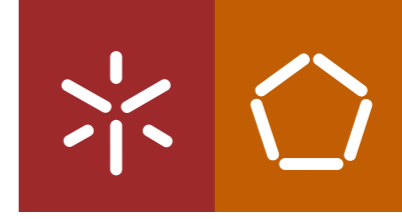




Bruno Ricardo Dias Gonçalves Mendes

Avaliação do ruído ambiental em zonas de conflito acústico. Proposta de medidas de redução de ruído.

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Bruno Ricardo Dias Gonçalves Mendes

Avaliação do ruído ambiental em zonas de
conflito acústico. Proposta de medidas de
redução de ruído.

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Lúcia Maria Marques de Oliveira
Torres Silva

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi conduzido sob a orientação da Professora Doutora Lúcia Maria Marques de Oliveira Torres Silva, do Subgrupo de Planeamento do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho a quem expresse uma enorme gratidão pela sua supervisão, estímulo e disponibilidade sempre presente na ajuda e no esclarecimento de dúvidas, demonstradas no decorrer de todo este trabalho, aconselhando-me e encorajando-me sempre da melhor maneira no domínio dos instrumentos necessários à realização deste trabalho.

À Câmara Municipal de Viana do Castelo, em especial ao Arquitecto Paulo Vieira, pelo material disponibilizado, imprescindível à realização deste trabalho.

Gostaria de também de deixar umas palavras de apreço aos técnicos do Laboratório de Sistemas de Informação Geográfico do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho (LABSIG) e ao suporte administrativo do Subgrupo de Planeamento do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho em Braga, também pela companhia e apoio realizado.

Por último agradeço aos meus pais, familiares e amigos, por todo o apoio e palavras encorajadoras ao longo desta caminhada. Sem o seu apoio incondicional não teria sido possível. A eles, o meu sincero obrigado.

Avaliação de ruído ambiental em zonas de conflito acústico. Proposta de medidas de redução de ruído.

RESUMO

A exposição a ruído ambiental elevado pode causar situações de stress, interferências nas atividades básicas do ser humano como dormir, descansar ou estudar. O prolongamento da exposição pode provocar problemas de saúde graves como hipertensão e doenças cardiovasculares, surgindo como um fator que influencia na qualidade de vida das pessoas, principalmente em cidade, provocando incomodidade.

Em Portugal, o ruído está regulamentado através do Regulamento Geral do Ruído (RGR), publicado no D.L. 9/2007 de 17 de Janeiro. Este diploma legal introduz, à semelhança do seu precursor D.L. 292/2000, a consideração da variável ruído urbano em sede de planeamento. Neste quadro, estabelece que a execução da política de ordenamento do território e de urbanismo deve assegurar a qualidade do ambiente sonoro, promovendo a melhoria da qualidade de vida das pessoas.

De acordo com os requisitos impostos pelo Decreto-Lei nº 9/2007 relativamente ao ruído ambiente, a Câmara Municipal de Viana do Castelo encontra-se a realizar um Plano Municipal de Redução de Ruído (PMRR) de modo a estabelecer para valores legais, os níveis de ruído das zonas que se encontram sobreexpostas. A zona objeto do presente estudo encontra-se situada na cidade de Viana do Castelo e é constituída pela Avenida Capitão Gaspar de Castro e zonas envolventes. Esta é uma zona de conflito acústico que possui grau de sobreexposição 1, ou seja, corresponde a uma zona com nível de sobreexposição que ultrapassa os limites legais em 15 dB(A), considerando-se por esse motivo uma zona prioritária de atuação.

A presente dissertação tem como objetivo analisar esta zona de conflito acústico e aplicar medidas de redução de ruído, tecnicamente viáveis, para reduzir os níveis de ruído evidenciados atualmente.

PALAVRAS-CHAVE

Ruído ambiental, Incomodidade, RGR, PMRR, Sobreexposição, Medidas de redução de ruído

The assessment of environmental noise on acoustic conflict zones. Proposed measures to reduce noise.

ABSTRACT

The exposure to high environmental noise can cause stressful situations and can interfere with the basic activities of human beings as sleep, rest and study. The prolonged exposure can cause serious health problems such as hypertension and cardiovascular disease, emerging as a factor that influences the people's quality of life, especially in the city, causing discomfort.

In Portugal, the noise is regulated through the Regulamento Geral do Ruído (RGR) (General Regulation of Noise), published in D.L. 9/2007 17th of January. This regulation introduced, like its precursor D.L. 292/2000, the consideration of the variable noise in urban planning headquarters. This statute, establishes that the execution of policy of spatial planning and urban planning must ensure the quality of the sound environment, promoting the improvement of a better quality of life.

According to the requirements of the Decree-Law N° 9/2007 related to environmental noise, the City Hall of Viana do Castelo is conducting a Plano Municipal de Redução de Ruído (PMRR) (Municipal Plan of Noise Reduction) to establish for legal values, the noise levels of the areas that are overexposed. The object of this study area is located in the city of Viana do Castelo and is constituted by Capitão Gaspar de Castro Avenue and the surrounding areas. This is an acoustic conflict area that has a 1st degree level of overexposure, therefore a level that surpasses the legal limits of 15dB(A). Because of this, the area previously mentioned is considered to be priority and as a result, an immediate course of action should be taken.

This thesis aims to analyze this acoustic conflict zone and apply feasible means of noise reduction, with the purpose of reducing the noise levels currently outlined.

KEYWORDS

Environmental noise, Discomfort, RGR, PMRR, Overexposure, Measures to reduce noise

LISTA DE CONTEÚDOS

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DO ESTADO DA ARTE	5
2.1	Enquadramento histórico do tema	5
2.2	Enquadramento teórico do tema	7
2.2.1	O som	7
2.2.2	O ruído	8
2.2.3	Incomodidade	17
2.2.4	Formas de controlo de ruído	19
2.2.5	Mapas de ruído	36
2.2.6	Planos de redução de ruído	40
2.2.7	Exemplos de práticas inovadoras de redução de ruído	42
2.2.8	Exemplo de prática inovadora de medidas de redução do ruído ambiente em Portugal.	49
2.3	Enquadramento Legislativo	52
2.3.1	Regulamento Geral do Ruído (RGR)	52
2.3.2	Diretiva do Ruído Ambiente (DRA)	54
3	CASO DE ESTUDO	57
3.1	Características do município de Viana do Castelo	57
3.2	Características a estudar para estudos relacionados com ruído ambiental	58
3.2.1	Características meteorológicas	58
3.2.2	Características do terreno	59
3.2.3	Características do edificado e redes viárias	59
3.3	Mapas de ruído de 2008 de Viana do Castelo	60
3.4	Medidas implementadas no município, visando a diminuição de ruído ambiental e melhoramento de condições atmosféricas	64
3.5	Características da Avenida Capitão Gaspar de Castro para estudos de ruído ambiental	65
4	METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DE MAPAS DE RUÍDO	69
4.1	Recomendações da APA para a elaboração de mapas de ruído	69
4.1.1	Períodos de tempo de referência	69

4.1.2	Características da malha	70
4.1.3	Método de cálculo utilizado	70
4.1.4	Importação de dados	71
4.1.5	Características das vias de comunicação	72
4.1.6	Características dos edifícios	76
4.1.7	Características dos muros	77
4.1.8	Cartografia do terreno	77
4.1.9	Condições meteorológicas	78
4.1.10	Validação dos dados	78
4.2	Modelação tridimensional	79
4.2.1	Hotel Axis e Escola Superior de Educação do IPVC	79
4.2.2	Praça do Minho	80
4.2.3	Talude	80
4.2.4	Escola Secundária Santa Maria Maior após obras do Parque Escolar	81
4.2.5	Bomba de abastecimento de combustível e Rua Ponte de Lima	81
4.2.6	Viaduto Santo António	82
4.2.7	Vista aérea da área global de estudo	83
4.3	Contagem de tráfego na Avenida Capitão Gaspar de Castro e vias envolventes	84
4.4	Cenários propostos	89
4.4.1	Cenário 1- Divisão do tráfego pela Av. Capitão Gaspar de Castro e pelas novas ligações previstas no projeto fornecido pela Câmara Municipal.	89
4.4.2	Cenário 2- Redução do número de faixas de rodagem na Avenida Capitão Gaspar de Castro.	94
4.4.3	Cenário 3- Restrições à circulação de veículos pesados na Avenida Capitão Gaspar de Castro	96
4.4.4	Cenário 4- Combinação do cenário 2 e o cenário 3 e aplicações de outras medidas de redução de ruído	99
4.5	Cálculo das áreas de exposição ao ruído	102
5	RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE	111
5.1	Análise global dos resultados da área de estudo	111
5.2	Análise dos resultados das zonas sensíveis	112

5.2.1	Escola Superior de Educação do IPVC _____	113
5.2.2	Escola EB2,3 São Bartolomeu dos Mártires _____	115
5.2.3	Escola Secundária Santa Maria Maior _____	117
6	CONCLUSÕES _____	121
7	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS _____	125
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS _____	1277

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escala do decibel _____	7
Figura 2 - % de pessoas incomodadas em função da exposição sonora do edifício L_{den} _____	9
Figura 3 - Indicadores agrupados por categorias (médios, de pico e estatísticos) _____	10
Figura 4 - Indicadores de ruído ambiental _____	11
Figura 5 - Exemplo de Sonómetro e Fonómetro _____	11
Figura 6 - Condições de medição no exterior _____	12
Figura 7 - Fonte sonora pontual _____	13
Figura 8 - Fonte sonora linear _____	14
Figura 9 - Fenómeno de difração _____	14
Figura 10 - Influência do vento na propagação do som _____	15
Figura 11 - Influência da variação de temperatura na propagação do som _____	15
Figura 12 - Influência da Humidade Relativa na propagação do som _____	15
Figura 13 - A propagação do som através de uma barreira _____	16
Figura 14 - Fontes de emissão sonora num veículo ligeiro _____	21
Figura 15 - Influências das características da estrada, veículo e pneus no ruído rodoviário _____	22
Figura 16 - Mecanismos de propagação sonora de uma camada de desgaste _____	23
Figura 17 - Fontes de ruído ferroviário em função da velocidade _____	28
Figura 18 - Emissões sonoras de uma estrada construída ao nível do solo _____	30
Figura 19 - Emissões sonoras de uma estrada em desaterro _____	30
Figura 20 - Exemplo de uma zona “buffer” _____	31
Figura 21 - Geometria da barreira acústica _____	32
Figura 22 - Caso de estudo 1 _____	33
Figura 23 - Caso de estudo 2 _____	33
Figura 24 - Caso de estudo 3 _____	33
Figura 25 - Atenuação de barreiras acústicas em função de δ (a+b-c) _____	34
Figura 26 - Forma e tipo de utilização das fachadas mais sensíveis ao ruído na proximidade de uma estrada em “U” _____	35
Figura 27 - Exemplo do aspeto final de um mapa de ruído _____	38
Figura 28 - Exemplo de uma carta de classificação de zonas _____	39
Figura 29 - Exemplo de um mapa de conflito acústico _____	39

Figura 30 - Plano de redução de ruído _____	41
Figura 31 - Aspeto final das estradas em Alverna _____	44
Figura 32 - Estrada após construção _____	44
Figura 33 - Cobertura funcionando barreira acústica _____	45
Figura 34 - A propagação do som através da cobertura _____	45
Figura 35 - Serviço <i>ProntoBus</i> _____	46
Figura 36 - Aspeto exterior das habitações _____	49
Figura 37 - Congestionamento e insegurança para os peões na Asprela, Porto _____	50
Figura 38 - CIVITAS-BUS _____	51
Figura 39 - Dados estatísticos de Viana do Castelo (CENSOS 2001 VS CENSOS 2011) ____	58
Figura 40 - Altimetria de Viana do Castelo _____	59
Figura 41 - Representação do edificado e das principais redes viárias _____	60
Figura 42 - Mapa de ruído de Viana do Castelo L_{den} verão _____	62
Figura 43 - Mapa de ruído Viana do Castelo L_{den} inverno _____	62
Figura 44 - Mapa de ruído Viana do Castelo L_n verão _____	63
Figura 45 - Mapa de ruído Viana do Castelo L_n inverno _____	63
Figura 46 - Foto de um dos dois miniautocarros elétricos (<i>Caramaru</i>) _____	65
Figura 47 - Carta de classificação de zonas _____	66
Figura 48 - Escola Superior de Educação de Viana do Castelo _____	66
Figura 49 - Escola EB 2,3 de Frei Bartolomeu dos Mártires _____	67
Figura 50 - Escola Secundária Santa Maria Maior _____	67
Figura 51 - Estado de considerável degradação do pavimento _____	67
Figura 52 - Períodos de tempo de referência no programa de cálculo _____	70
Figura 55 - Altura do recetor em relação ao solo recomendada pela APA _____	70
Figura 56 - Configuração de cálculo para ruído rodoviário recomendado pela RGA _____	71
Figura 57 - Transformação de <i>layers</i> _____	72
Figura 58 - Importação de ficheiros DXF _____	72
Figura 59 - Fluxo de tráfego de um dos troços da Avenida Capitão Gaspar de Castro _____	73
Figura 60 - Características dos pavimentos _____	74
Figura 61 - Limites de velocidade para veículos ligeiros e pesados _____	75
Figura 62 - Tipo de fluxo de tráfego _____	75
Figura 63 - Largura no programa de um dos troços da Avenida _____	76

Figura 64 - Altura e coeficiente de absorção de um edifício da área de estudo _____	76
Figura 65 - Altura e coeficiente de absorção do novo muro da escola secundária _____	77
Figura 66 - Geometria de uma curva de nível _____	77
Figura 67 - Hotel Axis e IPVC (modelo esq. <i>versus</i> realidade dir.) _____	80
Figura 68 - Praça do Minho (modelo esq. <i>versus</i> realidade dir.) _____	80
Figura 69 - Talude (modelo esq. <i>versus</i> realidade dir.) _____	81
Figura 70 - Muros e pavilhão polidesportivo (modelo esq. <i>versus</i> realidade dir.) _____	81
Figura 71 - Bomba de Gasolina Repsol e a Rua Ponte de Lima num patamar mais elevado (modelo esq. <i>versus</i> realidade dir.) _____	82
Figura 72 - Direção Norte-Sul do viaduto (modelo esq. <i>versus</i> realidade dir.) _____	83
Figura 73 - Direção Sul-Norte do viaduto (modelo esq. <i>versus</i> realidade dir.) _____	83
Figura 74 - Vista aérea da área global de estudo _____	83
Figura 75 - Vias em que foram realizadas as contagens de tráfego _____	84
Figura 76 - Mapa de ruído para a situação atual L_{den} _____	88
Figura 77 - Mapa de ruído para a situação atual L_n _____	89
Figura 78 - Ponto nº 5 _____	90
Figura 79 - Cenário distribuição de tráfego nº 1 _____	91
Figura 80 - Mapa de ruído para o cenário 1 L_{den} _____	93
Figura 81 - Mapa de ruído para o cenário 1 L_n _____	93
Figura 82 - Mapa de ruído para o cenário 2 L_{den} _____	95
Figura 83 - Mapa de ruído para o cenário 2 L_n _____	96
Figura 84 - Mapa de ruído para o cenário 3 L_{den} _____	98
Figura 85 - Mapa de ruído para o cenário 3 L_n _____	99
Figura 86 - Simulação do muro na Escola EB2,3 junto à Avenida _____	100
Figura 87 - Mapa de ruído para o cenário 4 L_{den} _____	101
Figura 88 - Mapa de ruído para o cenário 4 L_n _____	101
Figura 89 - Alterações na aparência da malha _____	102
Figura 90 - Opções de exportação para SIG _____	103
Figura 91 - Alteração das unidades _____	103
Figura 92 - <i>Shapes</i> para a criação de <i>layers</i> no SIG _____	104
Figura 93 - Exemplo de uma alteração de cores das isolinhas para uma situação L_{den} _____	104
Figura 94 - Aspeto final do projeto SIG _____	105

Figura 95 - Criação de nova <i>shape</i> tipo polígono _____	105
Figura 96 - Comando Clip _____	106
Figura 97 - Polígono da área de estudo _____	106
Figura 98 - Polígono da Escola Secundária _____	107
Figura 99 - Comando <i>erase</i> _____	107
Figura 100 - Polígono das zonas mistas _____	108
Figura 101 - Visualizar a tabela de atributos _____	109
Figura 102 - Adicionar uma nova coluna à tabela de atributos _____	109
Figura 103 - Cálculo do parâmetro “ <i>Areas</i> ” _____	110
Figura 104 - Código para o cálculo de áreas no SIG _____	110
Figura 105 - Áreas finais para os diferentes intervalos de classes de ruído, em m ² para a situação atual L _{den} da totalidade da área de estudo _____	110
Figura 106 - Situação atual e cenários de tráfegos do IPVC (L _{den}) _____	114
Figura 107 - Situação atual e cenários de tráfegos do IPVC (L _n) _____	114
Figura 108 - Situação atual e cenários de tráfegos da EB2,3 (L _{den}) _____	116
Figura 109 - Situação atual e cenários de tráfegos da EB2,3 (L _n) _____	116
Figura 110 - Situação atual e cenários de tráfegos da Escola Secundária (L _{den}) _____	118
Figura 111 - Situação atual e cenários de tráfegos da Escola Secundária (L _n) _____	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Desempenho acústico de diferentes tipos de pavimentos _____	24
Tabela 2 - Medidas de gestão de tráfego e respetivas atenuações de ruído _____	26
Tabela 3 - Potenciais fontes sonoras em circulação ferroviária _____	28
Tabela 4 - Constituição das barreiras em estudo _____	33
Tabela 5 - Resultados do estudo _____	34
Tabela 6 - Resultados das emissões sonoras dos autocarros (Situação anterior VS Situação atual) _____	46
Tabela 7 - Resultados das emissões sonoras totais (Situação anterior VS Situação atual) ____	47
Tabela 8 - Valores dos Traf _{pp} e % Pesados _____	85
Tabela 9 - Valores de tráfego para os períodos de referência _____	86
Tabela 10 - Valores de tráfego para os períodos de referência das restantes vias de comunicação da área de estudo. _____	87
Tabela 11 - Nova distribuição de tráfego das vias afetadas para o Cenário 1 _____	91
Tabela 12 - Nova distribuição de tráfego das vias afetadas para o Cenário 2 _____	94
Tabela 13 - Nova distribuição de tráfego das vias afetadas para o Cenário 3 _____	97
Tabela 14 - Nova distribuição de tráfego das vias afetadas para o Cenário 4 _____	100
Tabela 15 - Áreas totais e percentagens de áreas totais para diferentes classes de ruído (L _{den}) _____	111
Tabela 16 - Áreas totais e percentagens de áreas totais para diferentes classes de ruído (L _n) _____	112
Tabela 17 - Áreas totais para diferentes classes de ruído do IPVC (L _{den}) _____	113
Tabela 18 - Áreas totais para diferentes classes de ruído do IPVC (L _n) _____	113
Tabela 19 - % Áreas dentro e fora dos limites legais para zonas sensíveis do IPVC (L _{den})_	114
Tabela 20 - % Áreas dentro e fora dos limites legais para zonas sensíveis do IPVC (L _n) __	114
Tabela 21 - Áreas totais para diferentes classes de ruído da EB2,3 (L _{den}) _____	115
Tabela 22 - Áreas totais para diferentes classes de ruído da EB23 (L _n) _____	115
Tabela 23 - % Áreas dentro e fora dos limites legais para zonas sensíveis da EB23 (L _{den})_	116
Tabela 24 - % Áreas dentro e fora dos limites legais para zonas sensíveis da EB23 (L _n) __	116
Tabela 25 - Áreas totais para diferentes classes de ruído da Escola Secundária (L _{den}) ____	117
Tabela 26 - Áreas totais para diferentes classes de ruído da Escola Secundária (L _n) ____	117

Tabela 27 - % Áreas dentro e fora dos limites legais para zonas sensíveis da Esc. Sec. (L_{den}) _____	118
Tabela 28 - % Áreas dentro e fora dos limites legais para zonas sensíveis da Esc. Sec. (L_n) _____	118
Tabela 29 - Comparação de resultados cenário 2 VS cenário 4 para zonas sensíveis (L_{den}) _____	122
Tabela 30 - Comparação de resultados cenário 2 VS cenário 4 para zonas sensíveis (L_n) _	122
Tabela 31 - Comparação de resultados cenário 2 <i>versus</i> cenário 4 para zonas mistas (L_{den}) _____	122
Tabela 32 - Comparação de resultados cenário 2 <i>versus</i> cenário 4 para zonas mistas (L_n)_	123

1 INTRODUÇÃO

De uma forma resumida pode-se definir ruído como um som indesejado e desagradável que provoca incómodo no ser humano, apresentando-se como um dos principais fatores de incomodidade em zonas urbanas [1].

A exposição a ruído urbano indesejado raramente afetam o sistema auditivo mas pode causar situações de *stress*, interferências nas atividades básicas do ser humano como dormir, descansar ou estudar. O prolongamento da exposição pode provocar problemas de saúde graves como hipertensão e doenças cardiovasculares. A Organização Mundial de Saúde (OMS) estimou que todos os anos, pelo menos um milhão de europeus morrem de doenças provocadas pelo ruído proveniente do tráfego rodoviário e estima-se que cem milhões de europeus estão expostos a níveis de ruído elevados provenientes do tráfego rodoviário [1,2].

O ruído nas zonas urbanas é um problema grave e crescente sendo de notar que 80% é devido ao tráfego rodoviário [1].

Em Portugal, o ruído está regulamentado através do Regulamento Geral do Ruído (RGR), publicado no D.L. 9/2007 de 17 de Janeiro. Este diploma legal introduz, à semelhança do seu precursor D.L. 292/2000, a consideração da variável ruído urbano em sede de planeamento [3].

De acordo com os requisitos impostos pelo Decreto-Lei nº 9/2007 relativamente ao ruído ambiente, a Câmara Municipal de Viana do Castelo encontra-se a realizar um Plano Municipal de Redução de Ruído (PMRR) de modo a estabelecer para valores legais, os níveis de ruído das zonas que se encontram sobreexpostas. A identificação destas zonas é realizada através da sobreposição dos mapas de ruído com os mapas de zonamento acústico, dando origem aos mapas de conflito.

A zona objeto do presente estudo é a Avenida Capitão Gaspar de Castro e zonas envolventes, localizada em Viana do Castelo. Esta é uma zona de conflito acústico que possui grau de sobreexposição 1, ou seja, corresponde a uma zona com nível de sobreexposição que

ultrapassa os limites legais em 15 dB(A) [4], considerando-se por esse motivo uma zona prioritária de atuação.

Neste trabalho pretende-se então alcançar os seguintes objetivos:

Objetivo geral:

- O objetivo geral do presente estudo é, com recurso a um modelo de previsão de ruído, avaliar o impacto produzido após implementação de medidas de redução de ruído aplicadas na área de estudo.

Objetivos específicos:

- Estudar e caracterizar as bases teóricas e conceptuais dos fenómenos associados à emissão e propagação do ruído;
- Identificar e caracterizar as fontes de ruído na envolvente em estudo;
- Estudar e trabalhar com um modelo de previsão de ruído ambiental;
- Criar vários cenários que caracterizem as medidas de redução de ruído introduzidas;

Para alcançar os objetivos propostos irá ser necessário a utilização de ferramentas que permitam auxiliar de uma forma eficaz e alcançar os resultados propostos, sendo elas, programas de cálculo automático.

O recurso ao auxílio de um programa de cálculo automático que recorra ao método de cálculo NMPB-*Routes-96* terá então uma vital importância na realização deste estudo pois é o modelo, recomendado pela Diretiva 2002/49/CE que permite calcular, apresentar, avaliar e prever o ruído ambiente. Constitui assim uma ferramenta essencial para a realização deste trabalho pois fornece informações vitais para o caso de estudo, para elaboração de mapas de ruído e criação de diferentes cenários, designadamente a avaliação do impacto produzido pela implementação de medidas de redução do ruído [4,5,6].

Por fim, com a obtenção dos mapas de ruído, irá ser utilizado um SIG para a determinação das diferentes áreas de exposição para as respetivas classes de ruído.

De forma a serem atingidos os objetivos postulados em cima, a organização deste documento encontra-se disposta pelos seguintes capítulos:

- **Capítulo dois:** Irão aqui ser abordados os temas mais teóricos desta dissertação, permitindo dar informações históricas sobre o tema de ruído ambiental e um enquadramento teórico que teve como base o trabalho realizado no estado da arte desta dissertação. Irá também dar a conhecer o enquadramento legislativo e jurídico sobre matéria de ruído ambiente na Europa e em Portugal.
- **Capítulo três:** Fornece informações relevantes sobre a área de estudo desta dissertação (Avenida Capitão Gaspar de Castro) e do município de Viana do Castelo em geral.
- **Capítulo quatro:** Capítulo em que será abordada a componente prática, nomeadamente a descrição de metodologias e técnicas de programação utilizadas nos programas de cálculo automático. Serão também apresentados os cenários de tráfego adotados para o estudo e respetivos mapas de ruído.
- **Capítulo cinco:** Após a obtenção dos resultados, neste capítulo será realizada uma análise crítica sobre os resultados, tentando demonstrar as vantagens e desvantagens de cada cenário de tráfego, comparativamente com a situação atual.
- **Capítulo seis:** Serão apresentadas as conclusões e comentários finais do estudo efetuado.
- **Capítulo sete:** Propostas para desenvolvimentos futuros deste trabalho, nomeadamente abordagem de outros tipos de medidas de redução de ruído que não foram abordadas neste documento.

2 REVISÃO DO ESTADO DA ARTE

2.1 Enquadramento histórico do tema

A acústica é uma área da física que estuda o som, nomeadamente as ondas sonoras e os fenómenos ondulatórios derivados da propagação dessas ondas [7].

Na Idade Média, grandes pensadores debruçaram-se sobre o tema mas, como quase todas as ciências na altura, foram alvo de perseguição por parte da Inquisição, associando as práticas a rituais e magias, o que provocou um atraso no seu desenvolvimento [8].

Foi no século XVIII que começou o desenvolvimento da acústica como ciência, pelo físico e músico alemão, considerado o “pai da acústica”, Ernst Chladni, através da sua obra intitulada “*Die Akustik*” (A Acústica). Seguiram-se então diversos cientistas que se debruçaram sobre estudos de acústica, onde se destaca Fourier, físico e matemático francês, que através dos seus estudos de transferência de calor e de vibrações, estabeleceu as séries que hoje têm o seu nome, sendo a base matemática da Acústica [8].

No século XIX, Lord Rayleigh escreveu a “*Teoria do Som*”, em 1877, considerada a teoria da moderna acústica [8].

Mas é após a revolução industrial que o ruído ambiental surge como um problema maior para as sociedades. Com o êxodo rural, começaram a surgir novas oportunidades de trabalho e promessas de melhores condições de vida nos grandes aglomerados urbanos, agravando assim os problemas ambientais. A poluição atmosférica e o ruído ambiental são alguns dos problemas identificados, problemas aliados aos desenvolvimentos e evoluções de novos meios de transporte com maior capacidade e eficiência mas, mais poluentes e ruidosos, nomeadamente os primeiros automóveis e o transporte ferroviário. Com o desenvolvimento dos transportes, surgiu também a necessidade de construir e melhorar novas vias de comunicação com as seguintes características: maior capacidade, velocidade e mobilidade. Este desenvolvimento obrigou a um planeamento e ordenamento territorial mais conciso, rigoroso e, que impusesse novas regras e medidas de modo a tornar plausível todas estas alterações, conduzindo a um desenvolvimento mais sustentável [8].

O conceito de desenvolvimento sustentável é, até aos dias de hoje, um dos temas mais debatidos, com vista a obter um melhor planeamento territorial, existindo diferentes definições na literatura da especialidade e é um dos pilares no que toca à prevenção de questões ambientais, onde se inclui os problemas de ruído ambiental [9].

- *"É o desenvolvimento que vai de encontro às necessidades das gerações presentes sem comprometer a capacidade de desenvolvimento das gerações futuras."* [10]
- *"Pode ser visto como o conjunto de programas de desenvolvimento que vão de encontro aos objetivos de satisfação das necessidades humanas sem violar a capacidade de regeneração dos recursos naturais a longo prazo nem os padrões de qualidade ambiental e de equidade social."* [11]
- *"Deve reconhecer os fatores sociais e ecológicos, assim como os fatores económicos, da base de recursos vivos e não vivos e das vantagens e desvantagens de ações alternativas tanto a longo como a curto prazos."* [12]
- *"É compreendido como uma forma de mudança social que acrescenta aos tradicionais objetivos de desenvolvimento o objetivo da obtenção da sustentabilidade ecológica."* [13]
- *"O planeamento territorial integra um conjunto de potencialidades para mobilizar a atenção e incentivar o debate sobre a articulação entre ambiente e desenvolvimento e proporcionar a identificação e a operacionalização de estratégias de desenvolvimento ambientalmente sustentável e a nível local."* [14]
- *"O papel do planeamento territorial para o desenvolvimento sustentável assenta em evitar ou reduzir impactes adversos e em exercer um papel proactivo através de respostas adaptativas à alteração ambiental."* [15]

Assim, podemos concluir que a base de um bom planeamento pode prevenir e minimizar problemas ambientais, nomeadamente o ruído. Através da implementação de políticas ambientais, ter-se-á um desenvolvimento mais sustentável [9].

2.2 Enquadramento teórico do tema

2.2.1 O som

Som é uma qualquer variação de pressão que o ouvido humano consegue captar. Quando é emitido um som, este provoca variações de pressão no ar que se sobrepõem à pressão do ar [1].

O nível de pressão sonora exprime-se em decibel, dB. O decibel é uma razão logarítmica entre a pressão sonora verificada e o valor de referência. A escala de valores de nível de pressão sonora varia entre 0 dB (limiar da audição) e 120 dB (limiar da dor) [1].

$$L_p = 20 \times \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right)$$

L_p , é o nível de pressão sonora expresso em dB

p , é o valor eficaz da pressão sonora, expresso em Pascal.

p_0 , é a pressão sonora de referência ($p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa)

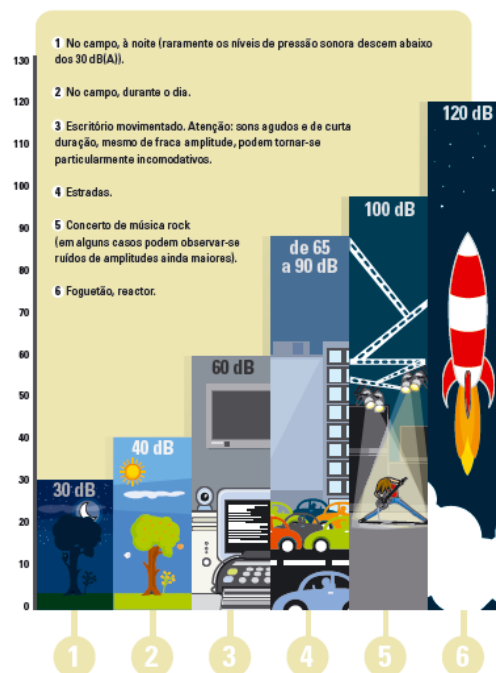


Figura 1 - Escala do decibel [1]

Existe também o nível de pressão sonora dB(A), o decibel corrigido com um filtro de ponderação de frequências. O nível de pressão sonora ponderado dB(A) descreve a sensação com que efetivamente o ser humano percebe determinado ruído [1].

2.2.2 O ruído

De uma forma resumida pode-se definir ruído como um som indesejado e/ou desagradável que provoca incômodo no ser humano e é um dos principais fatores de incomodidade em zonas urbanas [1].

A exposição a ruído indesejado raramente afetam o sistema auditivo mas pode causar situações de *stress*, interferências nas atividades básicas do ser humano como dormir, descansar ou estudar e prejudicar o nosso desempenho laboral. O prolongamento da exposição pode provocar problemas de saúde graves como hipertensão, doenças cardiovasculares e problemas do aparelho auditivo [1,16].

Os problemas associados ao aparelho auditivo podem levar a danos irreversíveis nas células ciliares. A danificação destas células conduz à perda de sensibilidade a certas frequências de sons, as pessoas atingidas por este dano tornam-se incapazes de entender perfeitamente o som que recebe, dado que a capacidade de seleção de sons agora está mais reduzida. Este tipo de problemas começam-se a manifestar para longos períodos de exposição a níveis sonoros de 85 dB(A) [1,16].

Para exposições a níveis sonoros superiores a 120 dB(A) podem destruir não só as células ciliares como até o próprio tímpano ou o ouvido médio. Em alguns casos, pode ser realizado uma operação cirúrgica para a reconstrução dos mesmos, noutros casos os danos podem ser irreversíveis, levando à surdez [1,16].

A duração da exposição a níveis de sonoros elevados podem ser variáveis não devendo ser excedidos. Por exemplo para uma emissão sonora de 85 dB(A) a exposição diária não deverá exceder as 8 horas [1].

A Organização Mundial de Saúde (OMS) estimou que todos os anos, pelo menos um milhão de europeus morrem de doenças provocadas pelo ruído proveniente do tráfego rodoviário e estima-se que cem milhões de europeus estão expostos a níveis de ruído elevados provenientes do tráfego rodoviário. O ruído nas zonas urbanas é um problema grave e crescente sendo de notar que a maior fatia (80%) é resultante do tráfego rodoviário [2].

Comparativamente a outros indicadores ambientais, o ruído é o único que não apresenta reduções significativas nos últimos anos, pois no período entre 1995 e 2006 a quantidade de carros a circular nas estradas dos 27 estados membros aumentou em 22% o que corresponde a 52 milhões de carros e a quantidade de quilómetros aumentou 35% para igual período de tempo [21]. Por estes motivos é que se deve proceder a uma intervenção imediata a curto prazo nas envolventes urbanas com vista à redução do ruído, promovendo o conforto acústico de viver em ambiente urbano [16].

De e acordo com vários estudos efetuados, é reconhecido que, para um mesmo nível sonoro, a percentagem de pessoas incomodadas é mais elevada relativamente ao tráfego aéreo, seguido do rodoviário e por último o ferroviário [16].

Elevadas emissões sonoras no ambiente de trabalho por um grande período de tempo pode levar a problemas de saúde no período de tempo laboral. A exposição ao ruído é a causa direta da segunda mais importante doença profissional em Portugal- a surdez [16].

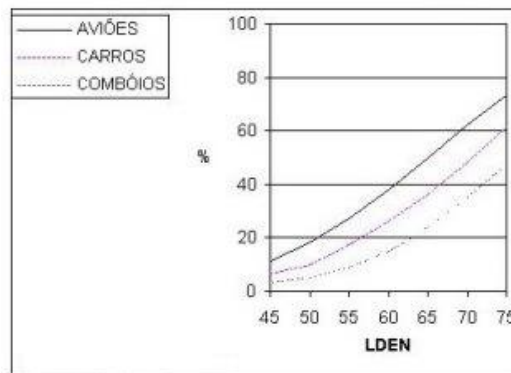


Figura 2 - % de pessoas incomodadas em função da exposição sonora do edifício L_{den} [16]

- **Caracterizar o ruído**

A forma de caracterizar o ruído incide sobre diferentes tipos de indicadores de ruído (Figura 3) entre os quais se podem destacar os seguintes:

- Nível Sonoro Contínuo Equivalente (L_{eq}) é o nível de pressão sonora assumido constante num período de tempo;
- L_{max} e L_{min} correspondem, como o nome indica, ao valor máximo e mínimo registado de nível de pressão sonora durante o período de medição;
- L_{10} corresponde ao nível de pressão sonora que foi excedido durante 10% do tempo de medição, trata-se de um bom indicador para caracterizar a ocorrência dos níveis de pressão sonora mais elevados que ocorrem num curto espaço de tempo;
- L_{95} corresponde ao nível de pressão sonora que foi excedido durante 95% do tempo de medição, é um bom indicador para caracterizar o “ruído de fundo”, ou seja o ruído permanente ao longo do tempo;
- L_{dia} é o indicador diurno e está compreendido no intervalo de tempo entre a 7h e as 20h;
- $L_{entardecer}$ é o indicador de fim-de-tarde, período intermédio entre as 20h e as 23h;
- L_{noite} indicador noturno, período compreendido entre as 23h e as 7h [17].

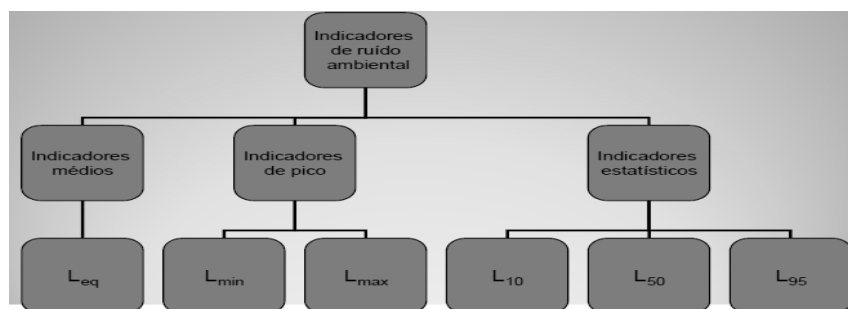


Figura 3 - Indicadores agrupados por categorias (médios, de pico e estatísticos) [17]

A medição do ruído é feita geralmente através de uma média ponderada obtida através de um período de tempo de medição efetivo, que seja significativo para uma boa caracterização do ruído de uma determinada área de estudo [17].

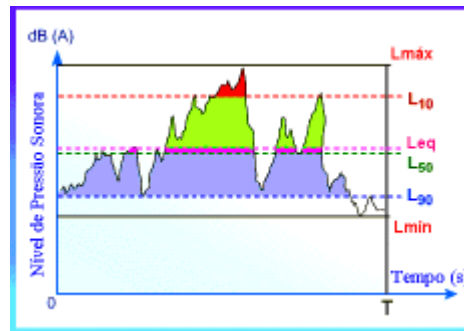


Figura 4 - Indicadores de ruído ambiental [17]

Atualmente, o equipamento mais utilizado para a caracterização do ruído de uma determinada zona é o sonómetro (Figura 5). O sonómetro mede nomeadamente o nível de pressão sonora ponderado A, simulando assim a percepção que um ser humano percebeu e recebeu o ruído que está a ser estudado.

O Sonómetro permite a obtenção de diversos indicadores de ruído:

- Instantâneos (SPL);
- Médios (L_{Aeq});
- Estatísticos (L_{95} , L_{50} , L_{10});
- Máximos, mínimos (L_{max} , L_{min}) [17].



Figura 5 - Exemplo de Sonómetro e Fonómetro [17]

As medições devem ser efetuadas dentro dos limites da propriedade exposta ao ruído, onde se situam os recetores de ruído que, configuram as zonas sensíveis ou mistas, existentes ou previstas. No caso de impossibilidade de efetuar as medições dentro dos limites da propriedade privada, os pontos devem ser escolhidos na sua vizinhança imediata.

Na realização de medições acústicas, os pontos de medição devem, sempre que tecnicamente possível estar afastados, pelo menos, 3,5m de qualquer estrutura refletora, à exceção do solo.

A altura de medição deverá ser de 3,8m a 4,2m acima do solo, quando aplicável, ou de 1,2m a 1,5m de altura acima do solo ou do nível de cada piso de interesse, nos restantes casos tal como se encontra esquematizado na figura seguinte [18].

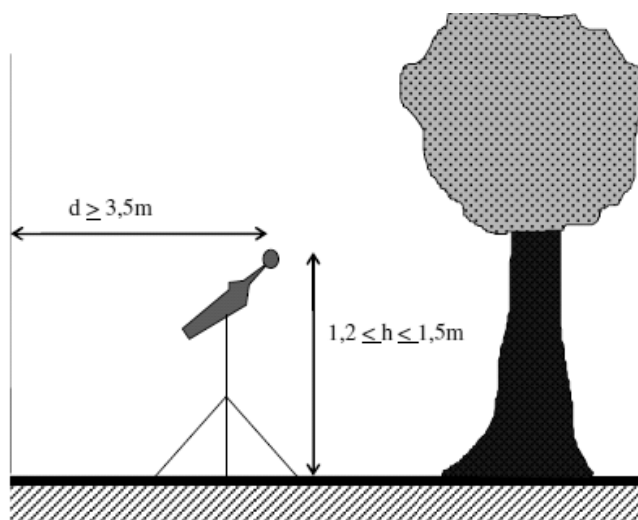


Figura 6 - Condições de medição no exterior [18]

Deve ser também tomado em consideração as condições ambientais do meio ambiente devendo ser as medições efetuadas com ausência de chuva e com a velocidade do vento inferior a 5m/s.

Assim, as condições favoráveis para a propagação do ruído e conseqüentemente condições favoráveis para a realização de medições acústicas são:

- O vento sopra da fonte sonora dominante para o recetor (no período diurno com um ângulo de $\pm 60^\circ$, no período noturno com um ângulo de $\pm 90^\circ$);
- A velocidade do vento, medida a uma altura de 3,0 m a 11,0 m acima do solo, está entre 2 m/s e 5 m/s durante o período diurno ou superior a 0,5 m/s no período noturno;
- Não ocorre um forte gradiente de temperatura negativo junto ao solo, por exemplo, por não se verificar uma forte insolação em período diurno [18,19].

- **Formas de propagação do ruído**

O ruído diminui com o aumento da distância do recetor à fonte, quanto maior for a distância percorrida por um ruído maior será a sua atenuação e propaga-se através de diferentes tipos de fontes [1].

Entra as fontes destacam-se a fonte pontual, fonte linear e fonte planar resultantes maioritariamente do tráfego rodoviário, tráfego ferroviário, tráfego aéreo e resultantes das atividades comerciais, de serviços e indústria. As condições atmosféricas como o vento, temperatura, humidade relativa e absorção molecular afetam a forma como o ruído se propaga ao longo do espaço [1,17].

A fonte pontual é caracterizada por uma diminuição da pressão sonora em 6dB(A), aquando da duplicação da distância à fonte [1].

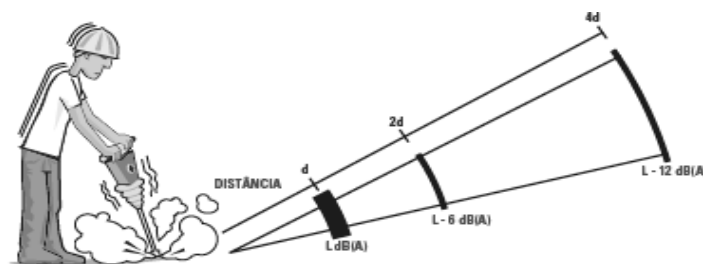


Figura 7 - Fonte sonora pontual [1]

A forma de propagação do ruído de uma fonte pontual dá-se de uma forma mais ou menos idêntica em todas as direções (ondas sonoras esféricas) (Figura 7) [1].

Uma fonte linear pode ser por exemplo uma estrada aonde circulam uma grande quantidade de veículos numa fila contínua, nesta situação o ruído propaga-se em superfícies hemicilíndricas envolvendo toda a estrada, passando a ser a atenuação do ruído na ordem dos 3 dB(A) por duplicação da distância à fonte (ondas sonoras cilíndricas) (Figura 8) [1].

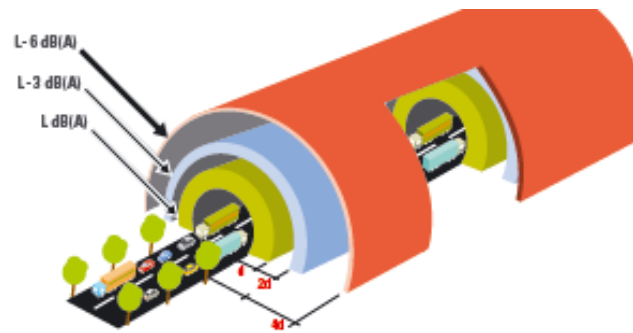


Figura 8 - Fonte sonora linear [1]

Uma fonte planar é a produção de uma superfície plana que integra um número infinito de fontes pontuais distribuídas em duas direções [1].

Um som pode ser atenuado, quando entre a emissão e a recepção se interpõe uma barreira acústica. Mas, o ruído pode chegar ao recetor de uma forma indireta devido à difração nos bordos (superior e laterais) da barreira (Figura 9) [1].

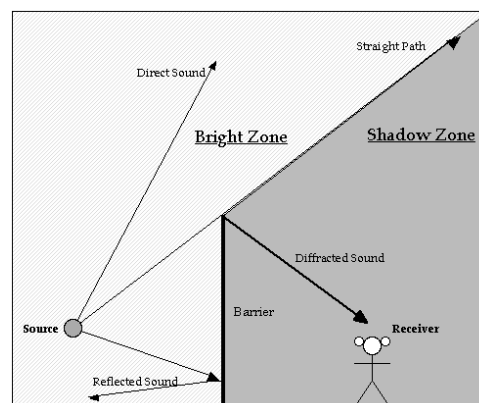


Figura 9 - Fenómeno de difração [20]

São vários os efeitos atmosféricos que influenciam a propagação do som entre os quais: a absorção molecular, a influência da humidade, a influência do vento e a influência da variação da temperatura [17].

- Absorção molecular - Atenuação da intensidade sonora pela passagem do ar através de um meio. Este fenómeno é bastante complexo, contudo, o efeito geral pode ser considerado como o produto de três fatores: absorção clássica, relaxação rotacional e relaxação vibracional [17].

- Ventos predominantes - É um dos fatores que influencia a propagação de ondas sonoras na atmosfera. A propagação do som assim é aumentada na direção do vento e diminui na direção contrária (Figura 10) [17].

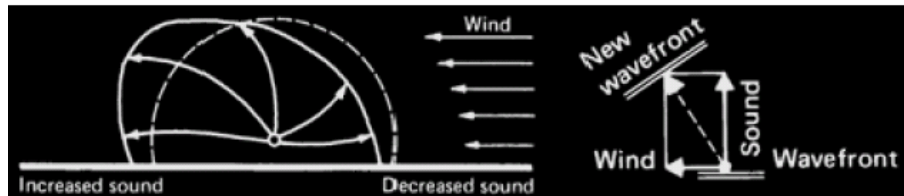


Figura 10 - Influência do vento na propagação do som [17]

- Temperatura - Quanto maior a temperatura, maior a velocidade do som. Quando a temperatura no solo é maior do que a temperatura do ar, os raios sonoros tendem a formar um arco. À noite, o fenômeno é invertido pois a temperatura do ar é superior à temperatura no solo (Figura 11) [17].

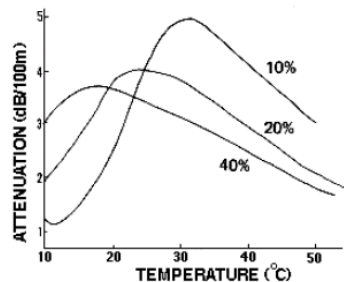


Figura 11 - Influência da variação de temperatura na propagação do som [17]

- Humidade Relativa - O gráfico seguinte mostra a atenuação do som em função da humidade relativa do ar para duas frequências diferentes a uma temperatura de 20°C [17].

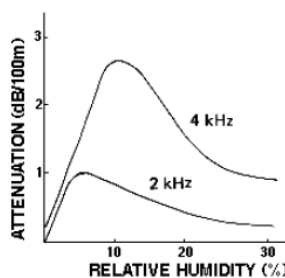


Figura 12 - Influência da Humidade Relativa na propagação do som [17]

- **Obstáculos à propagação do ruído**

Quando um som atinge um obstáculo (Figura 13), uma parte é refletida, outra é absorvida e outra parte é transmitida através do obstáculo. A instalação de uma barreira acústica condiciona de uma forma bastante significativa a propagação do som, tomando a fonte sonora diferentes percursos [17].

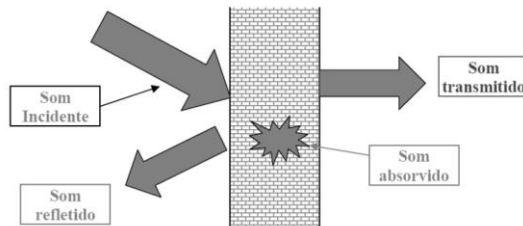


Figura 13 - A propagação do som através de uma barreira [20]

- **Ruído resultante de infraestruturas de transporte**

Segundo o atual estado de desenvolvimento tecnológico, o funcionamento de qualquer infraestrutura de transporte gera ruído, causando perturbação no ambiente sonoro, principalmente em zonas mais sensíveis, como escolas, hospitais, zonas residenciais ou de lazer. Esta perturbação acarreta consigo uma conotação negativa para as populações abrangidas pela infraestrutura de transporte, não só de origem sonora mas, também a qualidade ambiental é afetada [21].

Com o objetivo de minimizar estas perturbações, devem ser avaliados os impactes ambientais, resultantes de uma nova infraestrutura de transporte em fase de projeto, considerando os seguintes pontos:

- Proteger o ambiente sonoro e a tranquilidade das populações;
- A presença confirmada de recetores sensíveis ao ruído;
- A vulnerabilidade dos recetores sensíveis;
- A duração do impacte e a reversibilidade nos recetores sensíveis;
- A magnitude do impacte nos recetores sensíveis;
- A significância esperada nos recetores sensíveis [21].

A salvaguarda das populações da exposição elevada a índices sonoros prejudiciais deve constituir como sendo uma prioridade pois, está a ser respeitada a comodidade das populações abrangidas pela infraestrutura [21].

Devem ser então adotadas as melhores práticas, respeitando assim a minoração da exposição sonora das populações abrangidas pela infraestrutura [21].

2.2.3 Incomodidade

Um determinado som quando o recebemos pode ser sentido de maneiras diferentes variando de pessoa para pessoa, por esta razão é que é tão difícil “calcular” um grau de incomodidade de um grupo de pessoas a uma determinada fonte sonora [1].

O som pode ter também diversas interpretações, pode tranquilizar, distrair, incomodar, relaxar, por estes motivos é então necessário procurar um ambiente sonoro equilibrado que nos transporta para um ambiente de conforto acústico, melhorando assim a nossa qualidade de vida e de todos aqueles que nos rodeiam [1].

A sensação de incomodidade devido ao ruído podem ser provenientes de muitas fontes, sendo o maior problema em ambiente urbano o tráfego rodoviário mas, também é importante quantificar o ruído dos aeroportos, da circulação ferroviária, ruído proveniente da indústria, de obras a decorrer na via pública e ruído provocado por vizinhos [1].

O ruído da circulação rodoviária é aquele em que é apontado pelo maior número de pessoas como aquele que provoca maior incomodidade e onde se deve intervir [1].

As principais intervenções passam pela restrição ao tráfego rodoviário, evitando a construção de grandes vias de comunicação na proximidade de zonas fortemente habitáveis. Uma estrada com tráfego médio e velocidades de circulação reduzida reduzem significativamente a emissão de ruído equivalendo ao ruído gerado por uma conversa num café ou ao ruído da televisão ligada em casa [16].

O ruído provocado pelas grandes vias de comunicação está provado que não deteriora o sistema auditivo humano mas, tem consequências ao nível da saúde e com o aumento da

dimensão das cidades e do seu desenvolvimento não sustentável contribui para um agravamento desta problemática [16].

Um som torna-se incomodativo quando:

- Mascara uma fonte sonora desejada, dificultando a sua receção e/ou entendimento;
- É muito forte, causando por exemplo distúrbios no sono perturbando o normal descanso;
- A presença da fonte sonora é indesejável e pode gerar conflito;
- Torna incompreensível a sua receção;
- Fornece informações inúteis [1].

A Comissão Europeia em 1996 apresentou a seguinte estimativa:

- 80 Milhões de pessoas estão expostas a níveis de pressão sonora provenientes do tráfego rodoviário que são superiores aos valores de ruído considerados como aceitáveis (acima dos 65 DB(A));
- 170 Milhões de pessoas estão expostos a níveis de pressão sonora entre os 55 e 65 dB(A), que corresponde ao intervalo de valores que durante as pessoas começam a sentir-se seriamente incomodadas [1,2].

Em Portugal foi também publicado em 1996 o documento intitulado “Ruído Ambiente em Portugal”, aonde foi apresentado o primeiro estudo sobre exposição ao ruído da população portuguesa, resultando desse estudo que apenas 43% da população portuguesa usufruía de conforto acústico nas suas casas e 19% residia em locais onde, durante o dia os níveis de pressão sonora eram superiores a 65 dB(A) [1].

As situações mais gravosas eram os locais de residência localizados nas imediações das principais vias de comunicação ou nos grandes centros urbanos e respetivos centros urbanos, sendo particularmente grave na região de Lisboa [1].

2.2.4 Formas de controlo de ruído

Apesar do custo associado com problemas de saúde relacionados com o ruído ser de difícil determinação, é absolutamente claro que os benefícios retirados com a diminuição do ruído em soluções eficazes na redução do ruído são claramente justificáveis [16].

Atualmente já têm sido disponibilizados recursos financeiros para investigação e aplicação das mais diversas formas de minimização do ruído de transportes mas, ainda existe uma grande margem de manobra para progredir e evoluir na execução de soluções técnicas que possibilitem maior eficácia. Medidas implementadas na fonte produtora do ruído que estará a cargo principalmente da indústria automóvel, intervenção na propagação da fonte sonora, com a instalação de por exemplo barreiras acústicas para redução do ruído e só em último caso uma intervenção no recetor, com a utilização de soluções construtivas com um melhor isolamento acústico [16].

- **Redução de ruído na fonte**

São vários os tipos de intervenção a que se pode proceder para a redução do ruído na fonte e para a sua redução implica o conhecimento das características dos potenciais contribuintes para a produção de ruído [16].

Entre os tipos de intervenção destacam-se:

- Características dos veículos;
- Características das vias de comunicação;
- Medidas de gestão de tráfego;
- Medidas de redução de ruído em fontes ferroviárias [16].
- *Características dos veículos*

As características dos veículos são assim um parâmetro importante de estudo para a redução do ruído, assim como o tipo de via de comunicação e a gestão do tráfego que é feita por determinado município [16].

São várias as fontes emissoras de ruído de um veículo por isso deve-se estudá-lo como um todo. Num veículo, podem-se fazer algumas alterações para a contribuição da diminuição do

ruído nomeadamente na aquisição de pneus menos ruidosos e a adoção por parte do condutor de uma condução a velocidades mais baixas, uma vez que o ruído aerodinâmico está diretamente relacionado com a velocidade de circulação e pode significar um acréscimo da emissão sonora de 12 dB com a duplicação da velocidade de circulação [16].

A indústria automóvel pressionada pela União Europeia que implementou Normas e Diretivas Europeias no sentido de pressionar e incentivar a indústria automóvel à produção de veículos com baixas emissões de ruído e gases com a finalidade de produzir veículos cada vez com menos emissões sonoras sem alterar muito o desempenho dos motores, contribuindo assim para a melhoria do ambiente e conforto acústico das populações [16].

Outra medida tomada por parte de governos dos países da União Europeia passou por um programa de incentivo ao abate de veículos com mais de dez anos, mais poluentes e com maiores emissões sonoras para a atmosfera, traduzindo o programa em benefícios financeiros na troca do carro antigo por um carro novo, menos poluente e com menos emissões sonoras [16].

A principal fonte de ruído consiste na interação entre pneu/pavimento, mesmo com baixas velocidades de circulação, como aquelas que ocorrem na maior parte das estradas municipais. Uma das formas de combater passa pela alteração dos materiais e padrões de pneus utilizados. A utilização de pneus menos ruidosos alcança bons resultados na diminuição do ruído proveniente da relação pneu/pavimento e os fabricantes de pneus também têm vindo a realizar estudos no sentido de desenvolver tecnologias para a produção de pneus menos ruidosos [16]. A figura seguinte ilustra todas as fontes que têm origem num veículo.

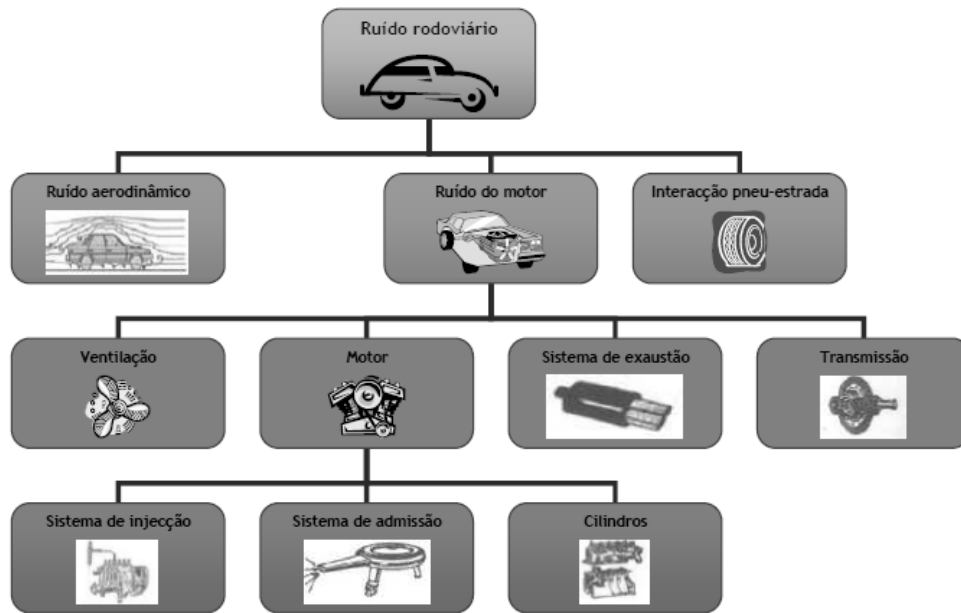


Figura 14 - Fontes de emissão sonora num veículo ligeiro [16]

- *Características das vias de comunicação*

As características das vias de comunicação também é um fator importante a estudar pois, como os fabricantes de pneus têm realizado estudos para redução de ruído também estão a ser feitos estudos para que as características das vias de comunicação tenham um comportamento menos ruidoso. Deve ser considerada principalmente a camada de superfície, ou seja a camada de desgaste (superfície de rolamento). Considerando uma situação em que os veículos cumprem todas as condições legais de circulação (técnicas, de manutenção e velocidade) e que as superfícies de desgaste se encontram em boas condições de conservação, o ruído dominante passa a ser o ruído de rolamento da interação pneu/estrada (Figura 15) [16].

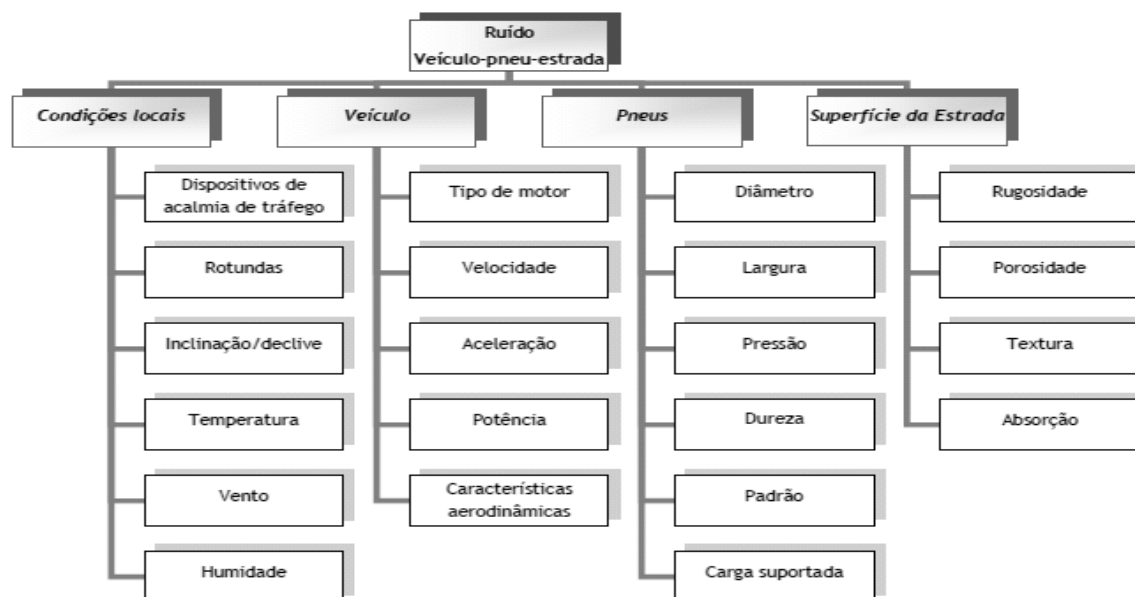


Figura 15 - Influências das características da estrada, veículo e pneus no ruído rodoviário [16]

O estudo do pavimento implantado em determinada via de comunicação não só influencia a emissão do ruído mas também a forma como ele se propaga, materializada pela rugosidade e textura da camada de desgaste, pela porosidade e absorção, composição e estrutura desse pavimento e a sua deformabilidade [16].

A utilização de materiais resilientes (por exemplo borrachas) que, ao serem bastante mais deformáveis do que os pavimentos tradicionais contribuem para a redução direta do ruído de rolamento bem como para a minoração das ondas refletidas, contribuindo assim para a redução do ruído final de propagação [16].

A figura seguinte demonstra as diferenças entre os mecanismos de propagação sonora de uma camada de desgaste refletora e porosa. Numa camada refletora, o recetor receberá o dobro de energia sonora emitida, pela criação de uma “fonte sonora imagem”, na zona de reflexão no pavimento. Enquanto numa camada de desgaste porosa a acumulação de fenómenos de reflexão, absorção e difração cria condições para que a energia recebida nos recetores mais expostos seja mais próxima da onda direta, surgindo a componente refletida como residual [16].

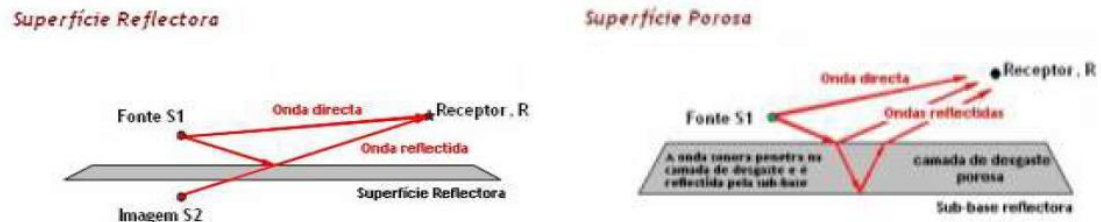


Figura 16 - Mecanismos de propagação sonora de uma camada de desgaste [16]

O projeto SILVIA apresentou em 2006 um estudo intitulado de “*Guidance manual for the implementation of low-noise road surfaces*” que apresenta as características da camada de desgaste de diferentes tipos de pavimentos e onde foi avaliada a capacidade de redução de diferentes tipos de superfície de desgaste, os custos e benefícios de cada solução, a sua forma de interligação com outras medidas de redução sonora e dadas indicações sobre as condições de aplicabilidade das diferentes soluções para os diversos países [16].

Foram identificadas as principais características dos pavimentos que contribuem para o desempenho acústico dos pavimentos: textura, porosidade e rigidez [16].

Atualmente na Europa utilizam-se soluções que consistem na utilização de camadas de desgaste realizadas com misturas betuminosas abertas ou com misturas descontínuas e tratamentos superficiais [16].

Entre as misturas de desgaste descontínuas podem se considerar as seguintes:

- Betão betuminoso drenante de camada única (BBDr);
- Mistura betuminosa delgada (MBD);
- Mistura betuminosa de granulometria descontínua (MBGD);
- Betume modificado com borracha (BMB) [16].

Relativamente aos tratamentos superficiais os pavimentos podem-se assumir em função da:

- Exposição de agregados;
- Superfície de betão texturado longitudinalmente;
- Superfície de betão riscada longitudinalmente;
- Revestimentos superficiais de resinas epoxídicas [16].

A exposição de agregados é um método que consiste em retirar a camada superficial antes do endurecimento, ficando expostos os agregados de betão. É necessário a utilização de uma técnica específica e de agregados de qualidade que, apesar de serem necessários à superfície, têm de ser colocados em toda a espessura da camada [16].

A superfície de betão texturado longitudinalmente consiste numa superfície texturada “em fresco”, ou seja, quando o betão ainda se encontra em processo de cura, são colocados sobre o pavimento “sacos de serapilheira” na direção longitudinal, de forma a criar texturas no betão que proporcionarão redução do ruído proveniente da circulação automóvel [16].

A superfície de betão riscada longitudinalmente é uma superfície de betão alisada com um conjunto de discos diamante espaçados regularmente formando ranhuras longitudinais, finas e paralelas, criando assim pequenas irregularidades na superfície atenuando ruído. Esta técnica tem como principal desvantagem o elevado custo [16].

Os revestimentos superficiais de resinas epoxídicas são superfícies de acabamento que consistem numa camada de ligante em resina que é densamente espalhada com agregados polidos altamente resistentes de pequena espessura. São normalmente usadas em zonas críticas duma via como por exemplo curvas rápidas e junções devido à sua rápida construção e ao facto de manter as suas características de redução de ruído ao longo do tempo. Mas, são tratamentos caros e é difícil fazer a sua reciclagem [16].

A tabela seguinte apresenta alguns valores de medições acústicas para os diferentes tipos de superfícies [16].

Tabela 1 - Desempenho acústico de diferentes tipos de pavimentos [16]

Tipos de Pavimentos	Veículos ligeiros
	L_{Aeq} em dB(A) 110 km/h
Betão betuminoso drenante de camada única	79,1
Camadas de desgaste delgadas em mistura betuminosa	82,3
Mistura betuminosa de granulometria descontinua	82,2
Exposição dos agregados	83,9
Superfícies de betão texturado longitudinalmente	84,6

- *Gestão do tráfego*

As medidas de gestão de tráfego têm como principal objetivo a redução da velocidade do veículo reduzindo assim as emissões sonoras provenientes da circulação rodoviária [16].

As medidas de gestão de tráfego adotadas normalmente são:

- Estreitamento de vias;
- Restrições de largura na entrada de intersecções;
- Intersecções em “T” modificadas;
- Gincanas;
- Rotundas;
- Bandas Sonoras;
- Lombas;
- Plataformas, intersecções e travessias pedestres sobrelevadas;
- Limitação da velocidade de circulação;
- Limitação à circulação de veículos pesados;
- Redução do número de vias em cada sentido;
- Sinalização luminosa;
- Incentivo do uso de transportes públicos;
- Incentivo de utilização de práticas não ruidosas, como andar a pé e de bicicleta [16].

O quadro seguinte apresenta o tipo intervenção da gestão do tráfego e correspondente atenuação do ruído:

Tabela 2 - Medidas de gestão de tráfego e respetivas atenuações de ruído [16]

Medidas de gestão de tráfego	Atenuação sonora potencial, dB(A)*
Estreitamento de vias	0 a -2
Introdução de rotundas (pode ocasionar reclamações do ruído provocado pelas acelerações e travagons efectuadas)	0 a -4
Bandas sonoras termo-elásticas (considera-se que será de adicionar +5 dB(A) devido às características impulsivas deste tipo de ruído)	0 a +4
Bandas sonoras em cubos de granito ("paralelos"), (considera-se que será de adicionar +5 dB(A) devido às características impulsivas deste tipo de ruído)	0 a +3
Dispositivos sonoros de vibração (induzem ruído no interior do veículo)	0
Lombas com forma circular	0 a -2
Lombas extensas com topo de nível	0 a +6
Lombas parciais e interrompidas (<i>Narrow speed cushions</i>)	0 a +1
Medidas de acalmia de tráfego, conjugando diversos dispositivos de redução de velocidade	0 a -4
Definição de zonas com limite de 30 km/h como velocidade máxima de circulação, apenas com introdução de sinalização	0 a -2
Redução da velocidade de circulação conjugada com sinalização de aviso de incomodidade sonora	-1 a -4
Restrições à circulação de pesados em período nocturno (pode ocasionar reclamações devido ao aumento do tráfego matinal)	0 a -7
Introdução de cruzamentos	-1 a -3
Introdução de cruzamentos (com semaforização)	0 a -7
Promocão do uso de transportes alternativos (bicicleta e andar-a-pé)	0 a -2

Algumas destas técnicas incluem a reorganização da circulação urbana rodoviária, tentando fazer uma repartição entre o tráfego urbano e o tráfego de passagem [16].

A criação de variantes urbanas tem sido uma forma adotada por vários municípios portugueses, tendo como objetivo deslocar o tráfego de passagem para longe dos centros urbanos [16].

No caso do tráfego dentro da cidade, deve ser feito um estudo aprofundado para escolher soluções de redução de ruído compatíveis com a área a implementar e quantificar as melhorias que esta nova solução terá em relação à situação anterior, procurando minimizar a velocidade de tráfego reduzindo assim as emissões sonoras mas ao mesmo tempo tornar o tráfego mais fluído, sem grandes paragens e acelerações. Outro dos grandes produtores de emissões sonoras elevadas são os veículos pesados e para isso deve-se evitar ao máximo, dentro do aceitável, a circulação de um enorme número de veículos pesados dentro de uma zona sensível, sendo preciso para isso a criação de boas alternativas de circulação de veículos pesados em zonas urbanas para que estes não saiam muito prejudicados no exercício das suas funções [16].

Outra alternativa passa pelo incentivo às populações para a utilização de transportes públicos, que apesar de serem veículos pesados e produzirem mais ruído do que veículos ligeiros, têm a capacidade de transportar um grande número de pessoas, libertando assim as vias de comunicação de um maior número de veículos ligeiros tornando a circulação mais fluída, reduzindo as fontes sonoras e respetivamente, as emissões de ruído. Outra vantagem é que os transportes públicos já têm rotas e horários pré-definidos, podendo-se desta forma controlar melhor as zonas afetadas por estas rotas em determinados períodos do dia [16].

A adaptação das vias de comunicação a meios de transporte alternativos, como por exemplo a bicicleta e o andar a pé através da criação de zonas de passeio mais alargados e implementação de ciclovias trás enormes benefícios pois são formas de deslocação saudáveis e que não emitem ruído [16].

- **Medidas de redução de ruído em fontes ferroviárias.**

A circulação ferroviária à semelhança do que acontece com o tráfego rodoviário apresenta muitos mecanismos de produção de ruído e dependem dos seguintes fatores: o tipo de veículo ferroviário, a quantidade de carga transportada, a velocidade de circulação, características dos carris, entre outras [16].

As fontes do ruído provenientes do veículo ferroviário (Figura 17) são:

- Ruído de tração predominante para velocidades até 50km/h;
- Ruído da interação roda/carril predominante para velocidades entre os 50 e os 270km/h;
- Ruído aerodinâmico predominante para velocidades superiores a 270 km/h [16].

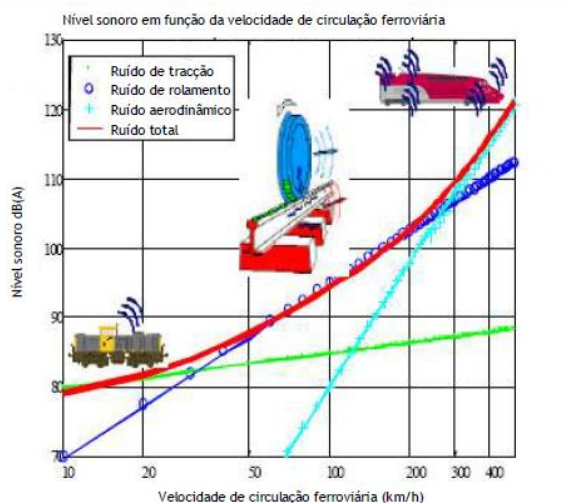


Figura 17 - Fontes de ruído ferroviário em função da velocidade [16]

O conhecimento destas três fontes de ruído assume um papel fundamental pois permite realizar uma previsão e controlo da influência de cada tipo de fonte para um determinado ponto do percurso ferroviário, ou seja, se corresponde a uma zona de travagem, de aceleração, de curva ou se o veículo se encontra estacionário [16]. A tabela seguinte apresenta o ruído resultante das diferentes condições de circulação.

Tabela 3 - Potenciais fontes sonoras em circulação ferroviária [16]

Condições de Circulação	Ruído de rolamento e de impacto	Ruído de tração	Ruído de travagem	Silvo em curva	Ruído aerodinâmico
Aceleração constante	X	X	X (variável)	X	X
Em travagem	X	X	X	X	X
Em aceleração	X	X		X	X
Em curva	X	X	X	X	X
Estacionário		X			

O estudo das características dos carris é importante para a quantificação do ruído resultante da interação roda/carril, ruído provocado pelo contacto brusco e irregular entre as rodas e os carris. Este estudo incide em duas áreas, a redução das irregularidades dos carris e das rodas e a redução das vibrações através de um melhoramento das estruturas, amortecimentos e proteções [16].

A manutenção previamente programada dos veículos e das linhas de caminhos de ferro assumem uma elevada importância, pois consegue-se melhorias de conforto sonoro

significativas através de uma manutenção adequada, pois este tipo de anomalias são responsáveis por acréscimos de emissões sonoras na ordem dos 10 a 20 dB(A) [16].

A indústria de produção de veículos ferroviários, à semelhança do que acontece com a indústria rodoviária, tem levado a cabo estudos e implementação de novas tecnologias, tendo como objetivo final a produção de veículos menos ruidosos. Entre essas tecnologias podem-se destacar a colocação de discos sintéticos em vez dos travões normais, a redução do número de rodas, diminuindo assim o número de fontes de ruído e recorrer ao uso de prendedores elásticos de amortecimento de carris que são técnicas de insonorização de carris [16].

- **Redução do ruído no meio de propagação**

Não sendo possível controlar o ruído na fonte, a próxima área de intervenção deverá ser no meio de propagação das fontes sonoras. Deverão ser tomadas uma série de medidas na área de atuação dessas fontes, reduzindo-as na direção do recetor melhorando assim o seu conforto acústico [16,17].

O uso do solo assume assim um papel preponderante na fase de planeamento, devendo-se evitar antecipadamente a ocorrência de fenómenos de incomodidade devido ao ruído prevenindo-o assim, sem a necessidade de se fazer uma correção numa fase mais avançada do projeto. Estas medidas devem ser instaladas e devem respeitar outros tipos de condicionantes, como problemas ambientais, de impacte visual ou poluição atmosférica [16,17].

O objetivo principal passa então pela dissipação do ruído para níveis aceitáveis na proximidade das zonas consideradas mais sensíveis [16,17].

Uma vez mais as vias de comunicação assumem um papel importante nesta fase pois, a forma como são construídas têm influência na forma de propagação de ruído, sendo em alguns dos casos obstáculos à propagação do ruído. Mas, estas novas formas de construção acarretam maiores custos na fase de construção porque implicam mais movimentos de terras, ocupação de maiores áreas de solo ou construção de túneis e viadutos [16,17]. De seguida, serão apresentadas formas de redução de ruído no meio de propagação.

- *Estradas em depressão*

São efetivas na redução do ruído. O ruído pode ser reduzido em valores na ordem dos 5 a 10 dB, dependendo da profundidade da depressão aonde será implantada a estrada. Este declive pode ser preenchido por vegetação reduzindo ainda mais a propagação do ruído. Os problemas associados a este tipo de implantação são os elevados custos de movimentos de terras e maiores cuidados com o dimensionamento de valetas devido a terem problemas de drenagens superiores comparativamente com uma estrada construída ao nível do solo [17].

As duas figuras seguintes permitem uma comparação visual entre uma estrada construída ao nível do solo e uma construída em aterro.

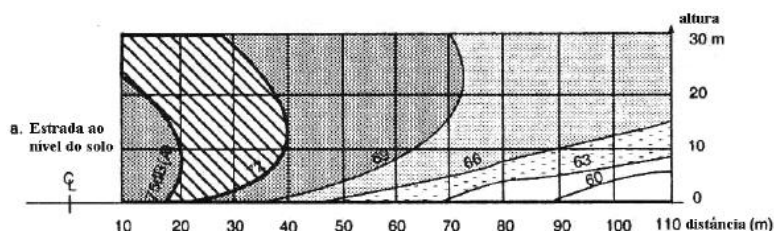


Figura 18 - Emissões sonoras de uma estrada construída ao nível do solo [17]

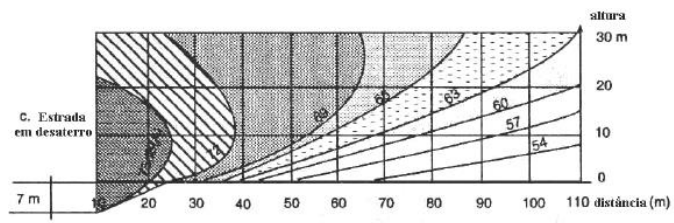


Figura 19 - Emissões sonoras de uma estrada em aterro [17]

- *Estradas em túneis*

São as melhores soluções para a redução do ruído e os impactes ambientais após a construção são reduzidos. No entanto, a sua construção é bastante cara e implica impactes na fase de construção elevados [17].

A sua manutenção também é cara pois requerem iluminação, ventilação dos gases libertados pelos veículos e drenagem. A principal vantagem dum túnel é o facto da ocupação de área à

superfície do terreno ser nula e permitem o efeito de barreira física, absorvendo quase a totalidade do ruído produzido. O ruído dos topos dos túneis é um problema a considerar pois é maior do que o ruído de uma estrada a céu aberto [17].

- *Viadutos*

Devem ser consideradas a sua implantação numa fase de projeto pois, são de difícil implantação numa área urbana já construída. Para estas soluções serem eficazes a sua construção deve ser acompanhada por painéis laterais (barreiras acústicas) que permitam reduzir significativamente as emissões sonoras [17].

- *Zonas de proteção ou zonas “buffer”*

Correspondem a zonas não habitáveis que servem de proteção a zonas consideradas sensíveis (Figura 20) e normalmente interpõem-se entre uma fonte produtora de ruído (uma estrada) e uma zona sensível (zonas de habitação, hospitais, escolas, entre outras) [17].

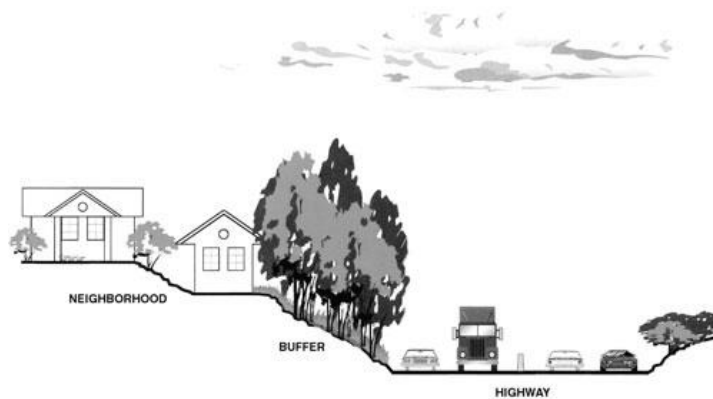


Figura 20 - Exemplo de uma zona “buffer” [22]

A zona “buffer” pode ser minimizada se, a disposição dos edifícios for feita em função do ruído. Assim, o ruído assume um importante papel na fase de projeto de um edifício, reduzindo o seu efeito nefasto para o quotidiano dos seus futuros habitantes, valorizando também o valor dos imóveis. Para isso, as divisões menos sensíveis ao ruído (galerias de acesso, escadas, cozinhas e WC), fiquem expostas às fachadas mais expostas ao ruído,

reservando os quartos, salas de estar, escritórios e salas de jantar para as fachadas mais protegidas do ruído [1,17].

- *Utilização de barreiras acústicas*

As barreiras acústicas funcionam como um obstáculo à propagação do som e são colocados entre a fonte e o recetor, alterando desta forma a normal propagação do som, reduzindo-o. São sistemas construtivos que reduzem uma emissão sonora através de fenómenos de absorção, reflexão e difração [16].

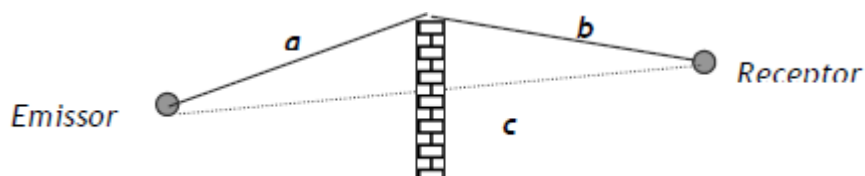


Figura 21 - Geometria da barreira acústica [16]

Este método é muito adotado como medida de redução de emissões sonoras pois é um método eficaz na redução sonora, podendo ser instalado ao longo das vias rodoviárias ou na envolvente de zonas industriais. São também bastante versáteis pois podem ser construídas de diversos materiais diferentes [16].

Existem várias regras que se deve cumprir para minimizar ao máximo as emissões de ruído, colocando a barreira o mais próximo possível da fonte de forma a aumentar a sua eficiência e quanto maior for a altura da barreira, maior será a sua eficácia mas terá efeitos desfavoráveis em termos de impacto visual. Os elementos constituintes e espessura da barreira também assumem um papel importante pois, a utilização de materiais mais absorventes irá aumentar a sua eficácia [17].

Foi realizado um estudo por investigadores da Universidade do Minho com o objetivo de quantificar a eficácia de três barreiras acústicas diferentes “*in situ*” em termos de atenuação sonora sob condições climáticas semelhantes de medição. As barreiras apresentavam as seguintes características [23]:

Tabela 4 - Constituição das barreiras em estudo [23]

Tipo	Caso estudo 1	Caso estudo 2	Caso de estudo 3
	Alvenaria	Metálica furada	Pré-Fabricada
Material constituinte	Blocos "Leca Murson" com lã de rocha interior	Painéis metálicos com lã de rocha no interior	Betão com inertes leves tipo "Leca"
Altura (m)	2,73	3,4	2,7
Extensão (m)	350	150	300
Larguras dos painéis (m)	4,3	4	4
Contraventamento vertical	Alvenaria	Perfis metálicos	Perfis metálicos



Figura 22 - Caso de estudo 1 [23]



Figura 23 - Caso de estudo 2 [23]



Figura 24 - Caso de estudo 3 [23]

Após as medições, obtiveram-se os seguintes resultados:

Tabela 5 - Resultados do estudo [23]

Caso Estudo	Redução sonora medida "in situ"	
	Com barreira	Sem barreira
1	16,4	7,1
2	21,2	7,0
3	19,9	7,7

Deste estudo podemos então concluir que:

- As reduções sonoras medidas nos locais sem barreira acústica são semelhantes (variam entre 7,0 e 7,7 dB);
- As reduções sonoras dependem do tipo de barreiras pois apresentam resultados mais díspares (variam entre os 16,4 e os 21,2 dB);
- Os diferentes tipos de materiais, as suas características de absorção sonora e as suas respectivas superfícies influenciam a eficácia das barreiras acústicas [23].

Outra forma expedita de determinar um valor aproximado da atenuação de uma barreira acústica em dB(A) é em função da diferença de percurso ($a+b-c$) que determina o valor da atenuação da barreira [16].

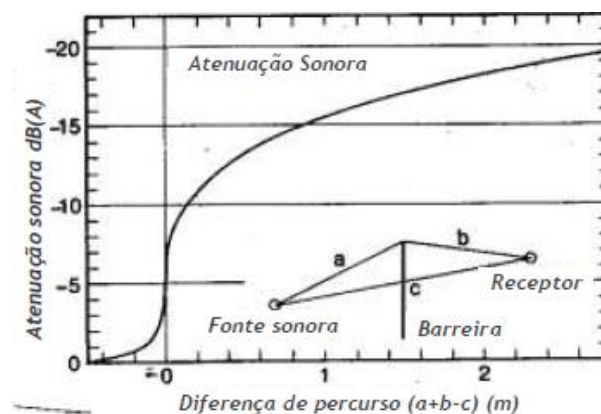


Figura 25 - Atenuação de barreiras acústicas em função de $\delta (a+b-c)$ [16]

- **Redução de ruído no recetor**

Estas medidas devem ser tomadas na fase de planeamento de um novo projeto de construção, como foi anteriormente falado, antecipando e prevenindo possíveis problemas de ruído, minimizando-o. Assim, é preciso por parte do projetista uma sensibilidade quanto à forma, utilização, localização, orientação das fachadas do edifício e distribuição das divisões no interior de cada fogo (colocação dos compartimentos mais sensíveis em zonas menos expostas a ruído excessivo) [1,16].

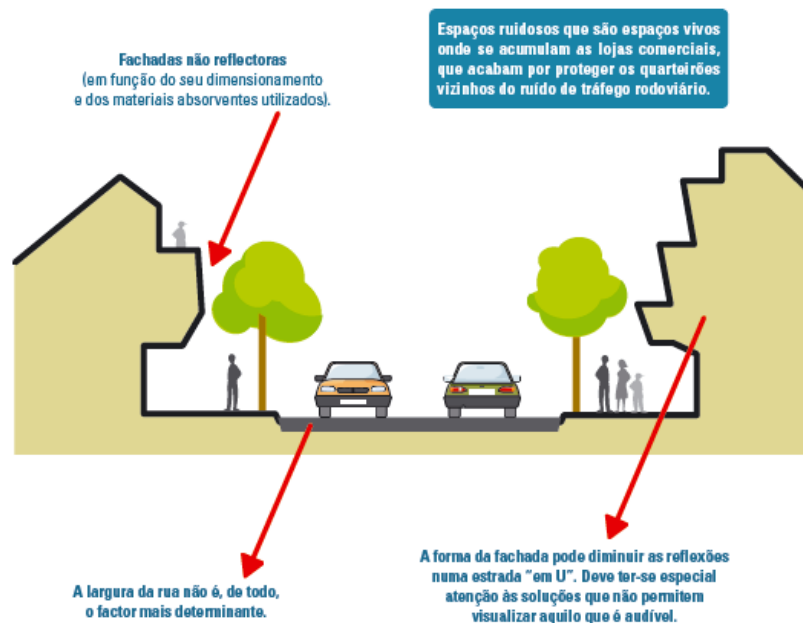


Figura 26 - Forma e tipo de utilização das fachadas mais sensíveis ao ruído na proximidade de uma estrada em “U” [1]

A redução de ruído no recetor deve ser considerada em último recurso nas zonas consideradas sensíveis, ou seja quando as medidas de redução de ruído na fonte e no meio de propagação são consideradas insuficientes [16].

Este tipo de medidas engloba o reforço da envolvente exterior nos pontos considerados mais vulneráveis ao ruído, os vãos exteriores e os sistemas de ventilação. Esta medida está condicionada pelo Regulamento Geral de Ruído que só permite a sua utilização quando se esgotarem todos os outros tipos de medidas possíveis e quando o acréscimo de nível sonoro ambiente não exceder em 5 dB(A) os valores definidos como limite para zonas Mistas e Sensíveis. Nestes casos pode-se adotar medidas nos recetores sensíveis adotando valores do

índice de isolamento sonoro a sons de condução aéreo, normalizado, $D_{2m,n,w}$, superiores em 3dB aos valores constantes do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios [3,16,24].

As entidades responsáveis por este tipo de intervenções está a cargo de entidades gestoras de infraestruturas ou dos investidores privados consoante a precedência de implantação da infraestrutura ou do edifício afetado por valores elevados de ruído ambiental [3,24].

Normalmente, as zonas opacas não constituem problemas pois verificam as exigências de isolamento sonoro na maior parte dos casos que lhe são exigidas. As janelas e as suas respetivas caixas de estores são constituintes das fachadas que possuem um baixo isolamento acústico e dependem se as janelas se encontram fechadas ou abertas. Os isolamentos normalmente conferidos às janelas são os seguintes:

- Janela aberta- 7 dB(A);
- Janela convencional fechada- 22 dB(A);
- Janela convencional fechada e calafetada ou com vidro mais espesso e caixilharia de alta qualidade- 27 dB(A);
- Janela com vidros duplos e caixilharia de alta qualidade- 27 a 35 dB(A);
- Janela dupla com ou sem ventilação incorporada- 33 a 45 dB(A) [16].

Os valores anteriores sugerem que a utilização de vidro duplo e boas caixilharias asseguram uma maior proteção ao ruído ambiente quando comparado com o vidro convencional- o vidro simples. Em último caso, podemos ainda utilizar vidro à “prova de som” que corresponde a um vidro triplo [16].

A utilização de chicanas ou instalação de ventilação mecânica por condutas são medidas eficazes para redução do ruído proveniente do sistema de ventilação e também podem ser medidas a aplicar nas caixas de estores [16].

2.2.5 Mapas de ruído

Com a publicação do Regime Geral do Ruído (RGR), as Câmaras Municipais ficaram obrigadas a elaborarem mapas de ruído. Estas ferramentas estão inseridas nos Planos Diretores Municipais, fornecendo a informação acústica de cada concelho, localizando os

pontos críticos, zonas de conflito ou os locais que detêm uma boa qualidade do ambiente sonoro [4].

Um mapa de ruído constitui, essencialmente, uma ferramenta de apoio a decisões sobre planeamento, ordenamento de território e a projetistas oferecendo a informação necessária para atingir os seguintes objetivos:

- Preservar zonas com níveis sonoros regulamentares;
- Corrigir zonas com níveis sonoros não regulamentares;
- Criar novas zonas sensíveis ou mistas com níveis sonoros compatíveis [4].

Face a estes objetivos, a representação dos níveis sonoros existentes constitui um primeiro diagnóstico da área em estudo, a simulação de cenários futuros fornecerá informação essencial para a sua persecução a médio/longo prazo, através da avaliação da evolução das emissões sonoras e de projetos futuros de transportes e atividades industriais, identificando a eventual necessidade de implementação de medidas de redução de ruído, ou seja fazer uma avaliação global de diferentes medidas alternativas no âmbito de um plano de redução de ruído [4].

A elaboração de um mapa de ruído deve ser desenvolvida em três escalas: municipal, urbana e local para articulação com o ordenamento do território e com planos de redução de ruído e está assente em três fases distintas:

- Metodologia – apresentação genérica do modelo de previsão adotado e das diferentes fases do processo de elaboração de mapas de ruído por recurso a modelos computacionais;
- Apresentação e discussão dos resultados – análise dos vários mapas tendo em conta os objetivos dos exercícios propostos;
- Conclusões – principais conclusões que constituem diretrizes para a elaboração de mapas de ruído [4].

Os mapas de ruído também podem traduzir situações de diferentes naturezas, como por exemplo traduzir a situação atual de emissões de ruído durante a fase diurna e noturna, previsão de uma situação futura de emissões de ruído durante a fase diurna e noturna, classificação das zonas como sendo sensíveis ou mistas, mapas de zonas de conflito acústico

em períodos diurnos e noturnos e períodos do ano (por exemplo: situação de verão e situação de inverno), esta última situação, tem particular importância em regiões onde o fluxo de pessoas é maior numa determinada época do ano. Por exemplo, numa zona costeira existem, previsivelmente, um maior número de afluência de pessoas na época balnear e, conseqüente, mais ruído. Em contrapartida, numa zona que possua uma estância de desportos de inverno, a situação é oposta, ocorrendo uma maior afluência de pessoas no inverno [4].

Assim, através de uma análise dos mapas de ruído, é possível identificar as zonas de conflito acústico que precisam de correções acústicas, resultando em mapas de conflito. Zonas de conflito são áreas em que os limites de exposição sonora se encontram superiores aos limites legais, sendo necessário uma intervenção com o objetivo final de os minimizar, para intervalos legais de emissões sonoras [4].

A Figura 27 apresenta um exemplo de um mapa de ruído para o período diurno, a Figura 28 é uma carta de classificação de zonas (sensíveis ou mistas) e a Figura 28 corresponde a um mapa de conflito, resultante da sobreposição do mapa de ruído com a carta de classificação de zonas.

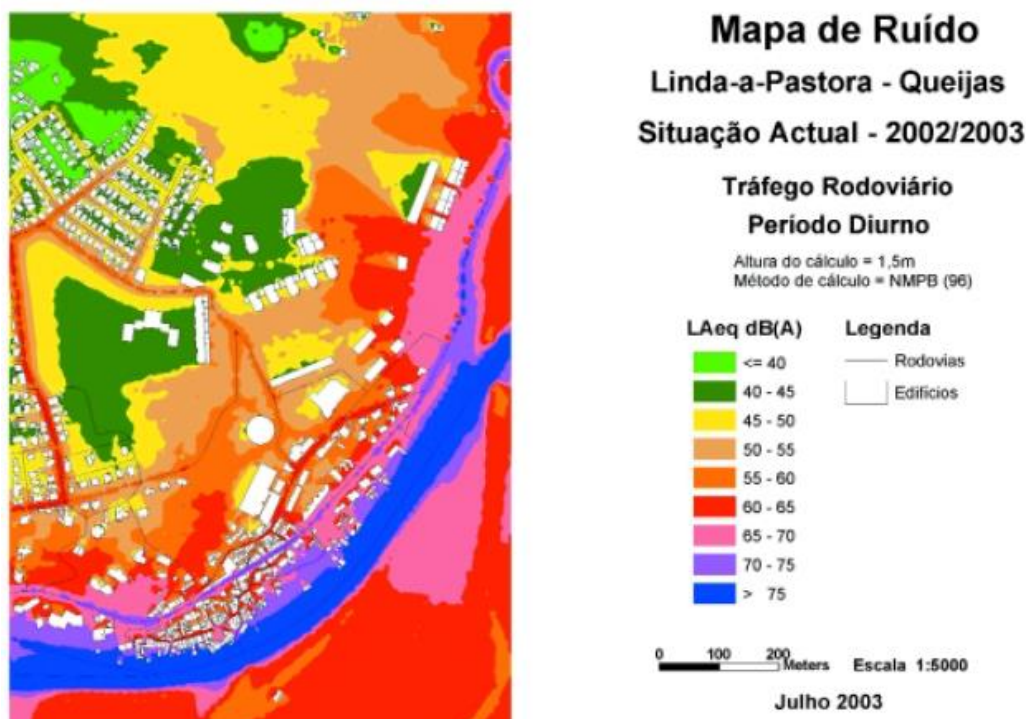


Figura 27 - Exemplo do aspeto final de um mapa de ruído [4]

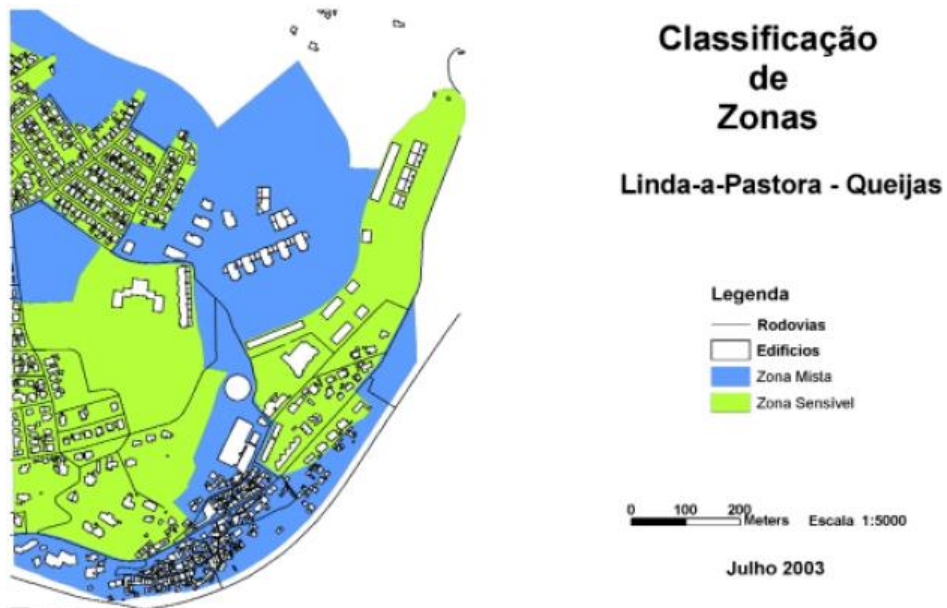


Figura 28 - Exemplo de uma carta de classificação de zonas [4]

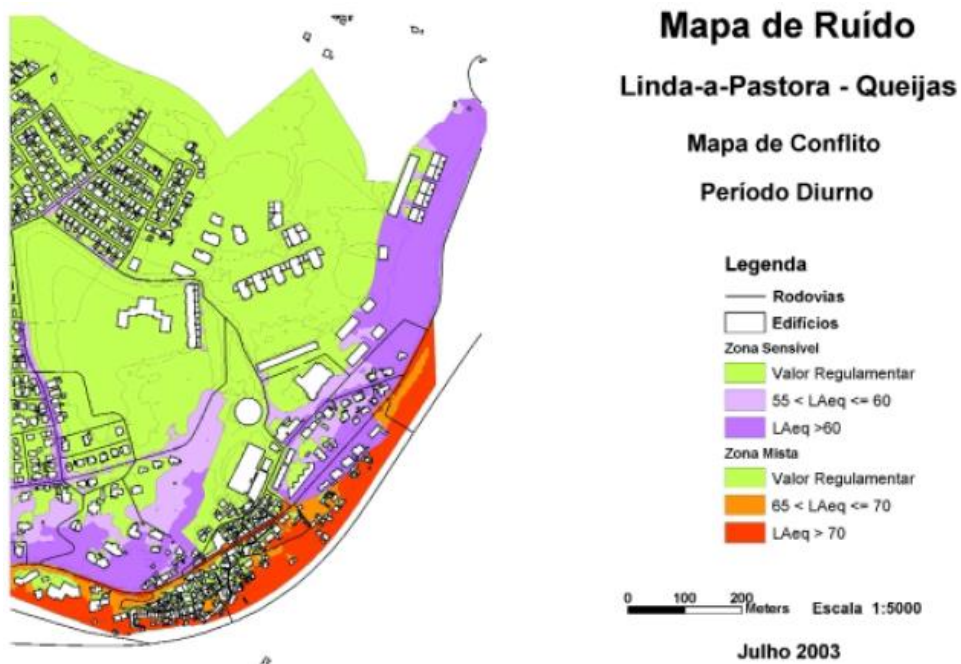


Figura 29 - Exemplo de um mapa de conflito acústico [4]

- **Zonamento acústico**

No zonamento acústico um dos parâmetros mais importantes a considerar é o uso do solo. Os usos de solo devem ser suficientemente diferenciados, consoante a sua utilização (usos hospitalares, escolares, residenciais, lazer, indústria). Alguns autores defendem que as suas

sensibilidades ao ruído deveriam ser diferenciadas, permitindo assim uma mais adequada e correta diferenciação de valores a associar aos diferentes indicadores de ruído [21].

A atual legislação portuguesa enquadra os diferentes tipos de indicadores de ruído em duas zonas, as zonas sensíveis e as zonas mistas [3].

A classificação do tipo de uso de solo deve ser efetuada numa fase de planeamento, antecipando assim a ocorrência de incomodidade associada ao ruído, sendo assim mais eficaz e menos dispendiosa do que uma correção a ser realizada posteriormente [16].

2.2.6 Planos de redução de ruído

Após uma análise de todas as formas de controlar o ruído ambiental, é necessário então elaborar um plano que seja eficaz no controlo de ruído e que reúna todas as condições para ter um comportamento eficaz. Estes planos devem ter um carácter preventivo, ou seja, devem ser elaborados antes da implantação de uma nova infraestrutura e nunca deverá ser feito numa fase posterior à sua implantação, devendo assim as medidas a tomar serem de carácter preventivo pois, trata-se de medidas muito menos dispendiosas e eficazes do que medidas tomadas após a implantação (medidas mais caras e que podiam ter sido evitadas na fase de planeamento) [25].

Estes planos de redução de ruído para serem eficazes devem ter em consideração (Figura 30):

- Plano de desenvolvimento de tráfego automóvel;
- Plano de reconstrução urbana;
- Plano de desenvolvimento urbano;
- Plano de manutenção das infraestruturas;
- Plano ambiental;
- Plano fiscal sobre os transportes imposto pelas autarquias [25].

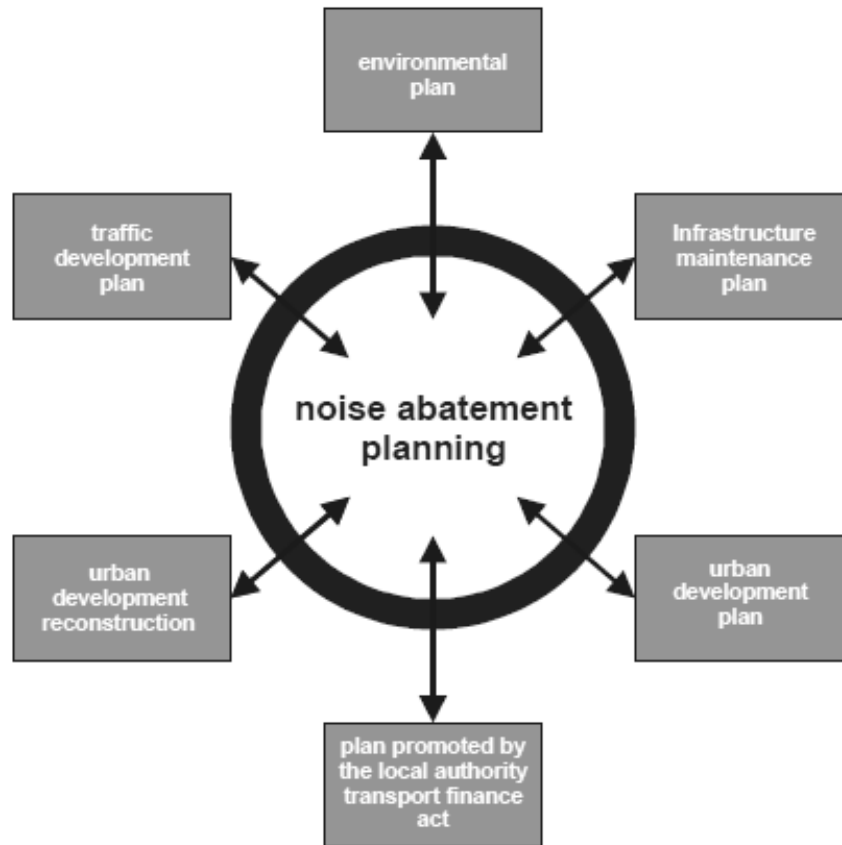


Figura 30 - Plano de redução de ruído [25]

A importância da elaboração destes planos de redução surge com a crescente preocupação com os problemas de saúde relacionados com o ruído, sendo uma das áreas estudadas atualmente no planeamento urbano com o objetivo de o minimizar, melhorando o conforto acústico das populações. Estes planos devem então, ter um carácter prioritário melhorando a qualidade sonora da região, valorizando e promovendo o desenvolvimento da região [25].

- **Plano Municipal de Redução de Ruído (PMRR)**

De acordo com os requisitos impostos pelo Decreto-Lei nº 9/2007 relativamente ao ruído ambiente, as câmaras municipais encontram-se a realizar Planos Municipais de Redução de Ruído (PMRR) de modo a estabelecer para valores legais, os níveis de ruído das zonas que se encontram expostas a níveis de ruído superiores aos limites legais. Estes planos têm como principal objetivo, prevenir e reduzir os efeitos prejudiciais de exposições ao ruído ambiente. Todas as zonas edificadas, que não estejam em conformidade com o Regulamento Geral de Ruído (RGR), deverão ser alvo de intervenção e adotar estratégias para a sua redução [3,16].

Os PMRR's em conjunto com os mapas de ruído e as cartas de classificação das zonas (zonas mistas e zonas sensíveis) permitem:

- Identificar as zonas que ultrapassam os limites estabelecidos pelo RGR;
- Definir estratégias de redução de ruído;
- Implementar medidas de redução de ruído [16].

A elaboração de um PMRR está a cargo do município, sendo este responsável pela elaboração dos mapas de ruído e respetiva carta de zonas e de verificar se as áreas abrangidas pelos mapas não ultrapassam os valores máximos estabelecidos no RGR. Quando existem áreas afetadas por valores superiores aos estipulados pelo RGR, essas áreas devem estar integradas no PMRR [3,16].

A elaboração de um PMRR integra diversos setores de intervenção, como por exemplo o ambiente, planeamento, tráfego, obras municipais, consultores externos, entidades gestoras de infraestruturas, investidores privados, ou seja são necessários vários intervenientes para estabelecer uma estratégia eficaz de redução de ruído ambiente, indo ao encontro da melhoria do conforto acústico dos habitantes abrangidos. Para uma boa execução de um PMRR, é necessário que este venha acompanhado com excelentes mapas de ruído, que traduzam a situação real na atualidade o mais próximo possível da realidade vivida no dia-a-dia da área abrangida pelo mapa [3,16].

2.2.7 Exemplos de práticas inovadoras de redução de ruído

A crescente preocupação com o problema de ruído, devido às suas complicações em termos do bem-estar e saúde das populações, levou a que fossem estudadas técnicas inovadoras, algumas já com aplicações práticas e outras ainda em fase de estudo e/ou aceitação.

Neste capítulo serão apresentadas algumas práticas inovadoras de redução de ruído, apresentando cinco soluções internacionais e um exemplo nacional, implantado na cidade do Porto.

- **Solução sustentável para redução do ruído, Graafseweg, Alverna, Holanda**

Este projeto foi o vencedor de um prémio internacional pela utilização de técnicas inovadoras para redução de ruído rodoviário. Nesta região houve um acréscimo de zonas residenciais acarretando consigo um acréscimo de níveis de tráfego nas estradas locais, passando para 25 mil veículos a circular todos os dias quando comparados com os 15 mil veículos que circulavam há dez anos atrás. Com este aumento do uso rodoviário, não é de estranhar o aumento de pessoas descontentes com o ambiente acústico [26].

Em 2004, foi apresentada uma primeira proposta de redução de ruído que consistia na implementação de uma barreira acústica com 4 metros de altura em ambos os lados da estrada, medida que foi prontamente rejeitada pela população pois, a instalação da barreira mesmo em frente às suas casas não só tem um enorme impacto visual como iria praticamente dividir a pequena comunidade em dois. Após a realização de reuniões com residentes e proprietários de negócios em Alverna, foram estabelecidos os princípios para a intervenção:

- Promover uma circulação mais fluída, reduzindo o congestionamento;
- Utilização de zonas verdes nas imediações da estrada;
- Preservar as condições da região de Alverna;
- Transformar Alverna num local mais atrativo para se viver [26].

A área de estudo inclui 90 residências que necessitam de medidas de redução de ruído em cerca de 10 dB. Para reduzir o ruído rodoviário em 10 dB foram aplicadas cinco medidas mais efetivas do que a barreira de quatro metros inicialmente proposta. As cinco medidas foram:

- Redução do número de linhas de tráfego;
- Estrada em escavação;
- Barreiras acústicas de 1,0 m de altura;
- Utilização de uma mistura betuminosa silenciosa;
- Redução da velocidade de circulação [26].

Este conjunto de medidas vem reduzir em mais de 10 dB o que trará ainda maiores benefícios para a população abrangida pelo estudo [26].

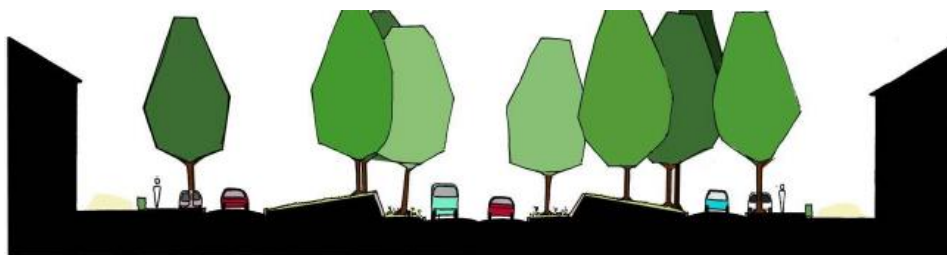


Figura 31 - Aspeto final das estradas em Alverna [26]

As estradas estão em escavação a uma profundidade de 0,5 m (Figura 31 e 32). A colocação das barreiras dos ambos os lados da estrada com 1,0 m causa um pequeno impacto visual quando comparando com a proposta inicial de barreiras acústicas com 4,0 m de altura, apresentando um *design* a fazer lembrar as estradas romanas. As barreiras estão cobertas com solo no topo para promover o crescimento de relva [26].



Figura 32 - Estrada após construção [26]

A redução do limite de velocidade de 80 para 50km/h reduz os níveis de ruído mas também reduz as emissões de dióxido de carbono, melhorando assim a qualidade do ar promovendo, a criação de zonas atrativas para circulação pedestre e esplanadas para cafés e restaurantes [26].

- **A Autoestrada sustentável**

A poluição do ar, quer seja do ponto de vista de emissão de gases, quer da emissão sonora são prioridades na agenda política dos governos. A legislação apertada abre portas a novas infraestruturas e novas técnicas de construção com o objetivo de os minimizar, principalmente em áreas urbanas densamente povoadas [16].

O artigo escrito por László Vákár publicado na revista “*Glass on Web*” introduz o conceito de “Autoestrada Sustentável” é uma proposta inovadora que oferece uma solução integrada para redução de emissões de ruído e de gases. Consiste numa via de comunicação com uma cobertura de laminados de vidro flexíveis, um material durável e seguro. Esta cobertura em laminados de vidro flexível funciona também como barreira acústica para as zonas sensíveis da envolvente da autoestrada (Figura 33) [27].

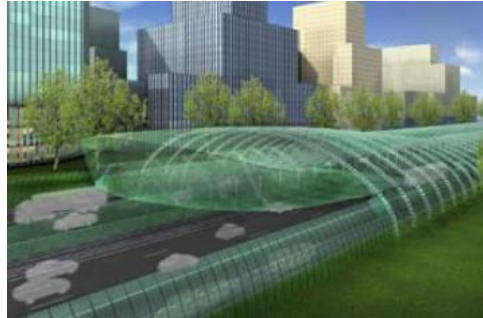


Figura 33 - Cobertura funcionando barreira acústica [27]

A cobertura bloqueia a emissão de ruído em todas as direções. Como resultado, a aplicação deste tipo de solução é melhor do que uma barreira acústica normal, pois anula por exemplo o fenómeno de difração comum nos bordos das barreiras acústicas permitindo apenas que parte do som que passa para o exterior seja o transmitido através da cobertura (Figura 34) [27].

Esta solução inovadora é aproximadamente melhor em 5 dB(A) a reduzir ruído comparativamente a uma barreira acústica convencional. A cobertura deve ser instalada particularmente em locais sensíveis ao ruído ambiental resultante da circulação rodoviária [27].



Figura 34 - A propagação do som através da cobertura [27]

- **Renovação da frota de autocarros, Parma, Itália**

Este estudo realizado por Pietro Vignali e Emanuelle Morruzzi apresenta, no período desde o ano de 1998 a 2003, um estudo que traduz duas situações. A situação anterior, aquando da utilização de autocarros da década de 80 (maioritariamente) mais poluentes e produtores de emissões de ruído elevados e a situação atual com a utilização de autocarros menos poluentes e mais silenciosos com motores de gás natural e motores híbridos. Foi criado também um novo serviço de transportes públicos designado de “ProntoBus”, um serviço baseado em autocarros mais pequenos do que os convencionais sem trajetos pré-definidos, sendo estes trajetos moldados às necessidades dos cidadãos funcionando como um serviço de táxi, taxados a preços de bilhetes de autocarro [25].

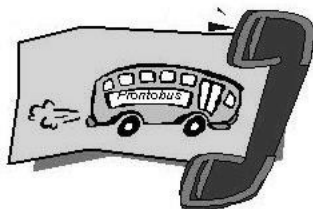


Figura 35 - Serviço *ProntoBus* [28]

Este serviço é também o único serviço de autocarro disponibilizado no horário noturno (entre as 23 e as 6h) contribuindo assim que o limite de 55 db(A) para o período noturno não seja tão facilmente ultrapassado. Este limite era facilmente ultrapassado na situação anterior com a utilização de veículos altamente ruidosos e com diversas passagens no período noturno pois, o limite noturno é mais comumente alcançado uma vez que trata-se de um limite significativamente mais baixo quando comparando com o limite diurno de 65 dB(A) [25].

A tabela seguinte demonstra os resultados das emissões sonoras da situação anterior com a situação atual [25].

Tabela 6 - Resultados das emissões sonoras dos autocarros (Situação anterior VS Situação atual) [25]

Ano	Tipo Veículo	nº Passagens (Dia)	Nº passagens (Noite)	Leq (Dia)	Leq (Noite)
1999	Modelo BUS 1982	477	15	67,3	55,3
2003	Modelo BUS 2001	128	4	53,5	41,4

A análise da tabela anterior permite facilmente concluir que a renovação da frota de autocarros e a diminuição do número de passagens destes resultou em enormes benefícios e contribui para o melhoramento da qualidade de vida das populações abrangidas pelos percursos dos autocarros. A tabela seguinte demonstra os resultados finais desta medida em termos globais [25]:

Tabela 7 - Resultados das emissões sonoras totais (Situação anterior VS Situação atual) [25]

Período de tempo	Dia	Noite
Leq 1999 TOTAL	72.8	65.3
Leq 2001 TOTAL	66.1	58.2
Redução	6.7	7.1

Em suma podemos concluir que a situação atual ainda ultrapassa os limites estabelecidos pela lei italiana, limite diurno de 65 dB(A) e 55 dB(A) para a noite mas contribuiu para uma diminuição significativa comparativamente com a situação anteriormente verificada, com uma redução de 6,7 dB(A) durante o dia e 7,1 dB(A) durante a noite. Agora para cumprir os limites legais uma das medidas possíveis que podem ser adotadas poderá passar pela redução da velocidade de circulação [25].

- **Medidas de redução de ruído no recetor, Gotemburgo, Suécia**

Este estudo realizado por Thomas Hammarlund traduz um conjunto de medidas aplicadas nas fachadas dos edifícios para a redução de ruído ambiental. Comparativamente com outras cidades europeias centrais, Gotemburgo não apresenta grandes problemas de tráfego rodoviário mas ainda assim existe um número significativo de habitantes na cidade expostas a emissões elevadas o que levou ao parlamento sueco a adotar limites de ruído nas envolventes dos edifícios novos e na envolvente dos edifícios já existentes. Com o objetivo de minimizar o ruído dentro das habitações optou-se por algumas medidas nas fachadas que passou pela substituição dos vãos envidraçados e pela utilização das chamadas fachadas “silenciosas” [25].

A substituição dos vidros passa por adoção de vidros à prova de som (vidros triplos), uma operação que custou cerca de 1,4 milhões de euros, dos quais 600 mil euros foram

subsidiados. É de fácil análise que este tipo de medida só funciona quando as janelas se encontram fechadas. Estes tipos de vãos envidraçados também contribuem para um melhor desempenho térmico das habitações pois, as perdas térmicas pelos envidraçados são menores quando comparando com vidro duplo, levando assim a uma poupança de energia necessária para o aquecimento do ambiente interior [25].

Nas fachadas “silenciosas” nenhum tipo de ruído é aceitável, seja ele resultante do tráfego rodoviário, como também resultante da ventilação e sistemas de refrigeração, estas fachadas correspondem à utilização permanente dos habitantes (salas de estar, quartos, escritórios,...) [25].

- **Estratégias residenciais no planeamento do uso do solo em Eugene, Oregon, Estados Unidos da América**

Em diversas zonas dos Estados Unidos da América, um uso do solo destinado a zonas residenciais estão localizadas próximos das grandes vias de comunicação, aumentando assim a capacidade de mobilidade dos residentes nessas áreas. No entanto, os problemas de ruído são mais facilmente manifestados devido à maior proximidade da fonte de ruído. Com o objetivo de o minimizar, investigadores estudaram a implementação de técnicas com o objetivo de reduzir os impactes negativos associados ao ruído, criando zonas residenciais bem planeadas, através da criação de zonas “*buffer*” e na conceção do posicionamento e design dos edifícios desfavoráveis à propagação do ruído. Os desenvolvedores do projeto conceberam assim edifícios multifamiliares sem janelas na face voltada para a estrada. Adicionalmente foi aplicado uma camada de isolamento acústico de alta qualidade que quase elimina o ruído no interior das habitações, melhorando assim o conforto acústico no interior da habitação e valorizando o valor do imóvel, associando um bom conforto acústico a uma boa mobilidade, com rápidos e bons acessos a vias de comunicação principais (Figura 36) [22].



Figura 36 - Aspeto exterior das habitações [22]

2.2.8 Exemplo de prática inovadora de medidas de redução do ruído ambiente em Portugal.

Em Portugal, ao abrigo do programa CIVITAS ELAN, também têm sido apresentados medidas de melhoramento da qualidade de vida urbana, essencialmente através da melhoria da qualidade do ar e melhoria de acústica ambiental [29].

O projeto CIVITAS ELAN ("*City-Vitality-Sustainability*", ou "*Cleaner and Better Transport in Cities*"), lançado em 2002, apresenta-se como um instrumento de auxílio às cidades na construção de políticas e medidas que visam o melhoramento da qualidade de vida urbana. Para atingir os objetivos propostos, existe um encorajamento para o uso de tecnologias inovadoras e uso de estratégias e políticas eficientes para a obtenção de resultados mais positivos. Este projeto serve ainda também para troca de impressões e de resultados de medidas aplicadas, permitindo assim um rápido intercâmbio de experiências, com vista ao bem-estar global de viver num ambiente urbano, entre as diversas cidades europeias que integram o projeto [29].

Portugal encontra-se representado no programa pelas cidades de Porto, Coimbra e Funchal, apresentando um conjunto de projetos com o objetivo de melhorar a qualidade de vida nestas cidades [29].

- **Plano integrado de acessibilidade na zona de Asprela, Porto**

Nos últimos anos tem-se verificado um acréscimo do tráfego automóvel nas cidades. Devido a diferentes razões (económica, urbanística e ambiental) não é possível a criação de redes viárias que satisfaçam este incremento de veículos e os resultados deste tipo de incremento são já conhecidos: as ruas enchem-se de veículos, a circulação torna-se congestionada e os

impactes ambientais associados são elevados, reduzindo assim a qualidade de vida das cidades. No sentido de atenuar estes efeitos, tem-se vindo a adotar medidas de gestão e controlo de tráfego, com o objetivo de otimizar a utilização do espaço viário. Este estudo incide numa zona particularmente congestionada, a zona da Asprela, no Porto [30].

A zona da Asprela no Porto, é caracterizada por um elevado número de zonas sensíveis, sendo a principal o Hospital de São João e também várias instalações de ensino superior, zonas com particular importância ao qual ocorrem um elevado número de veículos diariamente, trazendo consigo os problemas de ruído e poluição atmosféricas, sendo por isso zonas que devem ser salvaguardadas destes indicadores nocivos. Por isso, resolver o elevado problema de congestionamento de tráfego será a principal prioridade. Com este objetivo em mente, foi elaborado um plano que abrange todos os meios de transportes (individuais e coletivos) através de intervenções específicas, que serão implementadas e avaliadas [30].



Figura 37 - Congestionamento e insegurança para os peões na Asprela, Porto [30]

Entre os principais problemas de mobilidade, estão o estacionamento ilegal, colocando em risco a segurança dos peões e o congestionamento das vias que atinge dimensões críticas (Figura 37), apesar da sua excelente rede de transportes públicos. Por isso, o foco será o incentivo do uso de transportes públicos e veículos não motorizados como a melhor alternativa, em lugar do veículo privado. Para que isso seja possível, será necessário criar condições para uma mobilidade sustentável de sucesso [30].

Uma das medidas pensadas foi a criação da chamada “Loja de Mobilidade” na zona da Asprela, um espaço que fornece variados serviços na procura de alternativas mais sustentáveis e económicas ao uso de veículo particular, permitindo fornecer aos utilizadores um melhor conhecimento das alternativas que têm ao seu dispor, possibilitando uma melhor utilização dos diferentes modos de transporte. Neste espaço (Loja de Mobilidade), serão encontrados

todas as informações relativas a transportes públicos, ao projeto CIVITAS ELAN e os seus serviços inovadores [31].

A segunda medida surgiu com a criação de uma aplicação para telemóvel com tecnologia *Android*. Com o aumento de utilizadores de novas tecnologias, como são os dispositivos com tecnologia *Android*, foi criada uma aplicação denominada *MOVE-ME* desenvolvida pela empresa OPT, uma empresa especializada no planeamento e operação de transportes coletivos, desenvolvendo soluções informáticas para a gestão e otimização de sistemas de transportes coletivos [32].

A aplicação *MOVE-ME* surge como alternativa para melhorar a qualidade e o acesso a informações de transportes públicos na cidade do Porto, tendo como principal vantagem a informação em tempo real sobre rotas, horários, atrasos, tempos estimados de percurso e até localização de pontos turísticos. Esta aplicação trata-se então de uma medida inovadora pois, quem visita a cidade do Porto e mesmo para os que lá residem, permite a estes não se perderem e deslocarem-se mais rapidamente, apresentando resultados em termos de redução do número de veículos bastante significativos, melhorando assim a qualidade de vida nas cidades, reduzindo emissões sonoras e melhorando qualidade do ar [32].

A terceira medida trata-se da utilização de um modelo protótipo de autocarro desenvolvido pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, o CIVITAS-BUS (Figura 38). Este modelo é caracterizado principalmente pelo seu baixo peso, reduzindo os consumos de combustível e emissões sonoras [33]



Figura 38 - CIVITAS-BUS [33]

Toda a estrutura da carroçaria deste protótipo tem a particularidade de ser integralmente compósita, do tipo sanduíche, constituída por resina reforçada por fibra de vidro, e núcleo de PVC. Este protótipo resulta de uma transformação realizada a partir de um autocarro usado, do qual foi removida a carroçaria original (mantendo todos os órgãos mecânicos, motorização a BioDiesel) e sobre o qual foi aparafusada a nova carroçaria compósita [33].

Este veículo encontra-se a ser testado na zona da Asprela desde Fevereiro de 2012, sendo as viagens gratuitas para qualquer utilizador.

Os resultados previstos desta medida serão:

- Redução de entre 10 a 15% as emissões de dióxido de carbono;
- Menores emissões sonoras, devido à sua carroçaria inovadora;
- Maior segurança para os passageiros em caso de acidente [33].

2.3 Enquadramento Legislativo

2.3.1 Regulamento Geral do Ruído (RGR)

O Decreto-lei nº 9/2007 de 17 Janeiro aprovou o RGR. Este regulamento visa prevenir e controlar a poluição sonora, com objetivo de salvaguardar a saúde e bem-estar das populações diretamente afetadas, vindo no seguimento da anterior Lei de bases do Ambiente (Lei nº 11/87 de 11 de Abril) e do Decreto-lei 292/2000 de 14 de Novembro (Regime Legal sobre Poluição Sonora, RLPS) [3,16].

A necessidade de proceder ajustamentos ao anterior Decreto-lei 292/2000 de 14 de Novembro vem da transposição da Diretiva Europeia (nº 2002/49/CE de 25 de Julho), de modo a compatibilizá-lo com as orientações aprovadas pela Diretiva Europeia (nº 2002/49/CE de 25 de Julho) [3,16].

O RGR surge então com a necessidade de alteração de normas do antecessor RLPS por imposição da Diretiva Europeia [3,16].

O presente regulamento atribui ao Estado as seguintes responsabilidades:

- *“Compete ao Estado, às Regiões Autónomas e às demais entidades públicas promover as medidas de carácter administrativo e técnico adequados à prevenção e controlo da poluição sonora, nos limites da lei e no respeito do interesse público e dos direitos dos cidadãos”;*
- *“Compete ao Estado definir uma estratégia nacional de redução da poluição sonora e definir um modelo de integração política de controlo de ruído nas políticas de desenvolvimento económico e social e nas demais políticas sectoriais com incidência ambiental, no ordenamento territorial e na saúde”;*
- *“Compete ao Estado e às demais entidades públicas, tomar todas as medidas adequadas para o controlo e minimização dos incómodos causados pelo ruído resultante de quaisquer atividades, incluindo as que ocorram sob a sua responsabilidade ou orientação.” [3]*

Todas as atividades que possam causar incomodidade para as populações, permanentes ou temporárias, ruídos de vizinhança, ruído de locais de trabalho, certificação acústica de aeronaves, emissões sonoras de veículos rodoviários a motor, equipamentos de utilização exterior e de sistemas sonoros de alarme, devem respeitar este Regulamento (RGR). Existem algumas fontes de ruído que não são abrangidas pelo RGR, como por exemplo a sinalização sonora de uma passagem de nível de transporte ferroviário [3,16].

A atribuição da classificação das diferentes zonas (mistas e sensíveis) é da responsabilidade das autarquias correspondentes, devendo ter particular cuidado na análise do uso do solo, verificando a proximidade de infraestruturas de transportes existentes ou previstas. Cabe então, a responsabilidade das Câmaras municipais a elaboração de mapas de ruído para apoiar, alterar e rever os planos diretores municipais e os planos de urbanização e proceder a posteriores correções acústicas para cumprir os limites legais de emissões sonoras. Os municípios que disponham de mapas de ruído anteriores à publicação do RGR, devem proceder à sua atualização, conforme as novas disposições do RGR [3,16].

As zonas expostas a ruído que exceda os limites legais devem ser submetidas então a um Plano Municipal de Redução de Ruído (PMRR), sendo a elaboração da responsabilidade das Câmaras Municipais [3,16].

Os PMRR's devem ser executados num prazo máximo de dois anos, considerando prioritárias as zonas sensíveis ou mistas com exposições sonoras superiores a 5 dB(A) dos valores máximos legalmente estabelecidos pelo RGR. As câmaras municipais devem, de dois em dois anos, em Assembleia Geral apresentar um relatório sobre o ambiente acústico do município, para estudar, acautelar e prevenir eventuais modificações do panorama acústico global do município [3,16].

As entidades responsáveis pela fiscalização do cumprimento das normas do RGR são:

- A Inspeção-Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território;
- A entidade responsável pelo licenciamento ou autorização da atividade ruidosa;
- As comissões de coordenação e desenvolvimento regional;
- As câmaras municipais;
- As autoridades policiais [3,16].

2.3.2 Diretiva do Ruído Ambiente (DRA)

O Decreto-Lei nº 146/2006 de 31 de Julho estabelece a designada Diretiva do Ruído Ambiente (DRA), deriva da Diretiva Europeia (nº 2002/49/CE de 25 de Julho), que estabelece a obrigação de efetuar recolha de dados acústicos em todos os estados membros e posterior realização de relatórios do ambiente acústico para que, no futuro seja criada uma base para a definição de uma política comum no domínio acústico e garantir uma informação mais ampla para o público [16,34].

A DRA estabelece um conjunto de regras para elaboração de mapas de ruído, através de critérios pré-definidos a nível europeu, utilização de indicadores e métodos de avaliação comum. Posteriormente são divulgados os resultados ao público, fornecendo informações de índices de ruído ambiente sob a forma de mapas de ruído. Caso se verifiquem índices não regulamentares, procede-se à realização de planos de ação [16,34].

Um plano de ação consiste num conjunto de medidas destinadas a gerir o ruído ambiente, a sua elaboração recai sobre os responsáveis pelas grandes infraestruturas de transporte rodoviário, ferroviário e aéreo e as aglomerações de maior expressão populacional. Por fim,

cabe à Agência Portuguesa do Ambiente (APA) a validação dos mapas de ruído efetuados e planos de ação, reportando à Comissão Europeia [16,34].

Os mapas de ruído e planos de ação devem ser reavaliados de cinco em cinco anos após a sua elaboração ou devem sofrer reavaliações sempre que se verifiquem variações significativas relativamente a fontes sonoras ou à expansão urbana com efeito no ruído ambiente, com efeitos nefastos para as populações afetadas [16,34].

3 CASO DE ESTUDO

Na componente prática deste trabalho, irá ser estudado um caso prático de conflito acústico, a Avenida Capitão Gaspar de Castro e suas envolventes, localizada no município de Viana do Castelo.

A Câmara Municipal de Viana do Castelo encontra-se a realizar um Plano Municipal de Redução de Ruído (PMRR) de modo a estabelecer para valores legais, os níveis de ruído das zonas que se encontram sobreexpostas. A Avenida Capitão Gaspar de Castro é uma das zonas abrangidas pelo PMRR [16].

De acordo com o mapa de conflito, encontram-se inúmeras zonas com graus de sobreexposição diferentes (zonas de conflito), segundo o PMRR foram estabelecidas prioridades de atuação. A zona de estudo é uma zona de conflito acústico que possui grau de sobreexposição 1, ou seja, corresponde a uma zona com nível de sobreexposição que ultrapassa os limites legais em 15 dB(A) [4], considerando-se por esse motivo uma zona prioritária de atuação. Irão ser estudadas e simuladas, soluções tecnicamente viáveis para reduzir os níveis de ruído evidenciados, através da elaboração de mapas de ruído e da simulação de cenários, com o objetivo de obter um melhoramento do conforto acústico.

3.1 Características do município de Viana do Castelo

A cidade de Viana do Castelo é uma cidade de referência do Norte do país, sendo a cidade de maior importância do Alto Minho, situada a cerca de 25 minutos do aeroporto internacional do Porto [35].

Viana do Castelo é também reconhecida pelo seu elevado interesse turístico, tendo como principais referências as suas praias, práticas de desportos aquáticos, alguns pontos de interesse turístico, como o Monte de Santa Luzia que recebe anualmente cerca de um milhão de turistas e o Navio-Hospital Gil Eanes (40000 visitantes por ano), números divulgados pela Câmara Municipal, sendo também reconhecida como a capital nacional do folclore [35].

O município de Viana do Castelo, segundo os dados preliminares dos Censos 2011 revelados pelo INE, viu aumentar o número de população residente nos últimos dez anos, tendo

atualmente 88767 habitantes, contra os 88631 de 2001, espalhados por uma área de aproximadamente 319 km², dos quais 38045 vivem atualmente na cidade, distribuídos por uma área urbana de cerca de 37 km². A densidade populacional do concelho corresponde então a 278 hab/km² e de 1028 hab/km² na zona urbana [36].

O número de alojamentos e de edifícios também aumentou, ao que corresponde um total de 48276 alojamentos e 32931 edifícios em 2011 [36].

Nos quadros em baixo, está demonstrado o paralelismo entre a situação de 2001 e 2011 [36].



Figura 39 - Dados estatísticos de Viana do Castelo (CENSOS 2001 VS CENSOS 2011) [36]

3.2 Características a estudar para estudos relacionados com ruído ambiental

Para a realização de um estudo de ruído ambiental e respetiva elaboração do mapa de ruído, é necessário conhecer determinadas características meteorológicas, características do terreno (relevo), da ocupação do solo, traçado das redes viárias, características do edificado, classificação do tipo de zona (sensível ou mista) [37,38].

3.2.1 Características meteorológicas

Assim, seguindo as recomendações da Agência Portuguesa do Ambiente (APA), para a cidade de Viana do Castelo, as percentagens médias anuais de ocorrências favoráveis à propagação do ruído são:

- Período diurno: 50%;
- Período entardecer: 75%;
- Período noturno: 100% [37]

3.2.2 Características do terreno

A altimetria do terreno é um fator importante a considerar em estudos de ruído pois, tanto pode ser um obstáculo à sua propagação como, pode também facilitar a sua propagação. A figura seguinte representa a altimetria, representada com curvas de nível com equidistância de 10 m [37,38].



Figura 40 - Altimetria de Viana do Castelo [38]

3.2.3 Características do edificado e redes viárias

O estudo das características dos edifícios corresponde a outro dos fatores muito importantes em estudos de ruído, devendo-se considerar as seguintes características:

- Número de pisos;
- Altura por piso;
- Geometria do edifício e respetivo desenvolvimento em altura;
- Características de isolamento acústico das fachadas do edificado [37].

Para além do edificado, devem também ser considerados outros obstáculos de propagação ao ruído previamente existentes, como por exemplo barreiras acústicas [37].

A análise da rede viária também assume um papel importantíssimo pois, um dos maiores produtores de ruído ambiental nas cidades, resulta do tráfego rodoviário. Para uma representatividade em termos de valores de emissões sonoras, deve-se ter em conta alguns aspetos, como por exemplo a velocidade de circulação, tipo de pavimento, condicionalismos

ao uso (por exemplo, impedimento de circulação de veículos pesados numa determinada via) e a quantidade de veículos que circulam num determinado período de tempo (contagem separada de veículos ligeiros e pesados) [37,38]

A figura seguinte representa o edificado de Viana do Castelo e os traçados das principais redes viárias do concelho [38].

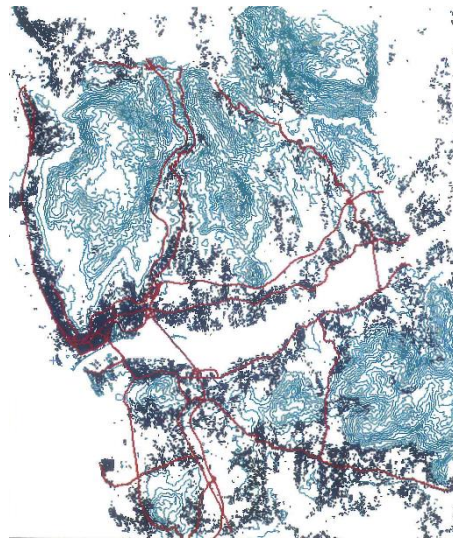


Figura 41 - Representação do edificado e das principais redes viárias [38]

3.3 Mapas de ruído de 2008 de Viana do Castelo

No ano de 2008, foram elaboradas as cartas de ruído da cidade de Viana do Castelo, em termos de L_{den} e L_n , em situações de verão e inverno. Da análise das cartas, é possível identificar facilmente as áreas que se encontram em sobreexposição sonora, áreas que serão alvo do Plano Municipal de Redução de Ruído (PMRR) [38].

Na elaboração destas cartas, para a elaboração da modelação do tráfego rodoviário, foi adotado o método de cálculo francês NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB, publicado no «*Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal Officiel du 10 mai 1995, article 6*»), recomendado pela Diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente (Diretiva 2002/49/CE de 25 Junho), transcrita em Portugal pelo Decreto-Lei nº 146/2006 de 31 de Julho [5,38].

Então, para a modelação do ruído de tráfego rodoviário, é necessário conhecer:

- Eixo da via georeferenciado e devidamente cotado;
- Largura da via;
- Tipo de pavimento;
- Velocidades médias praticadas por veículos ligeiros e pesados;
- Tráfego médio por período de referência e por tipo de veículo [38].

O ruído resultante do tráfego aéreo não foi contabilizado pois, no concelho não existem aeroportos e/ou aeronaves [38].

O ruído resultante do tráfego ferroviário também não foi contabilizado pois, segundo a APA, nas suas diretrizes para elaboração de mapas de ruído, deve existir um mínimo de 30000 passagens por ano [38].

O ruído resultante das indústrias foi calculado segundo a ISO 8297:1994 (E) [38].

Assim, as fontes de ruído consideradas para a modelação dos mapas de ruído foram, o tráfego rodoviário, as indústrias e as pedreiras [38].

As figuras seguintes ilustram então os mapas de ruído do município de Viana do Castelo, em termos de L_{den} e L_n , em situações de verão e inverno [38].



Figura 42 - Mapa de ruído de Viana do Castelo L_{den} verão [28]

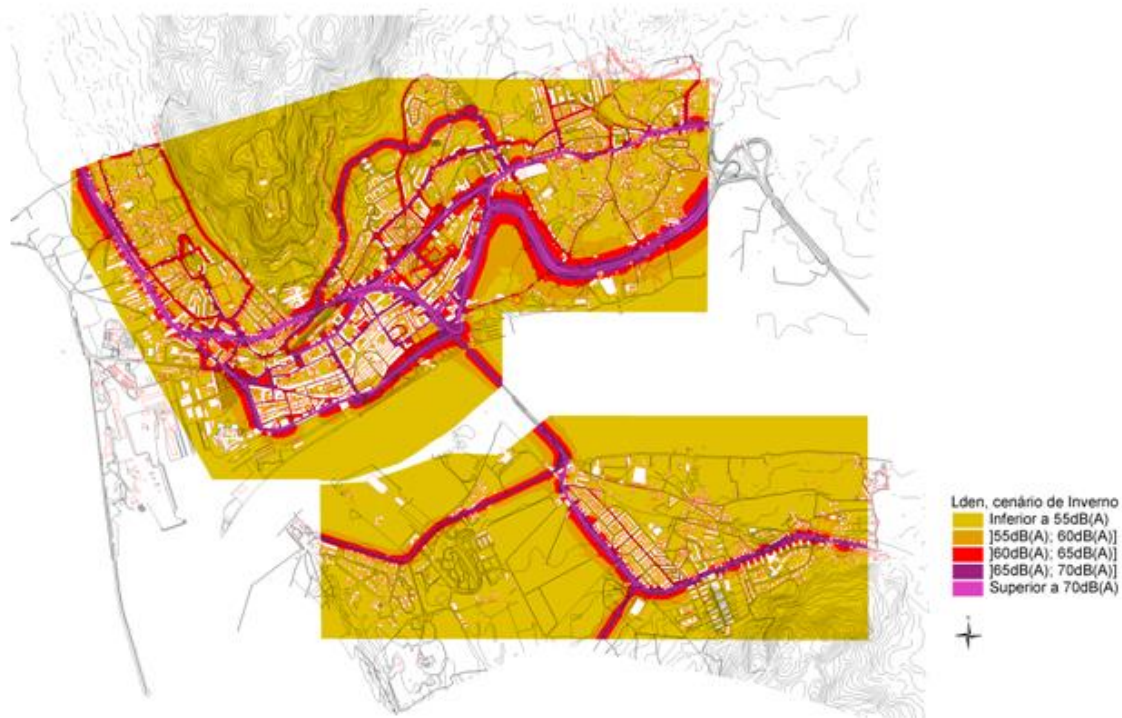


Figura 43 - Mapa de ruído Viana do Castelo L_{den} inverno [38]

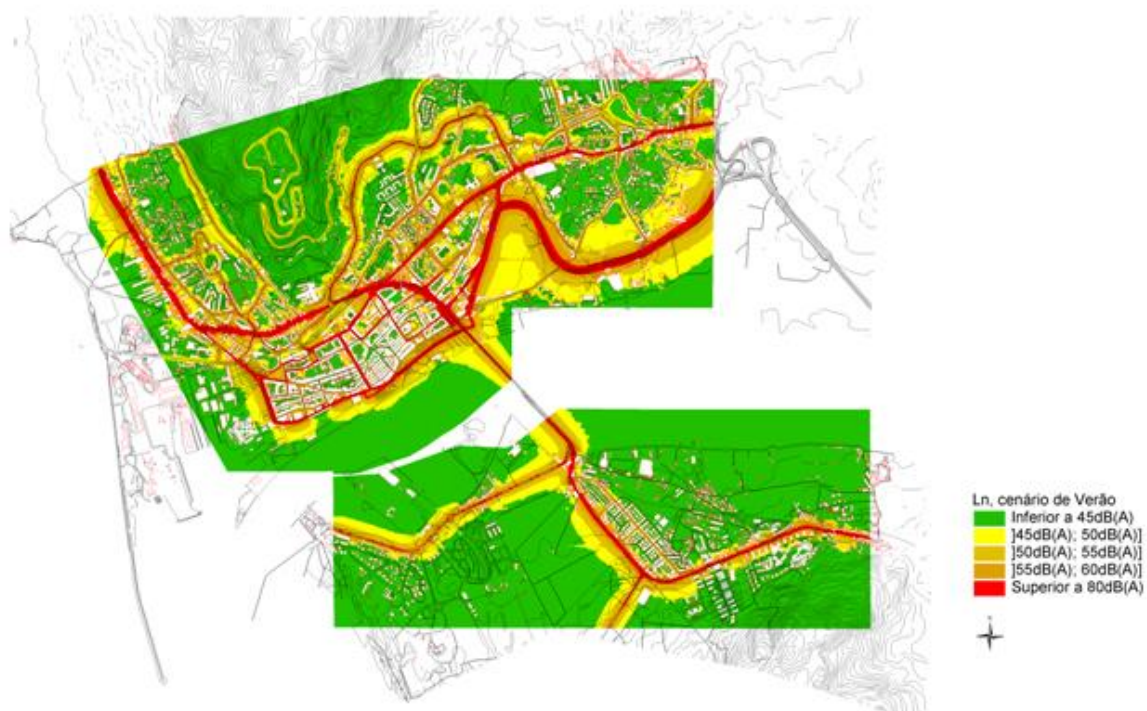


Figura 44 - Mapa de ruído Viana do Castelo L_n verão [38]

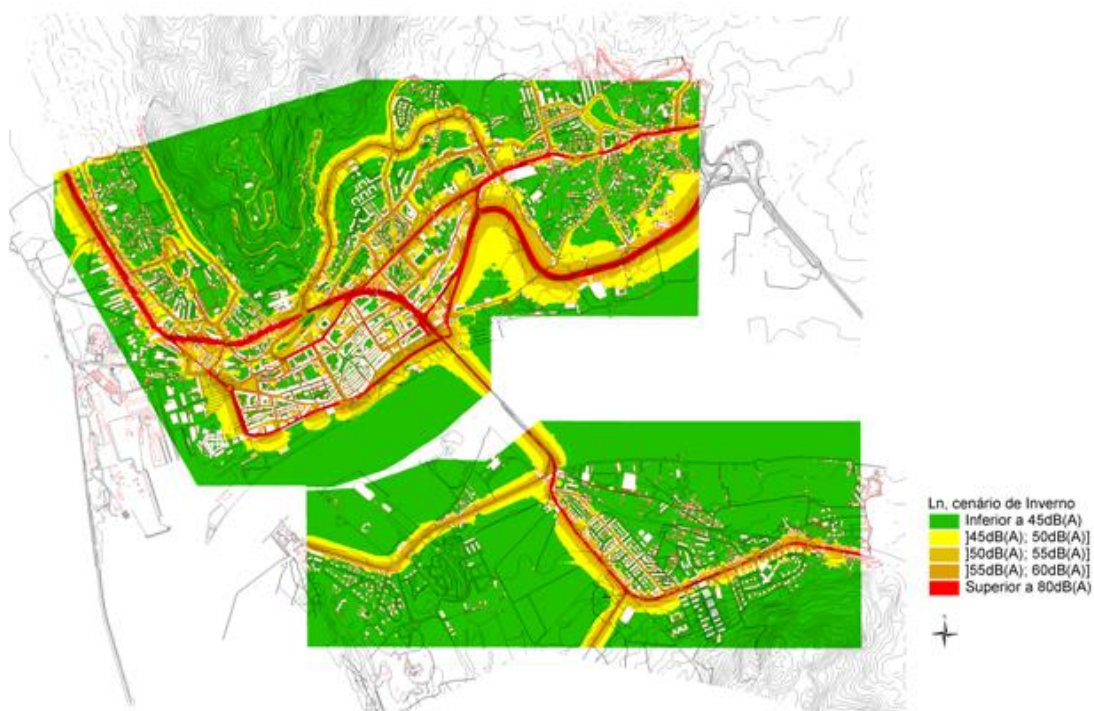


Figura 45 - Mapa de ruído Viana do Castelo L_n inverno [38]

A sobreexposição sonora verifica-se que é maior na situação de verão, comparativamente com a situação de inverno. Um dos fatores que pode contribuir para esse aumento de emissões sonoras, deve-se ao facto de Viana do Castelo ser uma cidade costeira, daí a maior afluência de turistas às suas praias, fazendo-se acompanhar dos seus veículos, aumentando assim o número de veículos a circular nas redes viárias do concelho, aumentando os índices de emissões sonoras. Outro das razões é que no verão as condições meteorológicas para a propagação de ruído são mais favoráveis [38].

Como também era expectável, a sobreexposição é maior na situação diurna do que a situação noturna [38].

As áreas com maior sobreexposição sonora encontram-se nas proximidades das principais vias de comunicação de acesso ao concelho (A28, A27 e EN13) e na zona urbana (Avenida 25 de Abril, vias de acesso ao IC1, Estrada da Papanata, Praça da Galiza e Avenida Capitão Gaspar de Castro), estas áreas serão então alvo de um Plano Municipal de Redução de Ruído, reduzindo para valores de exposição sonora regulamentares [39].

3.4 Medidas implementadas no município, visando a diminuição de ruído ambiental e melhoramento de condições atmosféricas

Desde 2004, que se encontram a circular em Viana do Castelo dois autocarros elétricos, apresentando-se como uma medida de resposta às crescentes preocupações ambientais, em termos de poluição sonora e ambiental [35].

Os autocarros circulam nas principais artérias da cidade, partindo do Hospital de Santa Luzia e fazendo ligação aos extremos da cidade, entre a Avenida dos Combatentes da Grande Guerra e Campo d'Agonia e a área das escolas e do mercado, passando pela Praça da Galiza e Avenida Capitão Gaspar de Castro. A ideia é tornar o autocarro elétrico uma mais-valia para quem utiliza os parques de estacionamento da periferia da cidade mas, é sobretudo, para quem quer de forma rápida chegar à área de serviços situados fora do centro histórico de Viana do Castelo, como a EDP, os Serviços de Segurança Social, o Mercado Municipal e o cemitério municipal, reduzindo assim a dependência do veículo ligeiro particular. Este circuito dos autocarros elétricos facilita também a mobilidade dos idosos dentro da cidade, tornando-se

numa alternativa ambientalmente mais vantajosa mas também de maior proximidade com a população [35].

O autocarro elétrico é um meio de transporte amigo do ambiente urbano, mais adequado à utilização nos centros urbanos (devido a apresentar mais agilidade e poder circular em ruas mais estreitas, aonde um autocarro comum não consegue circular) e ainda pela sua fiabilidade e baixo custo de exploração [35].

O autocarro tem 5.3 metros de comprimento e 2.07 metros de largura, transportando 22 passageiros, oito dos quais sentados. Tem instalação para segurar uma cadeira de rodas e atinge uma velocidade de 33 quilómetros por hora [35].

Os autocarros foram pintados com as cores do município (amarelo e preto) e batizados com os nomes *Caramaru* (Figura 46) e *Himalaia* [35].



Figura 46 - Foto de um dos dois miniautocarros elétricos (*Caramaru*)

3.5 Características da Avenida Capitão Gaspar de Castro para estudos de ruído ambiental

A Avenida Capitão Gaspar de Castro corresponde a uma via urbana, cuja responsabilidade está a cargo da Câmara Municipal, quer em termos de manutenção, regulação e intervenção de acordo com o PMRR. Esta é uma zona de conflito acústico que possui grau de sobreexposição 1, ou seja, corresponde a uma zona com nível de sobreexposição que ultrapassa os limites legais em 15 dB (A), considerando-se por esse motivo uma zona prioritária de atuação.

Segundo a Carta de Classificação de zonas do local em estudo (Figura 47), existem três zonas sensíveis ao longo da Avenida: a Escola Superior de Educação de Viana do Castelo (Figura

48), Escola EB 2,3 de Frei Bartolomeu dos Mártires (Figura 49) e a Escola Secundária Santa Maria Maior (Figura 50). A avenida é ainda constituída por outras zonas que devem ser salvaguardadas do ruído ambiental, como por exemplo áreas residenciais, o Pavilhão Municipal de Santa Maria Maior, o Centro Social e Paroquial de Santa Maria Maior, o mercado municipal, os hotéis Axis e Rali, o Estabelecimento Prisional Regional de Viana do Castelo, entre outras [40].

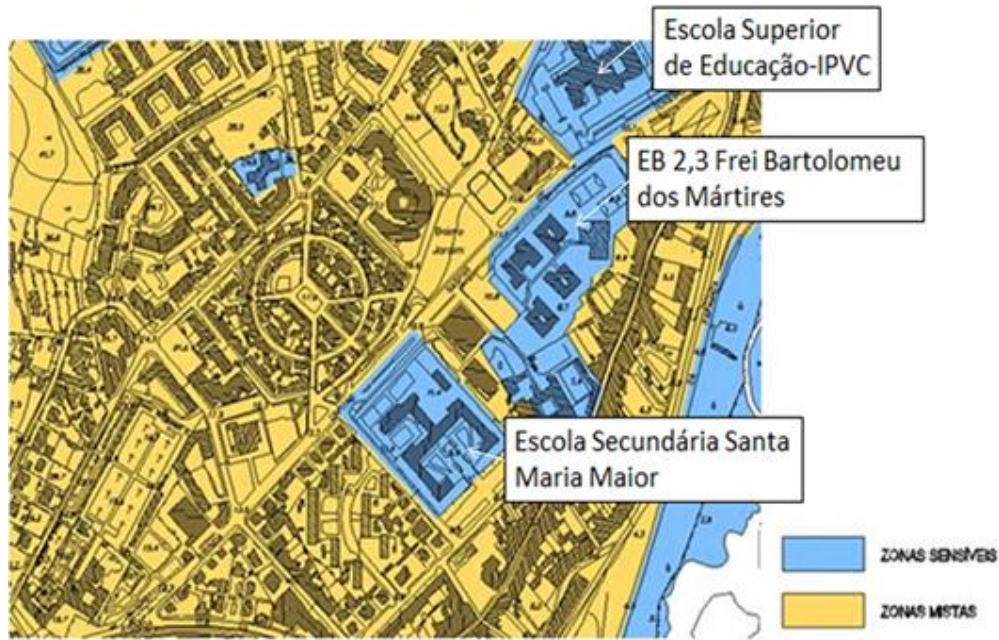


Figura 47 - Carta de classificação de zonas [40]



Figura 48 - Escola Superior de Educação de Viana do Castelo



Figura 49 - Escola EB 2,3 de Frei Bartolomeu dos Mártires



Figura 50 - Escola Secundária Santa Maria Maior

A avenida desenvolve-se ao longo de cerca de 975 m, com dois sentidos, cada um com duas faixas de rodagem de cerca de 3,5 m, sem separador central. As velocidades de circulação consideradas para posterior modelação foram de 40 km/h para os veículos ligeiros e 30 km/h para os veículos pesados. O estado do pavimento encontra-se bastante degradado (Figura 51) em algumas zonas, acentuando assim o ruído gerado pela interação pneu/pavimento.



Figura 51 - Estado de considerável degradação do pavimento

A fonte de ruído considerada na área de estudo foi o ruído resultante do tráfego rodoviário pois, não existem transportes ferroviários, aéreo e atividades industriais que tenham relevância para estudos de ruído ambiental na área de estudo.

4 METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DE MAPAS DE RUÍDO

4.1 Recomendações da APA para a elaboração de mapas de ruído

A execução dos mapas de ruído foi feita através de simulação com recurso ao *CadnaA*. O *CadnaA* (*Computer Aided Noise Abatement*), trata-se de um *software* para cálculo, apresentação, avaliação e previsão da exposição de ruído [41].

Na execução de mapas de ruído é necessário obedecer a um conjunto de regras e indicações. É da competência da APA (Agência Portuguesa do Ambiente) estabelecer as indicações para a elaboração de mapas de ruído [37]. A utilização destas diretrizes têm como objetivos harmonizar metodologias de elaboração de mapas de ruído, em termos de cartografia base e dados de entrada, métodos e opções de cálculo, validação de resultados, apresentação gráfica e formato digital e estabelecer uma metodologia de cálculo. Assim, existem várias variáveis que se devem ter em conta, nomeadamente:

- Períodos de tempo de referência;
- Parâmetros de avaliação;
- Características da malha;
- Método de cálculo utilizado;
- Importação de dados;
- Características das vias de comunicação;
- Características dos edifícios;
- Características das barreiras acústicas;
- Cartografia do terreno;
- Condições meteorológicas;
- Validação dos dados. [37]

4.1.1 Períodos de tempo de referência

De acordo com o RGR, os períodos de tempo de referência, como já referidos anteriormente são: período diurno, entardecer e noturno [37].

O período diurno está compreendido entre as 8 e as 20h, o período entardecer entre as 20 e as 23h e o período noturno entre as 23 e as 8h, como verificado na imagem seguinte [37].

Repartição das Horas - Períodos Dia, Início de Noite, Noite:																							
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
N	N	N	N	N	N	N	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	E	E	E	N

Figura 52 - Períodos de tempo de referência no programa de cálculo

4.1.2 Características da malha

Segundo recomendação da APA, os indicadores de ruído, L_{den} e L_n devem ser calculados a uma altura em relação ao solo de 4,0 m como indicado na figura seguinte. [37]

Malha do Receptor

Espaçamento do Receptor: dx (m): 5.00
dy (m): 5.00

Altura do Receptor (m): 4.00

Absoluto

Figura 53 - Altura do recetor em relação ao solo recomendada pela APA

4.1.3 Método de cálculo utilizado

Na elaboração deste estudo, foram apenas consideradas as fontes de ruído de origem rodoviária pois, não existem fontes pontuais de origem industrial, comuns em parque industriais. Também não foram consideradas as fontes ferroviárias pois, não apresentam um fluxo de tráfego suficiente para ser equacionado neste estudo de ruído ambiental (30000 ou mais passagens de comboio por ano). Neste estudo não foram consideradas as fontes resultantes de ruído de aeronaves, uma vez que não existem aeródromos e/ou aeroportos na área de estudo [16,37].

Assim, o método de cálculo provisório recomendado pela União Europeia na Diretiva de Ruído Ambiente (DRA), para fontes rodoviárias é o *NMPB-Routes-96* como ilustrado na figura seguinte [16,37].

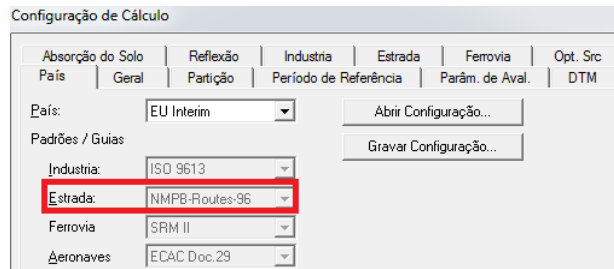


Figura 54 - Configuração de cálculo para ruído rodoviário recomendado pela RGA

4.1.4 Importação de dados

Na realização do modelo, foi necessário a importação de dados do modelo de *AutoCad* disponibilizado pela Câmara Municipal de Viana do Castelo da área de estudo. Para o efeito, foi realizado numa primeira fase, um levantamento dos componentes da área de estudo relevantes para a elaboração do modelo, nomeadamente a cartografia do terreno, os edifícios, os muros das zonas sensíveis e as vias de comunicação, dispondo-os em *layers* separadas. A separação em diferentes *layers* deve ser efetuada pois, para realizar a importação de dados é necessário associar cada *layer* ao tipo de objeto do programa de cálculo automático, por exemplo a *layer* estradas ao tipo de objeto estrada.

A imagem exemplifica a forma como se deve realizar a importação de dados. Na coluna da esquerda estão representados os tipos de objeto do programa de cálculo automático e na coluna da direita deve-se associar a camada (*layer*) do ficheiro DXF correspondente.

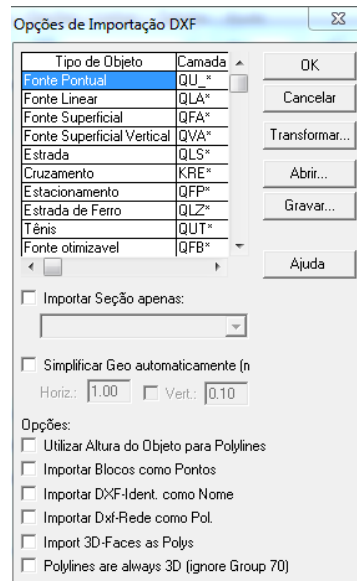


Figura 55 - Transformação de *layers*

A importação deve ser realizada em formato DXF, ou seja formato só de leitura como demonstrado na figura seguinte.

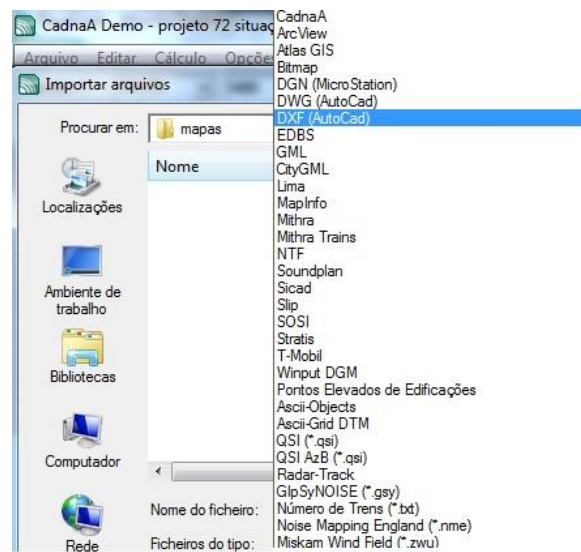


Figura 56 - Importação de ficheiros DXF

4.1.5 Características das vias de comunicação

As características das vias de comunicação são muito importantes em estudos de ruído ambiental, sendo uma das principais fontes de ruído. Sendo assim, os levantamentos destas

características devem ser efetuados com o maior rigor possível para obtenção de resultados com maior precisão.

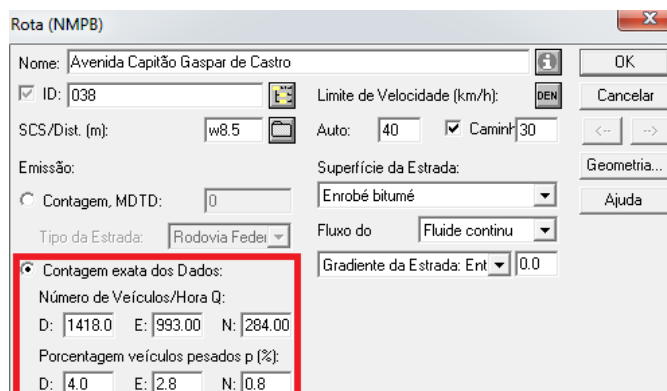
As características das vias de comunicação a ter em conta são:

- Fluxo de tráfego;
- Tipo de pavimento;
- Velocidade de Circulação;
- Tipo de tráfego;
- Largura das vias [37].

- **Fluxo de tráfego**

Os fluxos de tráfego das vias de comunicação em estudo foram retirados de contagens realizadas em estudos anteriores, em valores de total de veículos/hora e em percentagem de veículos pesados para os três períodos de referência diários. Estas contagens de tráfego poderão ser analisadas ao pormenor no capítulo sete.

A imagem seguinte demonstra o fluxo de tráfego de um dos troços da Avenida Capitão Gaspar de Castro.



Número de Veículos/Hora Q:		
D:	1418.0	E: 993.00 N: 284.00

Porcentagem veículos pesados p [%]:		
D:	4.0	E: 2.8 N: 0.8

Figura 57 - Fluxo de tráfego de um dos troços da Avenida Capitão Gaspar de Castro

- **Tipo de Pavimento**

O tipo de pavimento também é bastante importante em estudos de ruído ambiental pois, o ruído dominante (na maior parte dos casos) resulta da interação pneu/estrada [16].

Este tipo de interação varia assim, dependendo do tipo de pavimento e das condições de preservação do mesmo [16].

O estado do pavimento da Avenida Capitão Gaspar de Castro encontrava-se bastante degradado, potenciando assim a propagação do ruído, situação que foi corrigida durante o verão de 2013 com as obras de repavimentação da avenida.

Os pavimentos considerados no estudo foram: betuminoso e cubos. Os pavimentos evidenciados na figura seguinte correspondendo respetivamente ao tipo de pavimento betuminoso e cubos.

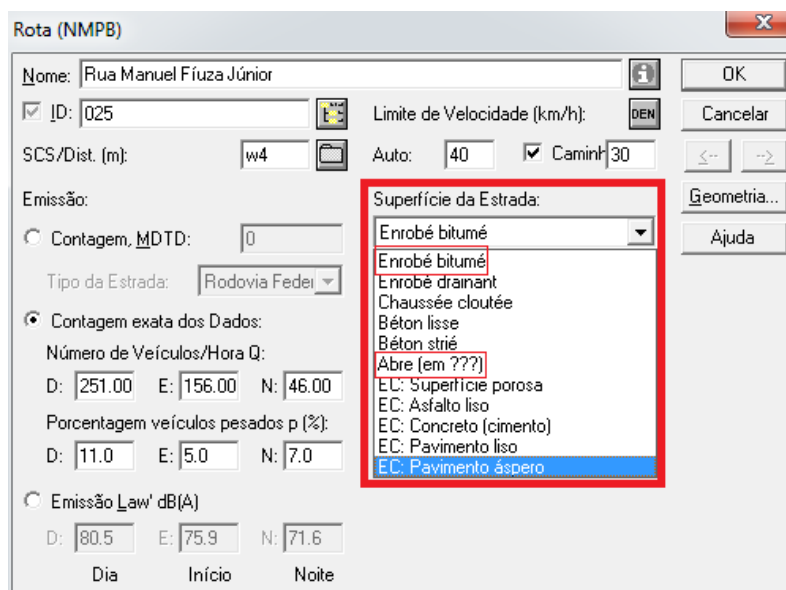


Figura 58 - Características dos pavimentos

- **Velocidade de circulação**

As velocidades consideradas na criação dos modelos, tendo em conta que se trata de vias urbanas, foram de 40km/h para os veículos ligeiros e 30km/h para veículos pesados em todas as vias abrangidas pelo estudo, demonstrado na figura seguinte.

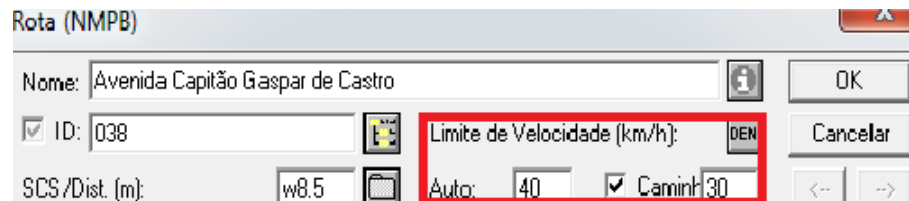


Figura 59 - Limites de velocidade para veículos ligeiros e pesados

- **Tipo de tráfego**

O tipo de tráfego considerado, para todas as vias da área de estudo, foi considerado fluido contínuo. A figura seguinte ilustra como o tipo de fluxo foi introduzido.

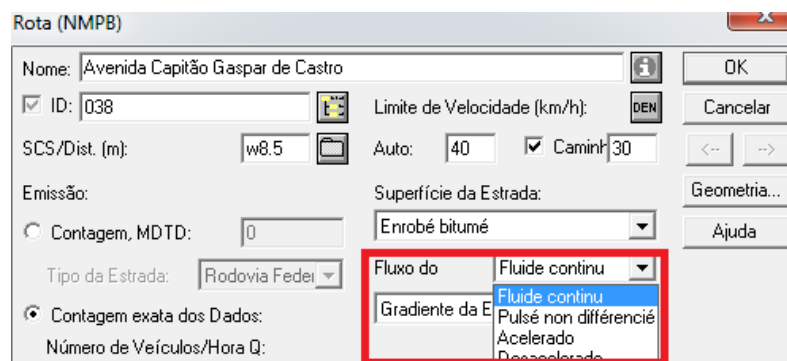


Figura 60 - Tipo de fluxo de tráfego

- **Largura das vias**

As larguras das vias foram medidas no terreno, sendo posteriormente corrigida para funcionar como *input* no *CadnaA* através da seguinte expressão sugerida pelo programa:

$$Largura_{Programa} = Largura_{Real} - 2 * (1,75)$$

A largura medida no terreno é assim corrigida em 1,75 m para cada uma das extremidades da via.

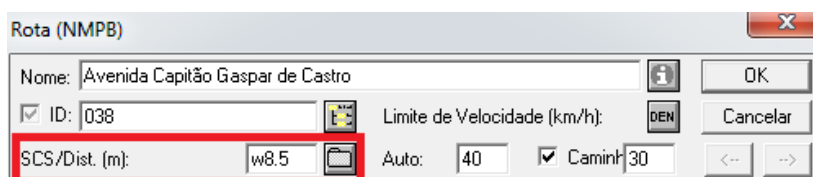


Figura 61 - Largura no programa de um dos troços da Avenida

Podemos assim concluir, que a largura total da via da figura acima referida é de 12 m, sendo corrigido este valor para 8,5 m, por recomendação do programa de cálculo.

4.1.6 Características dos edifícios

Por recomendação da APA, para obtenção da altura total de um edifício, deve-se multiplicar por 3 m (altura média de um piso) ao número total de pisos [37].

Procedeu-se então, ao levantamento no terreno do número de pisos dos edifícios da área em estudo e, multiplicando posteriormente por 3 m, de forma a obter a altura total dos edifícios. O coeficiente de absorção sonora admitido para todos os edifícios foi de 0,21.

A imagem seguinte demonstra como o processo foi realizado.

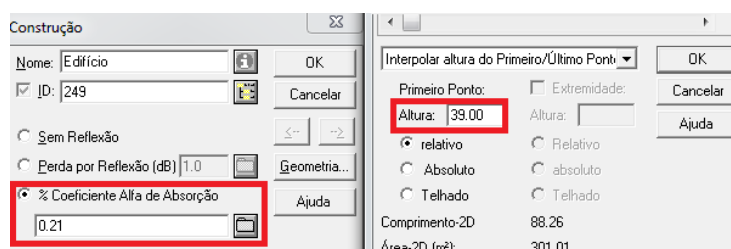


Figura 62 - Altura e coeficiente de absorção de um edifício da área de estudo

4.1.7 Características dos muros

Neste estudo procedeu-se ao levantamento de muros, dado constituírem obstáculos à propagação de ruído, da envolvente das zonas sensíveis, como foi por exemplo o caso da Escola Secundária de Santa Maria Maior apresentado na figura seguinte.

O procedimento é em todo semelhante ao levantamento dos edifícios, medindo-se a altura do muro no local. O coeficiente de absorção adotado foi o mesmo que nos edifícios, 0,21.

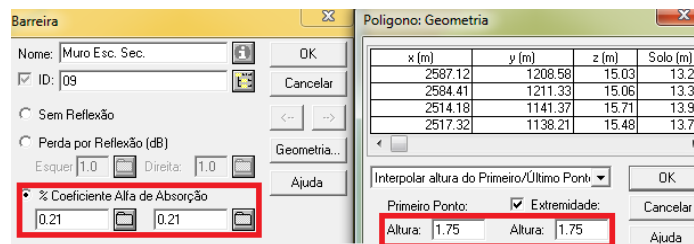


Figura 63 - Altura e coeficiente de absorção do novo muro da escola secundária

4.1.8 Cartografia do terreno

Na criação do modelo digital do terreno, procedeu-se à inclusão da altimetria do terreno, utilizando curvas de nível cotadas.

O valor da altura corresponde à altura da curva de nível em relação ao nível do mar. Na imagem seguinte está ilustrada um exemplo da geometria de uma curva de nível e respetiva cota.

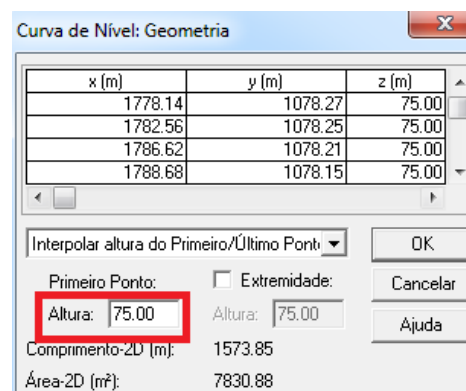


Figura 64 - Geometria de uma curva de nível

4.1.9 Condições meteorológicas

A APA recomenda a adoção das seguintes percentagens para condições meteorológicas favoráveis à propagação de ruído [37]:

- Período diurno: 50%
- Período entardecer: 75%
- Período noturno: 100%

4.1.10 Validação dos dados

A validação de dados é essencial pois, confere robustez ao mapa de ruído. Para tal, os valores apresentados no mapa devem ser comparados com valores de medições efetuadas no local [37].

O modelo do mapa de ruído é aceite quando a diferença entre os valores calculados (retirados dos mapas de ruído elaborados) e os valores medidos no local não ultrapasse $\pm 2\text{dB(A)}$ [37].

Os dados retirados para a elaboração deste trabalho foram retirados de um trabalho realizado anteriormente em que essa verificação foi efetuada, sendo assim considerados como válidos.

4.2 Modelação tridimensional

Uma das principais finalidades de uma modelação tridimensional é procurar traduzir no modelo a realidade atual, para que o modelo esteja o mais próximo possível da realidade, obtendo-se assim resultados mais rigorosos e fiáveis.

Assim neste capítulo irão ser abordados pormenores efetuados aquando a realização da modelação, tentando reproduzir uma realidade mais aproximada à realidade atual, utilizando diferentes tipos de características (altura de edifícios, curvas de nível, muros, perfil viário, aterros, escavações). Outros elementos da envolvente não foram considerados na modelação pois, não foram considerados relevantes para o estudo em causa, como por exemplo, vegetação rasteira, árvores, postes de iluminação, entre outros.

As zonas da área de estudo que mereceram particular destaque na elaboração do modelo foram:

- Hotel Axis e Escola Superior de Educação do IPVC;
- Praça do Minho;
- Taludes;
- Escola Secundária Santa Maria Maior após obras do Parque Escolar;
- Bomba de abastecimento combustível e a Rua Ponte de Lima num patamar mais elevado;
- Viaduto Santo António;

4.2.1 Hotel Axis e Escola Superior de Educação do IPVC

Nesta simulação, utilizaram-se as curvas de nível da cartografia da cidade de Viana do Castelo, para recriar no modelo a ligeira ascensão verificada na Avenida Capitão Gaspar de Castro, assim como também para implementar o hotel no modelo, construído em ligeiro aterro. Através de um modelo do terreno em *AutoCAD* fornecido pela Câmara Municipal, foi também feito o levantamento do muro da Escola Superior de Educação do IPVC à direita da imagem seguinte, com a altura do mesmo medido no terreno. Ao fundo da imagem, pode-se ver a Torre *Active Center*, um dos maiores edifícios da cidade. A largura da Avenida também

foi medida no terreno. A comparação visual pode ser realizada através da visualização da figura seguinte.



Figura 65 - Hotel Axis e IPVC (modelo esq. *versus* realidade dir.) [42]

4.2.2 Praça do Minho

Na simulação desta área da zona de estudo, utilizaram-se os valores das curvas de nível da cartografia do terreno para recriar o terreno no modelo. Na parte superior da praça encontra-se implementada a Torre *Active Center*. A largura da via foi também medida no terreno, o tipo de pavimento também é importante referir que é em *pavet*. A comparação visual pode também ser realizada através da visualização da figura seguinte.



Figura 66 - Praça do Minho (modelo esq. *versus* realidade dir.) [42]

4.2.3 Talude

A simulação de taludes é de particular interesse pois, funcionam como obstáculos à propagação do ruído.

Na simulação deste talude, utilizaram-se também as curvas de nível do terreno, da cartografia da cidade, reproduzindo o seu desenvolvimento no modelo. As imagens seguintes apresentam o exemplo de um talude da área de estudo, modelo e realidade, respetivamente.

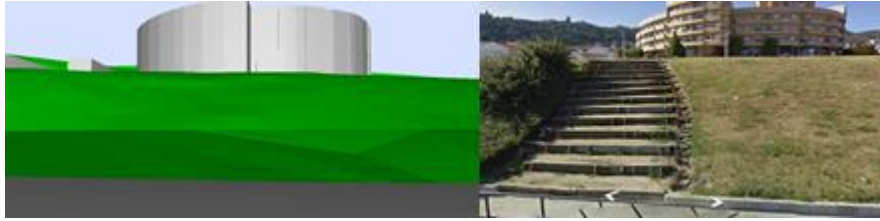


Figura 67 - Talude (modelo esq. *versus* realidade dir.) [42]

4.2.4 Escola Secundária Santa Maria Maior após obras do Parque Escolar

A Escola Secundária de Santa Maria Maior, à semelhança de diversas escolas públicas portuguesas, sofreu uma reabilitação. Foram efetuadas diversas alterações relevantes em diferentes zonas da área de implementação da escola. Foi alterada a fachada sul da escola, construído um pavilhão polidesportivo (1) e erguido um novo muro na proximidade à Avenida, com uma altura de 1,75 m (medido no local) (2). Estes dois últimos elementos (muro e pavilhão polidesportivo) funcionam como uma espécie de barreira acústica para as áreas da escola mais sensíveis, como por exemplo as salas de aula.

O novo muro foi construído pois, foi necessário proceder a um alargamento da área para a implementação do pavilhão, demolindo parcialmente o muro anteriormente existente (3).

Os pontos 1,2 e 3 estão representados na figura seguinte.



Figura 68 - Muros e pavilhão polidesportivo (modelo esq. *versus* realidade dir.)

4.2.5 Bomba de abastecimento de combustível e Rua Ponte de Lima

Nesta zona procurou-se reproduzir a diferença de cotas verificada entre a Avenida Capitão Gaspar de Castro (1) e a Rua Ponte de Lima (2). Assim, criou-se duas curvas de nível paralelas, uma acompanhando a cota da Avenida Capitão Gaspar de Castro e a outra acompanhando a cota da Rua Ponte de Lima, situada a uma cota superior de cerca de 1,5m,

criando assim um patamar (3). Esta diferença de cotas deve-se, à implementação da bomba de gasolina (4), construída em escavação.

A realização desta simulação foi efetuada pois, a diferença de cotas das duas vias, tem importância na propagação do ruído, sendo assim importante para o estudo.

Os pontos 1,2,3 e 4 estão representados na figura seguinte.



Figura 69 - Bomba de Gasolina Repsol e a Rua Ponte de Lima num patamar mais elevado (modelo esq. *versus* realidade dir.) [42]

4.2.6 Viaduto Santo António

O modelo tridimensional do viaduto é de extrema importância pois, o ruído produzido pelos veículos que circulam no seu interior, não ultrapassa o próprio viaduto, devido à presença do terreno.

A elaboração do modelo do viaduto é semelhante ao efetuado no ponto anterior, isto é, criou-se duas curvas de nível paralelas em cada um dos lados do viaduto, uma curva de nível acompanhando o terreno envolvente ao viaduto e a outra curva de nível acompanhando o desenvolvimento do viaduto, com as suas diferentes cotas. Na via superior (Avenida 25 de Abril), ativou-se a opção *SelfScreening*, de modo a que o ruído produzido Avenida 25 de Abril não afetasse o viaduto.

As duas imagens seguintes permitem uma visualização das duas direções do viaduto (Norte-Sul e Sul-Norte), os modelos e a realidade.

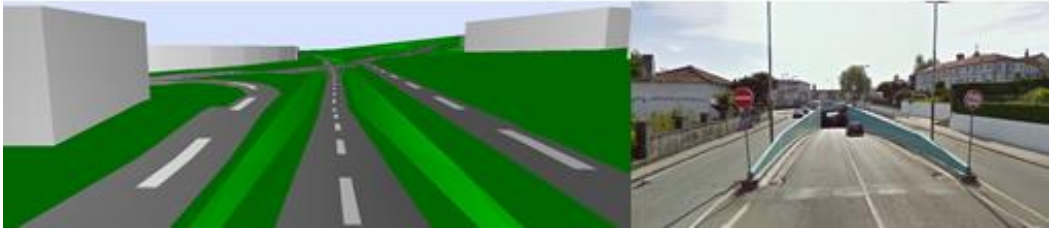


Figura 70 - Direção Norte-Sul do viaduto (modelo esq. *versus* realidade dir.) [42]

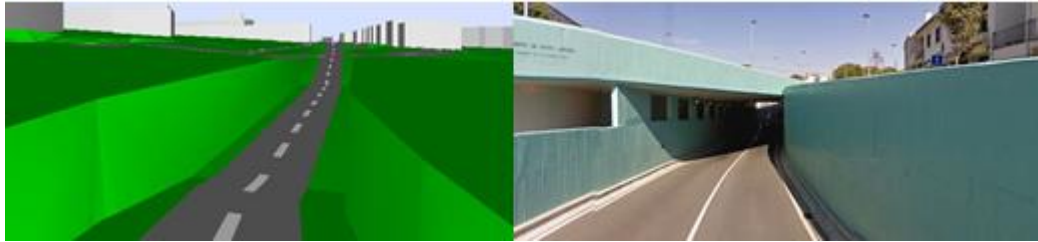


Figura 71 - Direção Sul-Norte do viaduto (modelo esq. *versus* realidade dir.) [42]

4.2.7 Vista aérea da área global de estudo

Por fim é agora apresentada uma vista aérea da área global em estudo, tridimensional. Através da visualização da imagem seguinte, é possível ter uma melhor perceção da cartografia do terreno, das características do edificado, das características das vias de comunicação (largura da via) e ainda da localização de alguns muros. A norte da imagem seguinte está localizada uma zona com altimetria maior, o Monte de Santa Lúzia.

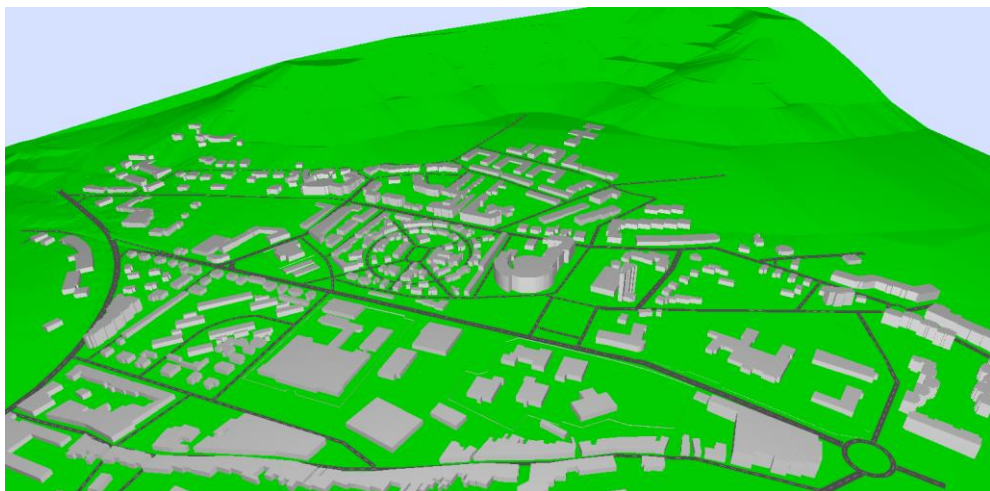


Figura 72 - Vista aérea da área global de estudo

4.3 Contagem de tráfego na Avenida Capitão Gaspar de Castro e vias envolventes

A contagem de tráfego ocorreu nos dias 2 e 3 Março de 2011, um projeto da finalista do MIEC da UM, Ângela Silva, coordenada pela Professora Auxiliar da UM, Lúcia Torres Silva e pelo Professor Catedrático da UM, José F.G. Mendes [43].

A influência das condições atmosféricas pode alterar a propagação do ruído por isso, para a referida contagem, foi escolhido dias de céu limpo, condição que facilita a propagação do ruído ambiental. A escolha dos dias em que se realizaram as contagens também teve em consideração a previsão do fluxo de tráfego normal, ou seja, sem eventos a decorrer na área de estudo que pudessem ter um aumento ou diminuição do fluxo de tráfego considerado normal, como por exemplo, dias de feira, romarias, entre outras [43].

A contagem foi realizada em três períodos diferentes do dia: período de entrada ao trabalho (8h-10h da manhã), período de entrada/saída para o almoço (11h-15 da tarde) e o período de saída do trabalho (16h30m-19h da tarde) de modo a obter os valores médios de tráfego de pico ($Traf_{pp}$). As percentagens de pesados são obtidas através da seguinte expressão:

$$\%Pesados = \frac{(Veículos\ pesados + BUS)}{Traf_{pp}}$$

As vias em que foram realizadas as contagens, encontram-se identificadas na figura seguinte [43]:

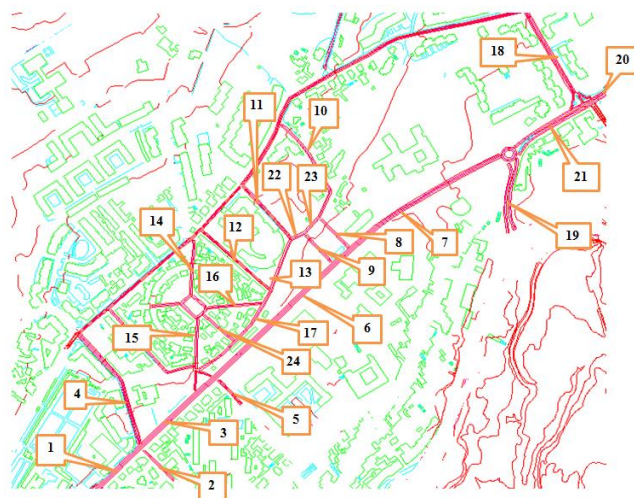


Figura 73 - Vias em que foram realizadas as contagens de tráfego [43]

A tabela seguinte apresenta então, os valores do Traf_{pp} e % Pesados para as vias com o ID correspondente à imagem de cima [43]:

Tabela 8 - Valores dos Traf_{pp} e % Pesados [43]

Via de Comunicação		Traf _{pp} (veic/h)	% Pesados
ID	Nome		
1	Avenida Capitão Gaspar de Castro (troço 4)	1394	2,1
2	Rua José Espregueira	85	0,4
3	Avenida Capitão Gaspar de Castro (troço 3)	1276	4,2
4	Rua Guerra Junqueiro	693*	3,2*
5	Rua São João de Deus	278	6,5
6	Avenida Capitão Gaspar de Castro (troço 2)	1223*	4,3*
7	Avenida Capitão Gaspar de Castro (troço 1)	1418*	4,0*
8	Praça do Alto Minho	214	3,7
9	Praça do Alto Minho	210	5,7
10	Rua Salvato Feijó	308*	3,4*
11	Rua Ribeiro da Silva	80*	3,0*
12	Rua de Caminha	90	3,3
13	Rua Ponte de Lima	102	2,9
14	Rua de Melgaço	144	2,8
15	Rua de Valença	145	2,8
16	Rua de Ponte da Barca	9	0
17	Rua Ponte de Lima	28	3,6
18	Rua Rosália Castro/Aquilino Ribeiro	860	2,1
19	Rua da Bandeira	1378	1,7
20	Rua de São Vicente	1311	3,1
21	Rua de São Vicente	1731*	3,0*
22	Rua Ponte de Lima	192	3,6
23	Rua Ponte de Lima	243	3,3
24	Rua de Paredes de Coura	8*	0*

(*)- Valores estimados

Com base nos valores da tabela acima é possível o cálculo dos valores de tráfego pelos três períodos de referência (dia, entardecer e noite), seguindo as recomendações da *WG-AEN (European Commission Group Assessment of Exposure to Noise)*. [25]

Então, para o cálculo do fluxo de tráfego diário (Traf_d), do fluxo de tráfego entardecer (Traf_e) e do fluxo de tráfego de noite (Traf_n), a *WG-AEN* recomenda as seguintes relações:

- Traf_d = Traf_{pp}

- $Traf_e = 0.7 \times Traf_{pp}$
- $Traf_d = 0.3 \times Traf_d [43]$

Assim, resultam os seguintes valores de fluxo de tráfego para os três períodos de referência:

Tabela 9 - Valores de tráfego para os períodos de referência [43]

ID	Nome	Traf (v/h)			% Pesados		
		Dia	Entardecer	Noite	Dia	Entardecer	Noite
1	Av. Cap. Gaspar de Castro (4)	1394	976	279	2,1	1,5	0,4
2	Rua José Espregueira	85	60	17	0	0	0
3	Av. Cap. Gaspar de Castro (3)	1276	893	255	4,2	2,9	0,8
4	Rua Guerra Junqueiro	693	485	139	3,2	2,2	0,6
5	Rua São João de Deus	278	195	56	6,5	4,6	1,3
6	Av. Cap. Gaspar de Castro (2)	1223	856	245	4,3	3	0,9
7	Av. Cap. Gaspar de Castro (1)	1418	993	284	4	2,8	0,8
8	Praça do Alto Minho	214	150	43	3,7	2,6	0,7
9	Praça do Alto Minho	210	147	42	5,7	4	1,1
10	Rua Salvato Feijó	308	216	62	3,4	2,4	0,7
11	Rua Ribeiro da Silva	80	56	16	3	2,1	0,6
12	Rua de Caminha	90	63	18	3,3	2,3	0,7
13	Rua Ponte de Lima	102	71	20	2,9	2	0,6
14	Rua de Melgaço	144	101	29	2,8	2	0,6
15	Rua de Valença	145	102	29	2,8	2	0,6
16	Rua de Ponte da Barca	9	6	2	0	0	0
17	Rua Ponte de Lima	28	20	6	3,6	2,5	0,7
18	Rua Aquilino Ribeiro	860	602	172	2,1	1,5	0,4
19	Rua da Bandeira	1378	965	276	1,7	1,2	0,3
20	Rua de São Vicente	1311	918	262	3,1	2,2	0,6
21	Rua de São Vicente	1731	1212	346	3	2,1	0,6
22	Rua Ponte de Lima	192	134	38	3,6	2,5	0,7
23	Rua Ponte de Lima	243	170	49	3,3	2,3	0,7
24	Rua de Paredes de Coura	8	6	2	0	0	0

Os valores de fluxos de tráfego das restantes vias de comunicação foram retirados de uma contagem mais antiga, através do programa *MITHRA*, contagem realizada aquando a realização dos mapas de ruído de toda a cidade de Viana do Castelo, estudo elaborado pela Professora Lúcia Torres Silva.

Tabela 10 - Valores de tráfego para os períodos de referência das restantes vias de comunicação da área de estudo.

Nome	Traf (v/h)			% Pesados		
	Dia	Entardecer	Noite	Dia	Entardecer	Noite
Rua Padre Américo	21	13	4	0.0	0.0	0.0
Rua Dr. Ribeiro da Silva	80	56	16	3.0	2.1	0.6
Rua Guerra Junqueiro	40	25	7	0.0	0.0	0.0
Rua Campos Monteiro	329	204	61	4.0	1.0	3.0
Rua Campos Monteiro	329	204	61	4.0	1.0	3.0
Rua Campos Monteiro	329	204	61	4.0	1.0	3.0
Estrada da Papanata	1378	965	276	1.7	1.2	0.3
Rua Francisco Sá Noronha	21	13	4	0.0	0.0	0.0
Rua da Bandeira	89	55	16	2.0	1.0	1.0
Rua da Bandeira	181	112	33	1.0	0.0	1.0
Rua da Bandeira	22	13	4	0.0	0.0	0.0
Rua Sem Informação do Nome	21	13	4	0.0	0.0	0.0
Rua Manuel Fiúza Júnior	181	112	33	1.0	0.0	1.0
Rua Manuel Fiúza Júnior	251	156	46	11.0	5.0	7.0
Rua Manuel Fiúza Júnior	338	210	62	10.0	6.0	7.0
Rua de São João de Deus	278	195	56	6.5	4.6	1.3
Rua de Val Verde	21	13	3	0.0	0.0	0.0
Avenida Rocha Paris	294	183	54	0.0	0.0	0.0
Rua Dr. Tiago de Almeida	61	37	11	1.5	0.5	1.0
Rua Sem Informação do Nome	40	25	7	0.0	0.0	0.0
Rua Conde de Aurora	242	150	45	2.0	0.0	2.0
Rotunda	755	528	151	8.8	6.1	1.7
Rotunda	760	457	81	9.2	5.7	8.0
Rotunda	165	102	31	2.0	0.5	1.5
Rua João da Rocha Paris	21	13	4	0.0	0.0	0.0
Largo do Jardim	65	45	13	1.1	0.8	0.2
Rua Ramalho Ortigão	329	230	66	2.0	1.4	0.4
Rua Ramalho Ortigão	329	204	61	4.0	1.0	3.0
Rua Camilo Castelo Branco	410	287	82	2.0	1.4	0.4
Rua Ernesto Roma	81	50	13	3.0	1.0	0.0
Rua Dr. Tiago de Almeida	61	38	11	1.5	0.5	1.0
Rua Dr. Tiago de Almeida	122	75	22	3.0	1.0	2.0
Rua Dr. Tiago de Almeida	81	50	13	3.0	1.0	0.0
Rua Padre Américo	21	13	4	0.0	0.0	0.0
Rua de Valença	145	102	29	2.8	2.0	0.6
Praça do Minho	210	147	42	5.7	4.0	1.1
Praça do Minho	214	150	43	3.7	2.6	0.7
EN 202	1662	997	175	3.0	2.0	3.0

Nome	Traf _d (v/h)			% Pesados		
	Dia	Entardecer	Noite	Dia	Entardecer	Noite
Estrada da Papanata	742	445	78	4.0	2.0	4.0
Estrada da Papanata	742	445	78	4.0	2.0	4.0
Praça da Galiza	108	67	20	4.5	2.0	2.5
Estrada da Papanata	687	426	126	10.0	5.0	6.0
Avenida 25 Abril	1967	1179	1081	6.0	3.0	6.0
Avenida 25 Abril	1976	1179	1081	6.0	3.0	6.0
Rua Emidío Navarro	1040	624	110	2.0	1.0	2.0
Viaduto de Santo António	1040	624	110	2.0	1.0	2.0
Avenida 25 Abril	643	386	68	5.0	3.0	5.0
Viaduto de Santo António	1967	1179	1081	6.0	3.0	6.0
Rua Sem Informação do Nome	599	372	110	6.0	3.0	4.0
Rua Sem Informação do Nome	248	154	45	10.0	5.0	6.0
Rua Sem Informação do Nome	124	77	22	5.0	2.5	3.0
Entrada da Cidade	1650	1007	174	4.0	2.0	4.0
Rua Ten. Cor. Afonso do Paço	137	85	25	10.0	5.0	6.0
Rua Sem Informação do Nome	70	44	13	10.0	5.0	6.0
Praça da Galiza	215	133	39	9.0	4.0	5.0
Praça da Galiza	107	66	19	4.5	2.0	2.5
Rua Sem Informação do Nome	124	77	23	5.0	2.5	3.0

Com base nos dados de tráfego acima é possível então determinar os mapas de ruído da situação atual, apresentados nas duas figuras seguintes.

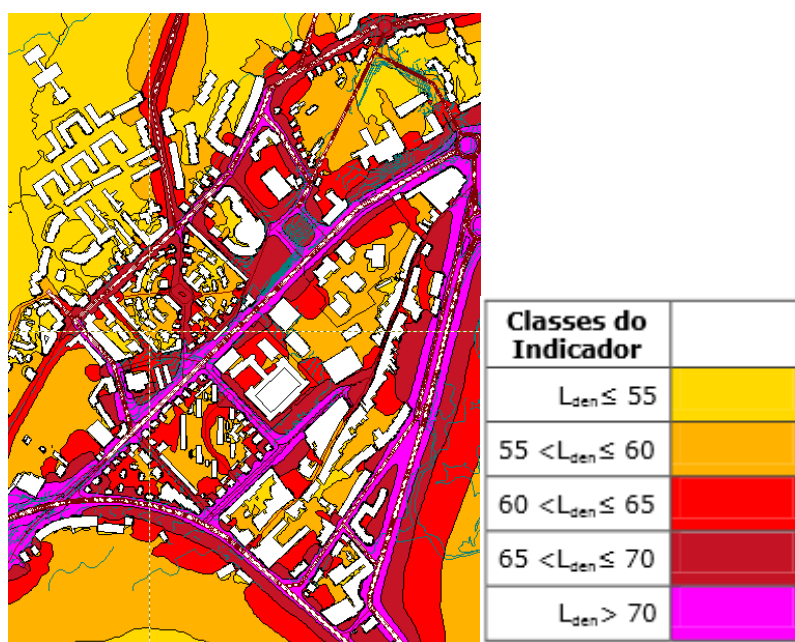


Figura 74 - Mapa de ruído para a situação atual L_{den}

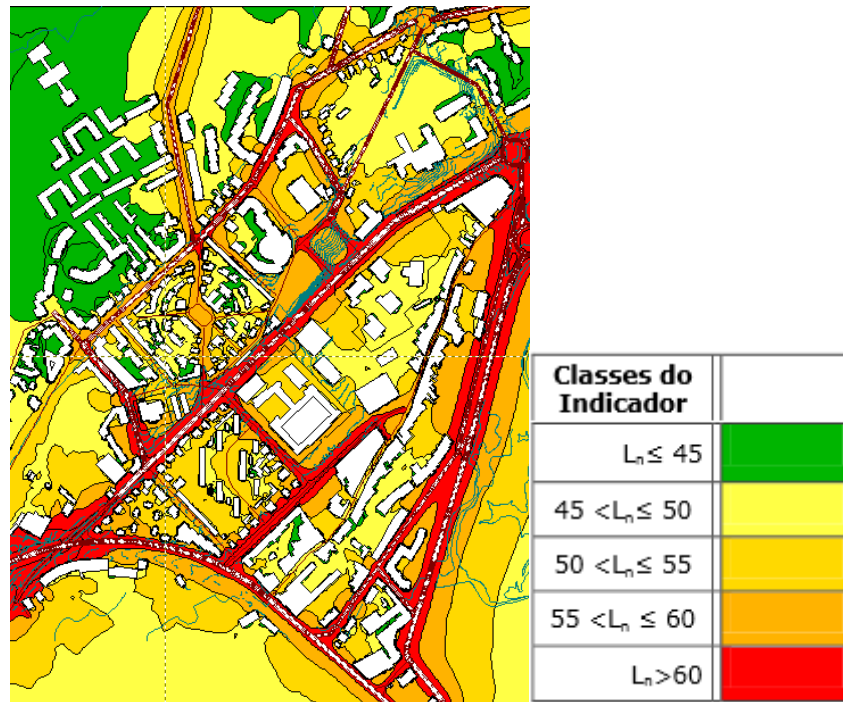


Figura 75 - Mapa de ruído para a situação atual L_n

Tendo em consideração os mapas de ruído acima e identificadas as principais áreas de intervenção, serão de seguida propostos novos cenários de redistribuição de tráfego, tendo como finalidade principal a redução de emissões sonoras verificadas aqui na situação atual.

4.4 Cenários propostos

4.4.1 Cenário 1- Divisão do tráfego pela Av. Capitão Gaspar de Castro e pelas novas ligações previstas no projeto fornecido pela Câmara Municipal.

O projeto disponibilizado pela Câmara Municipal de Viana do Castelo previa a criação de três novas ligações de tráfego. Estas novas ligações têm a finalidade de fornecer outras alternativas de circulação aos automobilistas à Avenida Capitão Gaspar de Castro, reduzindo assim o seu fluxo de tráfego.

As novas ligações serão as seguintes:

- Nova ligação 1: Ligação da Rua Ferreira de Castro à Rua Eça de Queirós;
- Nova ligação 2: Ligação da Rua Eça de Queirós à Rua Salvato Feijó;

- Nova ligação 3: Ligação por detrás da cadeia às ruas Padre Américo e Guerra Junqueiro.

A proposta de distribuição do tráfego atual da Avenida Capitão Gaspar de Castro prevê a Câmara Municipal de Viana do Castelo ser de 70% do tráfego atual. O restante 30% do fluxo atual do tráfego a Câmara Municipal prevê que passará a circular pelas novas ligações definidas em projeto. No ponto nº 5 (figura abaixo) o sentido de circulação terá de funcionar no sentido contrário pois, neste momento encontra-se a funcionar no sentido contrário ao pretendido nesta proposta.



Figura 76 - Ponto nº 5 [42]

Na figura seguinte estão identificadas as novas ligações (1,2 e 3) e o ponto nº 5 já acima referido. Para a obtenção de melhor ambiente acústico, propõem-se a repavimentação com betuminoso das ruas Salvato Feijó, Ponte de Lima e Padre Américo. O ponto 4 também representado abaixo, representa o local a partir do qual a avenida continua a funcionar com o fluxo de tráfego atual, ou seja não sofre nenhuma alteração neste cenário.

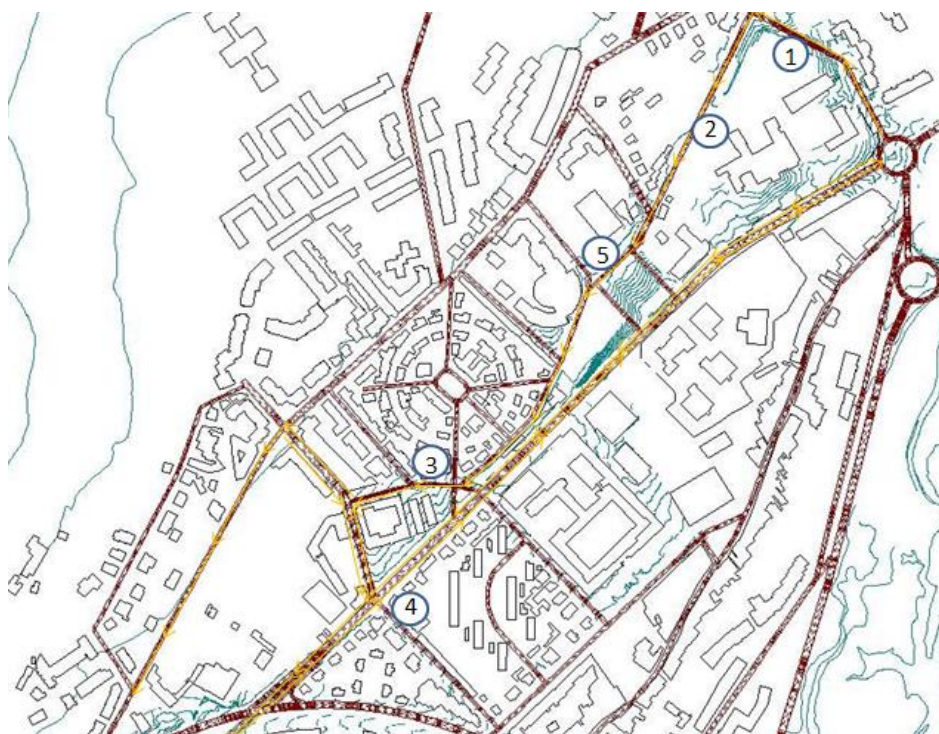


Figura 77 - Cenário distribuição de tráfego n.º 1

Assim, os resultados finais do fluxo de tráfego para os três períodos diários (dia, entardecer e noite) estão apresentados na tabela seguinte.

Tabela 11 - Nova distribuição de tráfego das vias afetadas para o Cenário 1

Cenário 1				
Ligação	Fluxo Tráfego	Dia	Entardecer	Noite
Rua Ferreira de Castro	Veículos Pesados (veic/h)	17	8	1
	Total Tráfego (veic/h)	425	298	85
	% Pesados	4,0	2,8	0,8
Nova Ligação 1	Veículos Pesados (veic/h)	17	8	1
	Total Tráfego (veic/h)	425	298	85
	% Pesados	4,0	2,8	0,8
Rua Eça de Queirós	Veículos Pesados (veic/h)	17	8	1
	Total Tráfego (veic/h)	425	298	85
	% Pesados	4,0	2,8	0,8
Nova Ligação 2	Veículos Pesados (veic/h)	17	8	1
	Total Tráfego (veic/h)	425	298	85
	% Pesados	4,0	2,8	0,8
Rua Salvato Feijó	Veículos Pesados (veic/h)	27	14	1
	Total Tráfego (veic/h)	733	514	147
	% Pesados	3,7	2,6	0,8

Ligação	Fluxo Tráfego	Dia	Entardecer	Noite
Rua Ponte de Lima 1	Veículos Pesados (veic/h)	24	12	1
	Total Tráfego (veic/h)	610	427	123
	% Pesados	3,9	2,7	0,8
Rua Ponte de Lima 2	Veículos Pesados (veic/h)	23	11	1
	Total Tráfego (veic/h)	559	391	112
	% Pesados	4,1	2,8	0,8
Rua Ponte de Lima 3	Veículos Pesados (veic/h)	19	9	1
	Total Tráfego (veic/h)	469	328	94
	% Pesados	4,0	2,8	0,8
Rua Ponte de Lima 4	Veículos Pesados (veic/h)	17	8	1
	Total Tráfego (veic/h)	395	277	80
	% Pesados	4,3	3,0	0,9
Rua Padre Américo	Veículos Pesados (veic/h)	16	8	1
	Total Tráfego (veic/h)	404	281	81
	% Pesados	4,0	2,8	0,8
Nova Ligação 3	Veículos Pesados (veic/h)	16	8	1
	Total Tráfego (veic/h)	383	268	77
	% Pesados	4,2	2,9	0,8
Rua Guerra Junqueiro	Veículos Pesados (veic/h)	38	18	1
	Total Tráfego (veic/h)	1076	753	216
	% Pesados	3,6	2,4	0,7
Av. Cap. Gaspar Castro (Troço 1)	Veículos Pesados (veic/h)	40	19	2
	Total Tráfego (veic/h)	993	695	199
	% Pesados	4,0	2,8	0,8
Av. Cap. Gaspar Castro (Troço 2)	Veículos Pesados (veic/h)	37	18	2
	Total Tráfego (veic/h)	856	599	172
	% Pesados	4,3	3,0	0,9
Av. Cap. Gaspar Castro (Troço 3)	Veículos Pesados (veic/h)	38	18	1
	Total Tráfego (veic/h)	893	625	179
	% Pesados	4,2	2,9	0,8

As figuras seguintes representam os mapas de ruído para o cenário 1, Lden e Ln.

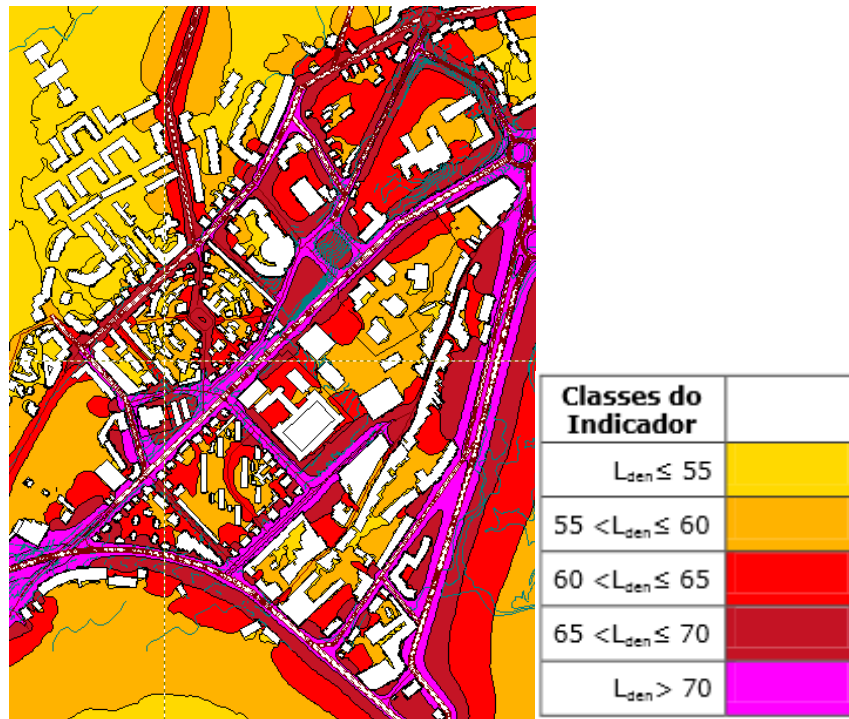


Figura 78 - Mapa de ruído para o cenário 1 L_{den}

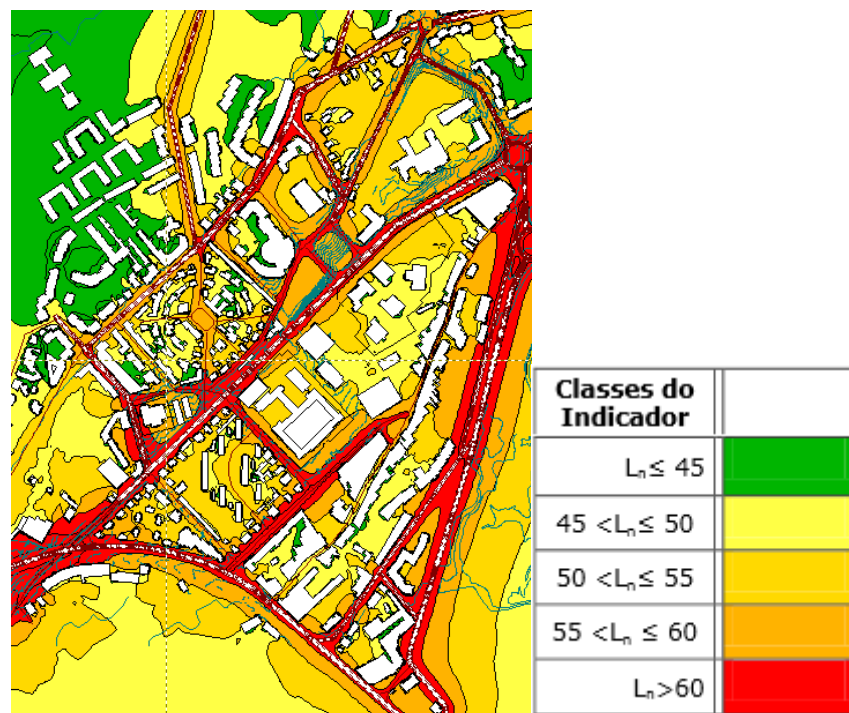


Figura 79 - Mapa de ruído para o cenário 1 L_n

4.4.2 Cenário 2- Redução do número de faixas de rodagem na Avenida Capitão Gaspar de Castro.

No atual perfil da Avenida Capitão Gaspar de Castro existem duas faixas de rodagem em cada sentido de tráfego na maior parte da sua extensão, no que resulta um maior número de veículos a circular.

Este cenário prevê a redução para uma faixa de rodagem em cada sentido, com faixa de *BUS*, passeios mais largos para peões com o adequado mobiliário urbano e ciclovia, criando assim um incentivo à utilização de modos suaves, tornando-se numa via mais agradável e segura.

Com a diminuição do número de faixas de rodagem, prevê-se uma redução do fluxo total de tráfego em cerca de 40% nesta via, forçando os veículos a procurar novas alternativas de circulação, como por exemplo a Avenida 25 de Abril e Estrada da Papanata.

Assim, os resultados finais do fluxo de tráfego para os três períodos diários (dia, entardecer e noite) estão apresentados na tabela seguinte:

Tabela 12 - Nova distribuição de tráfego das vias afetadas para o Cenário 2

Cenário 2				
Ligação	Fluxo Tráfego	Dia	Entardecer	Noite
Av. Cap. Gaspar Castro 1	Veículos Pesados (veic/h)	34	17	1
	Total Tráfego (veic/h)	851	596	170
	% Pesados	4,0	2,8	0,8
Av. Cap. Gaspar Castro 2	Veículos Pesados (veic/h)	32	15	1
	Total Tráfego (veic/h)	734	514	147
	% Pesados	4,3	3,0	0,9
Av. Cap. Gaspar Castro 3	Veículos Pesados (veic/h)	32	16	1
	Total Tráfego (veic/h)	766	536	153
	% Pesados	4,2	2,9	0,8
Av. Cap. Gaspar Castro 4	Veículos Pesados (veic/h)	18	9	1
	Total Tráfego (veic/h)	836	586	167
	% Pesados	2,1	1,5	0,4
Viaduto Santo António	Veículos Pesados (veic/h)	8	2	1
	Total Tráfego (veic/h)	624	374	66
	% Pesados	1,3	0,7	1,3

Cenário 2				
Ligação	Fluxo Tráfego	Dia	Entardecer	Noite
Avenida 25 Abril	Veículos Pesados (veic/h)	44	17	4
	Total Tráfego (veic/h)	1201	776	180
	% Pesados	3,7	2,2	2,1
Estrada da Papanata	Veículos Pesados (veic/h)	62	26	6
	Total Tráfego (veic/h)	2220	1387	287
	% Pesados	2,8	1,9	2,0

As figuras seguintes representam os mapas de ruído para o cenário 2, L_{den} e L_n .

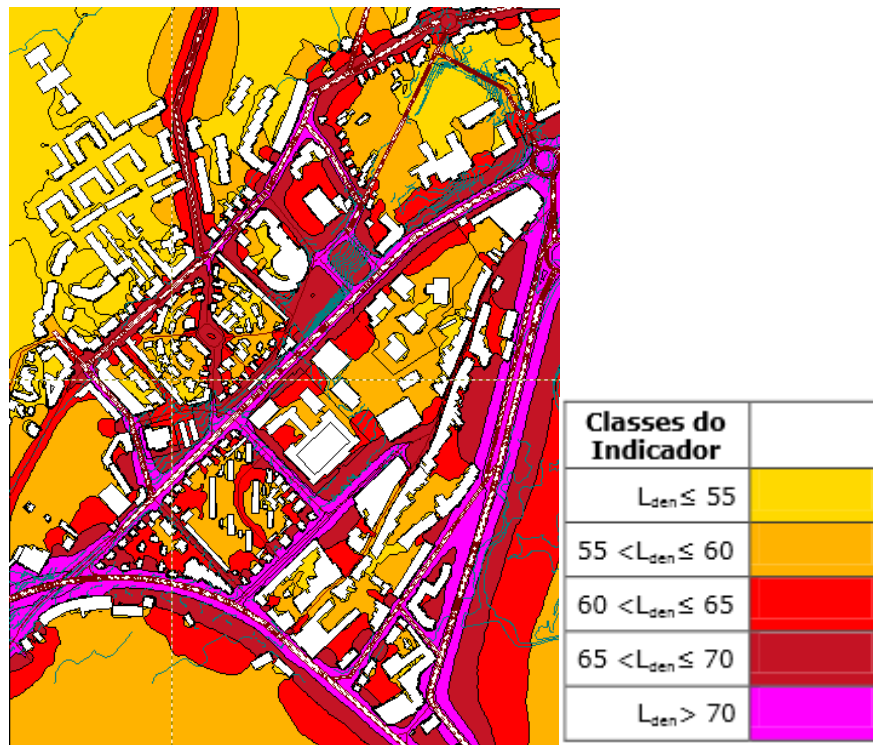


Figura 80 - Mapa de ruído para o cenário 2 L_{den}

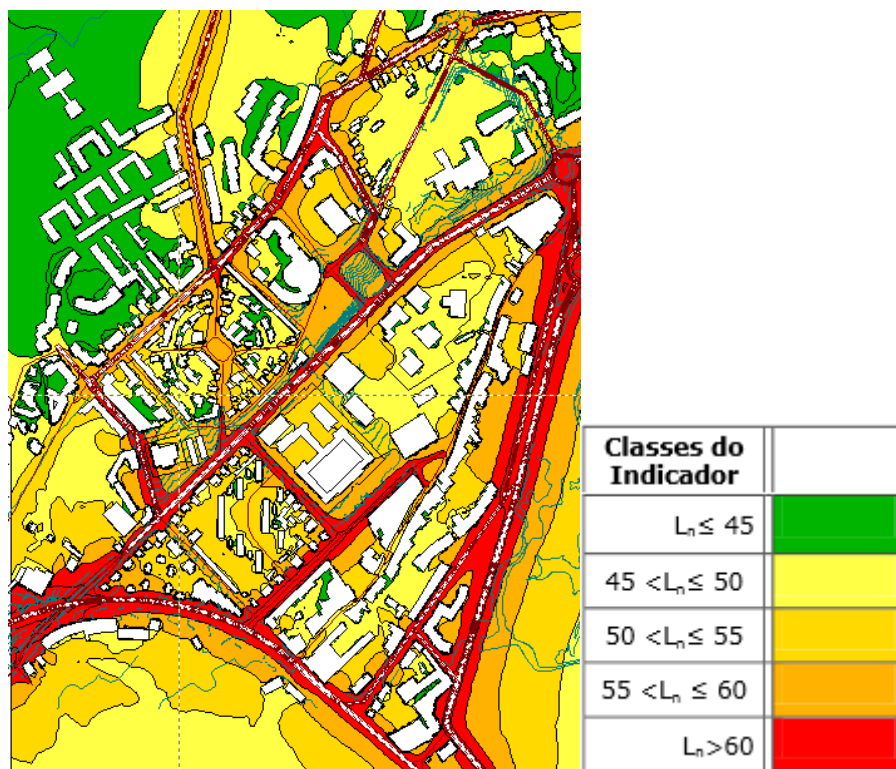


Figura 81 - Mapa de ruído para o cenário 2 L_n

4.4.3 Cenário 3- Restrições à circulação de veículos pesados na Avenida Capitão Gaspar de Castro

Os principais emissores de ruído automóvel são os veículos pesados, sendo também um dos grandes problemas identificados atualmente na Avenida Capitão Gaspar de Castro.

A maior parte dos veículos pesados que utilizam esta via, fazem-no por este ser um trajeto mais curto de acesso às saídas da cidade e ao centro de Viana, em comparação com a ligação principal que possui maior capacidade e não tem na sua proximidade zonas sensíveis (Avenida 25 de Abril e Estrada da Papanata).

Dada a impossibilidade de proibir a circulação de veículos pesados durante as 24h na Avenida Capitão Gaspar de Castro pois existem equipamentos que necessitam de abastecimento de mercadorias, nomeadamente, o Mercado Municipal, as escolas, entre outros, propõem-se a restrição à circulação de veículos pesados em determinados horários no período diurno e restrição total nos períodos entardecer e noturno. Este cenário prevê o estabelecimento de dois horários para cargas e descargas para os veículos pesados, por exemplo entre as 8 e as 10

horas e entre as 19 e as 20 horas, estando interdita a circulação de veículos pesados nos restantes períodos do dia em ambos os sentidos, com exceção da circulação de *BUS*.

Esta medida afeta apenas a circulação de veículos pesados, prevendo-se assim uma significativa redução na percentagem de veículos pesados a circular na avenida, trazendo bastantes benefícios em termos de redução de ruído ambiental.

Este cenário poderá também ser adaptado a qualquer um dos cenários apresentados anteriormente e apresenta-se como um cenário com o custo de implementação mais reduzido e poderá ser de implementação imediata.

Na simulação deste cenário, pensou-se então na circulação média de um veículo pesado por hora, resultando num total de circulação de 12 veículos pesados que realizam cargas e descargas durante o período de referência diário, enquanto nos dois restantes períodos, entardecer e noite, a circulação de veículos pesados de mercadoria seria nula. A circulação de *BUS*, não foi alterada, ficando assim o fluxo de tráfego de *BUS* igual ao que se verifica atualmente. Assim, os valores dos novos fluxos de tráfego para este novo cenário de distribuição de tráfego são os seguintes:

Tabela 13 - Nova distribuição de tráfego das vias afetadas para o Cenário 3

Cenário 3				
Ligação	Fluxo Tráfego	Dia	Entardecer	Noite
Av. Cap. Gaspar de Castro 1	Veículos Pesados (veic/h)	1	0	0
	BUS (veic/h)	23	16	1
	Total Tráfego (veic/h)	1385	981	283
	% Pesados	1,7	1,6	0,4
Av. Cap. Gaspar de Castro 2	Veículos Pesados (veic/h)	1	0	0
	BUS (veic/h)	23	16	1
	Total Tráfego (veic/h)	1194	846	244
	% Pesados	2,0	1,9	0,4
Av. Cap. Gaspar de Castro 3	Veículos Pesados (veic/h)	1	0	0
	BUS (veic/h)	23	16	1
	Total Tráfego (veic/h)	1246	883	254
	% Pesados	1,9	1,8	0,4

Cenário 3				
Ligação	Fluxo de tráfego	Dia	Entardecer	Noite
Av. Cap. Gaspar de Castro 4	Veículos Pesados (veic/h)	1	0	0
	BUS (veic/h)	26	14	1
	Total Tráfego (veic/h)	1392	975	279
	% Pesados	1,9	1,4	0,4
Avenida 25 Abril	Veículos Pesados + BUS (veic/h)	62	21	4
	Total Tráfego (veic/h)	670	398	69
	% Pesados	9,2	5,4	6,4
Estrada da Papanata	Veículos Pesados + BUS (veic/h)	79	30	6
	Total Tráfego (veic/h)	1689	1009	176
	% Pesados	4,7	2,9	3,6

As figuras seguintes representam os mapas de ruído para o cenário 3, L_{den} e L_n .

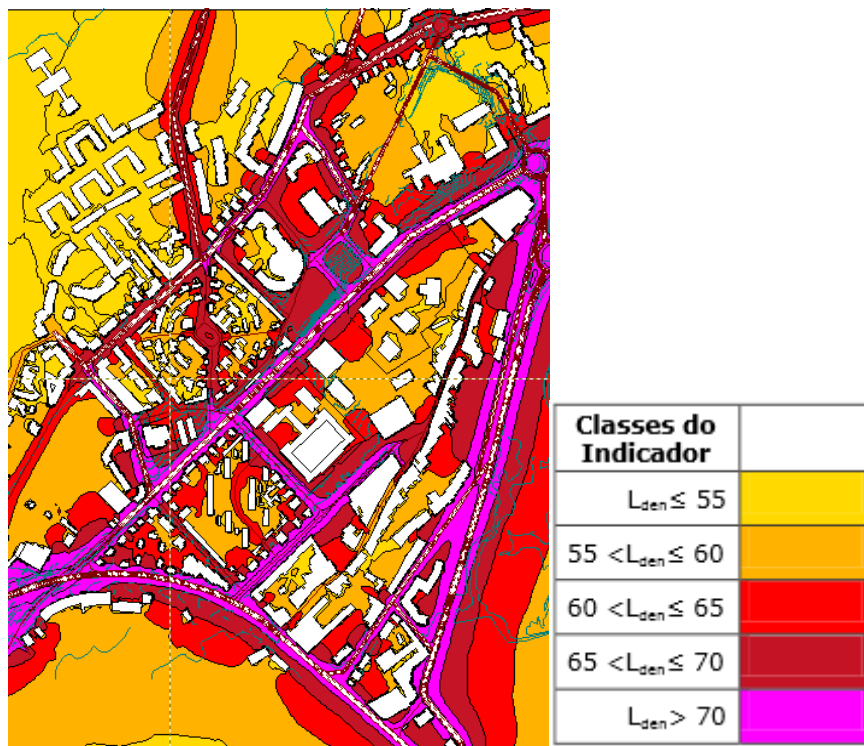


Figura 82 - Mapa de ruído para o cenário 3 L_{den}

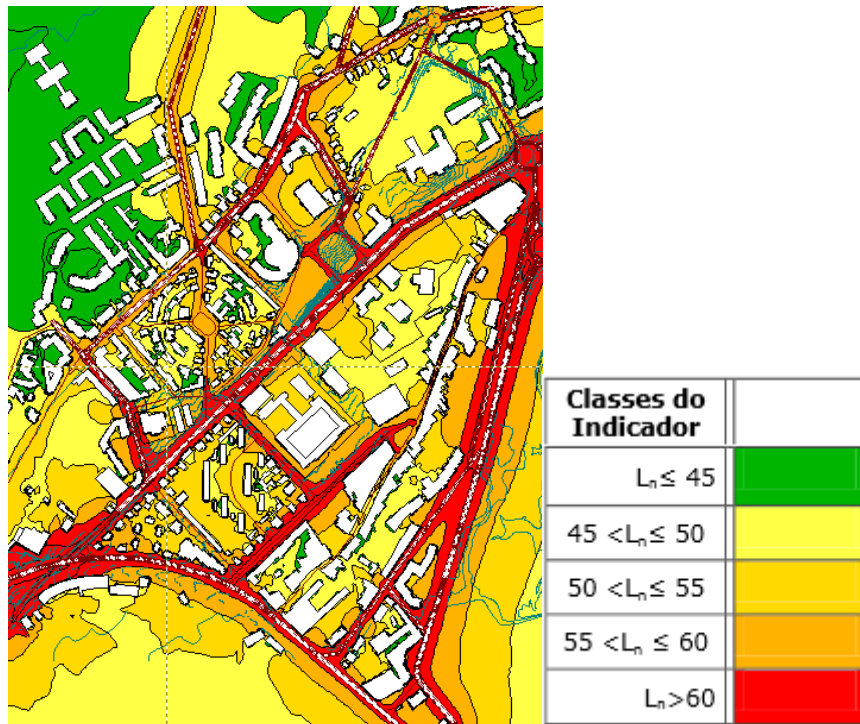


Figura 83 - Mapa de ruído para o cenário 3 L_n

4.4.4 Cenário 4- Combinação do cenário 2 e o cenário 3 e aplicações de outras medidas de redução de ruído

Este cenário resulta da união entre o cenário 2 e o cenário 3. No cenário 4 propõe-se então uma diminuição de 40% do tráfego total da Avenida Capitão Gaspar de Castro e restrição de circulação de veículos pesados. Outra das alterações realizadas no modelo será a substituição do pavimento em cubos nas ruas na proximidade da escola secundária (Rua São João de Deus a oeste e a Rua Manuel Fiúza Júnior a sul) por betuminoso, com o objetivo de obter melhor clima acústico na Escola Secundária de Santa Maria Maior. Por último é proposto a substituição da vedação por um muro, com uma altura de 3,5 metros, no limite do perímetro da Escola EB2,3 São Bartolomeu dos Mártires junto à Avenida Capitão Gaspar de Castro. A simulação efetuada do muro encontra-se ilustrada na figura seguinte.

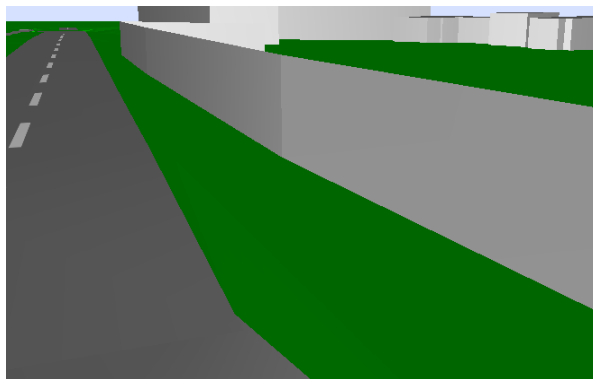


Figura 86 - Simulação do muro na Escola EB2,3 junto à Avenida

Assim, o tráfego resultante da Avenida Capitão Gaspar de Castro e da alternativa, Avenida 25 Abril e Estrada da Papanata, está representado na tabela seguinte.

Tabela 14 - Nova distribuição de tráfego das vias afetadas para o Cenário 4

Cenário 4				
Ligação	Fluxo Tráfego	Dia	Entardecer	Noite
Av. Cap. Gaspar de Castro (Troço 1)	Total Tráfego (veic/h)	831	589	170
	% Pesados	1,7	1,6	0,4
Av. Cap. Gaspar de Castro (Troço 2)	Total Tráfego (veic/h)	717	508	146
	% Pesados	2,0	1,9	0,4
Av. Cap. Gaspar de Castro (Troço 3)	Total Tráfego (veic/h)	748	530	152
	% Pesados	1,9	1,8	0,4
Av. Cap. Gaspar de Castro (Troço 4)	Total Tráfego (veic/h)	835	585	167
	% Pesados	1,9	1,4	0,4
Avenida 25 Abril	Total Tráfego (veic/h)	1226	788	181
	% Pesados	9,2	5,4	6,4
Estrada da Papanata	Total Tráfego (veic/h)	2245	1399	288
	% Pesados	4,7	2,9	3,6

As figuras seguintes representam então os mapas de ruído para o cenário 4, L_{den} e L_n .



Figura 87 - Mapa de ruído para o cenário 4 L_{den}

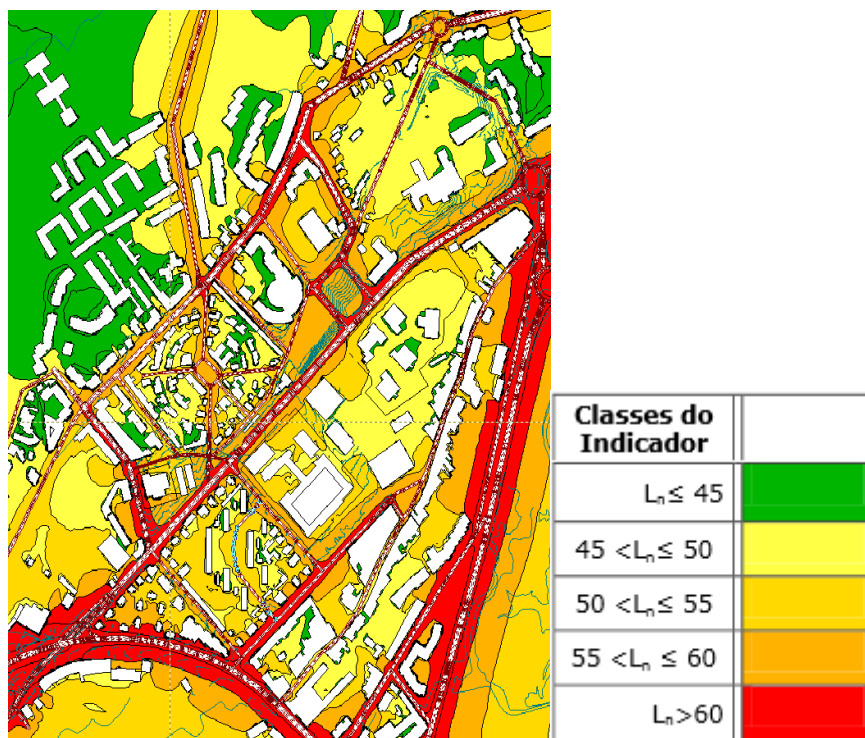


Figura 8884 - Mapa de ruído para o cenário 4 L_n

4.5 Cálculo das áreas de exposição ao ruído

Depois da obtenção dos mapas de ruído para os diferentes cenários, procedeu-se agora ao cálculo das áreas de exposição para as diferentes classes de ruído. Para esse efeito, recorreu-se a um SIG (Sistema de Informação Geográfica), um programa capaz de criar e manipular mapas, através de visualização, edição, criação e análise de dados geográficos [44].

Neste caso de estudo, foi utilizado este *software* para o cálculo das áreas de exposição a ruído ambiental.

Primeiramente preparou-se a exportação de dados do *CadnaA* para o SIG, sendo necessário mudar a aparência da grelha e ativar a opção “Áreas de igual nível sonoro” como demonstrado na figura seguinte. Esta operação permitiu a criação de uma *shape* tipo polígono. A segunda opção permitiu a divisão das classes de ruído de 5 em 5 dB, resultando no final da exportação das áreas, áreas correspondentes a intervalos de 5 dB.

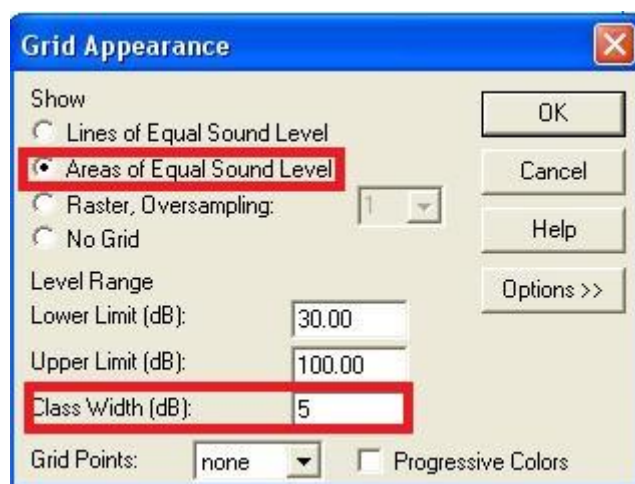


Figura 859 - Alterações na aparência da malha

Foram exportados os edifícios e estradas para todos os cenários em avaliação e para a situação atual. A exportação das isolinhas foi feita para todos os cenários de tráfego e para a situação atual e relativos aos indicadores L_{den} e L_n . Assim, no final desta operação obtivemos as seguintes *shapes*: edifícios, estradas, L_{den} e L_n para os cenários 1, 2 e 3 e para a situação atual.

A figura seguinte ilustra o menu onde se pode exportar as isolinhas assim como também o tipo de objeto pretendido.



Figura 90 - Opções de exportação para SIG

Foram introduzidas as unidades de S.I. através da opção “*Data Frame Properties*” por forma a obter áreas com unidades do mesmo sistema. Este processo está demonstrado na figura seguinte.

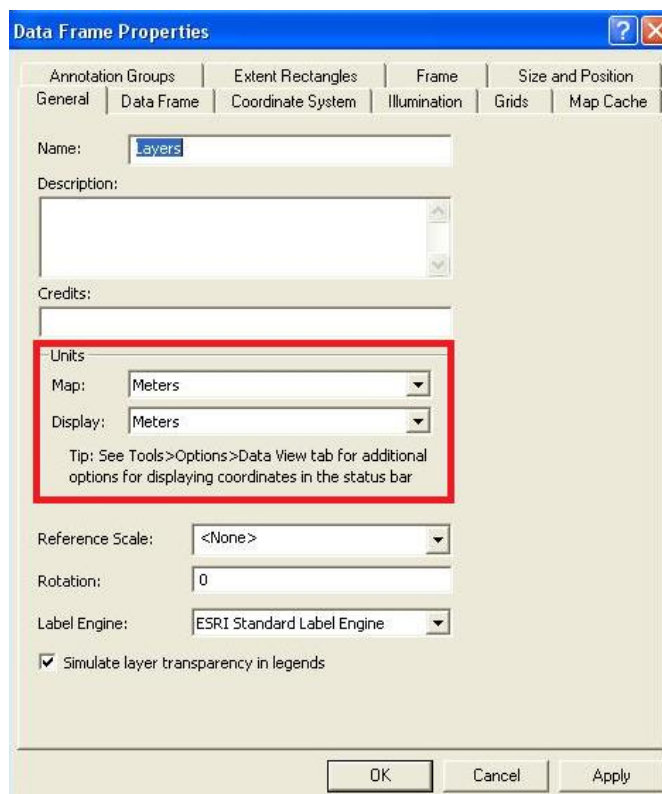


Figura 91 - Alteração das unidades

Na criação das *layers* é necessário adicionar as *shapes* que necessitamos para o projeto, escolhendo na lista da figura seguinte, as *shapes* necessárias à elaboração do projeto.

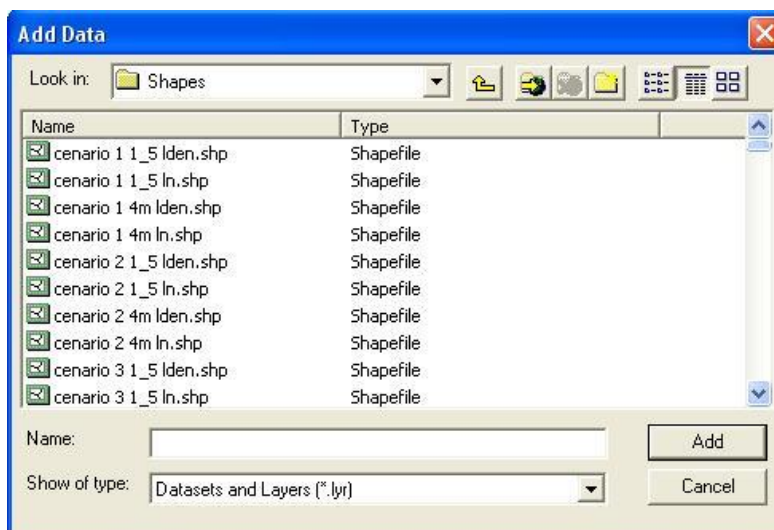


Figura 92 - *Shapes* para a criação de *layers* no SIG

Para uma melhor visualização e para permitir uma comparação visual com os mapas resultantes do *CadnaA*, foi adotada a paleta de cores em conformidade com as recomendações da APA. Esta operação encontra-se ilustrada na figura seguinte.

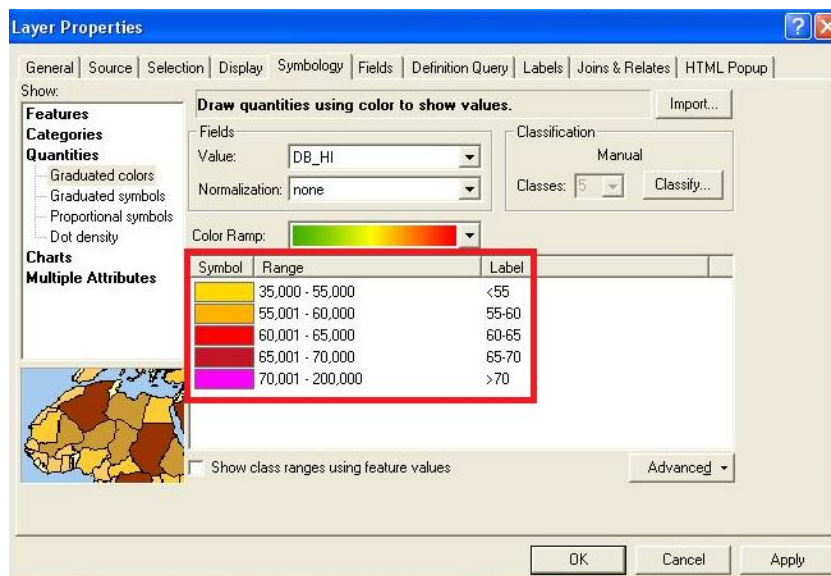


Figura 93 - Exemplo de uma alteração de cores das isolinhas para uma situação L_{den}

Este processo foi repetido para todas as *layers* de L_{den} e L_n , resultando modelos de SIG rigorosamente iguais a modelos *CadnaA*.

Finalizando este processo, o aspeto final do projeto ilustra-se na figura seguinte.

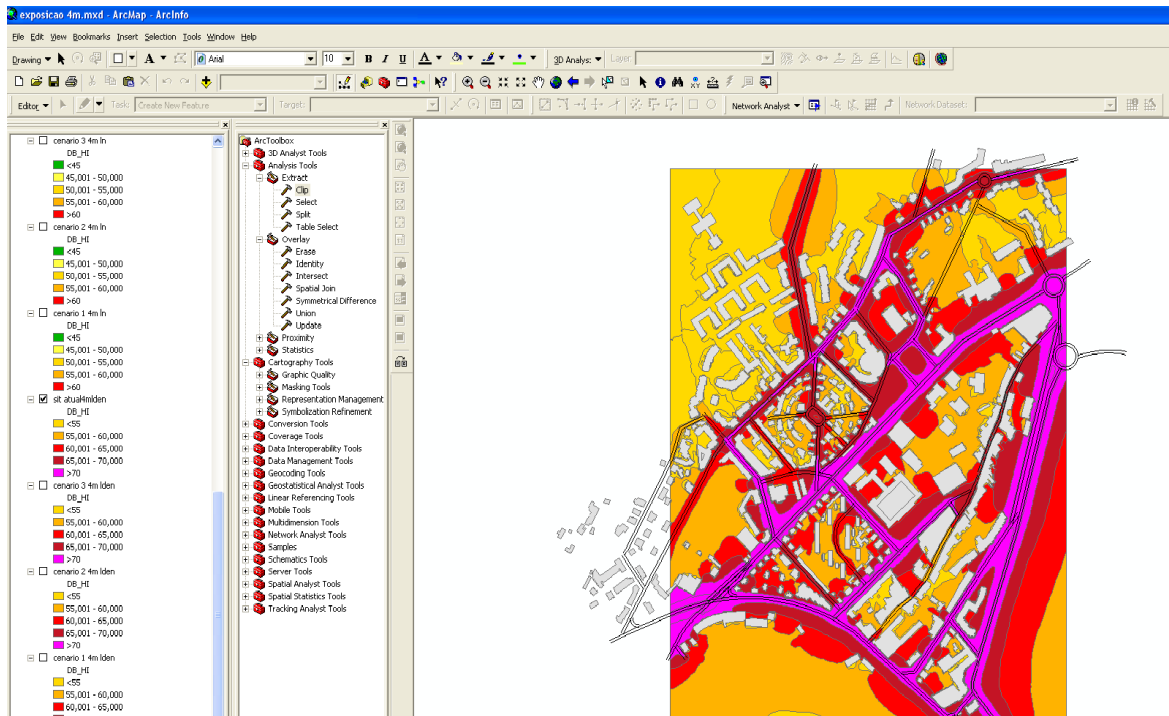


Figura 94 - Aspetto final do projeto SIG

O passo seguinte consistiu na criação de polígonos de área correspondente à área total da zona de estudo, três polígonos para as zonas sensíveis e um polígono para as zonas mistas.

Na criação de polígonos é necessário a criação de novas *shapes* tipo polígono como o demonstrado na figura seguinte.

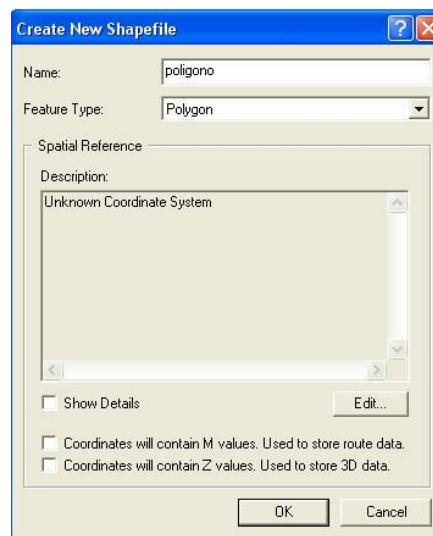


Figura 95 - Criação de nova *shape* tipo polígono

Após a criação da *shape*, procedeu-se então ao desenho do polígono da área total de estudo. Através do comando *clip* é então possível extrair a área do polígono à área total. A imagem seguinte ilustra o comando *clip*.

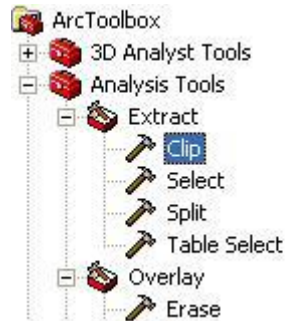


Figura 96 - Comando Clip

O aspeto final do polígono da área de estudo é o representado na figura seguinte.

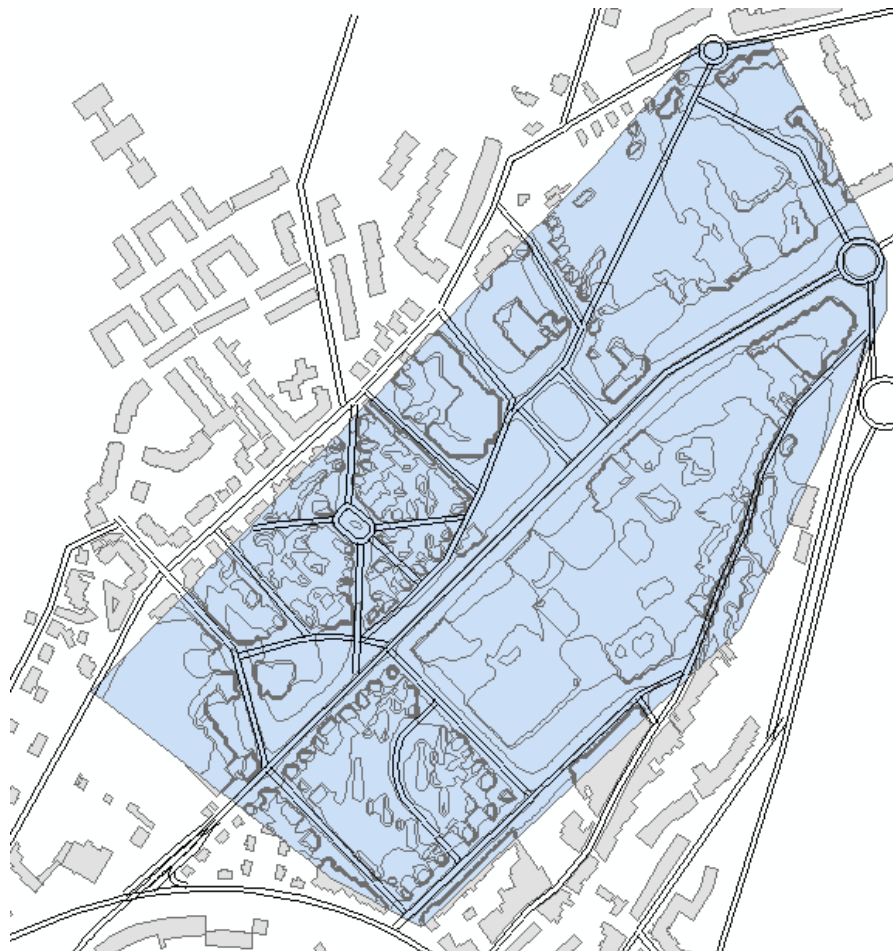


Figura 97 - Polígono da área de estudo

O mesmo processo foi realizado para a determinação dos polígonos das zonas sensíveis. O polígono da figura seguinte representa a área de implantação da Escola Secundária de Santa Maria Maior mas, foram também criados mais dois polígonos para as restantes zonas sensíveis.

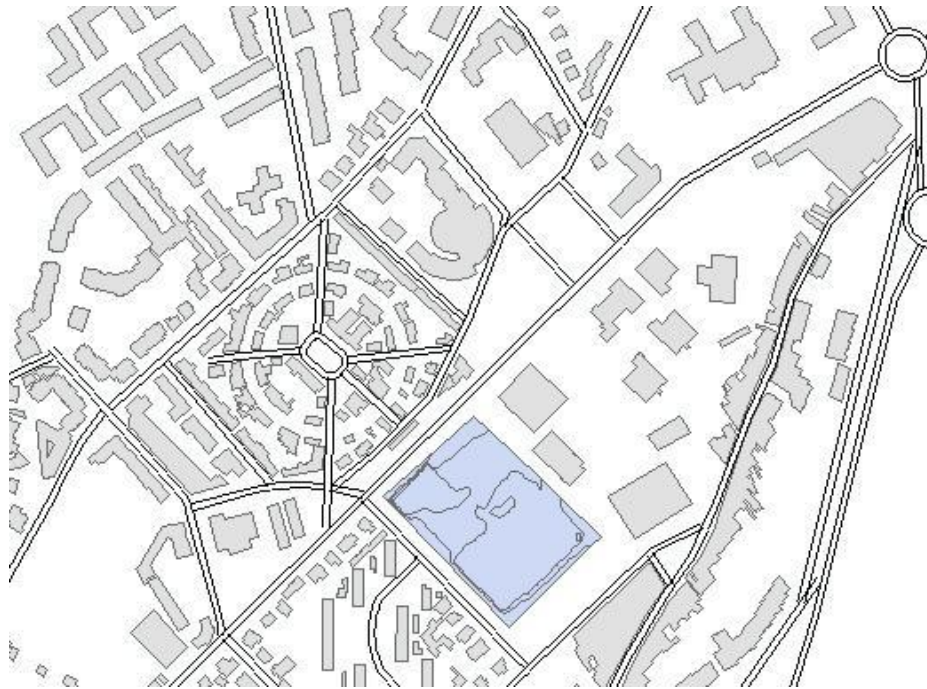


Figura 98 - Polígono da Escola Secundária

O processo para a determinação do polígono para as zonas mistas foi um processo ligeiramente diferente aos dois processos realizados anteriormente. Então a partir do polígono da área de estudo, subtraíram-se os três polígonos das zonas sensíveis, utilizando o comando *erase* apresentado na figura seguinte.

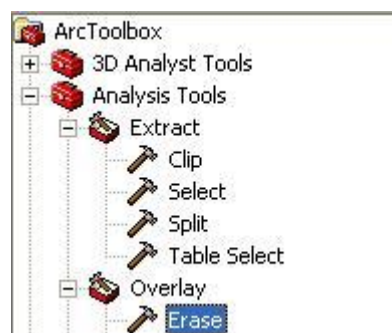


Figura 99 - Comando *erase*

Assim, o polígono final que representa as zonas mistas é o apresentado na figura seguinte.

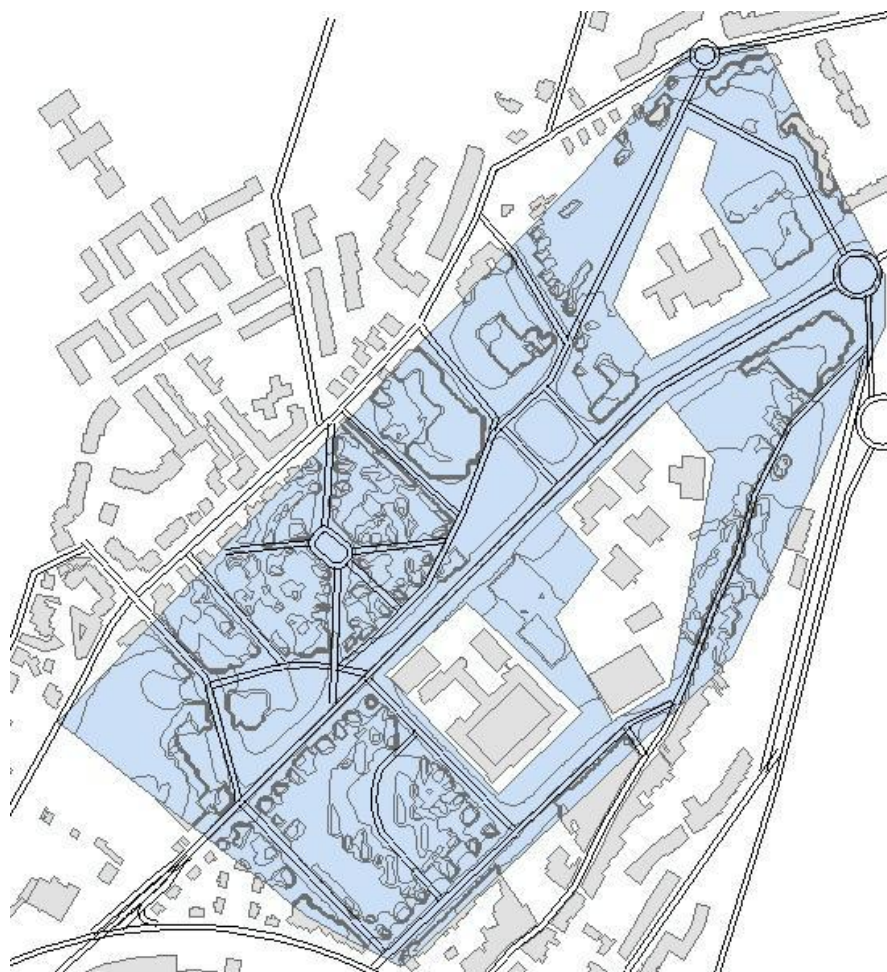


Figura 100 - Polígono das zonas mistas

Estão agora reunidas as condições para se proceder ao cálculo das áreas expostas ao ruído para todos os cenários e situação atual da área de estudo.

Os passos finais para a obtenção das áreas, passam pela criação na tabela de atributos, de cada cenário, um novo campo, o campo “Areas”, que nos permite o cálculo das áreas para diferentes intervalos de classes de ruído. Este processo foi realizado de forma repetitiva, de maneira a obter todas as áreas, para todos os cenários e situação atual, expostas às várias classes de ruído relativas aos indicadores L_{den} e L_n .

As figuras 101 a 105 apresentam o processo sequencial para a obtenção das áreas.

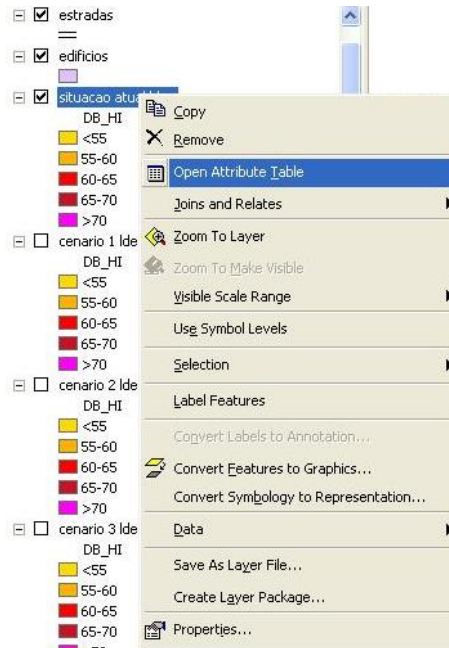


Figura 101 - Visualizar a tabela de atributos

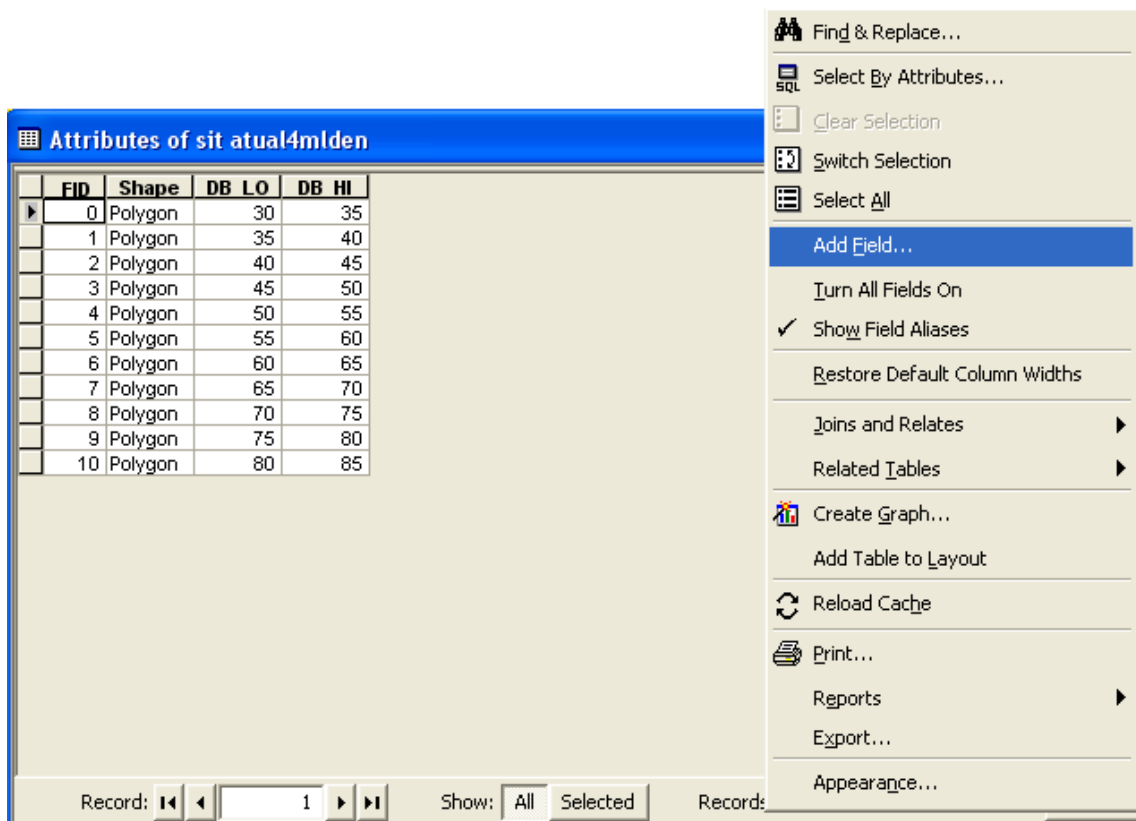


Figura 102 - Adicionar uma nova coluna à tabela de atributos

FID	Shape	DB LO	DB HI	Areas
0	Polygon	30	35	
1	Polygon	35	40	
2	Polygon	40	45	
3	Polygon	45	50	
4	Polygon	50	55	
5	Polygon	55	60	
6	Polygon	60	65	
7	Polygon	65	70	
8	Polygon	70	75	
9	Polygon	75	80	
10	Polygon	80	85	

Figura 103 - Cálculo do parâmetro “Areas”

Figura 104 - Código para o cálculo de áreas no SIG

FID	Shape	DB LO	DB HI	Areas
0	Polygon	35	40	912
1	Polygon	40	45	8196
2	Polygon	45	50	15633
3	Polygon	50	55	58615
4	Polygon	55	60	100062
5	Polygon	60	65	56065
6	Polygon	65	70	58413
7	Polygon	70	75	41894
8	Polygon	75	80	11347

Figura 105 - Áreas finais para os diferentes intervalos de classes de ruído, em m² para a situação atual L_{den} da totalidade da área de estudo

5 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE

Após a obtenção das áreas expostas ao ruído para todos os cenários e situação atual da área de estudo, partiu-se agora para a sua análise.

A análise dos resultados está dividida em dois subcapítulos: Análise de resultados da área de estudo global e uma análise de resultados para as zonas sensíveis, realizado individualmente para cada uma das zonas sensíveis.

5.1 Análise global dos resultados da área de estudo

As tabelas seguintes representam a totalidade da área exposta a cada classe de ruído e a percentagem da área total de cada intervalo de classe de ruído, em relação á área total da área estudada, para os indicadores L_{den} e L_n .

Tabela 15 - Áreas totais e percentagens de áreas totais para diferentes classes de ruído (L_{den})

Lden	Área (m²)				
Classes de ruído	Sit. Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
< 55 dB(A)	83356	67942	91960	88218	97906
55-60 dB(A)	100062	87247	102235	101590	105881
60-65 dB(A)	56065	68587	50840	52581	51128
65-70 dB(A)	58413	67960	61294	60305	60226
> 70 dB(A)	41894	53119	39938	42085	35997
Lden	% Área				
Classes de ruído	Sit. Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
< 55 dB(A)	24,5	19,7	26,6	25,6	27,9
55-60 dB(A)	29,4	25,3	29,5	29,5	30,2
60-65 dB(A)	16,5	19,9	14,7	15,3	14,6
65-70 dB(A)	17,2	19,7	17,7	17,5	17,2
> 70 dB(A)	12,3	15,4	11,5	12,2	10,3

Tabela 16 - Áreas totais e percentagens de áreas totais para diferentes classes de ruído (L_n)

L_n	Área (m²)				
Classes de ruído	Sit. Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
< 45 dB(A)	59180	55357	62117	59763	64807
45-50 dB(A)	104598	78646	111325	105942	116995
50-55 dB(A)	72148	87801	68362	71537	67561
55-60 dB(A)	61910	71687	64590	62635	64231
> 60 dB(A)	42401	51658	39052	42833	36679
L_n	% Área				
Classes de ruído	Sit. Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
< 55 dB(A)	17,4	16,0	18,0	17,4	18,50
55-60 dB(A)	30,7	22,8	32,2	30,9	33,40
60-65 dB(A)	21,2	25,4	19,8	20,9	19,29
65-70 dB(A)	18,2	20,8	18,7	18,3	18,34
> 70 dB(A)	12,5	15,0	11,3	12,5	10,47

Através da análise das tabelas anteriores pode-se concluir que, para os indicadores L_{den} e L_n , obtém-se melhorias para os cenários 2, 3 e 4. O cenário 1 não apresenta melhorias em termos globais. Um dos motivos para a não obtenção de melhorias é que as alternativas à circulação de tráfego que foram sugeridas neste cenário apresentam uma extensão maior, ou seja, os veículos têm que percorrer uma distância maior. Resultaram também melhorias significativas do cenário 4 em relação ao cenário 2, 3 e situação atual. No entanto, apresenta-se como um cenário que implica alterações de fundo na área de estudo, nomeadamente condicionalismos de circulação de veículos pesados, alteração de pavimentos e implementação de um muro.

5.2 Análise dos resultados das zonas sensíveis

Esta análise foi realizada individualmente, ou seja foi realizado um levantamento dos dados das áreas para a Escola Superior de Educação do IPVC, outro da Escola EB2,3 São Bartolomeu dos Mártires e por fim da Escola Secundária de Santa Maria Maior. Após a apresentação dos resultados obtidos, procedeu-se a uma análise visual dos mapas de ruído, comparando as melhorias em termos de emissões de ruído de cada um dos cenários face à situação atual.

5.2.1 Escola Superior de Educação do IPVC

Esta análise comparativa será realizada baseada em mapas obtidos para uma altura do recetor igual a 1,5 m. Foi feita uma análise a 1,5 m, em vez de 4 m pois, a Escola Superior de Educação do IPVC é constituída apenas por um piso.

Começamos então pela apresentação das áreas totais obtidas para cada classe de ruído da Escola Superior de Educação do IPVC apresentadas nas tabelas seguintes, para L_{den} e L_n .

Tabela 17 - Áreas totais para diferentes classes de ruído do IPVC (L_{den})

Lden	Área (m2)				
	Sit. Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
< 55 dB(A)	11192	5247	11699	11416	12320
55-60 dB(A)	6498	2063	6432	6397	2731
60-65 dB(A)	2423	5741	2682	2580	1688
65-70 dB(A)	2812	5723	2357	2714	0
> 70 dB(A)	312	27	0	28	0

Tabela 18 - Áreas totais para diferentes classes de ruído do IPVC (L_n)

Ln	Área (m2)				
	Sit. Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
< 45 dB(A)	11028	4998	11335	11101	11469
45-50 dB(A)	2485	5385	2942	2573	3203
50-55 dB(A)	2918	6324	2462	2899	2068
55-60 dB(A)	307	33	0	164	0
> 60 dB(A)	0	0	0	0	0

Segundo os valores recomendados pelo Decreto-Lei nº 09/2007, as emissões devem ser limitadas, para as zonas sensíveis em 55 dB(A) para o indicador L_{den} e 45dB(A) para o indicador L_n [9]. Através da análise das tabelas acima apresentadas, verifica-se que se obtêm melhorias significativas para os cenários 2, 3 e 4 em relação à situação atual e apresenta um agravamento no cenário 1, agravamento explicado pela introdução de duas novas ligações nas imediações da zona sensível neste cenário, que atualmente não existem.

As tabelas seguintes representam então as percentagens de áreas acima e abaixo dos limites legais relativos aos indicadores L_{den} e L_n .

Tabela 19 - % Áreas dentro e fora dos limites legais para zonas sensíveis do IPVC (L_{den})

Lden	db(A)	% Área				
		Sit. Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Zonas Sensíveis	≤ 55 dB(A)	48,16	27,91	50,49	49,35	73,60
	> 55 dB(A)	51,84	72,09	49,51	50,65	26,40

Tabela 20 - % Áreas dentro e fora dos limites legais para zonas sensíveis do IPVC (L_n)

Ln	db(A)	% Área				
		Sit. Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Zonas Sensíveis	≤ 45 dB(A)	65,89	29,86	67,72	66,33	68,51
	> 45 dB(A)	34,11	70,14	32,28	33,67	31,49

Através de uma análise visual, consegue-se então ter uma maior sensibilidade e retirar mais conclusões. A análise visual está representada nas duas imagens seguintes, para os indicadores L_{den} e L_n .



Figura 106 - Situação atual e cenários de tráfegos do IPVC (L_{den})



Figura 107 - Situação atual e cenários de tráfegos do IPVC (L_n)

Por fim, podemos concluir que o melhor cenário, ou seja o cenário que apresenta maiores melhorias em termos de clima acústico para esta zona sensível, é o cenário 4.

O cenário 1, apesar de apresentar um agravamento em termos globais, apresenta melhorias nas fachadas mais a sul.

O cenário 2 e 3 também apresentam melhorias mas, são inferiores às verificadas no cenário 4.

5.2.2 Escola EB2,3 São Bartolomeu dos Mártires

Procedeu-se agora à análise dos resultados da Escola EB2,3 São Bartolomeu dos Mártires. Foi feita uma análise também a 1,5 m, em vez de 4 m pois, a EB2,3 de São Bartolomeu dos Mártires é constituída por edifícios de um piso.

O enquadramento da análise será o mesmo que o efetuado no IPVC, apresentando em primeiro lugar as áreas totais obtidas para cada classe de ruído da Escola EB2,3 São Bartolomeu dos Mártires, para os indicadores L_{den} e L_n apresentadas nas tabelas seguintes.

Tabela 21 - Áreas totais para diferentes classes de ruído da EB2,3 (L_{den})

Lden	Área (m2)				
Classes de ruído	Sit. Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
< 55 dB(A)	20261	20462	22075	21140	22326
55-60 dB(A)	6284	6581	5251	5877	5332
60-65 dB(A)	2333	1846	1567	1872	1258
65-70 dB(A)	164	152	149	151	126
> 70 dB(A)	0	0	0	0	0

Tabela 22 - Áreas totais para diferentes classes de ruído da EB23 (L_n)

Ln	Área (m2)				
Classes de ruído	Sit. Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
< 45 dB(A)	17467	17711	18524	17733	19048
45-50 dB(A)	8919	9138	8668	8857	8370
50-55 dB(A)	2395	1943	1602	2197	1515
55-60 dB(A)	261	250	247	253	108
> 60 dB(A)	0	0	0	0	0

Como realizado anteriormente, é importante analisar as percentagens de áreas totais que se encontram dentro e fora dos limites legais. As tabelas seguintes representam então as percentagens de áreas expostas dentro e fora dos limites legais para L_{den} e L_n .

Tabela 23 - % Áreas dentro e fora dos limites legais para zonas sensíveis da EB23 (L_{den})

Lden	db(A)	% Área				
		Sit. Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Zonas Sensíveis	≤ 55 dB(A)	64,91	63,41	67,68	66,70	76,87
	> 55 dB(A)	35,09	36,59	32,32	33,30	23,13

Tabela 24 - % Áreas dentro e fora dos limites legais para zonas sensíveis da EB23 (L_n)

Ln	db(A)	% Área				
		Sit. Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Zonas Sensíveis	≤ 45 dB(A)	51,64	48,96	55,41	52,82	65,59
	> 45 dB(A)	48,36	51,04	44,59	47,18	34,41

Por fim, apresentam-se de seguida os mapas da EB2,3, permitindo uma análise visual, para os indicadores L_{den} e L_n .



Figura 108 - Situação atual e cenários de tráfegos da EB2,3 (L_{den})



Figura 109 - Situação atual e cenários de tráfegos da EB2,3 (L_n)

Pode-se então concluir através da consulta das tabelas e análise dos mapas de ruído acima que, efetivamente, no cenário 4 resultam melhorias bastante significativas em redução de

ruído para L_{den} e L_n na EB2,3 São Bartolomeu dos Mártires, isto deve-se ao facto da introdução do muro que funciona como barreira acústica.

Podemos também concluir também, que os cenários 1,2 e 3 em termos globais apresentam também melhorias em relação à situação atual.

5.2.3 Escola Secundária Santa Maria Maior

Procedeu-se agora à análise dos resultados da Escola Secundária Santa Maria Maior. Apresenta-se em primeiro lugar as áreas expostas calculadas para cada classe de ruído da Escola Secundária Santa Maria Maior nas tabelas seguintes, relativas aos indicadores L_{den} e L_n para mapas de altura igual a 4m pois, a escola é constituída por edifícios com mais de um piso.

Tabela 25 - Áreas totais para diferentes classes de ruído da Escola Secundária (L_{den})

Lden	Área (m2)				
Classes de ruído	Sit. Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
< 55 dB(A)	15	0	239	100	743
55-60 dB(A)	9248	9391	11271	10753	12434
60-65 dB(A)	5804	5812	3878	4416	3464
65-70 dB(A)	2179	2099	2026	2041	806
> 70 dB(A)	200	143	32	136	0

Tabela 26 - Áreas totais para diferentes classes de ruído da Escola Secundária (L_n)

Ln	Área (m2)				
Classes de ruído	Sit. Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
< 45 dB(A)	0	0	12	0	24
45-50 dB(A)	5399	5200	7148	5861	10796
50-55 dB(A)	9431	9771	8012	9060	5714
55-60 dB(A)	2440	2346	2261	2375	912
> 60 dB(A)	176	129	13	150	0

Agora é também importante analisar as percentagens de áreas totais que se encontram dentro e fora dos limites legais. As tabelas seguintes representam então as percentagens de áreas expostas dentro e fora dos limites legais para L_{den} e L_n .

Tabela 27 - % Áreas dentro e fora dos limites legais para zonas sensíveis da Esc. Sec. (L_{den})

L_{den}	db(A)	% Área				
		Sit. Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Zonas Sensíveis	≤ 55 dB(A)	0,1	0,0	1,4	0,6	4,2
	> 55 dB(A)	99,9	100,0	98,6	99,4	95,8

Tabela 28 - % Áreas dentro e fora dos limites legais para zonas sensíveis da Esc. Sec. (L_n)

L_n	db(A)	% Área				
		Sit. Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Zonas Sensíveis	≤ 45 dB(A)	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1
	> 45 dB(A)	100,0	100,0	99,9	100,0	99,9

Por fim, apresenta-se de seguida as imagens dos mapas da Escola Secundária de Santa Maria Maior, permitindo realizar uma crítica através de uma análise visual, para os indicadores L_{den} e L_n .



Figura 110 - Situação atual e cenários de tráfegos da Escola Secundária (L_{den})



Figura 111 - Situação atual e cenários de tráfegos da Escola Secundária (L_n)

Através de uma análise visual, podemos verificar que o cenário que apresenta maiores melhorias em termos de ruído é novamente o cenário 4. No entanto, quase a totalidade da área de implementação da escola encontram-se acima dos limites legais, 55dB(A) para L_{den} (95,6%) e 45 dB(A) para L_n (99,9%).

Pode-se então concluir que a alteração do pavimento das ruas São João de Deus e Manuel Fiúza Júnior contribuem muito para estas melhorias no cenário 4, sendo possível ver que as reduções de emissões sonoras são mais consideráveis na proximidade das ruas onde se realizou a substituição do pavimento (ruas a oeste e a sul das imagens acima) do que a redução de emissões de ruído, na via onde se realizou a redistribuição de tráfego a norte das imagens.

6 CONCLUSÕES

Após análise de todos os resultados obtidos, conclui-se que o melhor cenário estudado é o cenário 4.

O cenário 1 que consistia numa reorganização do tráfego proposto em anteprojecto pela Câmara Municipal de Viana do Castelo, não traz melhorias significativas e em algumas zonas, resultam agravamentos em termos de áreas expostas ao ruído. No entanto, na proximidade da Avenida Capitão Gaspar de Castro também foram conseguidas melhorias do ambiente acústico.

O cenário 2 apresenta resultados melhores do que o cenário 3 podendo ser um cenário a ter em conta a médio prazo.

O cenário 3 apresenta-se como o cenário de implementação imediata e também apresenta resultados positivos, em todas as zonas sensíveis e também na área de estudo em geral.

O cenário 4 é o melhor cenário estudado, no entanto, é o que necessita de maiores investimentos e restrições para a obtenção dos resultados aqui apresentados. Poderá ser uma proposta a equacionar a longo prazo.

Em síntese podemos então afirmar que quando são aplicadas medidas de redução de ruído mais profundas, nomeadamente barreiras acústicas e alterações de pavimentos, obtém-se resultados bastantes melhores do que quando apenas realizamos redistribuição de tráfego. O ideal será portanto fazer coincidir ao mesmo tempo, todas estas medidas de redução de ruído.

Tendo tudo isto em consideração surgiu então o cenário 4, apresentando-se como a melhor solução estudada neste estudo mas, que obviamente implica um maior número de medidas de redução de ruído.

Ainda assim e apesar da aplicação de várias medidas de redução de ruído no cenário 4, encontram-se ainda áreas sobreexpostas nas zonas sensíveis mas em menor número, quando comparando com o cenários 2 e situação atual, tanto para os indicadores L_{den} e L_n como demonstrado nas tabelas seguintes, para as zonas sensíveis.

Tabela 29 - Comparação de resultados cenário 2 VS cenário 4 para zonas sensíveis (L_{den})

Lden	db(A)	Total de área			% Área		
		Sit. Atual	Cenário 2	Cenário 4	Sit. Atual	Cenário 2	Cenário 4
Zonas Sensíveis	≤ 55 dB(A)	31468	34013	35389	49,77	53,80	55,97
	> 55 dB(A)	31759	29213	27839	50,23	46,20	44,03

Tabela 30 - Comparação de resultados cenário 2 VS cenário 4 para zonas sensíveis (L_n)

Ln	db(A)	Total de área			% Área		
		Sit. Atual	Cenário 2	Cenário 4	Sit. Atual	Cenário 2	Cenário 4
Zonas Sensíveis	≤ 45 dB(A)	28495	29871	30541	45,07	47,24	48,30
	> 45 dB(A)	34731	33355	32686	54,93	52,76	51,70

Através da análise dos resultados obtidos nas zonas sensíveis, concluímos então que o indicador L_n é o indicador em que os resultados obtidos são menos satisfatórios pois, apresentam uma maior área sobreexposta. Este facto é atenuado pois, como as zonas sensíveis da área de estudo são escolas, estas não funcionam, normalmente durante o período noturno (período entre as 23 e as 7h).

Em relação à situação L_{den} existe uma clara melhoria em mais de 2% do total de área no cenário 4 em relação ao cenário 2, uma melhoria bastante significativa.

Em relação às zonas mistas, também existem mais melhorias no indicador L_{den} comparativamente com o indicador L_n como está demonstrado nas tabelas seguintes.

Tabela 31 - Comparação de resultados cenário 2 *versus* cenário 4 para zonas mistas (L_{den})

Lden	db(A)	Total de área		% Área	
		Cenário 2	Cenário 4	Cenário 2	Cenário 4
Zonas mistas	≤ 65 dB(A)	245035	254915	70,76	72,60
	> 65 dB(A)	101232	96223	29,24	27,40

Tabela 32 - Comparação de resultados cenário 2 *versus* cenário 4 para zonas mistas (L_n)

Ln	db(A)	Total de área		% Área	
		Cenário 2	Cenário 4	Cenário 2	Cenário 4
Zonas mistas	≤ 55 dB(A)	241804	249363	70,00	71,19
	> 55 dB(A)	103642	100910	30,00	28,81

Através da análise dos resultados obtidos nas zonas mistas, concluímos então que os resultados obtidos para as zonas mistas são bastante satisfatórios, apresentando para o cenário 4, 72,60% do total da área dentro dos limites legais para o indicador L_{den} e 71,19% para o indicador L_n .

Por fim, podemos então concluir que todos os cenários estudados à exceção do cenário 1 resultam numa melhoria acústica da zona de estudo, apesar de ainda apresentarem áreas acima dos limites legais.

A Escola Secundária de Santa Maria Maior é a zona sensível que apresenta pior clima acústico apesar dos esforços realizados para a sua diminuição, operando na fonte de ruído. Sugere-se então uma intervenção no recetor, ou seja, através do melhoramento do isolamento acústico das fachadas ou no aumento do tamanho dos muros.

No entanto, a intervenção no recetor deverá ser uma medida a considerar em todas as zonas sensíveis pois, todas apresentam zonas de conflito. Então, como medida adicional recomenda-se o reforço dos vãos envidraçados e das envolventes opacas nas fachadas mais expostas dos edifícios sensíveis.

Conclui-se então que os objetivos deste trabalho foram alcançados. Através da aplicação de medidas de redução de ruído na área de estudo (redistribuições de tráfego, introdução de muros e alterações de pavimentos) conseguiu-se obter um melhoramento significativo do ambiente acústico da área de estudo.

7 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Existem ainda algumas medidas de redução de ruído que não foram abordadas neste estudo que visam também o melhoramento do clima acústico da Avenida Capitão Gaspar de Castro.

Entre essas medidas, podemos destacar:

- Lombas com forma circular (atenuação de ruído até 2dB(A)) [16];
- Estreitamento de outras vias (atenuação de ruído até 2dB(A)) [16];
- Utilização de gincanas;
- Interseções em “T”;
- Simulação de outro tipo de pavimentos, como por exemplo, betuminosos com borracha e betuminosos drenantes;
- Diminuição do número de passagens dos *BUS* em período noturno e/ou utilização apenas dos miniautocarros (menos ruidosos) na área de estudo, contribuindo para o melhoramento do indicador L_n .

As medidas destacadas anteriormente em conjunto com as medidas aplicadas neste estudo conduziriam ainda a melhor clima acústico e melhoramento da qualidade de vida das pessoas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

- [1] Agência Portuguesa do Ambiente (2004). O Ruído e a Cidade adaptado de: Ministère de l'Équipement et de l'Aménagement du Territoire (1978), *Le bruit et la ville*, Paris, França
- [2] The Regional Office for Europe of the World Health (2011). *Burden of disease from environmental noise (Quantification of healthy life years lost in Europe)*, Warlich, Copenhaga, Dinamarca
- [3] Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, Regulamento Geral do Ruído (RGR), Lisboa, Portugal
- [4] Pinto, Francisco R. et al. (2004). *Projecto-piloto de demonstração de mapas de ruído*, Instituto do Ambiente, Amadora, Portugal
- [5] Directiva 2002/49/CE de 25 de Junho de 2002, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, Parlamento Europeu e Conselho Europeu
- [6] NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB, publicado no «Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal Officiel du 10 mai 1995, article 6»)
- [7] Site Ciência Divertida. Acedido em 2013, (<http://cienciadivertida.com>)
- [8] Silva, P.M. (1975). 'Ruído de tráfego Rodoviário'. Laboratório de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal
- [9] Cunha, Maria Luísa Santos Oliveira e. O planeamento territorial como um instrumento de política para operacionalização do desenvolvimento sustentável
- [10] WCED (1987). *Our Common Future*, World Commission for the Environment and Development, Oxford, Oxford University Press
- [11] Bartelmus, P. (1994). *Environment, Growth and Development*, London, Routledge
- [12] IUCN International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources (1980)
- [13] Lelé (1991). *Sustainable Development: a Critical Review in World Development*, Vol. 19
- [14] Nogueira, T. & Pinho, P (1997). *Desenvolvimento Ambientalmente Sustentável – Perspectivas Teóricas sobre a Contribuição do Planeamento Territorial e da Avaliação Ambiental*, Apontamentos da Disciplina de Legislação e Administração do Ambiente, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal

- [15] Marshall, T. (1992). "A Review of Recent Developments in European Environmental Planning", in *Journal of Environmental Planning and Management*, Vol35, N2, pp129-144
- [16] Carvalho, A. P. Oliveira de; Rocha, Cecília (2008). *Manual técnico para elaboração de Planos municipais de redução de ruído*, Agência Portuguesa do Ambiente, Porto, Portugal
- [17] Silva, Lígia T. (2009). *Manual de apoio à disciplina de Qualidade do Ambiente Construído*, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal
- [18] Almeida, Maria Manuela O. G. de. *Manual de apoio à disciplina Física das Construções (Capítulo 8- Acústica Ambiental)*, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal
- [19] Matos, João; Fradique, Jorge; Tavares, Luís; Guedes, Margarida; Leite, Maria João (2011). *Guia prático para medições de ruído ambiente*, APA, Amadora, Portugal
- [20] Site Accoustic.org. Acedido em 2013, (<http://www.acoustics.org/>)
- [21] Coelho, J. L. Bento; Ferreira, António José (2009). *Critérios para análise de relações exposição-impacte de ruído de infra-estruturas de transporte*
- [22] Site Federal Highway Administration. Acedido em 2013 (<http://www.fhwa.dot.gov/>)
- [23] Bragança, Luís; Freitas, Elisabete; Pinheiro, Daniel. *Eficácia de barreiras acústicas*, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal
- [24] Decreto-Lei nº 129/2002 de 11 de Maio, *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE)*, Lisboa, Portugal
- [25] SMILE (Sustainable Mobility Initiatives for Local Environment) (2003). *Guidelines for road traffic noise abatement*, Berlin, Germany
- [26] DGMR, *Soundscape awards winner 2014*, Alverna, Netherlands
- [27] Vákár, László (2009). *The Sustainable Highway, Glass on Web*, GPD
- [28] Site Pronto Bus. Acedido em 2013, (<http://www.prontobus.com/>)
- [29] Site CIVITAS. Acedido em 2013, (www.civitas-iniciative.org)
- [30] Eugénio, Bruno. *Integrated acessibility planning*, CIVITAS Program, Porto, Portugal
- [31] São Martinho, Bárbara. *The Mobility Shop*, CIVITAS Program, Porto, Portugal
- [32] Site Move-me. Acedido em 2013 (<http://www.move-me.mobi/Home/About>)

- [33] Almada-Lobo, Bernardo. Light-weight Hybrid Bus Shuttle, CIVITAS Program, Porto, Portugal
- [34] Decreto-Lei nº 146/2006 de 31 de Julho, Diretiva do Ruído Ambiente (DRA), Lisboa, Portugal
- [35] Site Câmara Municipal Viana do Castelo. Acedido em 2013, (<http://cm-viana-castelo.pt/>)
- [36] Site Olhar Viana do Castelo. Acedido em 2013 (<http://olharvianadocastelo.blogspot.pt>)
- [37] Guedes, Margarida; Leite, Maria João; Sequeira, Nuno (2008). Directrizes para elaboração de mapas de ruído, APA, Amadora, Portugal
- [38] Mendes, José; Silva, Lígia T.; Miranda, Vasco (2008). Mapa de ruído ambiente do território municipal de Viana do Castelo, Guimarães, Portugal
- [39] Mendes, José; Ribeiro, Paulo; Silva, Lígia T.; Fontes, André. Projeto de mobilidade sustentável de Viana do Castelo, Guimarães, Portugal
- [40] Site Câmara Municipal Viana do Castelo. Acedido em 2013, (<http://cm-viana-castelo.pt/pt/planta-de-condicionantes>), Planta de Zonamento Acústico
- [41] DataKustic, CadnaA à primeira vista
- [42] Google Maps. Acedido em Julho de 2013
- [43] Mendes, José; Silva, Lígia T.; Silva, Ângela (2010). Campanha de Contagem de tráfego na Avenida Capitão Gaspar de Castro e vias envolventes, Guimarães, Portugal
- [44] Site ArcGIS. Acedido em 2013, (www.arcgis.com)