou inferior a 27 dB(A). Este aspecto parece também trazer maior justiça para as empresas, no que se refere ao cumprimento legal, sem por em causa o direito ao sossego dos que habitam e querem descansar.

Não raras vezes, em zonas com ruído residual muito baixo, as actividades ruidosas permanentes produzem acréscimos acima dos respectivos limites legais, com níveis de ruído ambiente junto dos (ou nos) alvos receptores sensíveis muito baixos. Esta situação, embora se possa afirmar que não se traduz em incómodo, constituía (face ao antigo regulamento) incumprimento legal, vindo agora o n.º 5 do artigo 13º excluir estas situações.

O Artigo 19 refere-se às infra-estruturas de transporte em particular. Contudo incide principalmente sobre as infra-estruturas aéreas. Apenas o ponto 1, 8 e 9 se referem às infra-estruturas de transporte em geral.

Artigo 19.o
Infra-estruturas de transporte

1— As infra-estruturas de transporte, novas ou em exploração à data da entrada em vigor do presente Regulamento, estão sujeitas aos valores limite fixados no artigo 11.o

2— As grandes infra-estruturas de transporte aéreo em exploração à data da entrada em vigor do presente Regulamento, abrangidas pelo Decreto-Lei n.o 293/2003, de 19 de Novembro, devem adoptar medidas que permitam dar cumprimento ao disposto no artigo 11.o até 31 de Março de 2008.

3— Para efeitos do disposto nos números anteriores, devem ser adoptadas as medidas necessárias, de acordo com a seguinte ordem decrescente:

a) Medidas de redução na fonte de ruído;

b) Medidas de redução no meio de propagação de ruído.

4 — Excepcionalmente, quando comprovadamente esgotadas as medidas referidas no número anterior e desde que não subsistam valores de ruído ambiente exterior que excedam em mais de 5 dB (A) os valores limite fixados na alínea b) do n.o 1 do artigo 11.o, podem ser adoptadas medidas nos receptores sensíveis que proporcionem conforto acústico acrescido no interior dos edifícios adoptando valores do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado, $D_{2m,n,w}$, superiores em 3 dB aos valores constantes da alínea a) do n.o 1 do artigo 5.o, da alínea a) do n.o 1 do artigo 7.o e da alínea a) do n.o 1 do artigo 8.o, todos do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios.

5— A adopção e implementação das medidas de isolamento sonoro nos receptores sensíveis referidas no número anterior compete à entidade responsável pela exploração das infra-estruturas referidas nos n.os 1 e 2 do presente artigo ou ao receptor sensível, conforme quem mais recentemente tenha instalado ou dado início à respectiva actividade, instalação ou construção ou seja titular da autorização ou licença mais recente.

6— Por despacho conjunto dos membros do Governo responsáveis pelas áreas do ambiente e dos transportes e para efeito do cumprimento dos valores limite fixados no artigo 11.o do presente Regulamento, podem ser equiparadas a grandes infra-estruturas de transporte as infra-estruturas de transporte aéreo identificadas pelo Instituto Nacional de Aviação Civil como aeroporto civil com tráfego superior a 43 000 movimentos por ano de aviões subsónicos de propulsão por reacção e em que não seja possível cumprir os valores limite que lhes seriam aplicáveis.

7— O cumprimento do disposto no presente artigo é objecto de verificação no âmbito do procedimento de avaliação de impacte ambiental, quando ao mesmo haja lugar.

8— Quando a infra-estrutura de transporte não esteja sujeita a avaliação de impacte ambiental, a verificação do cumprimento do disposto no presente artigo é efectuada no âmbito do respectivo procedimento de licenciamento ou autorização.

9— As grandes infra-estruturas de transporte aéreo, ferroviário e rodoviário elaboram mapas estratégicos de ruído e planos de acção, nos termos do disposto no Decreto-Lei n.o 146/2006, de 31 de Julho.

4.3 DIRECTIVA COMUNITÁRIA N.º 2002/49/EC DE 25 DE JUNHO

O objectivo desta directiva consiste em estabelecer as regras relativas à avaliação e gestão do ruído ambiente, identificado pela Comissão no Livro Verde sobre a Futura Política de Ruído, como um dos principais problemas ambientais, visando uma abordagem comum para evitar, prevenir ou reduzir os efeitos prejudiciais da exposição ao ruído ambiente, em particular o emitido pelas principais fontes (veículos, infra-estruturas rodoviárias e ferroviárias, aeronaves, equipamento industrial e de exterior, maquinaria móvel) através da elaboração de mapas de ruído, com o objectivo de determinar a exposição ao ruído ambiente, informar o público e aprovar e implementar planos de acção com vista à prevenção e redução do ruído (preâmbulo e art.º 1º).

5 Conclusões

Este projecto reflecte um trabalho de pesquisa sobre o ruído em comboios de alta velocidade com especial incidência sobre dois principais parâmetros. A emissão do ruído e as medidas mitigadoras para o ruído em comboios de alta velocidade.

Saliento o facto do tema do trabalho estar razoavelmente documentado em bibliografia estrangeira, nomeadamente na França, Holanda e Inglaterra. A informação disponível em português é quase na totalidade da responsabilidade da RAVE (Alta Ferroviária de Alta Velocidade).

Ao nível da emissão do ruído em comboios de alta velocidade, aquele que se destaca é o ruído de rolamento que resulta de diferentes processos de geração do ruído, como o ruído de propulsão das locomotivas ou de equipamento auxiliar.

O ruído de rolamento é o ruído dominante nos comboios da alta velocidade até estes atingirem uma velocidade aproximada de 300 km/h, a partir dessa velocidade o ruído aerodinâmico supera o de rolamento. O problema do ruído ocorre principalmente nas zonas sensíveis, que se encontram inseridas em aglomerados populacionais. Uma vez que junto a aglomerados populacionais existe uma redução de velocidade por parte dos comboios de alta velocidade, o problema da componente aerodinâmica do ruído é antecipadamente minimizada. Dentro do ruído de rolamento a componente de ruído mais importante é a interacção entre as rodas e carris, que cresce com a velocidade, e aumenta significativamente em operações como as travagens ou em curva provocando o fenómeno designado por *Squeling*.

O objectivo do estudo do ruído nos comboios de alta velocidade passa por encontrar soluções que o minimizem. Dentro das várias soluções apresentadas, a medida mitigadora mais popular são as barreiras acústicas, isso acontece devido à sua eficácia e a facto de conseguirem uma redução do ruído global e não apenas de um mecanismo de geração de ruído.

Em futuros desenvolvimentos do estudo do ruído na alta velocidade seria interessante abordar os seguintes pontos:

- Avaliação do método de previsão de ruído definido na legislação por comparação com medições
- Análise aos Mapas de Ruído
- Estudo do Impacto económico do ruído na alta velocidade
- Investigar novas formas de mitigar o ruído na alta velocidade
- Definir as características ideais para as barreiras acústicas a usar nas linhas de alta velocidade

BIBLIOGRAFIA

- [1] Brunbauer, W. - LÄRMSPOLER, FRIENDLY NOISE INNOVATIVE NOISE ABATEMENT TECHNOLOGY ALONG TRACKS AND ROADS, Viena, 2006.
- [2] Carvalho, A. P. Oliveira – Acústica Ambiental e de Edifícios (6ª Edição), FEUP, Porto, 2007.
- [3] Changwoo, L.; Kim, J.; Hong, J.; Lee, S.; - The relationship between railway noise and community annoyance in Korea. Korea, 2006.
- [4] Confraria, J.; Monteiro, M.; Sousa, S.; Consequências económicas da exploração da Rede da Alta Velocidade – Alta Velocidade, Portugal mais próximo, RAVE, Lisboa, 2005.
- [5] Confraria, J.; Monteiro, M.; Sousa, S.; Consequências económicas do investimento na construção da Rede da Alta Velocidade – Alta Velocidade, Portugal mais próximo, RAVE, Lisboa, 2005.
- [6] Krylov, V. V. - Noise and Vibrations from high-speed trains, Brighton, 2001.
- [7] Mellet, C; Létourneaux, F.; Poisson, F.; Talotte, C. - High speed train noise emission: Latest investigation of the aerodynamic/rolling noise contribution, Journal of Sound and Vibration, França, Paris, 2006.
- [8] Nagakura, K. - Localization of aerodynamic noise sources of Shinkansen trains, Journal of Sound and Vibration, França, Paris, 2006.
- [9] Patania, F.; Gagliano, A.; Nocera, F.; Galesi, A.; D'Amico A.; - RAILWAY NOISE IN URBAN AREA: A REAL CASE STUDY IN CATANIA CITY, ICSV13, Viena, 2006.
- [10] Scholtan, Bas; Cost-Benefit Analysis HSL Portugal – Alta Velocidade, Portugal mais próximo, Lisboa, 2005. Financiamento da Alta Velocidade em Portugal – Alta Velocidade, Portugal mais próximo, RAVE, Lisboa, 2005.
- [11] Takami, H.; Kikuchi, K.; Iida, M.; Maekawa, H.; Kurita, T.; Wakabayashi, Y.; - LOW-FREQUENCY NOISE RADIATED FROM A HIGH-SPEED TRAIN RUNNING IN AN OPEN SECTION, ICSV13, Viena, 2006.
- [12] Talotte, C. – Aerodynamic noise: A critical survey, Journal of Sound and Vibration, França, Paris, 2000.
- [13] Vogiatzis, Constantinos; -ANTI-NOISE BARRIERS FOR TRAMS AND TRAINS IN URBAN ENVIRONMENT. RESULTS OF A MEASUREMENT CAMPAIGN AT ATHENS TRAM NETWORK, ICSV13, Viena, 2006.
- [14] <http://www.rave.pt> , 15h30m, acedido em 30 de Setembro de 2007.
- [15] <http://www.o-keating.com/hsr/>, 11h00, acedido em 26 de Setembro de 2007.
- [16] <http://pt.wikipedia.org/wiki/TGV> , 18h00, acedido em 15 de Setembro de 2007.
- [17] <http://www.portugaldiario.iol.pt/>, 21h00, acedido em 19 de Janeiro de 2008.

[18] <http://www.calmtracks.com> , 21h30, acessido em 19 de Janeiro de 2008.