



Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu



Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste trabalho surge no âmbito da Unidade Curricular de Dissertação/Projeto/Estágio, do curso de Mestrado em Tecnologias Ambientais, na Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu.

A realização deste trabalho só foi possível devido ao apoio de inúmeras pessoas que colaboraram nas diversas etapas do trabalho e a quem agradeço:

Ao Professor Doutor Paulo Pinho, pela orientação, esclarecimentos de dúvidas e atenção, na execução deste trabalho.

Em geral, à empresa Ambiente Global que permitiu a realização de estágio curricular na área do mapeamento de ruído e pela simpatia dos funcionários com que fui recebido.

À Engenheira Rita Sousa pela orientação e instrução do funcionamento do software de mapeamento de ruído e conhecimentos na modelação de ruído e, também, à Engenheira Bárbara Cardoso pela sua disponibilidade e atenção no esclarecimento de dúvidas.

Agradeço também à minha família pelo apoio incondicional que me deram durante todo o percurso académico e principalmente durante o estágio e elaboração deste trabalho.

RESUMO

O presente relatório foi elaborado no âmbito do estágio curricular do curso de Mestrado em Tecnologias Ambientais realizado na empresa Ambiente::Global, em Tondela, entre 21 de Novembro de 2011 e 31 de Maio de 2012.

O estágio teve como primeiro objetivo aprofundar os conhecimentos adquiridos no curso de Mestrado, na área de Modelação de Mapas de Ruído e assim melhorar os procedimentos utilizados na empresa. Este incidiu assim na atualização de mapas estratégicos de ruído e na elaboração dos respetivos planos de ação para grandes infraestruturas de transporte rodoviário.

Com o intuito de obter uma modelação do ruído mais precisa foram efetuados estudos sobre a influência dos dados de entrada nos modelos de previsão de ruído proveniente do tráfego rodoviário. Este estudo incidiu na avaliação da qualidade de parâmetros como as condições meteorológicas, número de eixos da via de tráfego, número de reflexões, tipo de solo, tipo de pavimento da via, fluxo de tráfego e velocidade de circulação dos veículos, nos resultados finais obtidos.

Com o estudo realizado verificou-se uma influência significativa da caracterização do tipo de solo, tipo de pavimento da via, da velocidade dos veículos e da caracterização dos dados de emissão sonora por faixa de rodagem.

Em suma, a caracterização física e quantitativa detalhada da fonte de ruído é um importante fator na modelação de ruído, permitindo uma maior exatidão.

PALAVRAS-CHAVE:

Modelos de previsão de ruído de tráfego, Mapas estratégicos de ruído, Dados de entrada de modelos.

ABSTRACT

The present report was prepared as part of the Environmental Technology Masters held in Ambiente::Global, Tondela, between 21 November 2011 and 31 May 2012.

The first objective was to deepen the knowledge about prediction models for road noise and thereby improve the procedures used in the company.

This stage focused on upgrading strategic noise mapping and drafting their respective action plans for major road infrastructures.

With the intention of obtaining more accurate noise maps, studies were conducted on the influence of input data in prediction models for road noise.

This study focused on the evaluation of quality parameters such as weather conditions, number of road lanes, number of reflections, ground surface, road surface, traffic flow and speed and the final results obtained.

In the study there was a significant influence of the characterization of ground surface, road surface, speed of vehicles and the characterization of noise emission data by lane.

In short, the physical and quantitative characterization details of noise source are an important factor in modeling noise maps, allowing for greater accuracy.

KEYWORDS:

Prediction models for road noise, Noise, Noise Strategy Maps, Input data in models.

Índice

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Âmbito e Objetivo de estágio | 1 |
| 2. Trabalho desenvolvido na empresa Ambiente::Global | 3 |
| 2.1. Descrição da Empresa | 5 |
| 3. Introdução..... | 7 |
| 3.1. Enquadramento Legislativo | 8 |
| 3.2. Exposição da população ao ruído | 14 |
| 3.2.1. EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO DAS AGLOMERAÇÕES AO RUÍDO NA EUROPA | 14 |
| 3.2.2. EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO DA AGLOMERAÇÃO DE LISBOA AO RUÍDO..... | 16 |
| 3.2.3. EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO FORA DAS AGLOMERAÇÕES AO RUÍDO DAS GITR EM PORTUGAL E NA EUROPA. | 17 |
| 3.3. Métodos de cálculo de previsão do ruído de Infraestruturas de Transporte..... | 18 |
| 3.3.1. MÉTODO DE CÁLCULO UTILIZADO NA EUROPA PARA INFRAESTRUTURAS DE TRANSPORTE | 18 |
| 3.3.2. MÉTODO DE CÁLCULO NMPB-ROUTES-96 E NORMA FRANCESA “XP S 31- 133” 20 | 20 |
| 3.3.3. PROJETO HARMONOISE | 22 |
| 4. Influência da Qualidade da informação base na modelação de ruído | 25 |
| 4.1. INFLUÊNCIA DO PERFIL TRANSVERSAL DA VIA..... | 26 |
| 4.2. INFLUÊNCIA DO TIPO DE SOLO..... | 27 |
| 4.3. INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS..... | 27 |
| 4.4. INFLUÊNCIA DO TIPO DE FLUXO DOS VEÍCULOS..... | 30 |
| 4.5. INFLUÊNCIA DO TIPO DE PAVIMENTO | 32 |
| 4.6. DISCUSSÃO GERAL | 33 |
| 5. Caso de Estudo | 35 |
| 5.1. METODOLOGIA | 35 |
| 6. Resultados / Discussão | 37 |
| 1 - INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS..... | 37 |
| 2 - INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE FAIXAS DA VIA..... | 39 |
| 3 - INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE REFLEXÕES | 42 |
| 4 - INFLUÊNCIA DO TIPO DE SOLO | 43 |
| 5 - INFLUÊNCIA DAS ALTERAÇÕES DE FLUXO DE TRÁFEGO | 44 |
| 6-INFLUENCIA DO TIPO DE PAVIMENTO | 46 |
| 7. Conclusão..... | 49 |
| Bibliografia..... | 51 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1- Gravidade dos efeitos do ruído na saúde e números pessoas afetadas. (Adaptado: Hollander, A., <i>et al</i> , 1999). | 7 |
| Figura 2 - Esquema da evolução do enquadramento legal. | 11 |
| Figura 3 - Gráfico da percentagem da população que vive em aglomerações e se encontra exposta ao ruído (Lden) na Europa. (Adaptado: Noise Observations and Information Service for Europe) | 15 |
| Figura 4 - Gráfico da percentagem da população que vive em aglomerações e se encontra exposta ao ruído noturno (Ln) na Europa. (Adaptado: Noise Observations and Information Service for Europe) | 15 |
| Figura 5 - Gráfico da percentagem da população de Lisboa exposta ao ruído (Lden). (Adaptado: Noise Observations and Information Service for Europe) | 16 |
| Figura 6 - Gráfico da percentagem da população de Lisboa exposta ao ruído noturno (Ln). (Adaptado: Noise Observations and Information Service for Europe) | 17 |
| Figura 7 - Gráfico da população exposta ao ruído Lden e Ln das GITR em Portugal e na Europa. (Adaptado: Noise Observations and Information Service for Europe)..... | 18 |
| Figura 8 - Principais objetivos do Projeto Harmonoise. Adaptado: Vos, P., <i>et al</i> , 2005. | 23 |
| Figura 9 - Efeito do perfil transversal da via e da absorção do solo na propagação do ruído. | 26 |
| Figura 10 - Influencia do perfil de temperatura na propagação do som..... | 28 |
| Figura 11 - Influência do vento na propagação do ruído. Adaptado Heimann, D. 2003 | 29 |
| Figura 12 - Atenuação típica com a distância a uma fonte sonora, para Condições Favoráveis, Homogéneas e Desfavoráveis [Rosão, V., 2001]..... | 29 |
| Figura 13 - Influência da velocidade na emissão sonora de veículos ligeiros em diferentes metodologias. Adaptado: Probst, 2009..... | 31 |
| Figura 14 - Fotografia aérea da via em estudo obtida pelo Google Earth..... | 36 |
| Figura 15 - Influência das condições meteorológicas para o indicador Lden com a distância. | 37 |
| Figura 16 - Influência das condições meteorológicas para o indicador Ln com a distância. | 38 |
| Figura 17 - Distância das isófonas dos indicadores Lden e Ln à rodovia. | 39 |
| Figura 18 – Influência do número de eixos para o indicador Lden. | 40 |
| Figura 19 - Distância das isófonas dos indicadores Lden e Ln à rodovia. | 41 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 20 - Diferença do cálculo com 1 reflexão (esquerda) e 2 reflexões (direita). | 42 |
| Figura 21 - Influência do tipo de solo para o indicador Lden. | 43 |
| Figura 22 - Distância das isófonas para os indicadores Lden e Ln à rodovia. | 44 |
| Figura 23 - Influência do tipo de fluxo para o indicador Lden. | 45 |
| Figura 24 - Influência do tipo de fluxo para o indicador Lden. | 46 |
| Figura 25 - Influência do tipo de pavimento para o indicador Lden. | 47 |
| Figura 26 - Distância das isófonas para os indicadores Lden e Ln à rodovia. | 48 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Métodos de cálculo utilizados na Europa. (Adaptado: WG-AEN, 2003)..... | 19 |
| Tabela 2- Fatores padrão de absorção do tipo de solo. Fonte: WG-AEN, 2006..... | 27 |
| Tabela 3 - Tráfego médio horário..... | 36 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|-----------------|---------|
| Definições..... | Anexo A |
|-----------------|---------|

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

AEA – Agência Europeia do Ambiente

GIT – Grande Infraestrutura de Transporte

GITR - Grande Infraestrutura de Transporte Rodoviária

GPG-2 – Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, version 2

PDM – Plano Diretor Municipal

RGR – Regulamento Geral do Ruído

UE – União Europeia

1. ÂMBITO E OBJETIVO DE ESTÁGIO

O presente trabalho foi realizado no âmbito do Estágio curricular do curso de Mestrado em Tecnologias Ambientais, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu. Este trabalho é o concluir de mais uma etapa do percurso académico com a finalidade da obtenção do Grau de Mestre.

O estágio efetuado na empresa Ambiente::Global, Lda teve a duração de seis meses, entre o dia 21 de novembro de 2011 e o dia 31 de maio de 2012, sendo o tema principal do estágio avaliar a influência dos dados de entrada na modelação de mapas de ruído.

O estágio teve como objetivo melhorar e aprofundar os conhecimentos adquiridos no mestrado e principalmente melhorar os procedimentos de inserção dos dados de entrada no modelo de previsão de ruído a utilizar para obter os MER de GTR adotados atualmente na empresa e com este intuito foram efetuados estudos sobre a influência dos dados de entrada nos resultados finais da modelação.

A influência dos dados de entrada nos modelos de previsão de ruído foi já estudada por muitos autores, assim o presente trabalho é mais um contributo para o estudo da influência dos dados de entrada na modelação do ruído emitido pelo tráfego rodoviário.

Para a execução deste estudo, utilizou-se um troço de uma autoestrada portuguesa, com dados reais de tráfego rodoviário.

A modelação foi realizada recorrendo ao software comercial, Predictor™ V 6.02.. Este software permite o cálculo dos níveis sonoros para uma determinada área geográfica. O modelo utilizou o método de cálculo francês NMPB-96 (método definido na norma francesa XP S 31-133).

Neste trabalho estudaram-se parâmetros como as condições meteorológicas, número de eixos da via de tráfego, número de reflexões de cálculo, tipo de solo, tipo de pavimento da via e fluxo de tráfego.

Assim este estudo permitirá verificar a importância de determinadas variáveis na modelação do ruído.

1. Âmbito e Objetivo de Estágio

2. TRABALHO DESENVOLVIDO NA EMPRESA AMBIENTE::GLOBAL

O estágio curricular, como referido anteriormente, incidiu na elaboração de Mapas Estratégicos de Ruído (MER) e respetivos Planos de Ação (PA).

Durante os seis meses de estágio foi efetuada uma pesquisa inicial acerca da legislação e normalização Portuguesa de modo a adquirir conhecimentos necessários para a elaboração dos MER, bem como uma análise nos procedimentos de introdução de dados e MER anteriores efetuados na empresa. Após as pesquisas, foram aplicados os novos conhecimentos na atualização dos MER realizados anteriormente pela empresa Ambiente::Global e realizaram-se os respetivos PA. Também foram realizados estudos da influência dos dados de entrada no modelo de previsão e apresentados no presente relatório.

Foram atualizados os MER de nove rodovias num total de 129 Km, tendo em conta dados mais atualizados, como o tráfego rodoviário do ano 2010 e 2011, o tipo de pavimento, solo, existência de barreiras acústicas. Estes MER foram atualizados de modo a elaborar os PA tendo em conta a situação atual das rodovias, pois ainda não tinham sido apresentados os PA relativos ao ano civil de 2006.

As atualizações dos MER e a elaboração dos PA foram realizados para lanços das autoestradas portuguesas A25, A29, A44, IP7, IC2, IC22, IC16, IC17 e IC19. Todos os lanços se enquadram na definição de GTR segundo o Decreto-Lei n.º 146/2006, uma vez que estas apresentavam volumes de tráfego médios anuais superiores a 6 milhões de veículos.

O lanço em estudo da A25 caracteriza-se por ser um eixo com perfil transversal de, essencialmente, 2x2 vias com tapete asfáltico, sem declive acentuado. Neste existem já medidas de controlo e redução de ruído, nomeadamente barreiras acústicas.

A autoestrada A29 foi dividida em quatro lanços sendo dois caracterizados por um eixo 2*2 vias, de tapete poroso, sem declive acentuado, nestes existem medidas de controlo e redução de ruído, nomeadamente barreiras acústicas e outros dois caracterizados por um eixo maioritariamente 3*3, de tapete poroso, sem declive acentuado, no entanto só um dos lanços apresenta medidas de controlo e redução de ruído.

A A44 caracteriza-se por ser um eixo com perfil transversal de, essencialmente, 2x2 vias com camada de desgaste tipo poroso, pouco ruidoso, sem declive acentuado, nesta não existem medidas de controlo e redução de ruído.

2. Trabalho desenvolvido na empresa Ambiente::Global

O IP7 caracteriza-se por ser um eixo com perfil transversal de, essencialmente, 3x3 vias com camada de desgaste tipo poroso, pouco ruidoso, sem declive acentuado. No lanço em estudo existem já medidas de controlo e redução de ruído, nomeadamente barreiras acústicas.

O IC2 caracteriza-se por ser um eixo com perfil transversal de, essencialmente, 2x2 vias, tapete asfáltico, sem declive. No lanço em estudo existem já medidas de controlo e redução de ruído, nomeadamente barreiras acústicas.

O IC16 caracteriza-se por ser um eixo com perfil transversal de, essencialmente, 3x3 vias com tapete asfáltico, e declive ascendente no sentido IC17 – Nó de Belas. No lanço em estudo existem medidas de controlo e redução de ruído, nomeadamente uma barreira acústica.

O IC17 caracteriza-se por ser um eixo com perfil transversal de, essencialmente, 4x4 vias, tapete asfáltico, sem declive acentuado. No lanço em estudo existem medidas de controlo e redução de ruído, nomeadamente barreiras acústicas.

O IC 19 caracteriza-se por ser um eixo com perfil transversal de, essencialmente, 3x3 vias com tapete asfáltico, sem declive acentuado. No lanço em estudo existem medidas de controlo e redução de ruído, nomeadamente barreiras acústicas.

O IC 22 Caracteriza-se por ser um eixo com perfil transversal de, essencialmente, 2x3 vias com um tapete asfáltico, e declive ascendente no sentido Montemor (IC18). No lanço em estudo existem já medidas de controlo e redução de ruído, implementadas após a aprovação do MER, nomeadamente barreiras acústicas.

Na atualização dos MER foram corrigidos dados como o tipo de pavimento, tráfego rodoviário para dados mais atuais (2010 e 2011) bem como a introdução de dados de barreiras acústicas mais recentes. Na elaboração dos PA aplicando os conhecimentos adquiridos realizaram-se testes de modo a verificar a maior eficácia das medidas de redução de ruído.

No caso de medidas de redução de propagação do ruído, como a colocação de barreiras acústicas, o posicionamento correto, bem como a altura e comprimento são importantes fatores na atenuação do ruído, sendo assim é necessário realizar vários testes até obter a melhor atenuação dentro de determinados limites, outra medida de redução de ruído é a alteração do tipo de piso para um menos ruidoso.

2.1. DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A Ambiente::Global - Serviços Ambientais, Lda. foi constituída em 2003, com sede na cidade de Tondela, sendo uma microempresa constituída com menos de 10 trabalhadores distribuídos pelas diferentes áreas em que a empresa atua. Esta empresa apresenta uma equipa jovem, dinâmica e multidisciplinar, com formação superior e formação pós-graduada em distintas áreas técnicas, com a Engenharia de Energia, Ambiente, Química, Química Industrial, Gestão Ambiental e Higiene e Segurança no Trabalho (HST).

Em 2006, a Ambiente Global foi reconhecida pelo IPAC com a acreditação de ensaios, de acordo com a norma NP EN ISO 17025:2005, no âmbito da caracterização de efluentes gasosos, ensaios de acústica, ruído e qualidade do ar interior, cujo certificado e anexo técnico pode ser consultado no site do IPAC (L0397 http://www.ipac.pt/pesquisa/ficha_lae.asp?ID=L0397).

Após a consolidação da acreditação a Ambiente Global obteve, em 2010, a certificação integrada em Qualidade, Ambiente e em Segurança e Higiene no Trabalho de acordo com os requisitos das Normas NP EN ISO 9001:2008, NP EN ISO 14001:2004 e OSHAS 18001:2007 / NP 4397.2008, no âmbito da “Prestação de Serviços de Higiene e Segurança no Trabalho e Monitorização de Parâmetros Ambientais e Ocupacionais”.

Também, no decorrer do ano 2010, a Ambiente Global concluiu o processo de autorização de Prestação de Serviços Externos de Segurança e Higiene no Trabalho pela ACT (autorização 596 06 1 10 08).

A Ambiente Global foi a primeira empresa privada a nível nacional com certificação integrada e acreditação de um vasto conjunto de ensaios de monitorização e autorização pela ACT para prestação de serviços externos de Segurança e Higiene no Trabalho.

As principais atividades estão relacionadas com trabalho de amostragem em campo de poluentes ambientais, ou seja nas instalações do cliente, trabalho em laboratório (pesagem de filtros, verificação de equipamentos de medição, preparação de todo o material de amostragem), tendo também uma componente de consultoria.

Relativamente à monitorização/medição, a Ambiente::Global – Serviços Ambientais, Lda., efetua:

- Amostragem e caracterização de Poluentes em Efluentes Gasosos;
- Amostragem e caracterização de Poluentes em Efluentes Líquidos;

2. Trabalho desenvolvido na empresa Ambiente::Global

- Medições Acústicas:
 - Medição e determinação de níveis de ruído ambiental;
 - Medição e determinação de níveis de ruído ocupacional;
 - Acústica em edifícios;
- Amostragem e caracterização de resíduos;
- Amostragem e caracterização de Contaminantes Químicos em Atmosferas Ocupacionais;
- Medição de Ambiente Térmico em Atmosferas Ocupacionais;
- Medição de Níveis de Iluminância em Atmosferas Ocupacionais;

Quanto à consultoria, os serviços prestados incluem:

- Elaboração de Planos de Monitorização Ambiental;
- Diagnósticos ambientais;
- Consultoria em gestão ambiental e monitorização ambiental;
- Consultoria em Higiene e Segurança no Trabalho;
- Acompanhamento Ambiental em Obra;
- Prestação de serviços de SHST;
- Coordenação de Segurança em Obra;
- Implementação de sistemas de gestão (ambiental, qualidade e da segurança e saúde do trabalho);
- Implementação e Avaliação de Sistemas de Gestão de Resíduos;
- Modelação de Mapas de Ruído;
- Gestão de Energia;
- Estudos de impacte ambiental;
- Sensibilização na área ambiental;
- Implementação de Sistemas de HACCP.

Relativamente à modelação de mapas de ruído, na empresa, a responsável é a Eng.^a Rita Sousa. A empresa já efetuou cerca de 36 mapas estratégicos de ruído, podendo ser consultados os nomes das rodovias no site da empresa.

3. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento económico, cultural, industrial, a expansão urbanística, o aumento de tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo, contribuíram para o aumento do ruído, com valores superiores aos limites estipulados pelos governos.

O ruído proveniente dos transportes e, principalmente, o ruído dos transportes rodoviários, é um dos problemas ambientais mais discutidos na Europa (e.g. Babisch, W. *et al.* 2005).

Sendo o ruído com origem no tráfego rodoviário, principalmente em zonas com elevada população, responsável por cerca de 70% da poluição sonora [e.g. Rodrigue, J., 2009].

Assim, a qualidade de vida, o bem-estar e a saúde das populações encontra-se cada vez mais afetado pelo ruído, não só a nível fisiológico, mas também a nível psicológico, tendo como consequências perturbações do sono, doenças cardiovasculares, perturbações psiquiátricas, surdez, défice de concentração e dificuldade na comunicação, e outras [e.g. Hollander, A., *et al.*, 1999]

Os efeitos do ruído na saúde já são conhecidos há muito tempo e começam a manifestar-se com níveis de ruído mais baixos do que se pensava inicialmente (AEA, 2011).

A gravidade dos efeitos na saúde devido ao ruído que afetam um determinado número de pessoas, é esquematizado na Figura 1.

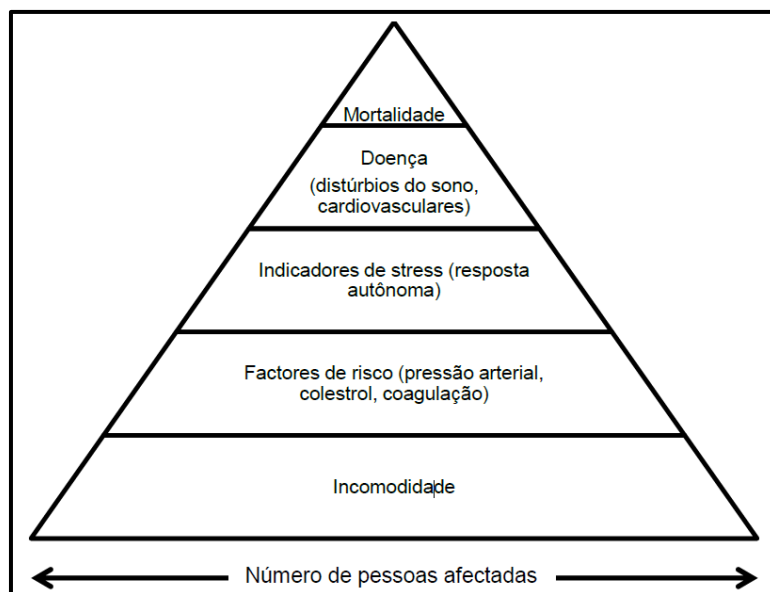


Figura 1- Gravidade dos efeitos do ruído na saúde e números pessoas afetadas. (Adaptado: Hollander, A., *et al.*, 1999).

3. Introdução

A incomodidade provocada pelo ruído afeta um elevado número de pessoas. Das pessoas incomodadas uma parte significativa terá alterações a nível fisiológico tais como o aumento de pressão arterial, podendo uma parte desta população desenvolver doenças cardiovasculares e/ou distúrbios do sono que eventualmente podem ser um fator a contribuir para a mortalidade (Hollander, A., *et al*, 1999).

Tendo em conta todos os efeitos do ruído na saúde, no bem-estar e na qualidade de vida é cada vez mais necessário avaliar e prever os níveis de ruído, de modo a tomar medidas de redução de ruído.

As medidas de prevenção e redução de ruído proveniente do tráfego rodoviário, passam principalmente pela implementação de barreiras acústicas, controlo de tráfego (limitação de velocidade), bem como o tipo de piso que a constitui.

Com o intuito de prever e minimizar o ruído foram desenvolvidos modelos de previsão dos níveis sonoros no exterior, de modo a possibilitar a identificação e proteção de zonas afetadas por níveis de ruído superiores aos permitidos.

No entanto, a modelação do ruído não é fácil, pois por vezes é difícil obter dados detalhados das variáveis a considerar na emissão sonora e na propagação do ruído. Contudo quanto maior o detalhe e número das variáveis que se utilizar na modelação, maior é a precisão da modelação.

3.1. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO

Em Abril de 1987 foi criada a Lei de Bases do Ambiente com a publicação da Lei n.º 11/87 de 7 de Abril, que teve como objetivo enquadrar toda a legislação existente acerca do ambiente. Esta tem como objetivo geral a melhoria da qualidade de vida, racionalizando a utilização de recursos naturais e promovendo o desenvolvimento sustentável. Esta Lei visa também a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações, tendo em conta os efeitos do ruído.

Após dois meses da publicação da Lei de Bases do Ambiente foi aprovado o primeiro Regulamento Geral sobre o Ruído com a aprovação do Decreto-Lei n.º 251/87 de 24 de Junho. Este Decreto especificou a Legislação acerca do ruído impondo os limites de nível de ruído para as diversas atividades geradoras de ruído. O Decreto-lei n.º 251/87 foi posteriormente alterado em Setembro de 1989 pelo Decreto-lei n.º 292/89 de 2 de Setembro, introduzindo alterações que visavam esclarecer alguns aspetos sobre os quais foram suscitadas questões.

Em 1990, foi publicada a Portaria n.º879/90 de 20 de Setembro, que posteriormente alterada pela Portaria n.º 77/96 de 9 de Março transposta da Diretiva 95/27/CE, relativamente à obrigação da sinalização dos equipamentos que emitem níveis de ruído superiores a 80dB.

Relativamente à exposição dos trabalhadores ao ruído durante o trabalho, em 1992 foi publicado Decreto-Lei n.º 72/92 de 28 de Abril que transpõe a Diretiva 86/188/CEE sobre o quadro geral de proteção dos trabalhadores contra riscos devido ao ruído durante o trabalho e o Decreto Regulamentar n.º 9/92 de 28 de Abril, sendo revogados em 2006 pelo Decreto-Lei n.º 182/2006 de 6 de Setembro que transpõe a Diretiva 2003/10/CEE (revogação da Diretiva 86/188/CEE), que estabelece as prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos ao ruído, e bem como um conjunto de medidas a aplicar em caso de incumprimento.

O primeiro Regulamento Geral do Ruído foi revogado, em 2000, pelo Decreto-lei n.º 292/2000 de 14 de Novembro, sendo este alterado pelos Decreto-Lei n.º 76/2002 de 26 de Março e Decreto-Lei n.º 259/2002 de 23 de Novembro, na perspetiva de dar autoridade às câmaras municipais na fiscalização de atividades de ruído de vizinhança, atividades ruidosas temporárias e planeamento e ordenamento do solo.

O Decreto-Lei n.º 76/2002 transposto da diretiva 2000/14/CE foi revogado pelo Decreto-Lei n.º 221/2006 de 8 de Novembro que transpõe a Diretiva 2005/88/CE sobre emissões sonoras de serviços e equipamentos para utilização no exterior, procedimentos de avaliação de conformidade, com vista a contribuir para a proteção da saúde e bem-estar da população.

O decreto-Lei n.º 129/2002 de 11 de Maio publica o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) e republicado em 2008 pelo Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho.

Relativamente ao ruído nos aeroportos em geral foi transposta a Diretiva 2002/30/CE sobre o estabelecimento de regras e procedimentos para a introdução de restrições de operação relacionadas com o ruído nos aeroportos para o Decreto-Lei n.º 293/2003 de 19 de Novembro.

Em 2006, o Decreto-Lei 146/2006 de 31 de Julho transpôs a Diretiva 2002/49/CE sobre a avaliação e gestão do ruído, estabelecendo um regime de obrigatoriedade na elaboração de mapas estratégicos de ruído e respetivos planos de ação, que tem como objetivo prevenir e reduzir o ruído, que em níveis elevados podem provocar efeitos nefastos na saúde humana e da qualidade do meio ambiente, disponibilizando

3. Introdução

informação ao público relativa aos níveis de ruído ambiente. Esta obrigação recai sobre as grandes infraestruturas de transporte e as aglomerações de maior expressão populacional. Este Decreto-Lei foi retificado pela Declaração de retificação n.º 57/2006 de 31 de Agosto.

O atual Regulamento Geral sobre o Ruído é disposto no Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro que revoga o anterior RGR. Este Decreto-Lei regulamenta a prevenção e controlo da poluição sonora. O Decreto-Lei é ainda retificado pela Declaração de Retificação n.º 18/2007 de Março e alterado pelo Decreto-lei n.º 278/2007 de 1 de Agosto.

No Anexo I encontram-se definições presentes nos diplomas legais referidos e importantes para a compreensão deste trabalho.

A evolução Legislativa pode ser visualizada de forma esquematizada na Figura 2.

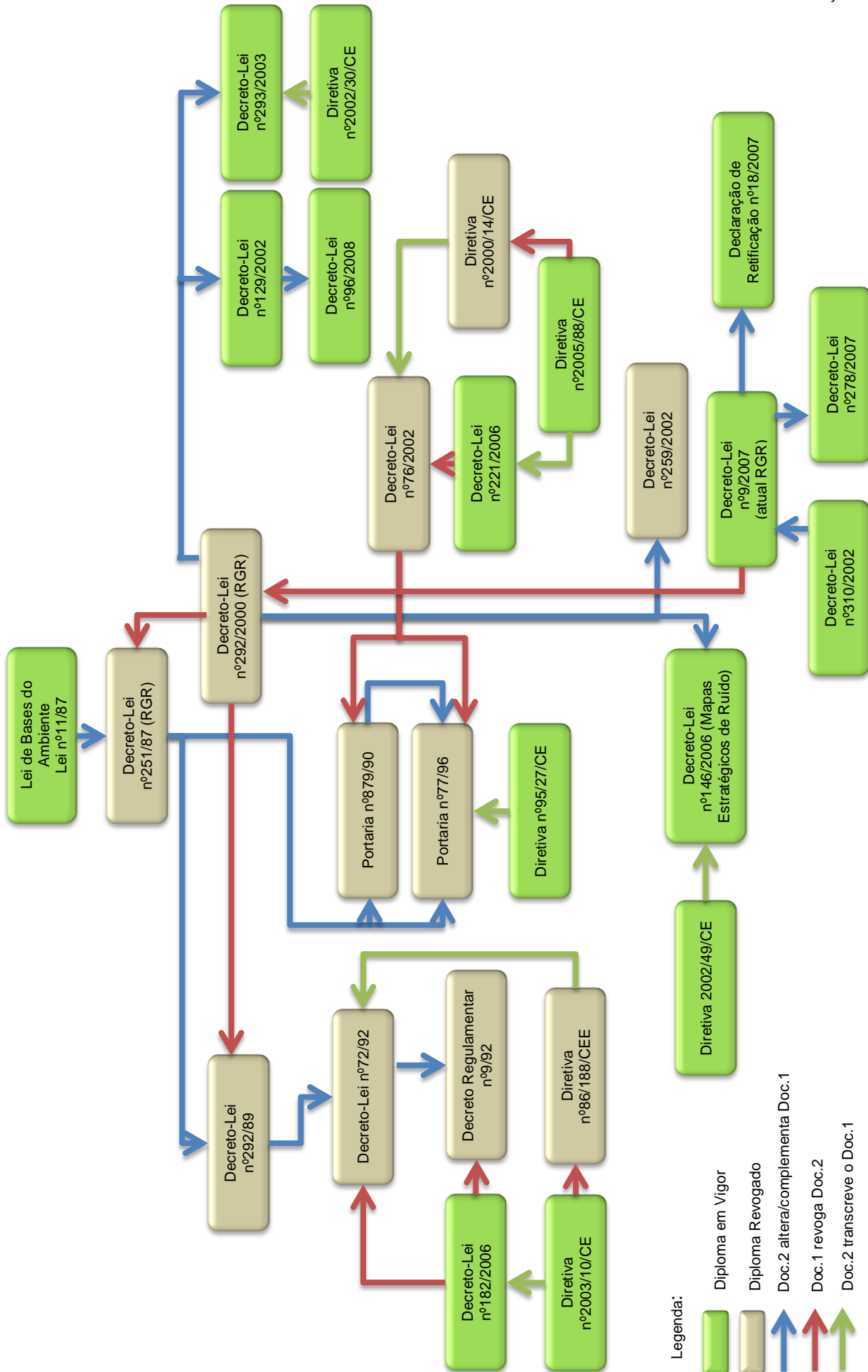


Figura 2 - Esquema da evolução do enquadramento legal.

3. Introdução

Com a implementação do Decreto-Lei n.º 146/2006, os mapas estratégicos de ruído passaram, assim, a ser obrigatórios, disponibilizando a informação ao público de acordo com os critérios definidos ao nível comunitário, e também os respetivos planos de ação.

Os mapas de ruído são ferramentas estratégicas de análise e planeamento que permitem integrar a prevenção e controlo de ruído em Ordenamento do Território, facilitando ainda a divulgação e o acesso do público à informação sobre ruído ambiente [APA, 2011].

A realização dos mapas estratégicos de ruído são obrigatórios para grandes infraestruturas de transporte (GIT) rodoviário, ferroviário, aéreo e para aglomerações.

De acordo com os prazos definidos no DL n.º 146/2006, para as aglomerações, os mapas estratégicos de ruído, deviam ter sido elaborados e enviados à APA, do ano civil de 2006, para todas as aglomerações com mais de 250.000 habitantes até 31 de Março de 2007, os mapas elaborados para o ano civil de 2011, deviam ter sido para todas as aglomerações com mais de 100.000 habitantes até 31 de Março de 2012.

Em relação às GIT, deviam ter sido elaborados para o ano civil de 2006, para o transporte rodoviário com mais de 6 milhões de passagens de veículos por ano, para o transporte ferroviário com mais de 60.000 passagens de comboios por ano e para o transporte aéreo com mais de 50.0000 movimentos por ano e enviados à APA até 31 de Março de 2007 e aprovados pela APA até 30 de Junho de 2007. Os mapas que deviam ter sido elaborados para o ano civil de 2011, para transporte rodoviário com mais de 3 milhões de passagens de veículos por ano, para o transporte ferroviário com mais de 30.000 passagens de comboios por ano e enviados para a APA até de 28 de Fevereiro de 2012 e aprovados pela APA até 30 de Junho de 2012

Os planos de ação realizam-se após a análise dos resultados dos MER e aplicam-se às situações onde se identifica desconformidade com a legislação do Regulamento Geral do Ruído, ou seja, aplica-se às situações onde os valores obtidos ultrapassam os valores limites.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 146/2006 de 31 de Julho, o plano de ação de uma GITR deverá incluir os seguintes requisitos constantes do Anexo V do Decreto-Lei 146/2006 de 31 de Julho:

- A descrição da grande infraestrutura de transporte rodoviário;

- A entidade competente pela elaboração do plano e as entidades competentes pela execução das eventuais medidas de redução de ruído já em vigor e das ações previstas;
- O enquadramento jurídico;
- Os valores limites existentes no Regulamento Geral do Ruído;
- Um resumo dos dados que lhes dão origem, os quais se baseiam nos resultados dos mapas estratégicos de ruído;
- Uma avaliação do número estimado de pessoas expostas ao ruído, identificação de problemas e situações que necessitem de ser corrigidas;
- Um registo das consultas públicas, organizadas de acordo com a legislação aplicável;
- Eventuais medidas de redução do ruído já em vigor e projetos em curso;
- Ações previstas pelas entidades competentes para os cinco anos seguintes, incluindo quaisquer ações para a preservação de zonas tranquilas;
- Estratégia a longo prazo;
- Informações financeiras (se disponíveis): orçamentos, avaliação custo-eficácia, avaliação custo-benefício;
- Medidas previstas para avaliar a implementação e os resultados do plano de ação.

Os planos de ação devem identificar as medidas a adotar prioritariamente sempre que se detetem, a partir dos respetivos mapas estratégicos de ruído, zonas ou recetores sensíveis onde os indicadores de ruído ambiente L_{den} e L_n ultrapassem os valores limite fixados no Regulamento Geral do Ruído, bem como conter estimativas em termos de redução do número de pessoas afetadas (incomodadas, que sofram de perturbações do sono ou outras).

As propostas de medidas de redução de ruído devem ser inicialmente referentes às medidas de redução na fonte de ruído e só depois para a propagação do ruído. Em relação a medidas de redução de ruído no recetor só devem ser aplicadas após esgotadas as anteriores medidas onde não se verifique atenuação suficiente.

Os mapas estratégicos de ruído têm, assim, como objetivo proporcionar uma base de dados de acordo com o estipulado no Decreto-Lei 146/2006 de 31 de Julho, no que se refere à informação a transmitir à Comissão Europeia, informar as populações em geral, e proporcionar uma base para a elaboração de planos de ação de redução de ruído.

3. Introdução

3.2. EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO AO RUÍDO

Na União Europeia (EU) a exposição ao ruído é um problema que afeta cada vez mais a população, ficando assim expostas às consequências que advêm do ruído provocando problemas na saúde humana. As grandes infraestruturas de transportes são as que afetam mais as populações e principalmente quando se encontram perto de aglomerações.

Na UE cerca de 20% da população é afetada por níveis de ruído considerados inaceitáveis causando assim incómodo e perturbações a nível do sono [AEA, 2011].

De forma a fornecer dados da exposição ao ruído devido a infraestruturas de transporte, a Agência Europeia do Ambiente (AEA) e o Centro Temático Europeu sobre Informação Espacial e Análise (ETC-SIA), em nome da Comissão Europeia, sustentam uma base de dados relacionados a mapas estratégicos de ruído em conformidade com a Diretiva 2002/49/CE, denominada NOISE (Noise Observation and Information Service for Europe) [<http://noise.eionet.europa.eu/>].

3.2.1. EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO DAS AGLOMERAÇÕES AO RUÍDO NA EUROPA

As principais fontes de ruído, na Europa, que afetam a população das aglomerações são as infraestruturas de transporte, mas principalmente o transporte rodoviário.

Na Figura 3 pode verificar-se que para o transporte rodoviário e ao nível do indicador de ruído L_{den} cerca de 8% da população das aglomerações são expostas a níveis entre 65 e 69 dB, 4% a níveis de ruído entre 70 e 74 dB e ainda aproximadamente 1 % da população das aglomerações são expostas a níveis superiores a 75 dB. Os transportes ferroviários e aéreos pouco afetam as aglomerações. Estes níveis de ruído são superiores aos permitidos por lei e têm consequências para a saúde.

Relativamente às grandes infraestruturas também se verifica que são as GIT rodoviárias que afetam a maior parte da população das aglomerações. Pela análise à Figura 3 verifica-se que cerca de 1,5% da população das aglomerações está exposta a níveis de ruído entre 65-69 dB e mais de 1% da população das aglomerações exposta a níveis de ruído superiores a 70 dB, relativamente ao ruído produzido pelas GITR.

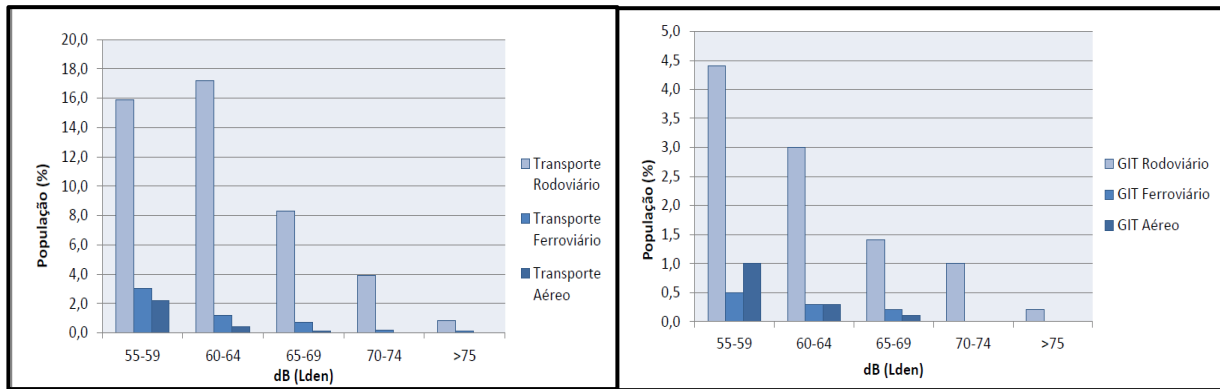


Figura 3 - Gráfico da percentagem da população que vive em aglomerações e se encontra exposta ao ruído (Lden) na Europa. (Adaptado: Noise Observations and Information Service for Europe)

O ruído produzido pelo transporte rodoviário no período noturno (Figura 4) é o que afeta mais as populações, onde cerca de 9% e 5% da população dentro das aglomerações se encontram expostos a níveis de ruído entre 55 a 59dB e 65 a 69dB, respectivamente. Os transportes aéreos são os que afetam menos a população dentro das aglomerações.

Relativamente à exposição do ruído no período noturno, produzido pelas GITS, (Figura 4) verifica-se que 1,6% da população dentro das aglomerações encontra-se exposta a níveis de ruído entre 55-59 dB e cerca de 1,2% para intervalos de 60-64 dB e 65-69 dB. Também se verifica que não existe população exposta a níveis de ruído superior a 70dB, relativamente às GITS.

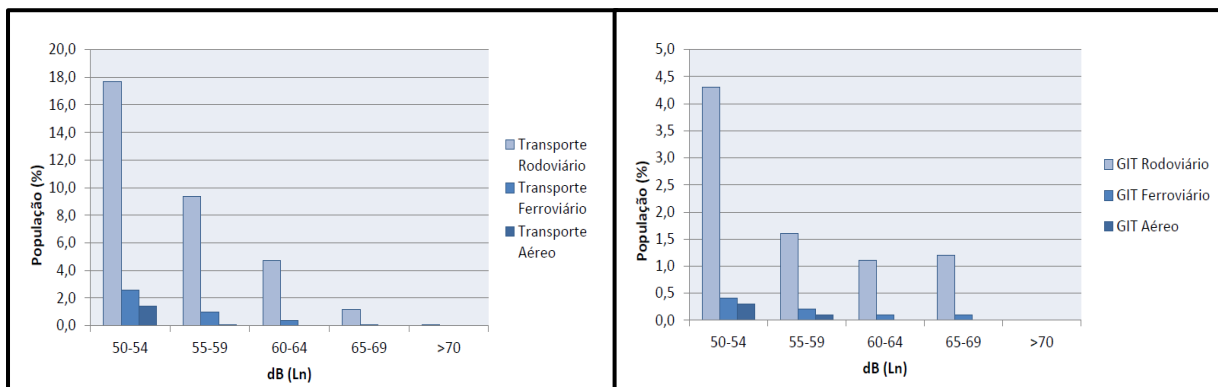


Figura 4 - Gráfico da percentagem da população que vive em aglomerações e se encontra exposta ao ruído noturno (Ln) na Europa. (Adaptado: Noise Observations and Information Service for Europe)

3. Introdução

3.2.2. EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO DA AGLOMERAÇÃO DE LISBOA AO RUÍDO

Os dados de ruído portugueses inseridos na base de dados da NOISE, são unicamente reportados à região de Lisboa, relativamente às aglomerações. Os dados de transporte ferroviário e aéreo são os mesmos dados de ruído das GIT respetivas dentro das aglomerações, e apenas os dados de transporte rodoviário são diferenciados das GIT rodoviário.

Nesta região, no que se refere ao indicador de ruído Lden (Figura 5), cerca de 7% da população dentro das aglomerações encontra-se exposta a níveis de ruído entre 65 e 69 dB e mais de 2% da população dentro das aglomerações encontra-se exposta a níveis de ruído superior a 70 dB, produzido pelo transporte rodoviário. Na região de Lisboa o tráfego aéreo afeta mais a população do que o transporte ferroviário para níveis de ruído inferiores a 70 dB, no entanto, para valores superiores a 70 dB o tráfego ferroviário afeta mais que o aéreo. O transporte aéreo afeta 1,2% da população dentro das aglomerações com níveis de ruído entre 65-69 dB.

Relativamente ao ruído produzido pelas GIT rodoviárias, apenas 0,5% da população dentro das aglomerações encontra-se exposta a níveis de ruído entre 65-69 dB e 0,3% expostos a níveis de ruído entre 70-74dB, como se pode verificar na Figura 5.

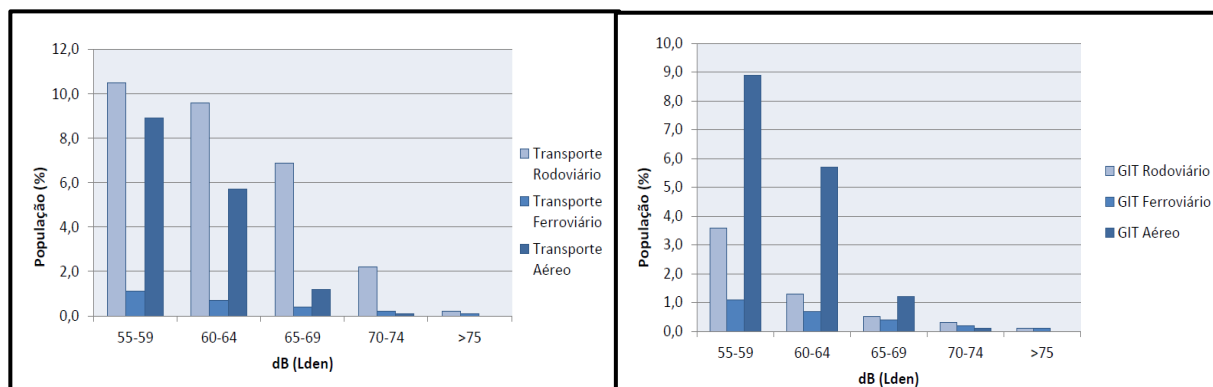


Figura 5 - Gráfico da percentagem da população de Lisboa exposta ao ruído (Lden). (Adaptado: Noise Observations and Information Service for Europe)

No período noturno (Figura 6) verifica-se que mais de 7% da população está exposta a níveis de ruído entre 55 e 59dB para o ruído produzido pelo transporte rodoviário e mais de 2% para o ruído produzido no transporte aéreo.

Para níveis de ruído entre 60 e 64dB dB cerca de 3% da população está exposta ao ruído do transporte e 0,4% da população encontra-se exposta ao ruído do transporte aéreo.

Relativamente ao período noturno para as GIT (Figura 6), verifica-se que é a GIT aérea que mais afeta a população da aglomeração de Lisboa.

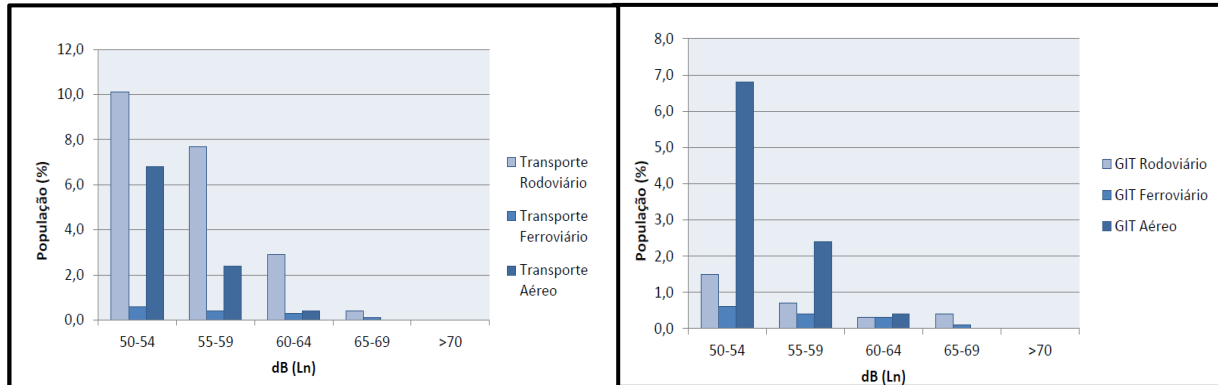


Figura 6 - Gráfico da percentagem da população de Lisboa exposta ao ruído noturno (Ln). (Adaptado: Noise Observations and Information Service for Europe)

Em suma, verifica-se que a fonte de ruído mais preocupante, proveniente de estruturas de transporte, é ao nível do tráfego rodoviário, afetando assim a saúde e o bem-estar da população.

3.2.3. EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO FORA DAS AGLOMERAÇÕES AO RUÍDO DAS GITS EM PORTUGAL E NA EUROPA.

A base de dados da NOISE fornece dados relativamente à população fora das aglomerações em Portugal e na Europa em habitantes/Km de rodovia. Como se pode verificar, na Figura 7, existe uma grande diferença entre a exposição na Europa e em Portugal. Relativamente ao indicador de ruído L_{den} existem cerca de 225 habitantes/Km de rodovia expostos a níveis de ruído entre 55 a 59 dB(A) na Europa e apenas 4,9 habitantes/Km de rodovia em Portugal. Relativamente a níveis de ruído entre 65 e 69 dB(A) na Europa existem cerca de 66 habitantes/Km de rodovia e em Portugal existem apenas 0,6 habitantes/Km de rodovia. Para níveis de ruído acima dos 75 dB(A) na Europa existem cerca de 29 habitantes/Km de rodovia e em Portugal existem apenas 0,1 habitantes/Km de rodovia expostos ao ruído.

Relativamente ao ruído noturno verificam-se também grandes diferenças. Para níveis de ruído entre 55 a 59 dB(A) na Europa existem cerca de 89 habitantes/Km de rodovia e em Portugal existem apenas 0,8 habitantes/Km de rodovia e entre 65 e 69 dB(A) existem cerca de 11,4 habitantes/Km de rodovia na Europa e cerca de 0,1 habitantes/Km de rodovia em Portugal.

3. Introdução

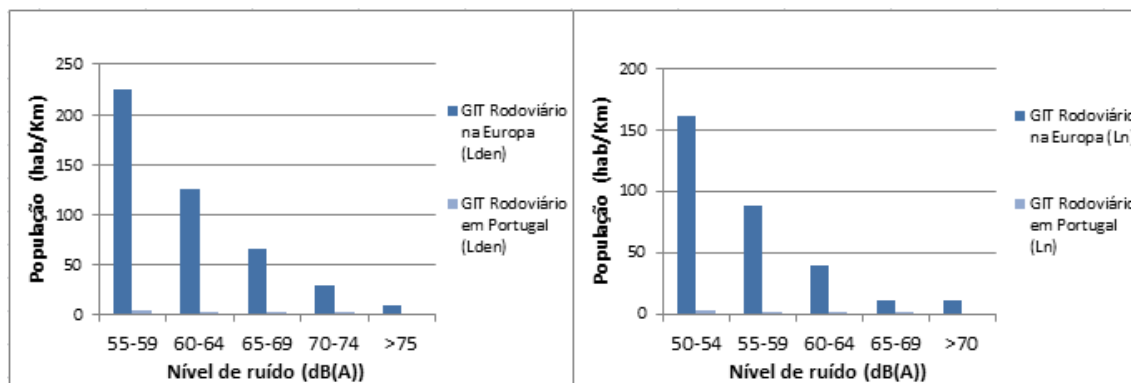


Figura 7 - Gráfico da população exposta ao ruído Lden e Ln das GTR em Portugal e na Europa. (Adaptado: Noise Observations and Information Service for Europe).

Como se pode verificar pelos dados obtidos na base da NOISE, a população portuguesa encontra-se menos exposta ao ruído das GTR em comparação com a Europa.

3.3. MÉTODOS DE CÁLCULO DE PREVISÃO DO RUÍDO DE INFRAESTRUTURAS DE TRANSPORTE

A elaboração de mapas de ruído é uma atividade praticada desde os anos 70, por muitos países da Europa. Esta prática já era realizada sem a obrigatoriedade de quadros legais de forma a avaliar o ruído [e.g. Beving, M., Vos, P., 2004].

No entanto, como referido anteriormente, esta atividade passou a ser obrigatória, pois o ruído começou a ser visto como um dos principais problemas ambientais.

3.3.1. MÉTODO DE CÁLCULO UTILIZADO NA EUROPA PARA INFRAESTRUTURAS DE TRANSPORTE

Tendo em conta que nem todos os países da União Europeia criaram métodos de cálculo nacionais, no anexo II da Diretiva 2002/49/CE, são recomendados métodos a utilizar.

Por toda a Europa são utilizados diferentes métodos de cálculo, no entanto, o método de cálculo mais usado para as estruturas rodoviárias é o método NMPB-96/XPS 31-133, recomendado pela Diretiva 2002/49/CE, sendo este utilizado pelos seguintes estados-membros: França, Espanha, Portugal, Itália, Grécia e Bélgica. No caso dos cálculos para as estruturas ferroviárias o mais utilizado é o método RMR (SRM 11), utilizado em Portugal, Espanha, Itália, Bélgica e Grécia. No que diz respeito ao cálculo para o transporte aéreo o modelo mais utilizado é o ECAC DOC 29.

Em Portugal, de acordo com o disposto na alínea a), no anexo II, do Decreto-Lei 146/2006 de 31 de Julho, o método de cálculo para simulação da propagação do ruído de tráfego rodoviário é o método nacional de cálculo francês «NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)», a que se refere o «Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal Officiel du 10 mai 1995, article 6» e de acordo com a norma francesa XPS 31-133.

No caso da simulação da propagação do ruído de tráfego ferroviário é utilizado o método de cálculo nacional Standaard-Rekenmethode II (SRM-II) dos Países Baixos, publicado na «Reken—Meetvoorschrift Railverkeerslawaal'96, Ministerie Volkshulvesting, Ruimtellijke Ordening en Milleubeheer, 20 de Novembro de 1996».

Para a simulação da propagação do ruído do tráfego aéreo é utilizado o método ECAC.CEAC Doc. 29, «Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports», 1997.

Na Tabela 1 encontram-se apresentados, de forma sintetizada, os métodos de cálculo utilizados em cada país, da Europa [WG-AEN, 2003].

Tabela 1 - Métodos de cálculo utilizados na Europa. (Adaptado: WG-AEN, 2003)

| País | Rodoviário | Ferroviário | Aéreo |
|--------------------|---------------------|--------------------|----------------------------------------------------|
| França | NMPB/XPS 31-133 | NMPB/XPS 31-133 | Lden and INM |
| Alemanha | RLS90 | Schal03 | AzB |
| Espanha | NMPB/XPS 31-133 | RMR (SRM 11) | ECAC DOC 29 |
| Itália | NMPB/XPS 31-133 | RMR (SRM 11) | ECAC DOC 29 |
| Reino Unido | CRTN | CRN | ANCON2 & INM em utilização, ECAC DOC 29 em análise |
| Irlanda | CRTN | CRN | INM |
| Bélgica | NMPB/XPS 31-133 | RMR (SRM 11) | ECAC DOC 29 |
| Dinamarca | Temanord 525 | NBT85 | ECAC DOC 29 (DENL) |
| Holanda | RMW 2002 (SRM I+II) | RMR 2002 (SRMI+II) | RLD/BV-01 and RLD/BV-02 |
| Portugal | NMPB/XPS 31-133 | RMR (SRM 11) | ECAC DOC 29 |
| Finlândia | Temanord 525 | Temanord 524 | - |
| Noruega | Temanord 525 | Temanord 524 | - |
| Suécia | Temanord 525 | Temanord 524 | - |
| Luxemburgo | RLS 90 | Schal 03 | ECAC DOC 29 |
| Grécia | NMPB/XPS 31-133 | RMR (SRM 11) | ECAC DOC 29 |
| Áustria | RVS 3.02 | Onorm S 5011 | OAL 24 |
| Suíça | StL 86 | SEMIBEL | FLULA |

3. Introdução

3.3.2. MÉTODO DE CÁLCULO NMPB-ROUTES-96 E NORMA FRANCESA “XP S 31-133”

Os resultados obtidos do método são dados pelo nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, em decibel (LAeq), permitindo a alteração dos 2 períodos (diurno e noturno) para determinar o descritor do ruído exterior Lden (Diurno-Entardecer-Noturno) com base nos três períodos de referência: período diurno (Ld), período de entardecer (Le) e período noturno (Ln).

O Lden é assim obtido através de:

$$L_{den} = 10 \times \log \frac{1}{24} [td \times 10^{L_n/10} + te \times 10^{(L_e+5)/10} + tn \times 10^{(L_n+10)/10}]$$

A duração de cada período de referência (td, te e tn) é ajustada aos valores estipulados em cada Estado-Membro. Em Portugal td corresponde a 13 horas (7h às 20h), o te corresponde a 3 horas (20h às 23h) e o tn corresponde a 8 horas (23h às 7h).

O método de cálculo NMPB/XP S 31-133 foi concebido para produzir resultados válidos para distâncias inferiores a 800 m em linha reta perpendicular à linha de estrada. Este método permite o cálculo de pontos recetores com alturas superiores a 2 m acima do solo, sendo que o mapeamento de ruído é realizado para uma altura de 4+/- 0,2 m [XP S 31-133, 2001, Lang, J., *et al*, 2003].

No NMPB/XP S 31-133 são utilizados dados reportados ao documento “Guide du Bruit, 1980”.

A base de dados relativa à emissão sonora utilizada é dos anos 70/80, o que atualmente, já não caracteriza, o tráfego rodoviário, pois este sofreu muitas alterações (p. ex: veículos menos ruidosos, pneus mais largos, aerodinâmica melhorada, e entre outras.).

A emissão sonora é caracterizada em bandas de oitava, entre 125 Hz e 4000Hz, através do espectro normalizado constante na EN 1793-3, 1997, considerando também a emissão sonora como uma fonte omnidirecional [XP S 31-133, 2001, Lang, J., 2003].

De modo a efetuar os cálculos, esta norma transforma as vias de tráfego (fonte linear) numa série de secções com determinados comprimentos (fonte pontual). Esta fonte é posicionada a 0,5 m acima da superfície da via [XP S 31-133, 2001, Lang, J., *et al*, 2003]

Os resultados obtidos dependem assim de um conjunto de parâmetros como a categoria de veículos, velocidade, tipo de fluxo do tráfego, perfil longitudinal da via e tipo de pavimento.

Em relação aos veículos são apenas consideradas duas categorias: ligeiros (<3.5 toneladas) e pesados (≥3.5 toneladas) [Lang, J., *et al*, 2003].

O modelo utiliza velocidades contínuas equivalentes de circulação entre 20 - 130 km/h para ligeiros e velocidades entre 20 – 100 km/h para os veículos pesados, permitindo também a sua caracterização quanto ao tipo fluxo do tráfego, podendo ser: fluido contínuo, pulsado contínuo, pulsado acelerado ou pulsado desacelerado [Lang, J., *et al*, 2003].

Relativamente ao perfil longitudinal da via, este modelo, permite uma caracterização horizontal, de subida (com declive >2%) e de descida (com declive <-2%). Quanto ao tipo de pavimento, pode caracterizar-se a fonte com asfalto mole, superfície porosa, cimento/asfalto rugoso, calçada fina ou calçada grosseira [Lang, J., *et al*, 2003].

O modelo tem ainda em conta atenuações na propagação sonora como a divergência geométrica, a absorção atmosférica, o efeito do solo, a difração e a reflexão em obstáculos (barreiras acústicas, edifícios, muros,...), e ainda as condições meteorológicas [XP S 31-133, 2001, Lang, J., *et al*, 2003].

Relativamente às condições meteorológicas, tendo em conta a influência destas no cálculo da propagação sonora, o modelo calcula os níveis de pressão sonora para condições de propagação favoráveis e homogêneas para dois períodos de referência: diurno e noturno. No entanto, o software que utiliza o modelo de cálculo deve possibilitar a alteração de dados de ocorrência de condições favoráveis em todas as direções para cada local de estudo para os três períodos [XP S 31-133, 2001, Lang, J., *et al*, 2003].

Segundo a NMPB-96 as condições meteorológicas influenciam os resultados para distâncias superiores a 100m entre a fonte e receptor.

Atualmente, o método NMPB-Routes-96 foi revisto surgindo o modelo NMPB-Routes-2008. Registaram-se alterações ao nível das condições meteorológicas, atenuação do solo, altura da fonte, espectro sonoro que passa de oitavas para 1/3 de oitavas [NMPB-2008, 2009].

3. Introdução

3.3.3. PROJETO HARMONOISE

De acordo com a Diretiva 2002/49/CE Europeia relativa à avaliação e gestão do ruído, a realização dos mapas estratégicos de ruído são da responsabilidade dos Estados-Membros, bem como a comunicação à Comissão Europeia.

Segundo a Diretiva cada Estado-Membro numa primeira fase deve adotar os seus próprios métodos de previsão de ruído (provisórios), sob certas condições, e na ausência destes, são aconselhados outros métodos na mesma Diretiva.

No entanto, a falta de métodos harmonizados com precisão suficiente para a previsão e avaliação do ruído nas infraestruturas de transporte e instalações industriais é reconhecida pela Comissão Europeia. Pelo que na realização de mapas estratégicos de ruído, numa segunda fase, deveriam ser utilizados métodos harmonizados [Vos, P. *et al*, 2005].

No entanto, ainda não se verifica a utilização de métodos harmonizados na atualidade, sendo ainda utilizados os métodos adotados por cada Estado-membro.

De modo a responder à necessidade de harmonizar os métodos existentes, teve início em 2001, o projeto HARMONOISE (Harmonised Accurate and Reliable Methods for the EU Directive on the Assessment and Management of Environmental NOISE), desenvolvido pela Comunidade Europeia, que responde a um modelo de previsão do ruído ambiental de tráfego rodoviário e ferroviário, satisfazendo assim os requerimentos da Diretiva 2002/49/CE, sendo um modelo mais completo e de confiança e que tenha aceitação internacional, tornando-se possivelmente um método obrigatório em todos os Estados-Membros da Comunidade Europeia [Vos, P. *et al*, 2005].

Os métodos de cálculo do projeto Harmonoise foram extensivamente validados por meio de mais de 15.000 casos e foi desenvolvido para o cálculo dos níveis de pressões sonoras causados tanto por tráfego rodoviário quanto ferroviário e em qualquer condição meteorológica, contendo a descrição da fonte sonora e da atenuação durante a propagação [Nota, R., 2005].

Os principais objetivos do projeto Harmonoise são apresentados na Figura 8.



Figura 8 - Principais objetivos do Projeto Harmonoise. Adaptado: Vos, P., *et al*, 2005.

Os métodos utilizados no projeto são válidos para todos os climas regionais na Europa, desde que o comportamento do tempo de longa duração possa ser descrito em termos de frequência de ocorrência de certas classes meteorológicas, que foram definidos no projeto [Vos, P. *et al*, 2005].

O modelo Harmonoise apresenta assim várias melhorias em relação aos modelos existentes como [Nota, R., 2005]:

- Possui modelos de fontes diferentes para diferentes tipos de fonte (rodoviária e ferroviária);
- Inclui a caracterização mais recente de fontes de ruído rodoviária e ferroviária;
- É capaz de modelar em diferentes condições de operação (aceleração e desaceleração, superfície da estrada...);
- Foi validado em 5 anos de medições em 3 países da Europa;
- Modela em 1/3 oitava;
- Apenas um modelo de propagação para todas as fontes rodoviárias e ferroviárias;
- Modelo completamente contínuo, sem descontinuidade devido a imperfeições geográficas;
- Inclui efeitos meteorológicos como a direção e a velocidade do vento e gradientes de temperatura;
- Projetado para mapeamento de ruído, avaliação de impactos e estudos detalhados;

Assim, o projeto Harmonoise apresenta assim resultados mais precisos do que os métodos existentes.

3. Introdução

Este projeto ao diferenciar a descrição da fonte sonora da propagação sonora permite que este forneça uma base modelo para a propagação sonora que possa ser utilizada em outras fontes de ruído [Vos, P., *et al*, 2005].

O projeto Harmonoise teve como uma prioridade melhorar a descrição das condições meteorológicas tendo em conta a influência da temperatura do ar, da humidade e da velocidade do vento na propagação sonora, considerando assim uma melhor descrição. As condições meteorológicas podem coincidir com os períodos de referência e parâmetros como a velocidade do vento, que geralmente é superior no período diurno, as diferenças de temperatura, onde a ocorrência de inversões térmicas são mais propícias durante o período noturno [Vos, P., *et al*, 2005].

Tendo em conta todos os parâmetros foram avaliadas 5 classes de velocidade de vento e 5 classes de estabilidade meteorológica que dependem da cobertura da atmosfera com nuvens, permitindo um total de 25 classes.

Relativamente a fonte sonora, o projeto Harmonoise, desenvolveu um modelo de cálculo para os níveis de potência sonora da fonte a três alturas diferentes, uma fonte a 0,01m, outra a 0,30m e outra a 0,75m [Trow, J., Shilton, S., 2005].

O projeto define cinco categorias de veículos, onde cada categoria é caracterizada em diferentes alturas, sendo que cada categoria pode ser caracterizada por duas fontes de ruído a diferentes alturas [Vos, P. *et al*, 2005].

Estas alturas foram definidas devido aos diferentes tipos de fontes de ruído que cada veículo produz, devido à interação pneu/via, os sistemas de propulsão e o ruído produzido pela aerodinâmica dos veículos [Vos, P. *et al*, 2005].

O modelo tem também em conta o tipo de superfícies, a velocidade dos veículos, o fluxo de tráfego e a aceleração [Vos, P. *et al*, 2005].

No entanto o desempenho dos métodos de cálculo do projeto Harmonoise implicam uma maior disponibilidade e fiabilidade de dados de entrada detalhados.

O projeto ficou concluído em 2005 e deveria ser utilizado na União Europeia para o MER realizados para 2012 [Vos, P., *et al*, 2005], no entanto até à data não se verifica esta situação.

4. INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA INFORMAÇÃO BASE NA MODELAÇÃO DE RUÍDO

Como referido anteriormente o Decreto-Lei 146/2006 definiu quais os métodos de cálculo a utilizar para cada tipo de fonte. No entanto, a qualidade da informação de base a utilizar nos modelos não foi definida comprometendo a qualidade da avaliação do ruído ambiente.

A modelação depende assim, não só do método de cálculo utilizado e das opções de cálculo, mas também da caracterização física e quantitativa da fonte, dados meteorológicos e cartografia.

De modo a proporcionar uma maior homogeneização da metodologia a utilizar pelas entidades com responsabilidade na elaboração de MER, a APA elaborou Diretrizes, sendo a versão 3 a atualmente utilizada, (Guedes, M., Leite, M., 2011) que definem alguns parâmetros para a sua elaboração.

As Diretrizes definem relativamente à cartografia base que esta de incluir altimetria cotada do terreno, a localização dos edifícios, obstáculos permanentes e fontes de ruído, tendo em conta a sua dimensão. A escala e a equidistância das curvas de nível são definidas para os diferentes tipos de mapas, exigindo no caso dos MER das GITR uma escala igual ou superior a 1:10 000 e uma equidistância de curvas de nível de 5 metros.

Relativamente à caracterização das fontes (neste caso rodoviária) as Diretrizes consideram a caracterização da quantidade de veículos por hora e percentagem de pesados, por período de referência, o tipo de piso, o número de faixas de rodagem e largura, o fluxo de tráfego e velocidade média.

Quanto aos dados meteorológicos as Diretrizes recomenda que se utilizem dados meteorológicos detalhados do local e na ausência destes devem ser utilizada a seguinte percentagens de média anual de condições meteorológicas favoráveis à propagação do ruído: período diurno - 50%; período entardecer - 75% e período noturno - 100%.

No entanto, para alguns parâmetros que afetam os resultados obtidos e que a Diretriz não define qualquer procedimento, esta recomenda a consulta do documento “Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, version 2”[WG-AEN, 2006], de modo a obter orientações.

4. Influência da qualidade da informação base na Modelação de Ruído

4.1. INFLUÊNCIA DO PERFIL TRANSVERSAL DA VIA

O perfil transversal da via com o terreno é um importante fator na influência da propagação sonora. A presença de taludes ou aterros influenciam a propagação sonora, como é apresentado na Figura 9. No entanto, estes são por vezes difíceis de obter, pois nem sempre é disponibilizada topografia atualizada da área do projeto, e utiliza-se cartografia de base. Como a Diretriz para elaboração dos Mapas de ruído recomenda uma equidistância de 5m, referente aos mapas para GIT's, é difícil de obter uma correta representação gráfica dos mesmos, neste caso é recomendado no GPG 2 a utilização de métodos para determinar a elevação da estrada, como a utilização do modelo de elevação do terreno, estimativa da alturas de modo a obter o declive da via e através de cortes transversais de modo a visualizar o declive, no caso de não se conseguir definir o perfil, o declive é zero %, sendo que a precisão diminuirá até um máximo de 3 dB para o pior cenário.

Nestes casos a APA deveria definir que a plataforma da via e respetivos taludes fossem representados com base nos perfis transversais (de 25 em 25 m) do projeto da via.

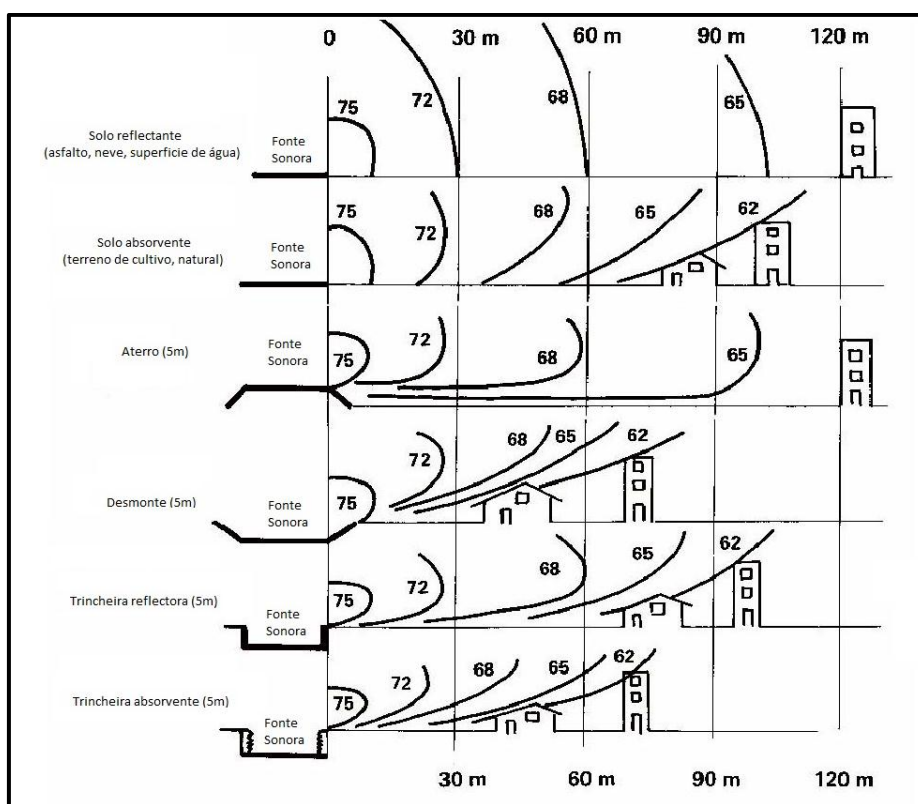


Figura 9 - Efeito do perfil transversal da via e da absorção do solo na propagação do ruído. Adaptado: Segué, F., 2007

4.2. INFLUÊNCIA DO TIPO DE SOLO

O tipo de solo tem, também, a capacidade de provocar alterações na propagação do ruído, absorvendo ou refletindo o ruído. Este atua, também, como um meio físico sólido (obstáculo) que absorve parte do ruído e reflete outra, tendo em conta a sua morfologia.

No entanto, as Diretrizes elaboradas pela APA não definem/obrigam a representação de polígonos com os diferentes tipos de solo da área em estudo, sendo que na omissão desta informação, a Diretriz recomenda a consulta do GPG 2.

O GPG 2 recomenda assim a utilização de uma geometria detalhada das superfícies refletoras e absorventes e na ausência desta devem ser usados fatores de absorção conforme a classe de uso do solo. Os fatores de absorção recomendados pelo GPG 2 são apresentados na Tabela 2. O fator de absorção $G=0$ representa superfícies refletoras e $G=1$ representa superfícies absorventes.

Tabela 2- Fatores padrão de absorção do tipo de solo. Fonte: WG-AEN, 2006.

| Tipo de solo | Fator de Absorção (G) |
|---------------------------|------------------------------|
| Floresta | 1 |
| Agricultura | 1 |
| Parques | 1 |
| Solo vegetal | 1 |
| Pavimentação | 0 |
| Zonas urbanas | 0 |
| Zonas industriais | 0 |
| Superfície de água | 0 |
| Zona residencial | 0,5 |

No entanto, a caracterização do solo pode ser efetuada por levantamentos de campo e com recurso a imagens aéreas, permitindo assim a caracterização detalhada das superfícies, sendo assim as Diretrizes deviam definir a caracterização do tipo de solo como obrigatória.

4.3. INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

A temperatura, a direção e velocidade do vento, a humidade são fatores meteorológicos relevantes que afetam a propagação do ruído [WG-AEN, 2006].

4. Influência da qualidade da informação base na Modelação de Ruído

A influência dos perfis da velocidade do vento e da temperatura podem causar a refração da onda de propagação do ruído provocando um efeito significativo sobre os níveis de ruído.

A temperatura e a velocidade do vento são diferentes a diferentes alturas, sendo dado por um gradiente de temperatura positivo ou negativo e um gradiente de velocidade positivo ou negativo. A propagação do ruído é geralmente distinguida em 3 classes, condições de propagação homogêneas, onde os raios sonoros se propagam em linha reta, condições de propagação favoráveis, onde os raios sonoros se dobras em direção ao solo e as condições de propagação desfavorável, onde os raios sonoros se dobras em direção a atmosfera [e.g. Lang, J. *et al*, 2003].

A Figura 10 demonstra a propagação do ruído quando a temperatura aumenta com a altitude e quando diminui com a altitude, designada de inversão térmica. A propagação do ruído, junto ao solo, é menor com a diminuição da temperatura com a altitude possibilitando a existência de zonas de sombra no solo, pois o ruído propaga-se em direção à atmosfera. Quando a temperatura aumenta com a altitude a propagação do ruído junto ao solo é maior, pois este propaga-se em direção ao solo provocando um aumento do nível de pressão sonora junto do solo em relação ao normal [e.g. Segué, F., 2007].

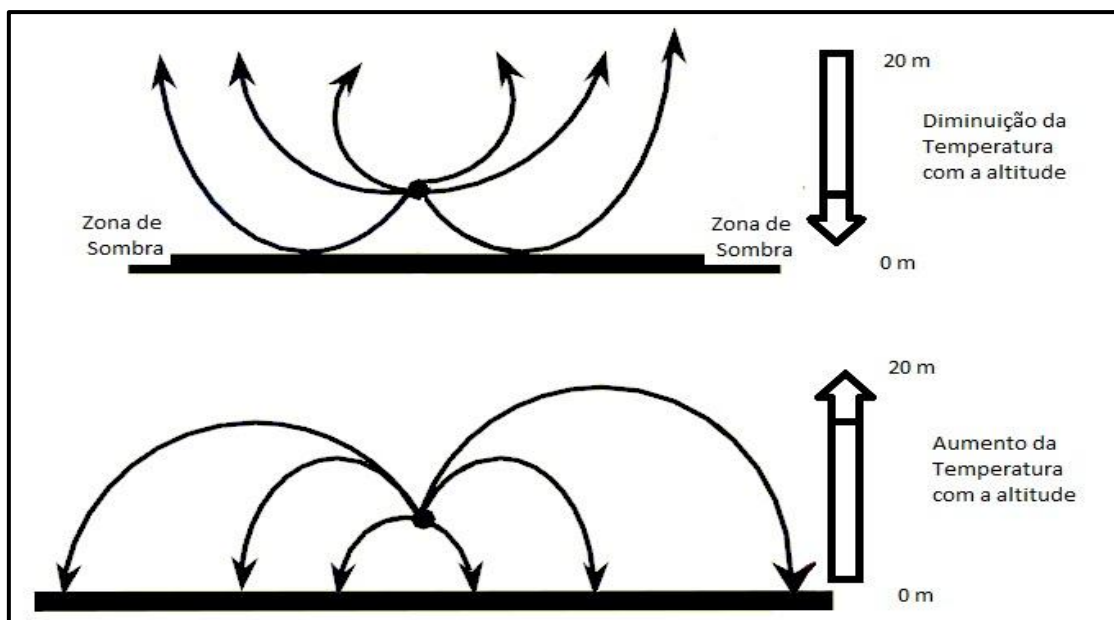


Figura 10 - Influência do perfil de temperatura na propagação do som.
Adaptado Heimann, D. 2003.

A direção e a velocidade do vento são outros fatores que afetam a propagação linear do ruído, provocando alterações na direção e níveis de pressão sonora junto do solo.

4. Influência da qualidade da informação base na Modelação de Ruído

O ruído propaga-se favoravelmente na direção do vento, atingindo os raios sonoros uma maior distância e direciona o ruído para o solo ou atmosfera tendo em conta o perfil de velocidade do vento. Em contra partida, quando o ruído se propaga em direção oposta ao vento, este percorre uma menor distância e direciona o ruído a em direção à atmosfera ou solo tendo em conta simultaneamente o perfil de temperatura e velocidade do vento. Estas variáveis podem possibilitar assim a existência de zonas de sombra a partir de uma certa distância da fonte (geralmente mais de 200 metros) [e.g. Segués, F., 2007].

A Figura 11 ilustra a influência do vento na propagação do ruído.

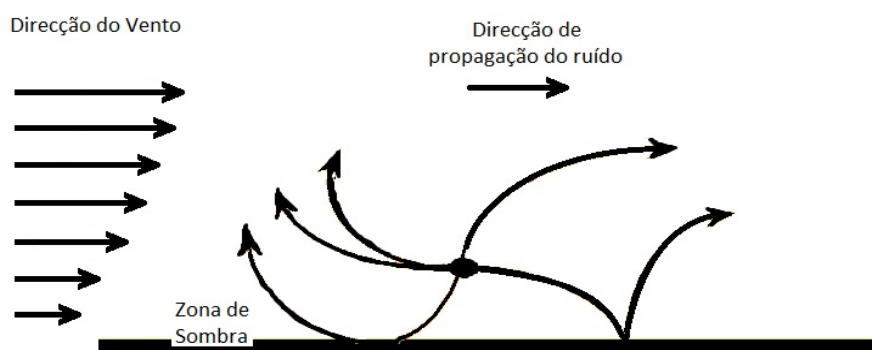


Figura 11 - Influência do vento na propagação do ruído. Adaptado Heimann, D. 2003

Segundo um estudo de Rosão, V, 2001, a atenuação da propagação sonora das condições Favoráveis e Desfavoráveis não são simétricas em relação às condições Homogéneas, como se pode verificar na Figura 12.

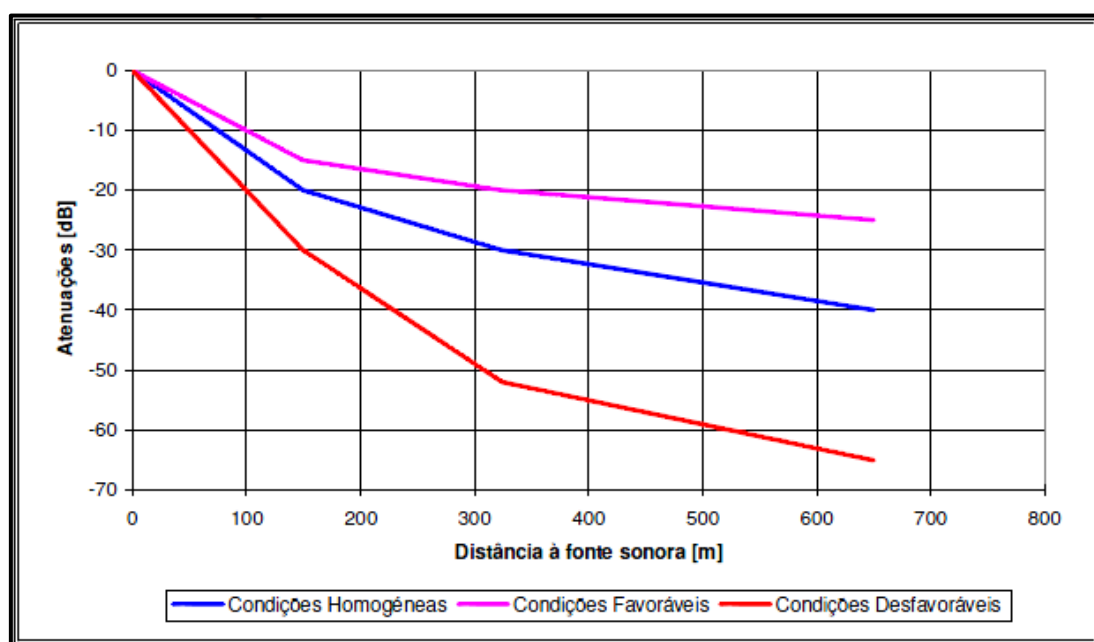


Figura 12 - Atenuação típica com a distância a uma fonte sonora, para Condições Favoráveis, Homogéneas e Desfavoráveis [Rosão, V., 2001]

4. Influência da qualidade da informação base na Modelação de Ruído

Verifica-se também que para distâncias inferiores a 100 m a propagação sonora apresenta uma menor variação para as diferentes condições meteorológicas.

Um outro estudo efetuado pelo mesmo autor (Rosão, V., 2011), onde investigou a influência das condições meteorológicas. No estudo efetuado comparou-se as condições meteorológicas das regiões de Brest, Pau e Dunkerque com as condições utilizadas em Portugal para o período Diurno e Noturno.

Perante os resultados obtidos pelo autor, verificou-se que para as velocidades mais baixas, a diferença obtida entre as diferentes condições meteorológicas, para as respetivas isófonas 65 dB(A) e 55 dB(A) dos períodos Diurno e Noturno não são superiores a 1 m e a 6 m. No entanto, para velocidades superiores as diferenças já são significativas, entre 45 m e 60 m para o período diurno e noturno, respectivamente, podendo por em causa a identificação de recetores com exposição de níveis de ruído não reais. O autor afirma ainda que “Para dados de tráfego mais expressivos e para isófonas associadas a níveis sonoros mais reduzidos as diferenças serão ainda maiores”.

Este estudo (Rosão, V., 2011) é uma demonstração da importância do detalhe dos dados meteorológicos por zona. Em Portugal existem registos de dados de condições meteorológicas de determinadas regiões desde há muitos anos pelo que estes dados poderiam ser tratados de modo a serem utilizados na elaboração dos MER dessas regiões.

4.4. INFLUÊNCIA DO TIPO DE FLUXO DOS VEÍCULOS

As Diretrizes da APA referem a necessidade da caracterização da quantidade de veículos por hora e percentagem de pesados, por período de referência, o tipo de piso, o número de faixas de rodagem e largura, o fluxo de tráfego e velocidade média.

O fluxo dos veículos pode ser caracterizado em quatro tipos [Lang, J., 2003]:

- **Fluido Contínuo:** os veículos circulam a uma velocidade sensivelmente constante, sem variações bruscas, no tempo e no espaço, do caudal de veículos;
- **Pulsado Contínuo:** uma parte dos veículos circula em aceleração e outra parte em desaceleração, com variações bruscas, no tempo e no espaço, do caudal de veículos;

4. Influência da qualidade da informação base na Modelação de Ruído

- **Pulsado Acelerado:** a maior parte dos veículos circulam em aceleração, com variações bruscas, no tempo e no espaço, do caudal de veículos;
- **Pulsado Desacelerado:** a maior parte dos veículos circulam em desaceleração.

Probst, 2009, num estudo investigou a influência da velocidade dos veículos na emissão sonora em diferentes metodologias. Na Figura 13 são apresentados os resultados obtidos.

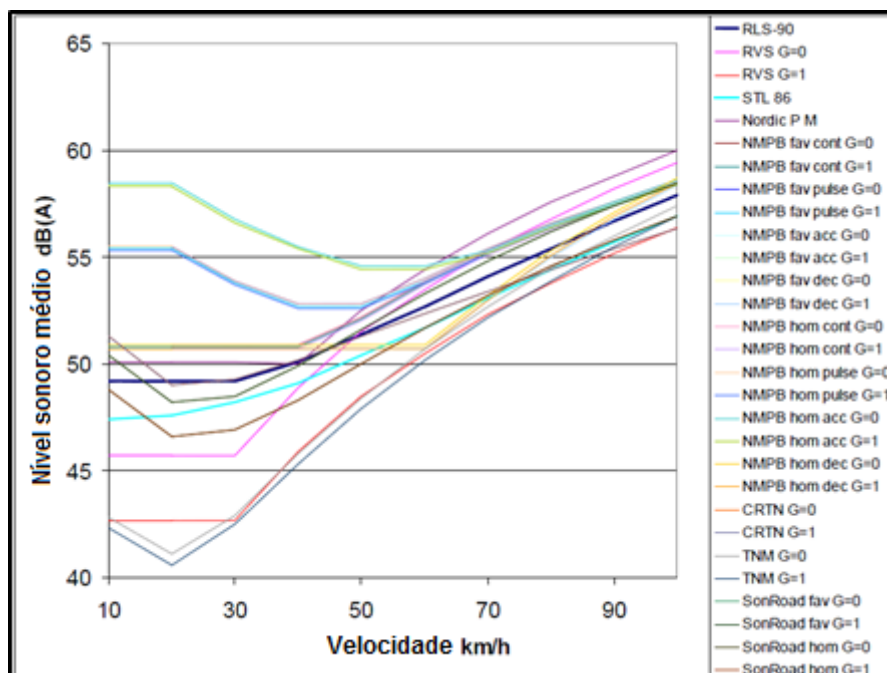


Figura 13 - Influência da velocidade na emissão sonora de veículos ligeiros em diferentes metodologias. Adaptado: Probst, 2009

Como se pode verificar os diferentes tipos de fluxo de tráfego têm influência para velocidades inferiores a 50 Km/h. Para velocidades inferiores a 50-60Km/h a emissão sonora predominante vem do sistema de propulsão, sendo que o tipo de fluxo apresenta maiores diferenças, no entanto acima destas velocidades começa a predominar a emissão sonora proveniente do contato pneu/via e da aerodinâmica dos veículos e o método de cálculo deixa de considerar os diferentes tipos de fluxo.

As Diretrizes indicam ainda que é necessário a caracterização do número de faixas de cada rodovia, contudo o GPG 2 menciona que o número de faixas de rodagem pode não ser necessário na modelação do ruído dos MER quando as vias apresentam pouca largura, no entanto recomenda a caracterização do número de faixas de rodagem e com tráfego diferenciado por faixa de modo a obter resultados mais precisos.

4. Influência da qualidade da informação base na Modelação de Ruído

Probst (2009) estudou a influência da caracterização do número de faixas de rodagem e verificou a influência que existe, sendo que a representação da via com um eixo apresenta um erro muito significativo, e quando representada a via com dois eixos, mas na via mais exterior, o erro já é menor pois os veículos pesados circulam principalmente pela via exterior.

4.5. INFLUÊNCIA DO TIPO DE PAVIMENTO

O ruído emitido pelo tráfego rodoviário é gerado por três tipos de fontes, o ruído originado pelo motor do veículo, o ruído originado pela interação pneu/pavimento e o ruído aerodinâmico [e.g. Santos, A., 2007].

O ruído emitido pela interação pneu/pavimento é predominante para velocidades de circulação entre os 60 e 180 Km/h, sendo de grande importância na avaliação do ruído em estradas com perfis de autoestradas. Para reduzir os níveis sonoros provocados pelo contato do pneu/pavimento surgiram soluções como a utilização de camadas de desgaste da via com características pouco ruidosas [e.g. Certiprojecto, 2004].

A utilização de pavimentos drenantes como medida de redução de ruído já era utilizada, contudo atualmente existem novos tipos de pavimentos pouco ruidosos como pavimentos betuminosos integrando borracha reciclada [e.g. Certiprojecto, 2004].

Os tipos de pavimento podem ser considerados pouco ruidosos quando o ruído emitido pela interação pneu/pavimento é reduzido em pelo menos 3 dB (A) quando comparados com pavimentos de referência [Oliveira, A., Rocha, C, 2008].

No entanto, a utilização destes dados nos software de modelação de ruído pode tornar-se difícil, pois os pavimentos em estudo podem não constar na base de dados do software, uma vez este possuem por defeito alguns tipos de pavimento com diferentes características acústicas e encontra-se desatualizada [McDade, A. *et al.*, 2012].

A redução de ruído emitido pela interação pneu/pavimento varia conforme a velocidade praticada pelos veículos, normalmente a redução de ruído é menor a velocidades mais baixas, e verifica-se uma maior redução de ruído para velocidades mais elevadas.

Existem vários tipos de pavimentos como [Oliveira, A., Rocha, C, 2008]:

- Betão betuminoso drenante de camada única (BBDr);
- Camadas de desgaste em mistura betuminosa delgada (MBD);
- Mistura betuminosa de granulometria descontínua (MBGD ou SMA);

4. Influência da qualidade da informação base na Modelação de Ruído

- Exposição dos agregados (EACC);
- Superfície de betão texturado longitudinalmente (SBTx);
- Revestimento superficiais em resinas epoxídias (EP-GRIP);
- Betume modificado com borracha (BMB)

Assim, tendo em conta as características acústicas dos pavimentos é fundamental a introdução dos dados corretos na modelação.

4.6. DISCUSSÃO GERAL

Em suma, verifica-se a falta de Diretrizes mais exigentes em relação aos dados base a utilizar pelas entidades responsáveis que elaboram os MER. Dados como a caracterização do tipo de superfícies (solo e pavimentos), dados meteorológicos detalhados por zona/região devem ser revistos pela APA de modo a homogeneizar a metodologia utilizada. Outro aspeto importante é o fato de as Diretrizes permitirem ainda várias opções nos dados a utilizar, permitindo às entidades que elaboram os MER uma escolha simplificada de determinados dados colocando em causa os resultados finais obtidos.

4. Influência da qualidade da informação base na Modelação de Ruído

5. CASO DE ESTUDO

Com o crescente desenvolvimento tecnológico em sistemas informáticos de modelação de ruído torna-se cada vez mais importante estudar a influência dos dados de entrada na modelação de ruído de modo a obter resultados com maior exatidão.

Assim neste caso de estudo pretendeu-se avaliar a influência de parâmetros como as condições meteorológicas, número de eixos da via de tráfego, número de reflexões, tipo de solo e fluxo de tráfego.

Para a execução deste estudo, utilizou-se um troço de uma autoestrada portuguesa, com dados reais de tráfego rodoviário, foi utilizado este troço devido a proporcionar um perfil de terreno plano e sem edifícios. A modelação foi realizada recorrendo ao software comercial Predictor™ V 6.02.. Este software permite o cálculo e a apresentação da situação acústica atual de uma determinada área geográfica, bem como o resultado a esperar com a introdução de eventuais medidas de controlo de ruído. Na modelação do ruído recorreu-se ao método de cálculo francês NMPB-96 definido na norma francesa XP S 31-133.

5.1. METODOLOGIA

Na elaboração do estudo caracterizou-se o perfil do terreno com cartografia base, nesta não se verificam edifícios nem barreiras acústicas, a fonte foi caracterizada quantitativa pelo número de veículos por hora e percentagem de pesados para cada período de referência, velocidade média e tipo de fluxo. A via foi traçada através de dados do perfil da via e altimetria dos terrenos.

A modelação do terreno foi efetuada com curvas de nível equidistantes de 5 metros.

As simulações foram realizadas para uma altura de 4 m, com primeira ordem de reflexão, como fonte sonora o tráfego rodoviário, via é caracterizada com um eixo, condições meteorológicas recomendadas no Guia da APA (D: 50%; E: 75%; N: 100%), fluxo de tráfego contínuo com velocidade média de 120 Km/h para ligeiros e 100 Km/h para pesados, tipo de solo com fator de absorção $G=1$ (solo agrícola). Os parâmetros só variam dependendo da simulação que se está a realizar.

No programa de cálculo é foi inserida uma malha de cálculo de acordo com o estudo a realizar, devendo adotar-se uma malha até 20x20 metros no caso dos mapas estratégicos das grandes infraestruturas de transporte.

5. Caso de Estudo

O tráfego rodoviário utilizado no estudo é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Tráfego médio horário.

| Período | TMH | |
|------------|----------|---------|
| | Ligeiros | Pesados |
| Diurno | 1.384 | 79 |
| Entardecer | 714 | 27 |
| Noturno | 161 | 28 |

Na Figura 14 é apresentada uma fotografia aérea da via de tráfego em estudo.



Figura 14 - Fotografia aérea da via em estudo obtida pelo Google Earth.

6. RESULTADOS / DISCUSSÃO

1 - INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

De modo a verificar a influência das condições meteorológicas, foram efetuadas seis simulações, tendo em conta diferentes condições meteorológicas definidas para Portugal, Lyon e Abbeville.

As condições meteorológicas para Lyon, no período diurno, variam entre 28-40%, no período entardecer entre 56-63% e no período noturno entre 82-96%.

As condições meteorológicas para Abbeville, no período diurno, variam entre 31-49%, no período entardecer entre 53-68% e no período noturno entre 76-88%.

As simulações realizadas:

- 1.1 – Portugal (Condições recomendadas da Diretriz da APA)
- 1.2 – Lyon
- 1.3 – Abbeville

Como se pode verificar na Figura 15, as diferentes condições meteorológicas, relativamente ao período Lden, apenas têm tendência a influenciar a propagação do ruído para distâncias superiores a 100-150 m.

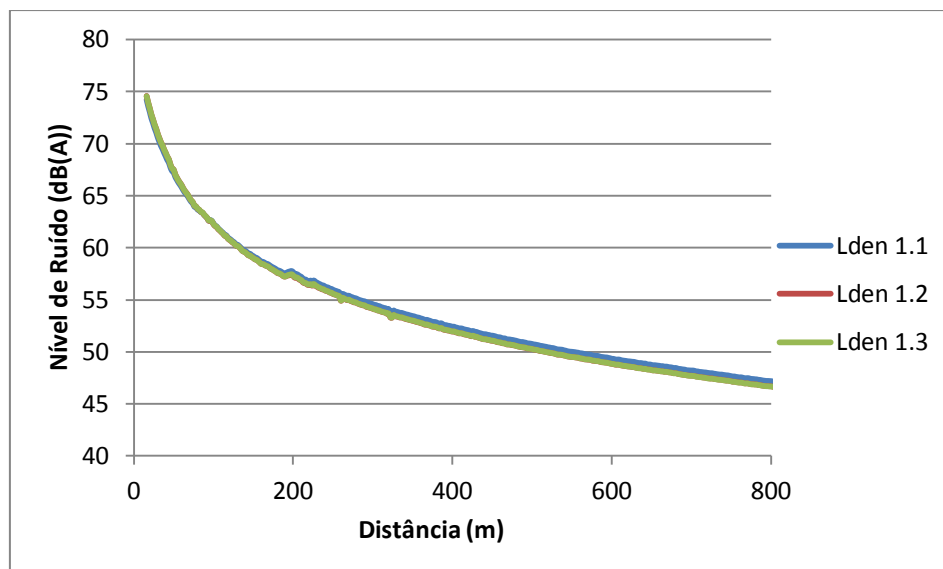


Figura 15 - Influência das condições meteorológicas para o indicador Lden com a distância.

6. Resultados / Discussão

Relativamente ao período Ln (Figura 16), verificou-se a mesma situação, apenas para distâncias superiores a 100 – 150 m é que influência a propagação do ruído.

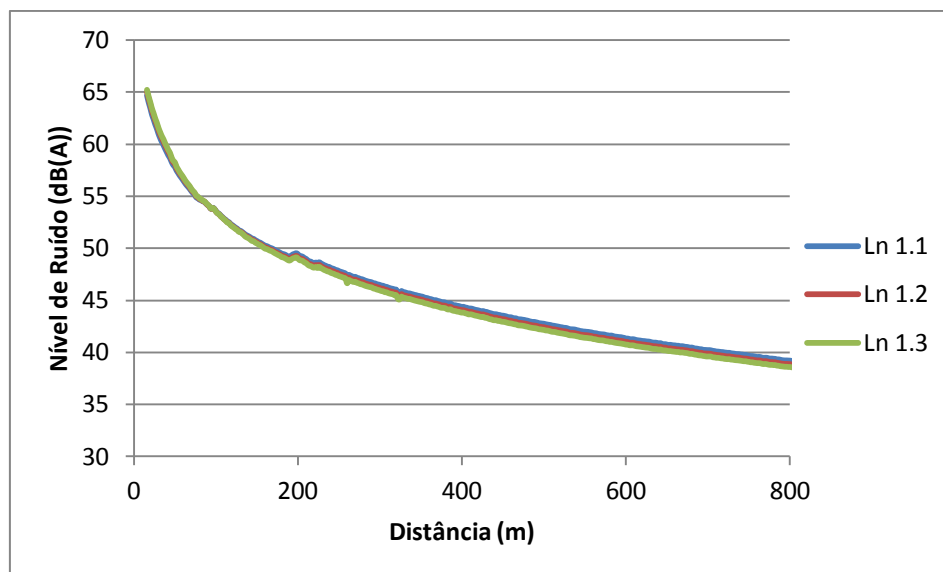


Figura 16 - Influência das condições meteorológicas para o indicador Ln com a distância.

No entanto, a influência das diferentes condições meteorológicas, a 100m de distância apresentam apenas uma diferença máxima de 0,07dB(A) e 0,05dB(A) nos indicadores Lden e Ln, respectivamente, e à distância de 800m apresentam diferenças máximas de 0,51dB(A) e 0,61dB(A) nos indicadores Lden e Ln, respectivamente.

As condições meteorológicas recomendadas pelo Guia da APA não apresentam diferenciação da probabilidade nos diferentes sectores direccionais o que implica a mesma probabilidade em todas as direções. Relembrando o estudo de Rosão, V., 2011, onde estudou esse fator, através de modelação, indicando uma maior influência no caso de utilizar condições meteorológicas mais detalhadas e de cada país ou preferencialmente de cada região, uma vez que se obtêm, no período noturno para a isófona 55, diferenças até 18 metros.

A Figura 17 representa a distância à rodovia das isófonas com o valor limite para os indicadores Lden e Ln, 65, 55 dB(A), respectivamente, e os valores das isófonas Lden 55 e Ln 45 referidas na legislação para elaboração de MER.

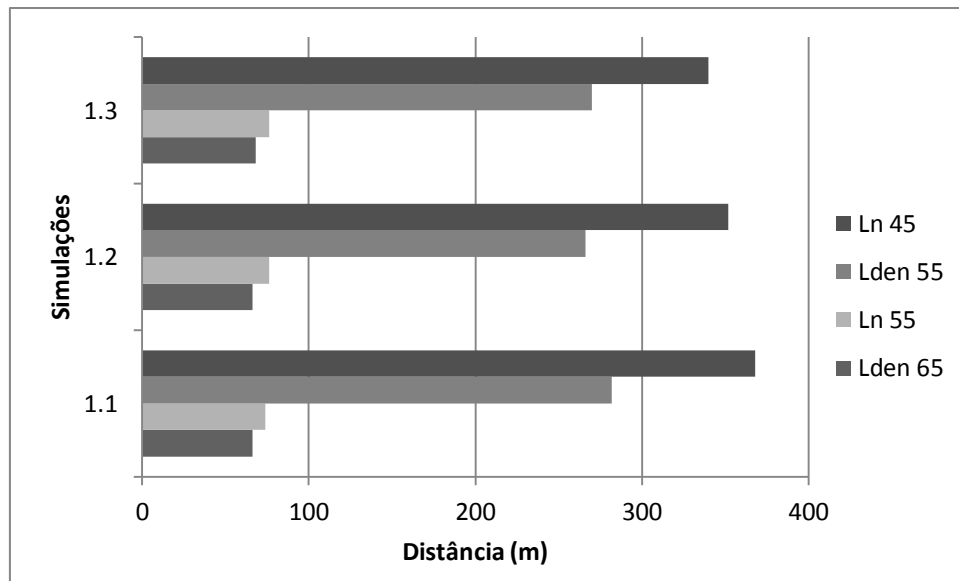


Figura 17 - Distância das isófonas dos indicadores Lden e Ln à rodovia.

Como se pode verificar para os valores de Lden 65 e 55 dB(A) existe um máximo de diferença de 2 e 16 m, respetivamente. Para os valores de Ln 55 e 45 dB (A) existe uma variação máxima de 2 e 28 m, respetivamente. Estas diferenças, no período noturno, são significativas e para vias de tráfego com maior volume de tráfego esta distância pode ser maior e as condições meteorológicas terão ainda maior influência.

2 - INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE FAIXAS DA VIA

As GTR portuguesas são constituídas normalmente por 4 faixas (duas em cada sentido), pelo que na caracterização da via para a modelação é importante avaliar a influência do número de faixas com a respetiva percentagem de volume de tráfego.

De forma a avaliar a influência do número de faixas de rodagem, no ruído emitido, determinando os níveis deste nos recetores, considerou-se as seguintes simulações:

Condições meteorológicas padrão (D=50%; E=75%; N=100%)

- 2.1 - 1 eixo com o total de tráfego, sem separador central,
- 2.2 - 2 eixos (um para cada sentido), com a percentagem de tráfego igualmente distribuída em cada eixo, sem separador central,
- 2.3 - 4 eixos (duas faixas em cada sentido) com diferente percentagem de tráfego em cada faixa, sem separador central,

6. Resultados / Discussão

Na simulação 2.1 o eixo é caracterizado no centro da via, na simulação 2.2 os eixos são caracterizados no centro da via em cada sentido. Na simulação 2.3 os eixos são caracterizados no centro de cada faixa.

De forma a caracterizar o volume de tráfego em cada faixa da via, simulação 2.3., realizou-se um estudo de contagem manual de tráfego durante um dia na via de estudo e comparando com estudos realizados pela Ambiente::Global, resultou nas seguintes percentagens do volume de tráfego: vias exteriores 74% de ligeiros e 96% de pesados nos períodos diurno e entardecer e 100% no período noturno.

Na Figura 18 é representada a influência do número de faixas da via, no ruído emitido. A distância de 0 m representa o centro da via independentemente do número de eixos que a caracteriza, a via de estudo apresenta uma largura total de 25 m e cada faixa 3,50 m de largura.

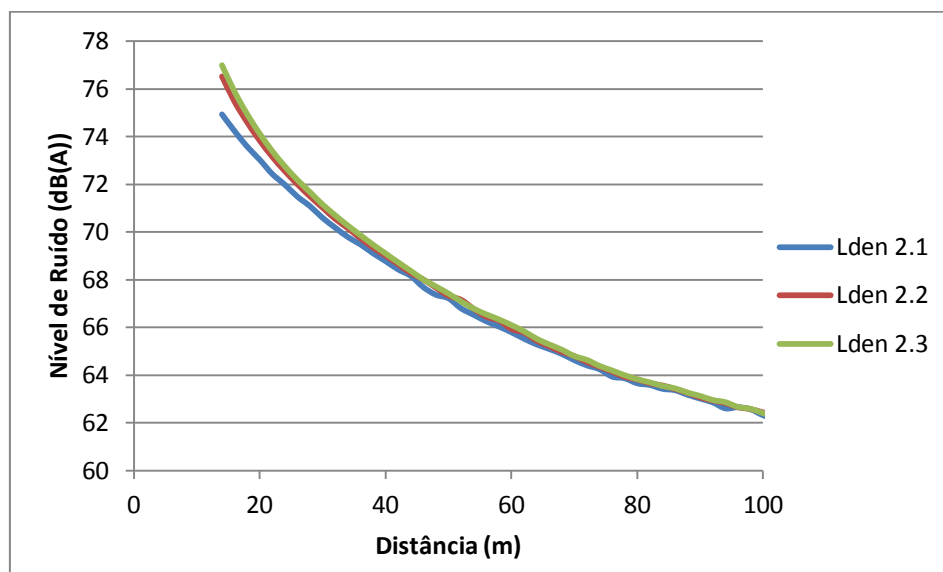


Figura 18 – Influência do número de eixos para o indicador Lden.

Para uma distância próxima da via, a 15m do centro da via, as diferenças no nível de ruído apresenta um aumento de 1,23 dB(A) entre a simulação 2.1 e 2.2, e um aumento de 1,65 dB(A) entre a simulação 2.1 e 2.3. Entre as simulações 2.2 e 2.3 apresenta uma diferença de 0,42 dB(A) na redução de ruído, o que indica influência quando se pretende estudar recetores próximos da via, para distâncias maiores, as diferenças do nível de ruído para as mesmas distâncias é cada vez menor.

Na Figura 19 é representada a distância das isófonas com o valor limite para os indicadores Lden e Ln, 65, 55 dB(A), respectivamente, e os valores das isófonas Lden 55 e Ln 45 referidas na legislação para elaboração de MER.

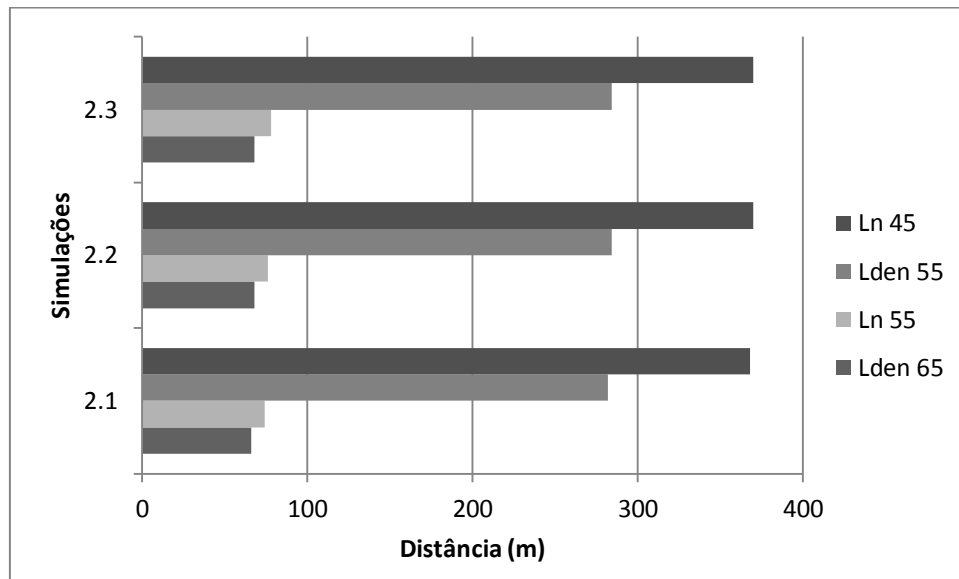


Figura 19 - Distância das isófonas dos indicadores Lden e Ln à rodovia.

Como se pode verificar os valores de 65 e 55 dB(A) no indicador Lden e os valores de 55 e 45 dB(A) no indicador Ln são alcançados com pouca diferença entre as simulações 2.1, 2.2, 2.3. Relativamente à isófona 65 do indicador Lden, apresenta apenas uma diferença de 2 m entre as simulações 2.1 e 2.2 e também 2 m entre a simulação 2.1 e 2.3. Para a isófona 55 do indicador Ln, entre a simulação 2.1 e 2.2 apresenta uma diferença de 2 m e entre a simulação 2.1 e 2.3 apresenta uma diferença de 4 m. As diferenças tornam-se menos evidentes quando avaliadas as isófonas 55 e 45 dos indicadores Lden e Ln, respectivamente, obtendo-se uma diferença máxima de 2 m entre as três simulações. Verifica-se assim que quando se representa a rodovia com um ou dois eixos as diferenças são pouco significativas, no entanto quando se representa a rodovia com as quatro faixas já apresenta grande influência nos resultados finais, principalmente a distâncias menores.

3 - INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE REFLEXÕES

O número de reflexões recomendado para a elaboração de mapas estratégicos de ruído é de ordem 1. Nestas simulações testou-se a influência do número de reflexões na propagação do ruído com a distância em condições meteorológicas padrão (D=50%; E=75%; N=100%)

3.1 – 1ª ordem de reflexões

3.2 – 2ª ordem de reflexões

De forma a determinar a influência o autor criou aleatoriamente uma serie de obstáculos de forma a aumentar o número de cálculos de reflexões.

Verificou-se que os resultados obtidos, para as duas simulações, na determinação das isófonas 65 e 45 para os períodos Lden e Ln, respectivamente, não apresentavam diferenças, sendo obtidas a uma distância de 66 m e 368 m, respectivamente. No entanto, o aumento do número de reflexões provocou um aumento no tempo de cálculo de 26 minutos para estas simulações, o que no cálculo de um MER completo o tempo será muito maior e tendo em conta a semelhança dos valores obtidos é desprezável um maior número de reflexões.

Com tudo, para estudos de maior pormenor, permite a obtenção de uma distribuição espacial mais precisa, como se pode verificar na Figura 20.

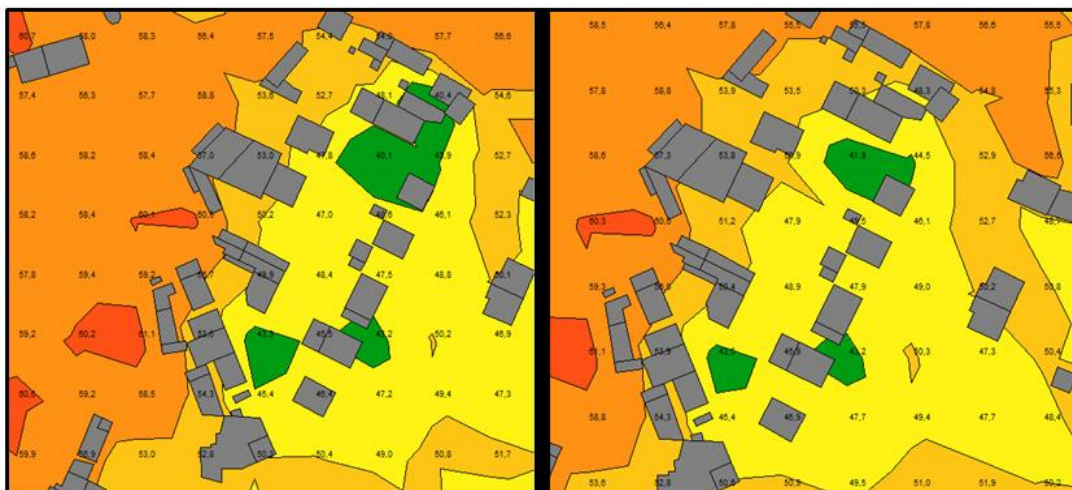


Figura 20 - Diferença do cálculo com 1 reflexão (esquerda) e 2 reflexões (direita).

4 - INFLUÊNCIA DO TIPO DE SOLO

Para avaliar a influência do tipo de solo realizaram-se várias simulações com diferentes valores de absorção.

As simulações realizadas foram:

4.1 – $G=0$

4.2 – $G=1$

4.3 – $G=0,5$

Na Figura 21 é apresentada a influência do tipo de solo com a distância para as simulações 4.1, 4.2 e 4.3, onde são utilizados coeficientes de absorção diferentes, e restantes parâmetros iguais.

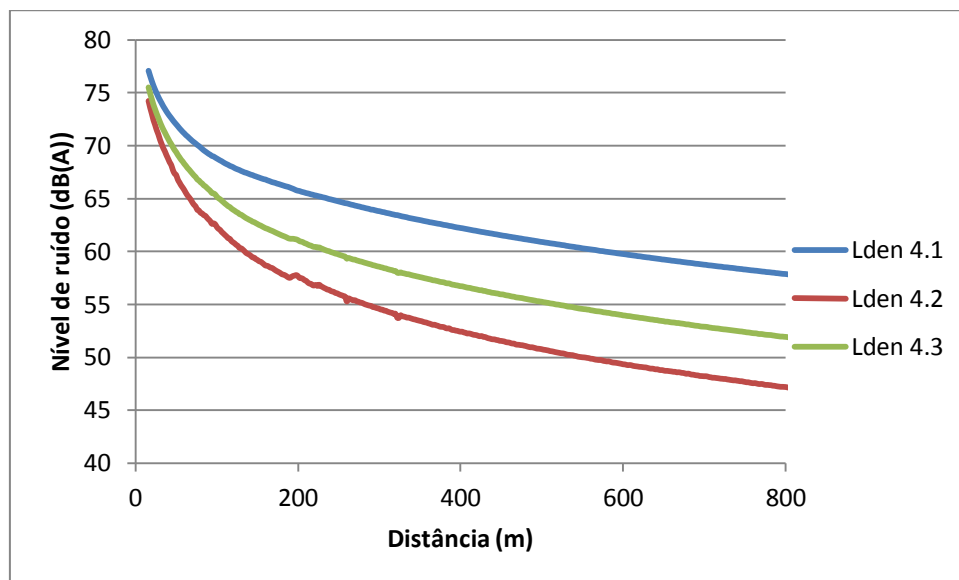


Figura 21 - Influência do tipo de solo para o indicador Lden.

Da análise dos resultados verifica-se que, no indicador Lden, para apenas uma distância de 30m a diferença entre as simulações 4.1 e 4.2 já é de 3,7dB(A) e entre as simulações 4.1 e 4.3 é cerca de 2,1 dB(A) e para uma distância de 100 esta diferença é ainda mais acentuada revelando uma diferença de 6,5 dB(A) e 3,6dB(A) entre as respetivas simulações.

Entre as simulações 4.1 e 4.2 as isófonas 65 dB(A) e 55 dB(A), para os indicadores Lden e Ln, respectivamente, apresentam diferenças de 166 m e 246 m, o que representa uma grande influência nos resultados. Entre as simulações 4.2 e 4.3 apresentam uma diferença de 36 m e 50 m para as isófonas 65 dB(A) e 55 dB(A) dos indicadores Lden e Ln.

6. Resultados / Discussão

Na simulação 4.1, os valores das isófonas 55 dB(A) do indicador Lden e 45 dB(A) do indicador Ln, são atingidos fora do domínio da norma francesa XPS 31-133 (800 m). Entre as simulações 4.2 e 4.3 para o indicador Lden apresentam uma diferença de 36 m e 232 m para as isófonas 65 dB(A) e 55 dB(A) (Figura 22).

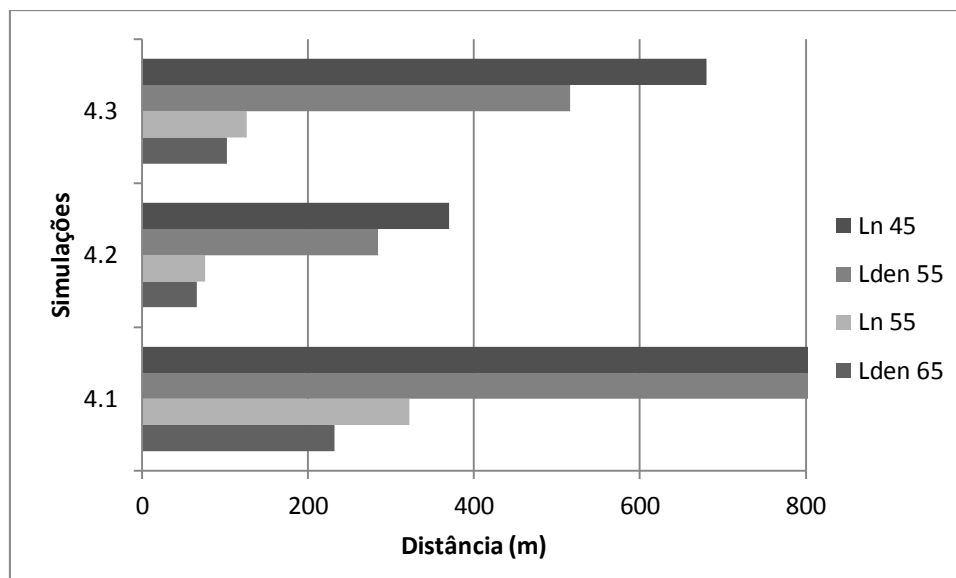


Figura 22 - Distância das isófonas para os indicadores Lden e Ln à rodovia.

Estas diferenças demonstram a influência do tipo de solo na propagação do ruído, sendo assim um fator importante na caracterização do ruído desde pequenas a grandes distâncias.

Torna-se assim evidente que a APA deveria exigir uma maior definição da caracterização dos solos nos MER.

5 - INFLUÊNCIA DAS ALTERAÇÕES DE FLUXO DE TRÁFEGO

Para avaliar a influência do tipo de fluxo de tráfego realizaram-se várias simulações com diferentes tipos de fluxo, tendo em conta as condições meteorológicas recomendadas.

O fluxo contínuo pode ser encontrado na maioria das estradas não urbanas, como autoestradas. O fluxo pulsado é encontrado em estradas onde existe constantes engarrafamentos, passagens nas portagens, e entre outros, os fluxos desacelerado e acelerado em zonas com semáforos, cruzamentos, e respetivamente antes e após portagens. O fluxo pulsado, desacelerado e acelerado podem ser encontrados em

autoestradas no meio de grandes cidades, como Porto e Lisboa, onde existem constantes engarrafamentos e paragens.

As simulações foram realizadas para uma velocidade de 50 Km/h para os veículos ligeiros e pesados.

5.1 - fluxo pulsado

5.2 - fluxo contínuo

5.3 - fluxo acelerado

5.4 - fluxo desacelerado

Na Figura 23 é apresentada a influência do tipo de fluxo para as simulações e como se pode verificar o tipo de fluxo tem influência na emissão de ruído, existindo grandes diferenças nos níveis sonoros para a mesma distância. No entanto, as simulações 5.1 e 5.2 apresentam uma diferença máxima de apenas 0,23 dB(A), mas entre as simulações 5.3 e 5.4 as diferenças já são significativas e apresentam uma diferença de cerca de 4 dB(A) até aos 300m.

O fluxo desacelerado é o que tem maior influência na emissão de ruído, tornando-se importante a caracterização do fluxo de tráfego em zonas onde é predominante um tipo específico de fluxo.

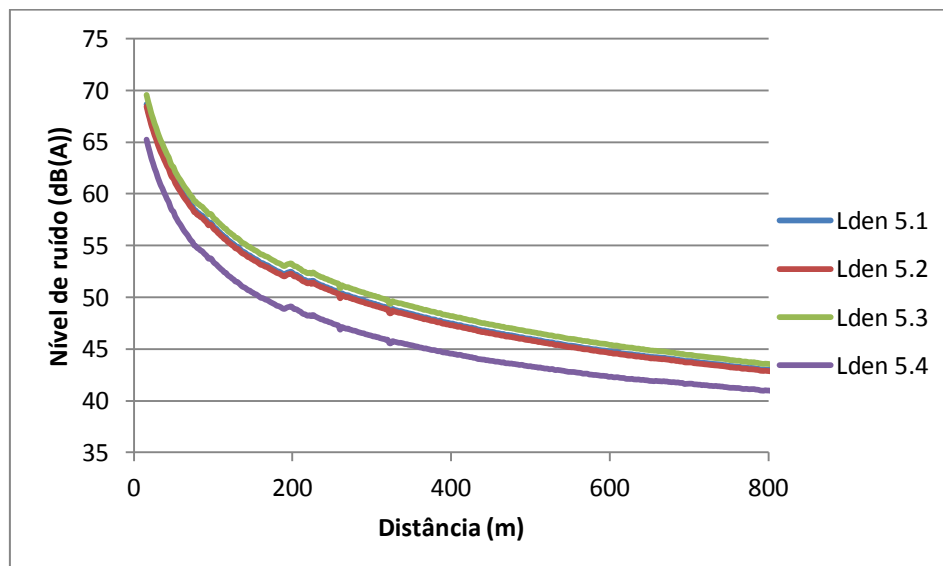


Figura 23 - Influência do tipo de fluxo para o indicador Lden.

6. Resultados / Discussão

De forma, a verificar diferenças entre os tipos de fluxo, esta simulação realizou-se apenas para veículos ligeiros, a uma distância de 50 m obtendo os resultados apresentados na Figura 24.

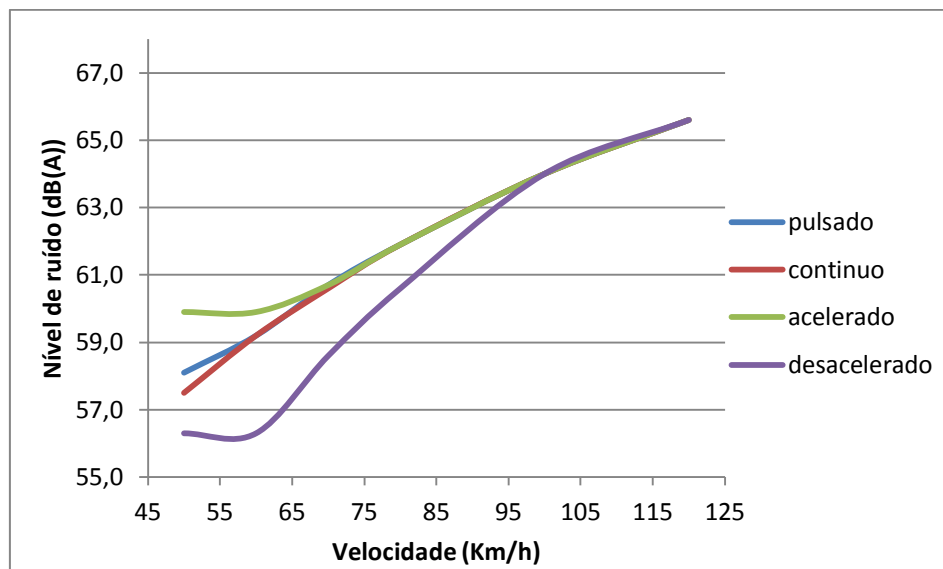


Figura 24 - Influência do tipo de fluxo para o indicador Lden.

Como se pode verificar o tipo de fluxo de tráfego apresenta maiores diferenças entre o tipo de fluxo acelerado e desacelerado e menores diferenças entre o contínuo e o pulsado. Verifica-se assim uma diferença máxima de 3,5 dB(A) entre o fluxo acelerado e desacelerado o que tem grande influência nos resultados finais. Os tipos de fluxo deixam de apresentar diferenças entre si devido ao fato de a partir dos ± 60 Km/h para os veículos ligeiros e ± 70 Km/m para os veículos pesados o método de cálculo já não considera o tipo de fluxo [Lang, J., 2003].

6-INFLUENCIA DO TIPO DE PAVIMENTO

Para avaliar a influência do tipo de pavimento realizaram-se várias simulações com diferentes tipos de pavimento, tendo em conta as condições meteorológicas recomendadas.

O software Predictor incorpora na sua base de dados 5 tipos de pavimentos, sendo apenas um pouco ruidoso designado "Porous surface" e também permite ao utilizador criar tipos de pavimentos com outras características acústicas. Para as simulações

realizadas foi utilizado um tipo de pavimento pouco ruidoso (“Porous surface”), um ruidoso (“Cement concrete and corrugated asphalt”) e outro nulo (“Smooth asphalt (concrete or mastic”).

Simulações realizadas:

- 6.1 - Smooth asphalt (concrete or mastic)
- 6.2 - Cement concrete and corrugated asphalt
- 6.3 - Porous surface

Na Figura 25 é apresentada a influência do tipo de pavimento e como se pode verificar, através do gráfico, o tipo de pavimento apresenta grande influência na emissão de ruído, existindo grandes diferenças nos níveis sonoros para a mesma distância. A 100 m de distância as simulações 6.1 e 6.2 apresentam uma diferença de 2 dB(A) e entre as simulações 6.1 e 6.3 apresenta uma diferença de 3 dB(A).

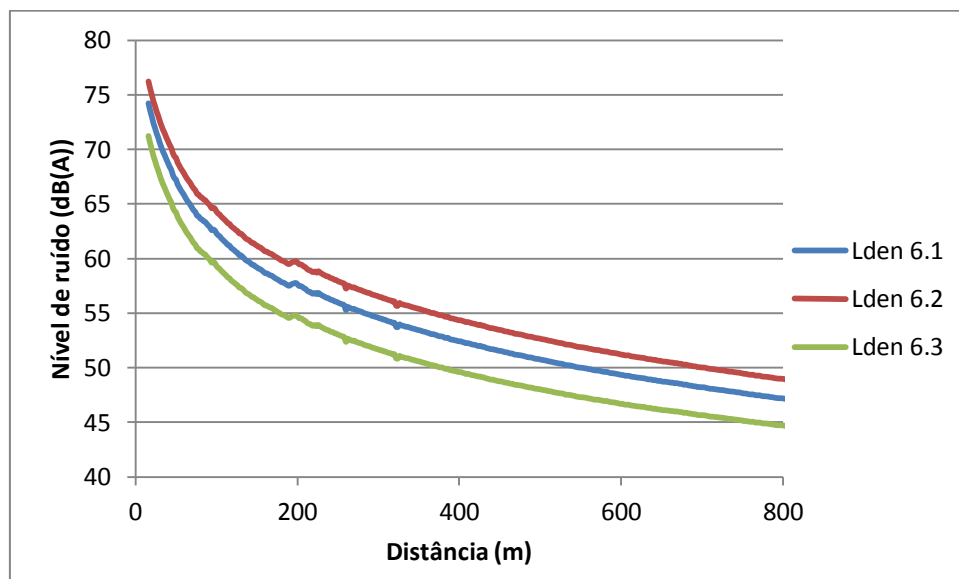


Figura 25 - Influência do tipo de pavimento para o indicador Lden.

Entre as simulações 6.1 e 6.2 as isófonas 65 dB(A) e 55 dB(A), para os indicadores Lden e Ln, respectivamente, apresentam diferenças de 24 m e 32 m, o que representa influência nos resultados. Entre as simulações 6.1 e 6.3 apresentam uma diferença de 22 m e 26 m para as isófonas 65 dB(A) e 55 dB(A) dos indicadores Lden e Ln, respectivamente.

6. Resultados / Discussão

Entre as simulações 6.1 e 6.2 as isófonas 55 dB(A) e 45 dB(A), para os indicadores Lden e Ln, respectivamente, apresentam diferenças de 86 m e 108 m, o que representa uma grande influência nos resultados finais. As simulações 6.1 e 6.3 apresentam uma diferença de 104 m e 122 m para as isófonas 55 dB(A) e 45 dB(A) dos indicadores Lden e Ln, respetivamente.

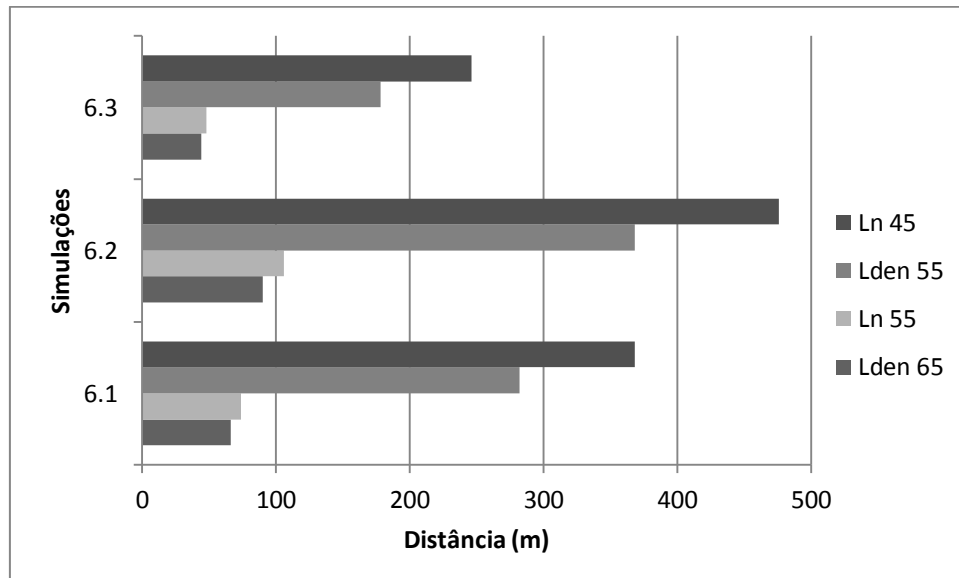


Figura 26 - Distância das isófonas para os indicadores Lden e Ln à rodovia.

Estas diferenças demonstram a influência do tipo de pavimento na emissão de ruído, sendo assim um fator importante na caracterização do ruído desde pequenas a grandes distâncias.

7. CONCLUSÃO

Com o decorrer do presente estágio foi possível adquirir e aprofundar competências e conhecimentos ao nível da modelação de ruído. Sendo este um problema cada vez mais discutido e estudado torna-se evidente que é necessário avaliar e prever os níveis de ruído de forma a minimizar os efeitos adversos deste à saúde humana.

A modelação do ruído é assim uma ferramenta importante na avaliação da distribuição do ruído.

Contudo, verifica-se a necessidade de Legislação/Diretrizes mais exigente por parte da APA pois a falta de informação de determinados parâmetros permite que se realizem modelações menos rigorosas e que afetam os resultados finais.

Para o estudo foram avaliados parâmetros como o tipo de solo, condições meteorológicas e caracterização do número de faixas da rodovia de modo a avaliar a qualidade da informação base (maior detalhe nos parâmetros) nos resultados finais.

A caracterização do tipo de solo é um fator que tem grande capacidade de influenciar os resultados finais e portanto a APA deveria exigir uma caracterização mais detalhada do tipo de solo na envolvente da rodovia, pois com a disponibilização de imagens aéreas, esta informação é fácil de obter.

Relativamente à caracterização do número de faixas de rodagem verifica-se uma grande influência quando representadas a totalidade das faixas em contrário da representação de apenas um eixo

As condições meteorológicas são outro parâmetro que a APA deveria ter em consideração efetuar estudos de modo a obter dados mais detalhados por direção e por região, pois os dados atuais recomendados são iguais em todas as direções pelo que influencia os resultados finais.

Em suma, a APA deveria rever as Diretrizes no sentido de criar uma metodologia mais exigente de modo a que as entidades responsáveis pela elaboração dos mapas de ruído sejam obrigados a efetuar os MER com maior qualidade.

O desenvolvimento do estudo permitiu também melhorar os procedimentos utilizados para a elaboração dos MER pela empresa Ambiente::Global, de modo a permitir melhores resultados em trabalhos futuros.

7. Conclusão

BIBLIOGRAFIA

APA – Agência Portuguesa do Ambiente - Qual a finalidade dos Mapas de Ruído? [Em linha] [Consult. 19 de Outubro 2011] Disponível em WWW:<URL: http://www.apambiente.pt/?ref=pf&f_faq_tema=8b26f879181b6efc5138c3d22c7b26c0#763>.

Antunes, S., Rosão, V., Falcão, A., Representatividade das medições em Acústica Ambiental, Universidade de Coimbra, 2008 Disponível em WWW: <URL:<http://www.schiu.com/sectores/artigos/Art-692-RepresentatividadeMedicoesRuído.pdf>>

AEA – Agência Europeia do Ambiente – Introdução ao ruído [Em linha] Copenhaga [Consult.19 de Outubro 2011] Disponível em WWW: <URL:<http://www.eea.europa.eu/pt/themes/noise/intro>>.

Beuving, M., Vos, P. IMAGINE – State of the Art. Deliverable 2 of the Imagine Project., 2004.

Babisch, W., Beule, B., Schust, M., Kersten, N., Ising, H., Noise Increases the Risk of Heart Diseases, 2005 Disponível em WWW: <URL: http://circa.europa.eu/Public/irc/env/noisedir/library?l=/health_effects_noise/babisch_2005_noisepdf/_EN_1.0_&a=d>

Certiprojecto, Avaliação do Efeito da Pavimento no Ruído de tráfego Rodoviário, 2004.

Declaração de Retificação n.º18/2007. D.R. Série I. 54 (16 de Março de 2007). 1628

Decreto-lei n.º 129/2002. D.R. Série I-A. 109 (11 de Maio de 2002). 4421-4428

Decreto-lei n.º 146/2006. D.R. Série I. 146 (31 de Julho de 2006). 5433-5441

Decreto-lei n.º 182/2006. D.R. Série I. 172 (6 de Setembro de 2006). 6584-6593

Decreto-lei n.º 221/2006. D.R. Série I. 215 (11 de Agosto de 2006). 7750-7779

Decreto-lei n.º 251/87. D.R. Série I. 142 (24 de Junho de 1987). 2386 - 2393

Decreto-lei n.º 259/2002. D.R. Série I-A. 271 (23 de Novembro de 2002). 7368 - 7370

Decreto-lei n.º 278/2007. D.R. Série I. 147 (1 de Agosto de 2007). 4912-4913

Decreto-lei n.º 292/2000. D.R. Série I-A. 263 (14 de Novembro de 2000). 6511 - 6520

Bibliografia

- Decreto-lei n.º 292/89. D.R. Série I. 202 (2 de Setembro de 1989). 3770 – 3772
- Decreto-lei n.º 293/2003. D.R. Série I-A. 268 (19 de Novembro de 2003). 7895 - 7899
- Decreto-lei n.º 310/2002. D.R. Série I-A. 292 (18 de Dezembro de 2002). 7896 - 7903
- Decreto-lei n.º 72/92. D.R. Série I-A. 98 (28 de Abril de 1992). 1955 - 1956
- Decreto-lei n.º 76/2002. D.R. Série I-A. 72 (26 de Março de 2002). 2879 - 2910
- Decreto-lei n.º 9/2007. D.R. Série I. 12 (17 de Janeiro de 2007). 389-398
- Decreto-lei n.º 9/92. D.R. Série I-B. 98 (28 de Abril de 1992). 1961- 1971
- Decreto-lei n.º 96/2008. D.R. Série I. 110 (9 de Junho de 2008). 3359-3372
- Diretiva 2000/14/CE. Jornal das Comunidades Europeias L162 (3 de Julho de 2000) 1-78
- Diretiva 2002/30/CE. Jornal das Comunidades Europeias L085 (28 de Março de 2002) 40-46
- Diretiva 2002/49/CE. Jornal das Comunidades Europeias L189 (18 de Julho de 2002) 12- 26
- Diretiva 2003/10/CEE. Jornal das Comunidades Europeias L042 (15 de Fevereiro de 2003) 38-44
- Diretiva 2005/88/CE. Jornal das Comunidades Europeias L344 (14 de Dezembro de 2005). 44-46
- Diretiva 86/188/CEE. Jornal das Comunidades Europeias L137 (24 de Maio de 1986) 28-34
- Diretiva 95/27/CE. Jornal das Comunidades Europeias L168 (18 de Julho de 1995) 14-17
- Fritschi L., Brown A., Kim R., Schwela D., Kephelopoulos D. CONCLUSIONS. In EUROPE, WHO Regional Office for - Burden of disease from environmental noise. Copenhaga, 2011. Disponível em WWW: <URL: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf> ISBN: 978 92 890 0229 5.

- Guedes, M., Leite, M., Agência Portuguesa do Ambiente DACAR, Diretrizes para Elaboração de Mapas de Ruído Versão 3, Amadora, 2011.
- Heimann, D., Influence of meteorological parameters on outdoor noise propagation, Euronoise Naples, 2003. Disponível em WWW: <URL:<http://www.pa.op.dlr.de/acoustics/113.pdf>>
- Hollander, A., Melse. J., Lebret. E., Kramers. P., An aggregate public health indicator to represent the impact of multiple environmental exposures. *Epidemiology*, 1999, 10:606–617.
- Lang, J., *et al*, Adaptation and revision of the interim noise computation methods for the purpose of strategic noise mapping - WP 3.1.1: Road traffic noise - Description of the calculation method, AR-INTERIM-CM (CONTRACT: B4-3040/2001/329750/MAR/C1), 2003
- Lei n.º 11/87. D.R. Série I. 81 (7 de Abril de 1987). 1386 - 1397
- McDade, A., Cardoso, C., Freitas, A., Inácio, O., Impacto das camadas superficiais dos pavimentos nos mapas de ruído– Caso de estudo, 2012
- NMPB-2008 - Road noise prediction 2 -Noise propagation computation method including meteorological effects, Sétra, 2009
- Nota, R., Barelds, R., Maercke, D., Technical Report HAR32TR-040922-DGMR20 Harmonoise WP 3 Engineering method for road traffic and railway noise after validation and fine-tuning, 2005
- Oliveira, A., Rocha, C. Manual Técnico para Elaboração de Planos Municipais de Redução de Ruído, FEUP, Agência Portuguesa do Ambiente, 2008
- Portaria n.º 77/96. D.R. Série I-B. 59 (9 de Março de 1996). 444 – 446
- Portaria n.º 879/90. D.R. Série I. 218 (20 de Setembro de 1990). 3897
- Probst, W., Accuracy and precision of prediction models for road noise, Euronoise, DataKustik GmbH, Scotland, 2009
- Rodrigue, J., Pollutants Emitted by Transport Systems (Air, Water and Noise), Dept. of Global Studies & Geography, Hofstra University, USA, Disponível em WWW: <URL: <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch8en/appl8en/ch8a2en.html>>

Bibliografia

- Rosão, V., Desenvolvimento de Modelo de Avaliação do Impacte Ambiental devido ao Ruído de Tráfego Rodoviário, Dissertação de Mestrado em Engenharia Física, especialização em Ambiente em Edifícios, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2001
- Rosão, V., Desenvolvimentos sobre Métodos de Previsão, Medição, Limitação e Avaliação em Ruído e Vibração Ambiente, Tese de Doutoramento em Ciências do Mar, da Terra e do Ambiente, no Ramo de Ciências e Tecnologia do Ambiente com especialidade em Acústica, Universidade do Algarve, 2011.
- Rosão, V., Antunes, S., Limitações e Opções Alternativas da Modelação na Componente Ruído, 2006
- Segués, F., Conceptos básicos de ruído ambiental, Ministerio de Medio Ambiente, 2007, Disponível em WWW:<URL:
<http://infodigital.opandalucia.es/bvial/bitstream/10326/720/1/conceptos%20b%C3%A1sicos%20ruído%20ambiental.pdf>>
- Santos, A., Estudo da Eficácia na Redução do ruído de Tráfego em Pavimentos Drenantes, Tese de Mestrado em Engenharia Rodoviária, Universidade do Minho, 2007
- Santos, A., Freitas, E., Santos, L., Estudo da Eficácia dos Pavimentos Drenantes na Redução do Ruído Rodoviário para as Condições Seco e Molhado, 2006, Disponível em
WWW:<URL:http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/7226/1/EF_CRP_2006_artigo-ESTUDO%20DA%20EFIC%C3%81CIA%20DOS%20PAVIMENTOS%20DRENANTES.pdf>
- Sousa, J., Aplicação de Sistemas de Informação Geográfica na Modelação de Ruído, Trabalho de Fim Curso em Engenharia Biofísica, Universidade de Évora, 2003
- Trow, J., Shilton, S., Uncertainty Analysis of the Harmonoise Road Source Emission Levels, Forum Acusticum, Budapest, 2005
- Valadas, B., Leite, M., O Ruído e a Cidade (traduzido e adaptado da publicação francesa intitulada “Le bruit et la ville”-Ministère de réquipement et de L’Aménagement du Territoire, Janvier 1978), Instituto do Ambiente, 2004, ISBN: 9972 8419 91 0.

Vos, P., Beuving, M., Verheijen, E., Harmonised Accurate and Reliable Methods for the EU Directive on the Assessment and Management Of Environmental Noise, FINAL TECHNICAL REPORT, Document identity: (HAR7TR041213AEAT04.doc), 2005

WG-AEN - European Commission Working Group - Assessment of Exposure to Noise, Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, Final Draft, versão 2, 2006

WG-AEN - European Commission Working Group - Assessment of Exposure to Noise, Noise computations methods and software, versão 4, 2003, Disponível em WWW:<URL:http://circa.europa.eu/Public/irc/env/noisedir/library?l=/material_mapping/noisescomputationssmetho&vm=detailed&sb=Title>.

XP S 31-133 - Normalisation française, AFNOR L168 (Avril de 2001) ISSN 0335-3931

Bibliografia

Anexos

Anexo A - Definições

Atividade ruidosa permanente – a atividade desenvolvida com carácter permanente, ainda que sazonal, que produza ruído nocivo ou incomodativo para quem habite ou permaneça em locais onde se fazem sentir os efeitos dessa fonte de ruído, designadamente laboração de estabelecimentos industriais, comerciais e de serviços;

Atividade ruidosa temporária – a atividade que, não constituindo um ato isolado, tenha carácter não permanente e que produza ruído nocivo ou incomodativo para quem habite ou permaneça em locais onde se fazem sentir os efeitos dessa fonte de ruído tais como obras de construção civil, competições desportivas, espetáculos, festas ou outros divertimentos, feiras e mercados;

Aglomeracão - um município com uma população residente superior a 100 000 habitantes e uma densidade populacional igual ou superior a 2500 habitantes por quilómetro quadrado;

Avaliação acústica – a verificação da conformidade de situações específicas de ruído com os limites fixados;

Fonte de ruído – a ação, atividade permanente ou temporária, equipamento, estrutura ou infraestrutura que produza ruído nocivo ou incomodativo para quem habite ou permaneça em locais onde se faça sentir o seu efeito;

Grande infraestrutura de transporte aéreo – o aeroporto civil, identificado pelo Instituto Nacional de Aviação Civil, onde se verifiquem mais de 50 000 movimentos por ano, considerando-se um movimento uma aterragem ou uma descolagem, salvo os destinados exclusivamente a ações de formação em aeronaves ligeiras;

Grande infraestrutura de transporte ferroviário - o troço ou troços de uma via-férrea regional, nacional ou internacional, identificados pelo Instituto Nacional de Transporte Ferroviário, onde se verifiquem mais de 30 000 passagens de comboios por ano;

Grande infraestrutura de transporte rodoviário – o troço ou troços de uma estrada municipal, regional, nacional ou internacional, identificados por um município, ou pela EP – Estradas de Portugal, S.A., onde se verifiquem mais de três milhões de passagens de veículos por ano;

Indicador de ruído – o parâmetro físico-matemático para a descrição do ruído ambiente que tenha uma relação com um efeito prejudicial na saúde ou no bem-estar humano;

Indicador de ruído diurno-entardecer-noturno (Lden) – o indicador de ruído, expresso em dB(A), associado ao incómodo global, dado pela seguinte expressão:

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

Indicador de ruído diurno (Ld ou Lday) – o nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP 1730-1:1996, ou na versão actualizada correspondente, determinado durante uma série de períodos diurnos representativos de um ano;

Indicador de ruído do entardecer (Le ou Levening) – o nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP 1730-1:1996, ou na versão actualizada correspondente, determinado durante uma série de períodos do entardecer representativos de um ano;

Indicador de ruído nocturno (Ln ou Lnigh) – o nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP 1730-1:1996, ou na versão actualizada correspondente, determinado durante uma série de períodos nocturnos representativos de um ano;

Mapa estratégico de ruído – um mapa para fins de avaliação global da exposição ao ruído ambiente exterior, em determinada zona, devido a várias fontes de ruído, ou para fins de estabelecimento de provisões globais para essa zona;

Planeamento acústico – o controlo do ruído futuro, através da adopção de medidas programadas, tais como o ordenamento do território, a engenharia de sistemas para a gestão do tráfego, o planeamento da circulação e a redução do ruído por medidas adequadas de isolamento sonoro e de controlo do ruído na fonte;

Plano de acção – os planos destinados a gerir o ruído no sentido de minimizar os problemas dele resultantes, nomeadamente pela redução do ruído;

Período de referência – o intervalo de tempo a que se refere um indicador de ruído, de modo a abranger as actividades humanas típicas, delimitado nos seguintes termos:

- Período diurno – das 7 às 20 horas;
- Período do entardecer – das 20 às 23 horas;
- Período nocturno – das 23 às 7 horas.

Receptor sensível – o edifício habitacional, escolar, hospitalar ou similar ou espaço de lazer, com utilização humana;

Ruído de vizinhança – o ruído associado ao uso habitacional e às actividades que lhe são inerentes, produzido directamente por alguém ou por intermédio de outrem, por coisa à sua guarda ou animal colocado sob a sua responsabilidade, que, pela sua duração, repetição ou intensidade, seja susceptível de afectar a saúde pública ou a tranquilidade da vizinhança;

Ruído ambiente (Decreto-Lei n.º 146/2006) – um som externo indesejado ou prejudicial gerado por actividades humanas, incluindo o ruído produzido pela utilização de grandes infra-estruturas de transporte rodoviário, ferroviário e aéreo e instalações industriais, designadamente as definidas no anexo I do Decreto-Lei n.º 194/2000, de 21 de Agosto, com as alterações introduzidas pelos Decretos-Leis n.º 152/2002, de 23 de Maio, 69/2003, de 10 de Abril, 233/2004, de 14 de Dezembro, e 130/2005, de 16 de Agosto;

Ruído ambiente (Decreto-Lei n.º 9/2007) - o ruído global observado numa dada circunstância num determinado instante, devido ao conjunto das fontes sonoras que fazem parte da vizinhança próxima ou longínqua do local considerado;

Valor limite – o valor de L_{den} ou de L_n que, caso seja excedido, dá origem à adopção de medidas de redução do ruído por parte das entidades competentes;

Zona mista – a área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afectada a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível;

Zona sensível – a área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período nocturno;

Zona urbana consolidada – a zona sensível ou mista com ocupação estável em termos de edificação.

No Decreto-Lei n.º 9/2007 que aprova a RGR, também se encontram estipulados os valores limite de exposição máxima em função da classificação de uma zona acústica. Na Tabela 1 são apresentados os níveis máximos de ruído exterior permitidos por lei, expressos dB(A):

Tabela 1 - Níveis máximos permitidos, expresso em dB(A).

| | L_{den} dB(A) | L_n dB(A) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Zona mista | ≤ 65 | ≤ 55 |
| Zona Sensível | ≤ 55 | ≤ 45 |
| Zona Não Classificada | ≤ 63 | ≤ 53 |
| As zonas sensíveis em cuja proximidade exista em exploração, à data da entrada em vigor do novo RGR, uma grande infraestrutura de transporte (GIT) | ≤ 65 | ≤ 55 |

Como se pode verificar os Decretos-Lei n.º 9/2007 e Decreto-Lei n.º 146/2006 apresentam diferentes definições de ruído ambiente.

A definição do Decreto-Lei n.º 9/2007 remete para medições em contínuo, uma vez que não apresenta a necessidade de assegurar que os níveis sonoros medidos são exclusivamente de uma determinada fonte sonora em avaliação, assim como, não implica a identificação das fontes sonoras. Este tipo de medição torna ainda mais difícil a elaboração de planos de redução de ruído. A definição apresentada no Decreto-Lei n.º 146/2006 já apresenta uma identificação e classificação das fontes sonoras, considerando como ruído ambiente, o ruído gerado pelas atividades humanas, e inclui, também, o ruído produzido pelos meios de transporte e atividade industrial, sendo mais adequado aos métodos de modelação. (Antunes, S., Rosão, V., Falcão, A., 2008)

Para efeitos de esclarecimentos, no presente trabalho, o ruído ambiente refere-se ao disposto na definição do Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de Julho.

