

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ivone Raquel Soares De Oliveira

**Avaliação do ruído ambiente na
envolvente das escolas do 1.º
ciclo básico da cidade de Braga**



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Ivone Raquel Soares De Oliveira

**Avaliação do ruído ambiente na
envolvente das escolas do 1º
ciclo básico da cidade de Braga**

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação da
**Prof. Doutora Lígia Maria Marques
de Oliveira Torres Silva**

Outubro de 2012

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Prof.^a Doutora Lígia Torres Silva, pelos seus conhecimentos, disponibilidade, conselhos, sugestões e dedicação.

Ao Dr. Armindo Cancelinha, adjunto das escolas do 1º ciclo do Agrupamento de Escolas de Lamações, pela sua disponibilidade e compreensão.

À Prof.^a Maria da Luz Meira, coordenadora da EB1 de S. João do Souto, pela sua compreensão, disponibilidade simpatia e atenção.

À Prof.^a Maria Clara Teodoro, coordenadora da EB1 de S. Victor, pela sua compreensão, disponibilidade e simpatia.

À Prof.^a Isabel Braga Simões, coordenadora da EB1 da Sé, pela sua compreensão, disponibilidade e simpatia.

À Prof.^a Oscarina, da EB1 de S. João do Souto, à Prof.^a Fátima, da EB1 de S. Victor e à Prof.^a Sandra, da EB1 da Sé, pela sua disponibilidade e compreensão

À Dona Judite, auxiliar de ação educativa da EB1 da S. João do Souto, pela sua simpatia, disponibilidade, compreensão e preocupação.

À Dona Lúcia, auxiliar de ação educativa da EB1 de S. Victor, pela sua compreensão.

À menina Joana, auxiliar de ação educativa da EB1 da Sé, pela sua simpatia e compreensão.

Aos alunos do 3º e 4º ano da EB1 de S. João do Souto, EB1 de S. Victor e EB1 da Sé pela sua participação e aos respetivos encarregados de educação pela sua compreensão.

À Dona Anabela Sampaio pela sua atenção e disponibilidade.

Ao Prof. Daniel Rodrigues pela sua atenção.

Aos meus pais, Manuel Oliveira e Maria Palmira Pereira, pelo seu amor, carinho, amizade, educação, preocupação, esforço e apoio.

Ao André Pinheiro por todo seu apoio, carinho e amor.

À Elizabete de Almeida por toda sua amizade.

RESUMO

O trabalho desenvolvido ao longo deste projeto de investigação pretende avaliar o ruído ambiente na envolvente de três escolas do 1º ciclo do ensino básico da cidade de Braga.

Na avaliação dos níveis de ruído adotou-se três metodologias: avaliação objetiva, avaliação subjetiva e modelação matemática do ruído ambiente. A avaliação objetiva baseou-se na caracterização do ruído ambiente através de medições com um sonómetro que mediu os níveis de pressão sonora no exterior, próximo das fachadas dos edifícios escolares, e no interior das salas de aula. As medições seguiram a norma NP ISO1996:2011, 1-2. Os resultados obtidos nas medições de ruído ambiente no exterior foram comparados com os valores limites de exposição do artigo 11º do Regulamento Geral do Ruído, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de janeiro. A avaliação subjetiva baseou-se na elaboração de inquéritos a alunos do 3º e 4º ano de escolaridade, a professores e a auxiliares de ação educativa. Na modelação matemática do ruído ambiente utilizou-se o método recomendado pela Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de junho de 2002 relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. Esta diretiva recomenda que para o cálculo do ruído de tráfego rodoviário deve ser utilizado o método provisório de cálculo, NMPB 96.

Os resultados das medições de ruído ambiente revelaram que as fachadas mais expostas estão sujeitas a valores superiores ao valor limite imposto pela legislação para zonas sensíveis, 55 dB(A). Os resultados das medições no interior das salas de aula, com os alunos, foram superiores aos valores medidos no exterior. Na análise da avaliação percetual, constatou-se que o ruído gerado no interior da sala de aula é o mais percetível. Também se verificou a perceção ao ruído proveniente do exterior da escola. O modelo utilizado na modelação matemática do ruído ambiente encontra-se ajustado e apto a receber as contagens médias reais de tráfego rodoviário para a elaboração dos mapas de ruído na envolvente das escolas.

Conclui-se que o ruído ambiente na envolvente das escolas atinge valores superiores ao valor limite imposto pela legislação e que os níveis de ruído medidos no interior devem-se ao ruído gerado na sala de aula e nas salas adjacentes.

Palavras-Chave: Ruído Ambiente, Tráfego Rodoviário, Escolas do 1º Ciclo

ABSTRACT

The work developed during this research project assesses the environmental noise around three primary schools in the city of Braga.

In the assessment of noise levels was adopted three methodologies: objective evaluation, subjective evaluation and mathematical environmental noise modeling. The objective evaluation based on the characterization of environmental noise through measurements with a sound level meter that measured the sound pressure levels outside, near the building facades and inside the classrooms. The measurements followed the NP ISO 1996:2011, 1-2, the results obtained in measurement of environmental noise abroad were compared with the exposure limits of article 11º of the General Regulation of Noise, approved by Decree-Law no. 9/2007 of 17 January. Subjective evaluation was based on inquests to students who attend the third and fourth grade, to teachers and educational auxiliary's action. In mathematical modeling of environmental noise, it was used the method recommended by Directive 2002/49/CE of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise. This policy recommends that for the calculation of road traffic noise should be used the provisional method of calculating, NMPB 96.

Measurement results of environmental noise show that the most exposed facades of schools are subject to values higher than the value imposed by law for sensitive areas, 55 dB(A). The results of measurements inside the classrooms, with the students, were higher to values measured on the facades. In the analysis of subjective evaluation, it was found that the noise generated inside the classroom is more noticeable. It was found also the perception to outside noise of school. The model used in the mathematical modeling of environmental noise is adjusted and ready to receive average counts of traffic road to obtain noise maps around schools.

Concluding, the environmental noise around schools reaches values higher to value imposed by the law and that the noise levels measured inside owe the noise generated in classrooms.

Keywords: Environmental Noise, Road Traffic, Primary Schools

ÍNDICE

| | | |
|--------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1 | Enquadramento | 1 |
| 1.2 | Objetivos da Dissertação | 3 |
| 1.2.1 | Objetivo Geral | 3 |
| 1.2.2 | Objetivos Específicos | 3 |
| 1.3 | Estrutura da Dissertação | 3 |
| 2 | RUÍDO AMBIENTE..... | 5 |
| 2.1 | Som e Ruído..... | 5 |
| 2.2 | Caraterísticas do Som | 6 |
| 2.3 | Caraterísticas de uma Onda Sonora | 6 |
| 2.4 | Audibilidade Humana | 8 |
| 2.5 | Caraterísticas do Ruído | 9 |
| 2.6 | Propagação do Ruído | 11 |
| 2.7 | Enquadramento Legal | 15 |
| 2.8 | Indicadores de Ruído Ambiental | 16 |
| 2.9 | Equipamentos de Medição de Ruído Ambiental | 18 |
| 2.10 | Métodos de Avaliação de Ruído Ambiental | 19 |
| 2.11 | Fontes de Ruído Ambiental..... | 23 |
| 2.12 | Efeitos do Ruído no Homem..... | 24 |
| 2.12.1 | Efeitos Auditivos | 25 |
| 3 | RUÍDO EM ESCOLAS..... | 29 |
| 3.1 | Importância do Ambiente Escolar | 29 |
| 3.2 | Inteligibilidade da Fala | 29 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.3 | Propagação do Som no Interior de uma Sala de Aula | 31 |
| 3.4 | Fontes de Ruído na Sala de Aula | 32 |
| 3.5 | Influência do Ruído na Escola | 33 |
| 3.6 | Valores Padrão de Acústica em Salas de Aula | 34 |
| 3.6.1 | OMS | 34 |
| 3.6.2 | ANSI S12.60-2002 | 35 |
| 3.6.3 | BB 93 | 35 |
| 3.6.4 | ASHA e BATOD | 36 |
| 3.7 | Níveis de Ruído nas Escolas e o Enquadramento Legal Português | 37 |
| 3.8 | Níveis de Ruído nas Salas de Aula | 38 |
| 3.9 | Importância da Acústica nas Salas de Aula | 39 |
| 4 | CASOS DE ESTUDO | 45 |
| 4.1 | Metodologia | 45 |
| 4.1.1 | Avaliação Objetiva | 46 |
| 4.1.2 | Avaliação Subjetiva | 49 |
| 4.1.3 | Modelação Matemática do Ruído Ambiente | 50 |
| 4.2 | EB1 de S. João do Souto | 51 |
| 4.2.1 | Localização do Edifício Escolar | 51 |
| 4.2.2 | Descrição dos Espaços Escolares | 52 |
| 4.2.3 | Identificação e Descrição das Principais Fontes de Ruído | 52 |
| 4.2.4 | Pontos de Medição de Ruído Ambiente no Exterior | 53 |
| 4.2.5 | Pontos de Medição de Ruído Ambiente no Interior | 54 |
| 4.2.6 | Caraterização dos Inquiridos | 55 |
| 4.2.7 | Modelação Matemática do Ruído Ambiente | 56 |
| 4.3 | EB1 de S. Victor | 57 |
| 4.3.1 | Localização do Edifício Escolar | 57 |
| 4.3.2 | Descrição dos Espaços Escolares | 58 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.3.3 | Identificação e Descrição das Principais Fontes de Ruído | 58 |
| 4.3.4 | Pontos de Medição de Ruído Ambiente no Exterior | 59 |
| 4.3.5 | Pontos de Medição de Ruído Ambiente no Interior | 61 |
| 4.3.6 | Caraterização dos Inquiridos | 61 |
| 4.3.7 | Modelação Matemática do Ruído Ambiente | 63 |
| 4.4 | EB1 da Sé..... | 64 |
| 4.4.1 | Localização do Edifício Escolar | 64 |
| 4.4.2 | Descrição dos Espaços Escolares | 64 |
| 4.4.3 | Identificação e Descrição das Principais Fontes de Ruído | 65 |
| 4.4.4 | Pontos de Medição de Ruído Ambiente no Exterior | 67 |
| 4.4.5 | Pontos de Medição de Ruído Ambiente no Interior | 68 |
| 4.4.6 | Caraterização dos Inquiridos | 69 |
| 4.4.7 | Modelação Matemática do Ruído Ambiente | 71 |
| 5 | RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO | 73 |
| 5.1 | EB1 de S. João do Souto..... | 73 |
| 5.1.1 | Medições de Ruído Ambiente | 73 |
| 5.1.2 | Avaliação Percetual | 76 |
| 5.1.3 | Modelação Matemática do Ruído..... | 86 |
| 5.2 | EB1 de S. Victor | 89 |
| 5.2.1 | Medições de Ruído Ambiente | 89 |
| 5.2.2 | Avaliação Percetual | 93 |
| 5.2.3 | Modelação Matemática do Ruído Ambiente | 102 |
| 5.3 | EB1 da Sé..... | 106 |
| 5.3.1 | Medições de Ruído Ambiente | 106 |
| 5.3.2 | Avaliação Percetual | 110 |
| 5.3.3 | Modelação Matemática do Ruído Ambiente | 119 |
| 6 | CONCLUSÃO..... | 125 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 6.1 | Perspetivas de Desenvolvimentos Futuros | 129 |
| 7 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 131 |
| 8 | LISTA DE SITES CONSULTADOS | 137 |
| 9 | ANEXOS | 139 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 3.1 - Situação típica de sala de aula. Fonte: Adaptado de Brüel & Kjaer (2005, p.13) | 31 |
| Figura 4.1 - Identificação do anel rodoviário da cidade de Braga e localização das escolas selecionadas. Fonte: Google Earth, Data das imagens: 26/06/2007 | 46 |
| Figura 4.2 - Calibração do sonómetro | 47 |
| Figura 4.3 - Localização da EB1 de S. João do Souto. Fonte Google Earth, Data das imagens: 26/6/2007 | 51 |
| Figura 4.4 – Identificação da via de tráfego (esquerda), Fonte: Google Earth, Data das imagens: 26/06/2007; Rua Dom Afonso Henriques (direita) | 52 |
| Figura 4.5 - Localização dos pontos de medição exteriores na EB1 de S. João do Souto. Fonte: Google Earth, Data das imagens: 26/06/2007 | 53 |
| Figura 4.6 - Local de medição do ponto 1 (esquerda); Local de medição do ponto 2 (direita) | 54 |
| Figura 4.7 – Sala de aula com escola <i>off</i> (esquerda); Sala de aula com escola <i>on</i> (direita) | 54 |
| Figura 4.8 - Distribuição dos inquiridos segundo o género (n=45) | 55 |
| Figura 4.9 - Distribuição dos inquiridos segundo a idade (n=45) | 55 |
| Figura 4.10 - Distribuição dos inquiridos relativamente ao ano de escolaridade (n=47) | 56 |
| Figura 4.11 – Localização da EB1 de S. Victor. Fonte: Google Earth, Data das imagens: 26/06/2007 | 57 |
| Figura 4.12 – Identificação das vias envolventes à EB1 de S. Victor; Fonte: Google Earth, Data das imagens: 26/06/2007 | 58 |
| Figura 4.13 - Rua Beato Miguel de Carvalho | 59 |
| Figura 4.14 - Rua Martins Sarmiento com uma via de tráfego (esquerda); Rua Martins Sarmiento com duas vias de tráfego (direita) | 59 |
| Figura 4.15 - Localização dos pontos de medição exteriores da EB1 de S. Victor, Fonte: Google Earth, Data das imagens: 26/06/2007 | 60 |
| Figura 4.16 - Local de medição do ponto 1 (esquerda); Local de medição do ponto 2 (centro); Local de medição do ponto 3 (direita) | 60 |
| Figura 4.17 - Sala de aula com escola <i>off</i> (esquerda); Sala de aula com escola <i>on</i> (direita) | 61 |
| Figura 4.18 - Distribuição dos inquiridos segundo o género (n=68) | 62 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.19 - Distribuição dos inquiridos segundo a idade (n=68) | 62 |
| Figura 4.20 - Distribuição dos inquiridos relativamente ao ano de escolaridade (n=68)..... | 62 |
| Figura 4.21 - Localização da EB1 da Sé. Fonte: Google Earth, Data das imagens: 26/06/2007 | 64 |
| Figura 4.22 - Identificação das vias de tráfego Fonte: Google Earth, Data das imagens: 26/06/2007 | 65 |
| Figura 4.23 - Rua do Matadouro (esquerda); Rua do Conselheiro Jerónimo Pimentel (direita) | 66 |
| Figura 4.24 - Rua Dom Afonso Henriques (esquerda); Rua de Santiago (direita)..... | 66 |
| Figura 4.25 - Localização dos pontos de medição exteriores na EB1 da Sé, Fonte: Google Earth, Data das imagens: 26/06/2007 | 67 |
| Figura 4.26 - Local de medição do ponto 1 (esquerda); Local de medição do ponto 2 (direita) | 68 |
| Figura 4.27 - Local de medição no ponto 3 (esquerda); Local de medição do ponto 4 (direita) | 68 |
| Figura 4.28 - Sala de aula com escola <i>off</i> (esquerda); Sala de aula com escola <i>on</i> (direita).... | 69 |
| Figura 4.29 - Distribuição dos inquiridos segundo o género (n=98)..... | 69 |
| Figura 4.30 - Distribuição dos inquiridos segundo a idade (n=97) | 70 |
| Figura 4.31 - Distribuição dos inquiridos relativamente ao ano de escolaridade (n=98)..... | 70 |
| Figura 5.1 - Perceção auditiva à voz do professor e o lugar ocupado na sala de aula (n=47).. | 77 |
| Figura 5.2 - O barulho da escola que mais ouvem e o lugar ocupado na sala de aula (n=47) . | 77 |
| Figura 5.3 - O barulho fora da escola que mais ouvem e o lugar ocupado na sala (n=45) | 78 |
| Figura 5.4 - O barulho que mais ouvem e o lugar ocupado na sala de aula (n=46) | 79 |
| Figura 5.5 - O barulho que mais incomoda e o lugar ocupado na sala de aula (n=45) | 79 |
| Figura 5.6 - Ambiente sonoro da sala de aula e o lugar ocupado (n=46)..... | 80 |
| Figura 5.7 - Ambiente sonoro da sala de aula e o barulho que mais ouvem (n=45) | 80 |
| Figura 5.8 - Perceção auditiva à voz do professor e o barulho que mais incomoda (n=45).... | 81 |
| Figura 5.9 - O barulho que mais ouvem dentro da sala e o barulho exterior (n=45) | 81 |
| Figura 5.10 - O barulho que mais ouvem e o barulho que mais incomoda (n=45) | 82 |
| Figura 5.11 - O barulho que mais incomoda e o barulho do exterior da escola (n=44) | 83 |
| Figura 5.12 - Ambiente sonoro de casa e ambiente sonoro da sala de aula (n=44) | 83 |
| Figura 5.13 – O barulho que mais ouvem fora da escola na sala de aula (n=27)..... | 84 |
| Figura 5.14 – O barulho que mais ouvem (n=28) e o barulho que mais incomoda (n=28) | 84 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5.15 - Atividades escolares e o barulho que mais incomoda (n=41) | 85 |
| Figura 5.16 - Incómodo causado pelo ruído proveniente do exterior da escola (n=7) | 85 |
| Figura 5.17 - Interferência que certos tipos de ruído causam durante a aula (n=7) | 86 |
| Figura 5.18 - Mapa de ruído da EB1 de S. João do Souto com escola <i>on</i> | 87 |
| Figura 5.19 - Mapa de ruído da EB1 de S. João do Souto com escola <i>off</i> | 89 |
| Figura 5.20 - Perceção auditiva à voz do professor e o lugar ocupado na sala de aula (n=68) | 93 |
| Figura 5.21 - O barulho da escola que mais ouvem e o lugar ocupado na sala de aula (n=68) | 94 |
| Figura 5.22 - O barulho fora da escola que mais ouvem e o lugar ocupado na sala (n=67) | 94 |
| Figura 5.23 - O barulho que mais ouvem dentro da sala de aula e o lugar ocupado (n=68) | 95 |
| Figura 5.24 - O barulho que mais incomoda e o lugar ocupado na sala de aula (n=68) | 95 |
| Figura 5.25 - Ambiente sonoro da sala de aula e o lugar ocupado (n=68)..... | 96 |
| Figura 5.26 - Ambiente sonoro da sala de aula e o barulho que mais ouvem (n=68) | 96 |
| Figura 5.27 - Perceção auditiva à voz do professor e o barulho que mais incomoda (n=68)... | 97 |
| Figura 5.28 - O barulho que mais ouvem dentro da sala e o barulho exterior (n=67)..... | 97 |
| Figura 5.29 - O barulho que mais ouvem e o barulho que mais incomoda (n=68) | 98 |
| Figura 5.30 - O barulho que mais incomoda e o barulho do exterior da escola (n=67) | 98 |
| Figura 5.31 - Ambiente sonoro de casa e ambiente sonoro da sala de aula (n=68) | 99 |
| Figura 5.32 - O barulho que mais ouvem fora da escola na sala de aula (n=53)..... | 99 |
| Figura 5.33 - O barulho que mais ouvem (n=54) e o barulho que mais incomoda (n=54) | 100 |
| Figura 5.34 - Atividades escolares o barulho que mais incomoda (n=68) | 100 |
| Figura 5.35 - Incómodo causado pelo ruído proveniente do exterior da escola (n=6) | 101 |
| Figura 5.36 - Interferência que certos tipos de ruído causam durante a aula (n=6) | 101 |
| Figura 5.37 - Mapa de ruído da EB1 de S. Victor com escola <i>on</i> | 103 |
| Figura 5.38 - Mapa de ruído da EB1 de S. Victor com escola <i>off</i> | 105 |
| Figura 5.39 - Perceção auditiva à voz do professor e o lugar ocupado na sala de aula (n=96) | |
| | 110 |
| Figura 5.40 - O barulho da escola que mais ouvem e o lugar ocupado na sala de aula (n=96) | |
| | 111 |
| Figura 5.41 - O barulho fora da escola que mais ouvem e o lugar ocupado na sala (n=95) .. | 111 |
| Figura 5.42 - O barulho que mais ouvem e o lugar ocupado na sala de aula (n=96) | 112 |
| Figura 5.43 - O barulho que mais incomoda e o lugar ocupado na sala de aula (n=95) | 112 |
| Figura 5.44 - Ambiente sonoro da sala de aula e o lugar ocupado (n=96)..... | 113 |
| Figura 5.45 - Ambiente sonoro da sala de aula e o barulho que mais ouvem (n=98) | 113 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5.46 - Percepção auditiva à voz do professor e o barulho que mais incomoda (n=97). | 114 |
| Figura 5.47 - O barulho que mais ouvem dentro da sala de aula e o barulho exterior (n=97) | 114 |
| Figura 5.48 - O barulho que mais ouvem e o barulho que mais incomoda (n=97) | 115 |
| Figura 5.49 - O barulho que mais incomoda e o barulho exterior (n=96)..... | 115 |
| Figura 5.50 - Ambiente sonoro de casa e da sala de aula (n=98)..... | 116 |
| Figura 5.51 - O barulho que mais ouvem fora da escola na sala de aula (n=54)..... | 116 |
| Figura 5.52 - O barulho que mais ouvem (n=55) e o barulho que mais incomoda (n=54) | 117 |
| Figura 5.53 – Atividade escolares e o barulho que mais incomoda (n=95) | 117 |
| Figura 5.54 - Incómodo causado pelo ruído proveniente do exterior da escola (n=7)..... | 118 |
| Figura 5.55 - Interferência que certos tipos de ruído causam durante a aula (n=7) | 118 |
| Figura 5.56 - Mapa de ruído da EB1 da Sé com escola <i>on</i> | 120 |
| Figura 5.57 - Mapa de ruído da EB1 da Sé com escola <i>on</i> | 121 |
| Figura 5.58 - Mapa de ruído da EB1 da Sé com escola <i>off</i> | 123 |
| Figura 5.59 - Mapa de ruído da EB1 da Sé com escola <i>off</i> | 123 |

ÍNDICE DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 2.1 - Valores limite de exposição ao ruído para zonas sensíveis e mistas..... | 16 |
| Quadro 2.2 - Fatores de equivalência acústica entre veículos pesados e ligeiros. Fonte: Silva (2007) | 22 |
| Quadro 3.1 - Valores de referência em escolas. Adaptado: Shield & Dockrell, 2003 | 35 |
| Quadro 3.2 - Níveis máximos de ruído de fundo e tempos de reverberação em espaços destinados à aprendizagem. Adaptado: Shield & Dockrell, 2003 | 35 |
| Quadro 3.3 - Valores limites de níveis de ruído e tempos de reverberação. Adaptado: Shield & Dockrell, 2003 | 36 |
| Quadro 3.4 - Valores recomendados pela ASHA e BATOD para salas de aula. Adaptado: Shield & Dockrell, 2003..... | 37 |
| Quadro 3.5 - Índice de isolamento a sons de condução aérea entre compartimentos ($D_{n,w}$). Fonte: RRAE, 2008 | 41 |
| Quadro 3.6 – Tempo de reverberação segundo o volume dos espaços. Fonte: RRAE, 2008. . | 41 |
| Quadro 3.7 - Nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$, do ruído particular de equipamentos. Fonte: RRAE, 2008 | 42 |
| Quadro 4.1 - Parâmetros de cálculo adotados no modelo de cálculo provisório, NMPB 96 ... | 50 |
| Quadro 4.2 - Parâmetros de entrada no modelo de cálculo, NMPB 96..... | 57 |
| Quadro 4.3 - Parâmetros de entrada no modelo de cálculo, NMPB 96..... | 63 |
| Quadro 4.4 - Parâmetros de entrada no modelo de cálculo, NMPB 96..... | 71 |
| Quadro 5.1 - Medição no exterior – Escola <i>on</i> | 74 |
| Quadro 5.2 - Medição no exterior – Escola <i>off</i> | 75 |
| Quadro 5.3 - Medição no interior – Escola <i>on</i> | 75 |
| Quadro 5.4 - Medição no interior – Escola <i>off</i> | 76 |
| Quadro 5.5 - Contagem de veículos na Rua Dom Afonso Henriques (ponto de medição 1)... | 87 |
| Quadro 5.6 - Comparação entre L_{Aeq} médio medido e L_{Aeq} médio modelado com escola <i>on</i> . | 88 |
| Quadro 5.7 - Contagem de veículos na Rua Dom Afonso Henriques (ponto de medição 1)... | 88 |
| Quadro 5.8 - Comparação entre L_{Aeq} médio medido e L_{Aeq} médio modelado com escola <i>off</i> . | 89 |
| Quadro 5.9 - Medição no exterior – Escola <i>on</i> | 90 |
| Quadro 5.10 - Medição no exterior – Escola <i>off</i> | 91 |

| | |
|---|-----|
| Quadro 5.11 - Medição no interior – Escola <i>on</i> | 92 |
| Quadro 5.12 - Medição no interior – Escola <i>off</i> | 92 |
| Quadro 5.13 - Contagens de veículos na Rua Martins Sarmiento (1 via) (ponto de medição 2) | 102 |
| Quadro 5.14 - Contagens de veículos na Rua Martins Sarmiento (2 vias) (ponto de medição 2) | 103 |
| Quadro 5.15 - Contagem de veículos na Rua Beato Miguel de Carvalho (ponto de medição 2) | 103 |
| Quadro 5.16 - Comparação entre L_{Aeq} médio medido e L_{Aeq} médio modelado com escola <i>on</i> | 104 |
| Quadro 5.17 - Contagem de veículos na Rua Martins Sarmiento (1 via) (ponto de medição 2) | 104 |
| Quadro 5.18 – Contagem de veículos na Rua Martins Sarmiento (2 vias) (ponto de medição 2) | 104 |
| Quadro 5.19 – Contagem de veículos na Rua Beato Miguel de Carvalho (ponto de medição 2) | 104 |
| Quadro 5.20 - Comparação entre L_{Aeq} médio medido e L_{Aeq} médio modelado com escola <i>off</i> | 105 |
| Quadro 5.21 - Medição no Exterior – Escola <i>on</i> | 107 |
| Quadro 5.22 - Medição no exterior – Escola <i>off</i> | 108 |
| Quadro 5.23 - Medição no interior – Escola <i>on</i> | 109 |
| Quadro 5.24 - Medição no interior – Escola <i>off</i> | 109 |
| Quadro 5.25 - Contagem de veículos na Rua do Matadouro (ponto de medição 2) | 119 |
| Quadro 5.26 - Contagem de veículos na Rua do Matadouro (ponto de medição 4) | 120 |
| Quadro 5.27 - Contagem de veículos na Rua Dom Afonso Henriques (ponto de medição 4) | 120 |
| Quadro 5.28 - Comparação entre L_{Aeq} médio medido e L_{Aeq} médio modelado com escola <i>on</i> | 121 |
| Quadro 5.29 - Contagem de veículos na Rua do Matadouro (ponto de medição 2) | 122 |
| Quadro 5.30 - Contagem de veículos na Rua do Matadouro (ponto de medição 4) | 122 |
| Quadro 5.31 - Contagem de veículos na Rua Dom Afonso Henriques (ponto de medição 4) | 122 |

Quadro 5.32 – Comparação entre L_{Aeq} médio medido e L_{Aeq} médio modelado com escola *off*.

..... 124

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A poluição sonora ocupa o segundo lugar como a maior causadora de doenças, segundo a Organização Mundial de Saúde, OMS (WHO – *World Health Organization*). Em 2011, esta poluição ultrapassou a poluição da água, ficando apenas atrás da poluição atmosférica (Senado Federal do Brasil, 2012).

Segundo a Agência Europeia do Ambiente, AEA (EEA – *European Environment Agency*), o ruído está associado a diversas atividades humanas, mas é o ruído proveniente do tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo que apresenta um impacto mais elevado. Este problema torna-se mais grave nos meios urbanos. Estima-se que 75% da população europeia vive em cidades e os volumes de tráfego continuam a aumentar. Sendo que para a OMS, a fonte sonora mais problemática é o tráfego rodoviário.

Estudos realizados em algumas cidades têm revelado que o ruído do tráfego é aquele que mais contribui para os níveis sonoros elevados e a principal causa de incomodidade nos meios urbanos (Lacerda *et al.*, 2005).

A partir de 1989, a OMS passou a tratar o ruído como sendo um problema de saúde pública, preconizando que o limiar seguro de exposição ao ruído é de 55 dB(A) (Mergulhão, 2008). O ruído pode prejudicar a audição, interferir na comunicação, perturbar o trabalho e o sono bem como provocar perturbações a nível fisiológico e a nível psicológico (Fiorini, Silva & Bevilacqua, 1991).

Nos países da União Europeia cerca de 40% da população está exposta a níveis de ruído de tráfego rodoviário superiores a 55 dB(A) durante o dia e que nesse mesmo período 20% está exposta a valores superiores a 65 dB(A). No período noturno, mais de 30% da população está exposta a valores superiores a 55 dB(A), os quais interfere com o sono (OMS, 1999).

Em Portugal, de acordo com a Direção Geral do Ambiente, DGA, citada no Jornal de CiênciaHoje[®] em 2012, mais de 60% da população vive com níveis de ruído superiores ao

valor recomendado pela OMS, 55 dB(A). Acrescenta ainda que 19% dos cidadãos estão expostos a valores acima dos 65 dB(A). A situação torna-se mais crítica nos grandes centros urbanos onde o tráfego rodoviário expõe, diariamente, cinco milhões de portugueses a níveis prejudiciais para a saúde. Enquanto nos outros países da União Europeia tem-se registado uma diminuição dos níveis de ruído, em Portugal regista-se o inverso. Um especialista citado no Jornal de Notícias em 2011, afirmou que cerca de 40% da população encontra-se exposta a níveis de ruído ambiente considerados inadequados para a saúde, durante o período diurno e durante o período noturno será da ordem dos 30 a 35%.

O elevado grau da poluição sonora nos grandes centros urbanos tem contribuído para o aumento de crianças com perturbações auditivas, dificultando ou impedindo a sua aprendizagem (Souza, 2005).

No ambiente escolar o ruído não é apenas um incómodo mas interfere no rendimento das atividades de ensino (Fernandes, 2006).

O ruído nas escolas pode ser encarado como um fator perturbador que impede a transferência de conhecimentos, baseada essencialmente na comunicação verbal. Os professores tentam compensar um som de fundo ruidoso elevando o tom de voz. De acordo com as orientações da OMS, o nível de ruído de fundo recomendado para as salas durante uma aula é de 35 dB(A). Os níveis efetivos de ruído nas escolas ultrapassam frequentemente estes limites e podem atingir os 60 dB(A) a 80 dB(A) (Agência Europeia para a Segurança e a Saúde no Trabalho, 2005).

Os níveis de ruído elevados em salas de aula combinado com tempo de reverberação inadequado, interferem na inteligibilidade da fala, resultando na redução do entendimento da mesma e refletindo numa maior dificuldade de aprendizagem. Entre os problemas causados pelo ruído, salienta-se a falta de concentração, a baixa produtividade, a interferência na comunicação e a dificuldade na aprendizagem de crianças e adolescentes (Eniz, 2004).

O ambiente escolar deve ser propício ao desenvolvimento global do cidadão devendo garantir adequadas condições acústicas, de iluminação e ventilação (Nascimento & Lemos, 2011).

1.2 Objetivos da Dissertação

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar o ruído ambiente da envolvente das escolas do 1º ciclo básico da cidade de Braga, nas fachadas mais expostas e no interior das salas de aulas através de uma avaliação objetiva e subjetiva.

1.2.2 Objetivos Específicos

Selecionar as escolas do 1º ciclo básico da cidade de Braga e identificar as fontes de ruído na envolvente dessas escolas.

Analisar e comparar os resultados obtidos pelas medições com a legislação em vigor e com os valores recomendados pela OMS.

Analisar a perceção ao ruído ambiente através de inquéritos aos alunos, professores e auxiliares de ação educativa.

Analisar a influência do ruído do tráfego rodoviário no processo de ensino aprendizagem.

Modelar matematicamente o ruído através de um *software* de previsão de ruído.

1.3 Estrutura da Dissertação

O presente trabalho desenvolvido encontra-se dividido em seis capítulos dispostos da seguinte ordem:

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Tem por finalidade apresentar a importância e pertinência do tema na atualidade, os seus objetivos pretendidos, bem como a estrutura da dissertação.

CAPÍTULO 2 – RUÍDO AMBIENTE

Apresenta conceitos sobre a acústica, bem como a legislação nacional em vigor, formas de caracterizar o ruído, fontes sonoras e efeitos no ser humano. Também apresenta elementos fundamentais ao desenvolvimento do presente trabalho.

CAPÍTULO 3 – RUÍDO EM ESCOLAS

Refere a importância do ambiente escolar, da acústica nas salas de aula e a influência do ruído neste meio. Também apresenta níveis de ruído padrão para salas de aulas e os níveis frequentes.

CAPÍTULO 4 – CASOS DE ESTUDO

Descreve a metodologia utilizada na avaliação do ruído ambiente e apresenta as escolas alvo deste estudo.

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Apresenta os resultados obtidos das medições de ruído ambiente, o tratamento de dados estatísticos relativo ao preenchimento de inquéritos e a validação do modelo de cálculo para previsão do ruído.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

Apresenta as conclusões a partir dos resultados obtidos no capítulo anterior, também sugere perspectivas de desenvolvimentos futuros.

2 RUÍDO AMBIENTE

2.1 Som e Ruído

Fisicamente, o som e o ruído não se distinguem. O som é uma percepção sensorial, enquanto o ruído é considerado como um som indesejável (OMS, 1999).

Acontece que muitas vezes, a distinção entre som e ruído encontra-se associada à sensação de agradabilidade ou à desagradabilidade. A definição de ruído é bastante subjetiva, uma vez que não depende apenas do tipo de som, mas também das capacidades recetivas do ouvido humano, que variam de individuo para individuo (Silva, 2007).

O som resulta da libertação de energia emitida por uma fonte sonora. Esta energia propaga-se sob a forma de ondas mecânicas capazes de produzir sensações ao nível do ouvido. Assim, o som define-se como qualquer variação de pressão atmosférica que o ouvido humano tem capacidade de detetar, seja no ar, na água ou em qualquer outro meio de propagação (Silva, 2007).

Tecnicamente pode-se considerar que o som é uma modificação de pressão que ocorre em meios elásticos, propagando-se em forma de ondas ou oscilações mecânicas, longitudinais e tridimensionais. As ondas sonoras são mecânicas, pois necessitam de um meio material para se propagarem; são longitudinais, pois a direção da perturbação é a mesma da sua propagação e tridimensionais, pois propagam-se no espaço. O som resulta de um movimento ordenado e vibratório de partículas materiais, gerando compressões e rarefações sucessivas nos meios sólido, líquido e gasoso. Desta forma, o som não se propaga no vácuo (Russo & Santos *cit. in* Gasperin, 2006).

O conceito de ruído é definido, como a variação da pressão atmosférica, dentro dos limites de amplitude e banda de frequências, aos quais o ouvido humano responde. Como o ouvido humano é mais sensível a certas frequências do que a outras, o nível de distúrbio é dependente do conteúdo espectral do ruído. A percepção do ruído depende das pessoas, dos momentos e dos locais. É por isso que é difícil determinar objetivamente a incomodidade. Considera-se

que um indivíduo é altamente incomodado quando numa escala de 0 a 100 ele atribui uma classificação de 72 ou mais (Silva, 2007).

2.2 Caraterísticas do Som

O som é um fenómeno físico que apresenta determinadas caraterísticas, as quais permitem múltiplas combinações. Essas caraterísticas são: a altura, a duração, a intensidade e o timbre.

A altura é uma caraterística do som que permite classificar o som em agudo ou grave, segundo a sua frequência. Os sons agudos apresentam frequência maior, logo têm menor comprimento de onda, ao contrário dos sons graves que apresentam frequência menor e maior comprimento de onda. Os sons agudos apresentam maior número de vibrações por segundo (SABATINA, 1998).

A duração é uma caraterística do som que permite distinguir se um som é longo ou curto, corresponde ao tempo que o som dura desde que começa a soar até desaparecer (SABATINA, 1998).

A intensidade corresponde à amplitude da onda e depende da energia de vibração da fonte que emite as ondas. A intensidade permite classificar um som em forte ou fraco. O som forte tem uma maior amplitude, enquanto o som fraco tem uma menor amplitude (SABATINA, 1998).

O timbre é a caraterística do som que permite distinguir a fonte sonora (SABATINA, 1998).

2.3 Caraterísticas de uma Onda Sonora

Quando uma onda sonora se propaga no ar, as oscilações de pressão ocorrem acima e abaixo do valor da pressão sonora (Goeltzer, Hansen & Sehrndt, 2001).

Uma onda sonora constituída unicamente por um tom puro, não é mais do que um som periódico, composto por uma única frequência, que apresenta um padrão sinusoidal. Este tipo de onda é caracterizado pela sua amplitude, comprimento de onda, período e frequência (Valente, 2008).

A amplitude das alterações de pressão decorrentes de uma onda sonora pode ser descrita pela amplitude máxima de pressão ($p_{M\acute{a}x}$) ou pela raiz média quadrada da amplitude (p_{rms}) e expressa-se em Pascal (Pa) (Goeltzer, Hansen & Sehrndt, 2001).

O comprimento de onda (λ) corresponde à distância percorrida por uma onda de pressão durante um ciclo completo. Matematicamente obtém-se através da divisão do valor da velocidade do som pelo valor da frequência do tom puro (Beranek & Vér, 1992). O comprimento de uma onda é um parâmetro importante para acústica, uma vez que determina o comportamento do som quando o mesmo atinge determinados obstáculos. Desta forma, se um obstáculo apresentar dimensões inferiores às do comprimento de onda, a mesma conseguirá contorná-lo, e caso contrário, ocorrerá uma espécie de “sombra sonora” (Fonseca, 2007).

O período (T) corresponde ao tempo necessário para que um ciclo completo de um tom puro passe por um determinado ponto fixo. Matematicamente, o período obtém-se mediante o cálculo do inverso da frequência (Goeltzer, Hansen & Sehrndt, 2001).

A frequência (f) caracteriza o número de ciclos de variação de pressão no meio por unidade de tempo, isto é, o número de ciclos por segundo e expressa-se em Hertz (Hz) (Goeltzer, Hansen & Sehrndt, 2001). Em termos de senso comum, esta propriedade é responsável pelo caráter grave ou agudo de um tom, e define em grande parte o que percecionamos como som (Kinsler *et al.*, 2000).

Outras formas de quantificar o som são através da potência sonora e da intensidade sonora. A potência sonora pode ser definida como a energia total emitida por uma fonte sonora por unidade de tempo, sendo expressa em Watt (W) e a intensidade sonora como a transmissão de energia de uma onda sonora por unidade de área, sendo expressa em watt por metro quadrado (W/m^2) (Goeltzer, Hansen & Sehrndt, 2001).

Todas estas propriedades são unicamente aplicáveis a tons puros. No entanto como a maioria dos sons do nosso dia não são sons puros mas resultam de ruídos complexos da combinação de várias frequências, é necessário analisa-los em frequência.

No que diz respeito a questões de gestão do ruído, a análise por frequência revela-se uma ferramenta de grande utilidade. Pode ser utilizada para quantificar problemas de ruído, componentes tonais nos ruídos, identificar fontes de ruído e determinar a eficiência dos métodos de controlo aplicadas às mesmas (Goeltzer, Hansen & Sehrndt, 2001).

De forma a facilitar a comparação de medições efetuadas por vários instrumentos, a Organização Internacional da Normalização (*ISO – International Organization for Standardization*) harmonizou o uso de bandas de frequência para a análise de medições de ruído. A banda mais utilizada na análise por frequência é a banda de oitava, que é uma banda

cujo limite da frequência superior é aproximadamente duas vezes maior do que o limite inferior. Cada banda de oitava é representada por um valor médio, ou seja, pela sua frequência central. Quando é necessária informação mais detalhada sobre a composição do ruído, a mesma obtém-se mediante a seleção de bandas mais contíguas. Este é o caso do uso de bandas de terços de oitava, que são bandas de frequências com aproximadamente um terço da largura de uma banda de oitava (Goeltzer, Hansen & Sehrndt, 2001).

2.4 Audibilidade Humana

A aptidão do ouvido humano é diferente para a captação de ondas sonoras com a mesma energia mas com frequências distintas (Silva, 2007). A gama das frequências audíveis encontra-se contida no intervalo de 20 a 20 000 Hz (Kinsler *et al.*, 2000). As frequências que pertençam ao intervalo de 20 a 500 Hz denominam-se por baixas frequências, por sua vez as que pertençam ao intervalo de 8 000 a 20 000 Hz denominam-se por altas frequências (Branco & Alves-Pereira 2007). A gama de frequências utilizada na conversação humana encontra-se compreendida entre 500 a 4 000 Hz (Silva, 2007). Fora da gama das frequências audíveis, os sons com frequências inferiores a 20 Hz designam-se por infrassons, os sons com frequências superiores a 20 000 Hz designam-se por ultrassons (Kinsler *et al.*, 2000).

A pressão sonora é definida como a variação de pressão relativamente a um valor da pressão estática do ar com valor de 10^5 Pa, designado por valor de referência. A gama de pressões sonoras audíveis por um individuo situa-se em geral entre os 20 μ Pa e os 20 Pa. O som mais fraco que o ouvido humano consegue ouvir corresponde aos 20 μ Pa e é definido como limiar da audição. A pressão de 20 Pa corresponde à pressão sonora máxima que o ouvido humano consegue suportar, constituindo assim o limiar da dor (Silva, 2007)

O ouvido humano não responde de uma forma linear aos estímulos sonoros, mas sim de uma forma aproximada da escala logarítmica. O logaritmo da relação entre os quadrados da pressão sonora medida e a pressão de referência, também designada por pressão de equilíbrio, denomina-se Bel (B), sendo esta a grandeza frequentemente utilizada para a definição de nível de pressão sonora, da multiplicação destes valores por 10 resulta a grandeza Decibel (dB). A escala de valores de nível de pressão sonora varia entre 0 dB, que corresponde ao limiar da audição, e 120 dB, que corresponde ao limiar da dor (Silva, 2007).

O nível de pressão sonora é dado pela Equação 1.

$$L_p = 10 \times \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 \times \log_{10} \frac{p}{p_0} \quad [1]$$

Em que,

L_p é o nível de pressão sonora,

p é o valor eficaz da pressão sonora, expressa em Pascal,

p_0 é a pressão sonora de referência e corresponde ao limiar da audição humana ($p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa).

Devido ao facto do ouvido humano não possuir a mesma sensibilidade ao longo do espectro de frequências, o nível de pressão sonora (L_p) não é verdadeiramente representativo da forma como é recebido pelo Homem. Por forma a caracterizar nível de pressão sonora não o emitido mas o recebido pelo ouvido humano, o nível de pressão sonora expresso em dB é ponderado por um coeficiente que depende da frequência, tendo assim em linha de conta a diferente sensibilidade auditiva humana ao longo do espectro de frequência. Dependendo da banda de frequências que se pretende analisar, o nível de pressão sonora é ponderado pelas curvas de ponderação A, B, C e D. Após ponderação são obtidos níveis de pressão sonora expresso em dB(A), dB(B) ou dB(C), dependendo do tipo de ponderação escolhido (Silva, 2007).

Para a medida de ruído ambiente e medida de incomodidade a ponderação usualmente utilizada é a ponderação de frequência A, pois trata-se daquela que melhor correlaciona os valores medidos com a incomodidade do sinal sonoro. Assim, em estudos de ruído ambiente o nível de pressão sonora é normalmente expresso em dB(A) (Silva, 2007).

A ponderação de frequências D é utilizada em medições de tráfego aéreo. Esta caracteriza-se pelo incremento de energia típica dos motores a jato que variam desde 1000Hz a 10000Hz (Goeltzer, Hansen & Sehrndt, 2001).

2.5 Caraterísticas do Ruído

O ruído pode ser caraterizado qualitativamente em contínuo, descontínuo ou impulsivo, dependendo das variações temporais do nível de pressão sonora (Valente, 2008).

O ruído contínuo é caracterizado por pequenas flutuações, não significativas, do nível de pressão sonora no decorrer do período de observação. Considera-se que se verifica esta condição quando a diferença entre os valores máximo e mínimo do nível de pressão sonora medidos com a utilização da característica S (lenta) de ponderação no tempo definida na norma portuguesa em vigor, for inferior a 5 dB durante o período de observação (Valente, 2008).

Sempre que o nível de pressão sonora varie de forma significativa, torna-se necessário proceder a uma ponderação temporal para um dado período de observação, obtendo-se assim o nível de pressão sonora contínuo equivalente (Leq). Este caracteriza-se como o valor médio que, num dado período de tempo, possui a mesma energia que um ruído variável ao longo desse mesmo período de tempo (Goeltzer, Hansen & Sehrndt, 2001).

Um ruído descontínuo é caracterizado por alterações significativas dos níveis de pressão sonora no decorrer do período de observação. Este tipo de ruído pode ser dividido em intermitente ou flutuante. Um ruído diz-se flutuante quando o nível de pressão sonora varia continuamente e em grande amplitude durante o período de observação e diz-se intermitente quando os níveis de pressão sonora decaem várias vezes para valores idênticos ao do ruído de fundo. Para que um ruído seja definido como intermitente, este tem de permanecer constante durante um segundo ou mais, acima dos valores do nível de pressão sonora que caracterizam o ruído de fundo (Goeltzer, Hansen & Sehrndt, 2001).

Um ruído impulsivo é composto por uma ou mais descargas de energia sonora, cada uma de duração inferior a 1 segundo e separadas por mais de 0,2 segundos. Este tipo de ruído é caracterizado pelo valor da pressão de pico, pelo tempo de ascensão e duração de pico (Goeltzer, Hansen & Sehrndt, 2001). Para detetar as características impulsivas de um dado ruído, é necessário determinar a diferença entre o nível de pressão sonora contínuo equivalente (Leq) medido em simultâneo com característica impulsiva e rápida. Se esta diferença for superior a 6 dB, o ruído é considerado impulsivo (RGR, 2007).

O ruído pode ainda ser classificado quanto as suas características tonais. Um ruído tonal pode ser contínuo ou flutuante e é caracterizado por apresentar uma maior concentração de energia sonora em uma ou duas frequências isoladas. Este tipo de ruído é muito mais incomodativo do que um outro que apresente o mesmo nível de pressão sonora contínuo equivalente mas cuja energia se encontre dispersa por várias frequências (Goeltzer, Hansen & Sehrndt, 2001). Para detetar as características tonais de um ruído, é necessário verificar através do espectro de um

terço de oitava, se o nível sonoro de uma banda excede o das adjacentes em 5 dB ou mais, caso em que o ruído é considerado tonal (RGR, 2007).

2.6 Propagação do Ruído

O ruído necessita de um meio físico para se propagar, devido á ausência de partículas não há propagação do som no vazio. Este propaga-se em todas as direções (Neta, 2012).

Quando uma fonte sonora produz uma vibração, esta é transmitida por choque às partículas mais próximas, que posteriormente é comunicada às partículas seguintes através de choques entre elas. Estes movimentos de vibração das partículas provocam no meio de propagação zonas de compressão, onde as partículas encontram-se mais próximas que o normal, e zonas de rarefação, onde as partículas encontram-se mais afastadas que o habitual. Durante a propagação do ruído há transmissão de energia no meio. À medida que a onda sonora se afasta da fonte sonora, a energia envolvida nos choques vai sendo distribuída por mais partículas provocando uma diminuição da vibração (Neta, 2012).

A propagação do som depende, além das características do meio de propagação, do tipo de fonte sonora que o emite. As fontes sonoras podem distinguir-se quanto ao seu tipo e consequentemente quanto à forma geométrica das ondas de propagação. As fontes podem ser pontuais, lineares e planares (Silva, 2007).

Para uma fonte pontual a energia sonora emitida em qualquer direção é inversamente proporcional ao aumento da área superficial da esfera. Esta lei resulta numa redução de 6 dB no nível sonoro relativo por dobro da distância. Caso o solo seja rígido e refletivo, deve ser feita uma compensação para as reflexões. Admite-se que, num meio, homogéneo, a propagação de uma fonte pontual é puramente esférica (Silva, 2007).

Com base no estabelecido anteriormente, as fontes lineares e planares podem ser consideradas como sendo constituídas por um número infinito de fontes pontuais distribuídas uniformemente. O comportamento geral é então determinado através da integração dos efeitos individuais de cada fonte pontual através do comprimento ou da área total. No caso de uma linha ideal de comprimento infinito, o resultado aproxima-se a uma propagação cilíndrica pura. Portanto a energia sonora em qualquer direção perpendicular é inversamente

proporcional ao aumento da circunferência do cilindro. Isto resulta numa redução de somente 3 dB no nível sonoro relativo por dobro da distância (Silva, 2007).

Para uma fonte planar, integrando um número infinito de fontes pontuais distribuídas em duas dimensões produz uma superfície plana. Portanto, a propagação através de uma fonte planar aproxima-se a uma onda plana. A energia sonora de cada fonte pontual é no entanto assumida a propagar através de uma linha reca perpendicular ao plano (Silva, 2007).

Para além da distância, a propagação do ruído é atenuada por outros fatores como o efeito de divergência que depende do tipo de fonte sonora, os efeitos atmosféricos e a presença de obstáculos.

A atenuação dos níveis sonoros com a distância à fonte está associada a uma diminuição da densidade de ondas provocada pelo aumento da superfície da frente da onda, designando-se por atenuação devido a divergência. Outros fenómenos que podem influenciar a propagação do ruído são os efeitos atmosféricos que incluem a absorção molecular, a influência do vento e a influência da temperatura (Silva, 2007).

A absorção molecular corresponde à atenuação da intensidade sonora como resultado da passagem através de um meio (Silva, 2007).

Na propagação de ondas sonoras, sobretudo para distâncias à fonte relativamente elevadas, o vento é um dos fatores que influencia a propagação das ondas sonoras na atmosfera. Os ventos fazem aumentar o ruído na sua direção e fazem diminuir o ruído na sua direção contrária. Este resultado não depende apenas da velocidade do vento mas também da deformação da onda esférica através dos ventos predominantes (Silva, 2007).

A velocidade do ruído depende da temperatura ambiente, quanto maior a temperatura, maior é a velocidade do ruído, o que significa que quando a temperatura próxima ao solo é maior que aquela existente no ar longe do solo, os raios sonoros tendem a formar um arco. Portanto menos energia chegará ao recetor a alguma distância ao nível do solo, para uma dada quantidade de energia sonora, a área de distribuição aumenta. O inverso ocorre à noite, quando a superfície do solo é mais fria do que o ar acima dele, neste caso, para uma dada quantidade de energia sonora a área de distribuição é reduzida (Silva, 2007).

Durante a propagação do ruído pode ocorrer vários fenómenos como a reflexão, absorção transmissão e difração, aquando a presença de um obstáculo (Silva, 2007). Assim, quando o

ruído atinge um obstáculo resultam parcelas de som refletido, som absorvido e som transmitido (Amorim, 2007).

O fenómeno da reflexão consiste na mudança da direção da propagação da energia sonora, após entrar em contato com uma superfície. A reflexão pode ser especular ou difusa consoante a superfície que incide. A reflexão especular ocorre quando as ondas encontram superfícies lisas e o ângulo de incidência, formado com a normal, é igual ao ângulo de reflexão, obedecendo à lei da reflexão. A reflexão difusa ou simplesmente difusão ocorre quando as ondas encontram superfícies rugosas e o som incidente é refletido em várias direções. Esta situação ocorre porque o comprimento de onda é menor que as dimensões das reentrâncias superfície rugosa. Na prática existe a mistura de ambos os tipos de reflexão resultando numa reflexão mista (Amorim, 2007).

Deste fenómeno pode ocorrer outros dois, dominados por eco e reverberação. O eco acontece quando o som refletido retoma à fonte depois da extinção total do som original. Este acontecimento ocorre porque o ouvido humano só distingue separadamente dois sons breves, quando o intervalo entre eles é superior a 1/15 segundos. Se a velocidade do som no ar for igual a 340 m/s, esse tempo de 1/15 segundos, corresponde a uma distância de 22 metros, duas vezes 11 metros no caso de ida e volta do som (Zwirtes, 2006).

A reverberação acontece quando o som refletido retoma à fonte antes que o som original se tenha extinguido (Amorim, 2007), ou seja, ocorre um prolongamento do som emitido (Batista, 1998).

O fenómeno da absorção acontece quando a superfície absorve a energia das ondas sonoras incidentes. A quantificação de absorção sonora é obtida pelo coeficiente α e obtém-se a partir da Equação 2. O coeficiente de absorção α é a relação entre a intensidade sonora absorvida por uma superfície l_a e uma superfície sonora qualquer l_o que atinga essa superfície (Amorim, 2007).

$$\alpha = \frac{l_a}{l_o} \quad [2]$$

Em que,

α representa o coeficiente de absorção sonora,

l_a representa a energia sonora absorvida,

l_o representa a energia sonora incidente.

A absorção depende das propriedades do material e da frequência sonora. Contrariamente aos materiais de isolamento, os materiais de absorção são materiais leves, de baixa densidade, fibrosos ou com poros abertos (Amorim, 2007).

A transmissão do som através da superfície de incidência depende da quantidade de energia sonora que o meio deixou de refletir ou absorver. Esta quantidade é determinada pelo coeficiente da razão entre a parcela de energia sonora transmitida e a energia sonora incidente (Amorim, 2007).

A difração sonora ocorre quando há o desvio das ondas sonoras por estas encontrarem um obstáculo ou uma abertura de tamanho igual ao seu comprimento de onda. Se a largura do obstáculo for menor do que o comprimento de onda, o som continua a propagar-se, contornando o objeto e atravessando a abertura, sem sofrer nenhuma variação. Se a largura for maior que o comprimento de onda, há distorção da onda sonora (Amorim, 2007).

Outro fenómeno que pode ocorrer durante a propagação do som é a refração. Este fenómeno ocorre quando durante o percurso da onda sonora a sua velocidade é alterada, resultado da passagem para um meio de propagação distinto ou simplesmente da alteração da velocidade de propagação no meio inicial (Almeida, Silva & Ferreira, 2006).

Como a velocidade de propagação do som no ar varia com a temperatura, então a ocorrência de variações da temperatura do ar com a altitude irá provocar a refração das ondas sonoras. Num caso em que a temperatura do ar aumente com a altitude, verifica-se um encurvamento das ondas sonoras na direção do solo, provocando o aumento do nível de pressão sonora junto ao solo. No caso contrário, ocorre uma deflexão da onda sonora na direção oposta, resultando numa diminuição do nível de pressão sonora junto ao solo (Almeida, Silva & Ferreira, 2006).

O fenómeno de refração é igualmente frequente devido à ação do vento. Como a velocidade do vento geralmente aumenta com a altitude, então a velocidade efetiva de propagação do som no ar irá também ser alterada. No caso de o vento soprar no mesmo sentido de propagação da onda sonora, a velocidade da onda sonora aumentará com a altitude, traduzindo-se num efeito de encurvamento similar ao anterior. Numa situação inversa ter-se-á uma deflexão da onda sonora, com a criação de uma zona de sombra (Almeida, Silva & Ferreira, 2006).

2.7 Enquadramento Legal

Em Portugal, o novo quadro legal relativo a ruído ambiente consiste no Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 Janeiro, que aprova o Regulamento Geral do Ruído (RGR), em vigor desde 1 de Fevereiro de 2007 e no Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de Julho que transpõe a Diretiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente.

O Decreto-lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro foi retificado pela Declaração de Retificação n.º 18/2007, de 16 de Março, e alterado pelo Decreto-lei n.º 278/2007, de 1 de Agosto.

O Decreto-lei n.º 146/2006, de 31 de Julho foi retificado pela Declaração de Retificação n.º 57/2006, de 31 de Agosto.

O novo RGR revoga o Regime Legal sobre a Poluição Sonora (RLPS) aprovado pelo Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de Novembro (alterado pelos Decretos-Lei n.º 76/2002, de 26 de Março, 259/2002, de 23 de Novembro e 293/2003, de 19 de Novembro). Este estabelece o regime e prevenção da poluição sonora, visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações. Aplica-se às atividades ruidosas permanentes, temporárias, às infraestruturas de transporte e a outras fontes de ruído suscetíveis de causar incomodidade e ainda ao ruído de vizinhança (RGR, 2007).

O mesmo diploma define que as áreas vocacionadas para os usos habitacionais existentes ou previstos, bem como para escolas, hospitais, espaços de recreio e lazer e outros equipamentos coletivos são classificadas de zonas sensíveis. As áreas cuja vocação seja afeta em simultâneo às utilizações anteriormente referidas bem como a outras utilizações, nomeadamente comércio e serviços, são classificadas de mistas (RGR, 2007).

De acordo com n.º 1 e n.º 3 do artigo 11º do Capítulo III do referido regulamento, às zonas sensíveis e mistas estão associadas valores máximos admissíveis de ruído ambiente no exterior. No Quadro 2.1 apresentam-se os valores limites de exposição para as zonas sensíveis e para as zonas mistas.

Quadro 2.1 - Valores limite de exposição ao ruído para zonas sensíveis e mistas

| Zona | Indicador Diurno-Entardecer-Noite | Indicador Noturno |
|-----------------------|--|--------------------------|
| Sensível | 55 dB(A) | 45 dB(A) |
| Mista | 65 dB(A) | 55 dB(A) |
| Sem classificação (*) | 63 dB(A) | 53 dB(A) |

(*) Aplicam-se a recetores sensíveis inseridos em zonas ainda não classificadas.

É de referir que os valores limites de exposição apresentados no Quadro 2.1 não são únicos. O Regulamento Geral do Ruído (RGR) tem atenção a zonas sensíveis cuja proximidade exista em exploração, à data da entrada em vigor do regulamento, uma grande infraestruturas de transporte e a zonas sensíveis cuja proximidade esteja projetada, à data de elaboração ou revisão do plano municipal de ordenamento de território, uma grande infraestrutura de transporte aéreo ou uma grande infraestrutura de transporte não aéreo, adotando valores limites de exposição superiores.

Este regulamento ainda define três períodos de dia, o período diurno está compreendido entre as 7.00h e as 20.00h, o período do entardecer está compreendido entre as 20.00h e 23.00h e o período noturno está compreendido entre as 23.00h e as 7.00h.

2.8 Indicadores de Ruído Ambiental

Na avaliação do ruído ambiente são em geral utilizados descritores de ruído, que caracterizam o ambiente acústico exterior.

O Regulamento Geral do Ruído, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de janeiro define os seguintes indicadores de ruído:

Indicador de ruído diurno

O indicador de ruído diurno, representado por L_d ou L_{dia} , corresponde ao nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP 1730-1:1996, determinado durante uma série de períodos diurnos representativos do ano, em que o período diurno corresponde está compreendido entre as 7.00h e as 20.00h.

Indicador de ruído entardecer

O indicador de ruído entardecer, representado por L_e ou $L_{\text{entardecer}}$, corresponde ao nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP 1730-1:1996, determinado durante uma série de períodos do entardecer representativos do ano, em que o período entardecer está compreendido entre as 20.00h e as 23.00h.

Indicador de ruído noturno

O indicador de ruído noturno, representado por L_n ou L_{noite} , corresponde ao nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP 1730-1:1996, determinado durante uma série de períodos noturnos representativos do ano, em que o período noturno está compreendido entre as 23.00h e as 7.00h.

Indicador de ruído diurno-entardecer-noturno

O indicador de ruído diurno-entardecer-noturno corresponde ao nível sonoro contínuo equivalente de 24 horas ponderado distintamente nos períodos de entardecer e noite, por forma a traduzir de uma forma mais aproximada o incómodo global. Sendo calculado através da Equação 3.

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

Além dos indicadores definidos pelo RGR, existem outros indicadores de ruído utilizados para caracterizarem o ambiente acústico, tais como indicadores médios, indicadores máximos, indicadores mínimos e indicadores estatísticos ou níveis de percentis.

Indicador de nível sonoro contínuo equivalente

O nível de pressão sonora contínuo equivalente (L_{eq}) é um indicador médio adotado internacionalmente por ser o mais representativo do ruído observado num determinado local e durante um certo intervalo de tempo, é expresso em dB e corresponde ao nível de pressão sonora assumido constante, no qual a quantidade de energia acústica emitida durante determinado período de tempo definido será a mesma que o ruído flutuante efetivo emitido. Pode corresponder a um L_{eq} de um minuto, de uma hora, de um dia ou mais. Se a curva é filtrada com a ponderação A, será identificada como L_{Aeq} sendo expresso em dB(A).

O nível sonoro contínuo equivalente é definido pela Equação 4:

$$L_{eq} = 10 \times \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_o} \right)^2 dt \right) \quad [4]$$

Indicador de nível sonoro máximo

O indicador de nível sonoro máximo, representado por L_{max} , corresponde, como o próprio nome indica, ao valor máximo registado de nível pressão sonora durante o período de medição.

Indicador de nível sonoro mínimo

O indicador de nível sonoro mínimo, representado por L_{min} , corresponde, como o próprio nome indica, ao valor mínimo registado de nível pressão sonora durante o período de medição.

Indicadores estatísticos

Os indicadores estatísticos ou níveis percentis correspondem a uma análise estatística dos valores registados para obter o nível percentil (L_N) para N% do tempo de medição. Os mais usuais são o L_5 e L_{95} . O L_5 representa o nível de ruído registado em 5% do tempo da medição em análise, trata-se de um bom indicador, juntamente com o L_1 , para caraterizar a ocorrência dos níveis de pressão sonora mais elevados. O L_{95} representa o nível de ruído registado em 95% do tempo de medição, trata-se de um bom indicador para caraterizar o ruído de fundo.

Outro indicador estatístico embora menos utilizado é o L_{50} . O L_{50} é um parâmetro de grande utilidade prática mas que é normalmente preferido face ao nível sonoro contínuo equivalente, L_{eq} , visto o último ser um indicador mais seguro.

2.9 Equipamentos de Medição de Ruído Ambiental

No mercado existe vários instrumentos que permitem realizar medições acústicas. Os aparelhos utilizados nas medições acústicas do som aéreo são o sonómetro e o dosímetro, que permitem medir níveis de pressão sonora, e as sondas de intensidade, que permitem medir intensidades sonoras. O sonómetro é o instrumento mais utilizado na caraterização do ruído ambiente (Silva, 2007).

O sonómetro foi concebido para adquirir sons de forma semelhante ao ouvido humano. Este equipamento é constituído por vários módulos, cujas funções são diversas. Dos vários módulos fazem parte o microfone, que converte a variação da pressão sonora que lhe chega sob a forma de um sinal elétrico. Este sinal é posteriormente transmitido ao pré-amplificador, que depois o amplifica. De seguida, o sinal é filtrado pelos filtros de ponderação e segue para o detetor. Este último e importante módulo permite ao sonómetro efetuar a leitura do som mediante o modo de leitura escolhido. O tipo de leitura pode ser efetuada em diferentes tempos de resposta: *slow*, *fast* e *impulse*. O tipo de leitura é condicionado pelo tipo de ruído que se pretende medir. As medições em modo *slow* são utilizadas para caracterizar o ruído exterior, as medições em modo *fast* são utilizadas para caracterizar o ruído industrial e ambiental e o modo *impulse* são utilizadas para avaliar ruído contendo variações acentuadas, ou seja, com picos de curta duração. No caso dos sonómetros integradores, estes possuem um circuito integrador que permitem determinar o ruído equivalente. Assim o cálculo do L_{eq} torna-se possível devido à acumulação do valor da energia sonora durante todo o período de medição possibilitando ainda o L_{max} e L_{min} registados no mesmo período (Silva, 2007).

No final, o nível de ruído e/ou os indicadores de ruído são gravados e/ou registados. Nos equipamentos mais elementares são simplesmente enviados para o display do sonómetro, normalmente digital (Silva, 2007).

2.10 Métodos de Avaliação de Ruído Ambiental

No mercado existe numerosos modelos previsionais de ruído que constituem um importante instrumento de trabalho na modelação da situação acústica, como referido por Bertellino & Licitra *cit. in* em Silva, 2007.

De um ponto de vista técnico, os métodos de previsão são melhores para determinar de forma continua, no espaço, os níveis de pressão sonora devido ao ruído do tráfego rodoviário. Ao contrário, das medições acústicas que se restringem a pontos fixos (Silva, 2007).

O método provisório recomendado pela Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de junho relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente recomenda que para o cálculo do ruído de tráfego rodoviário deve ser utilizado o método provisório de cálculo provisório, NMPB 96.

O método provisório designado por Novo Método de Previsão do Ruído do Tráfego (NMPB 96) foi desenvolvido em França em 1996 por um grupo de trabalho constituído pelas seguintes entidades: *Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les Constructions Publiques* (CERTU), *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB), *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* (LCPC) e *Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes* (SETRA) (Silva, 2007).

A partir de cada ponto recetor, o algoritmo de cálculo gera um conjunto de raios correspondentes à propagação do ruído, normalmente espaçados em ângulos iguais e, portanto, definindo sectores de círculo. O cálculo acústico é realizado para cada raio que sai do recetor considerado e que pode intersectar uma fonte de ruído. Se o intervalo angular for suficientemente pequeno, poder-se-á assumir que, nesse intervalo, o terreno e o meio mantêm características constantes e a propagação média não varia no sector. Nestas condições, o problema resume-se ao cálculo numa secção definida entre uma fonte pontual e o recetor. Para tal é necessário definir a potência acústica associada à fonte, a atenuação devida à divergência geométrica (A_{div}), a absorção pelo ar (A_{atm}), a difração (A_{dif}), os efeitos devidos ao solo (A_{solo}) e a absorção das superfícies verticais (A_{ref}) nas quais o raio foi refletido no plano horizontal (Silva, 2007).

As variáveis com influência na emissão sonora de uma via de tráfego rodoviário, são as seguintes (Rosão *et al.*, 2008):

- Tráfego Médio Horário de Veículos Ligeiros;
- Tráfego Médio Horário de Veículos Pesados;
- Velocidade de Circulação de Veículos Ligeiros;
- Velocidade de Circulação de Veículos Pesados;
- Tipo de Pavimento;
- Inclinação da via;
- Tipo de Fluxo.

As variáveis com influência na propagação sonora em campo livre são as seguintes (Rosão *et al.*, 2008):

- Temperatura;
- Humidade Relativa;
- Absorção Sonora do Solo;

- Probabilidade de Ocorrência de Gradientes Verticais de Velocidade do Som Favoráveis à Propagação Sonora.

Para a estimativa do nível sonoro por um período longo, denominado de longo termo (L_{LT}), o método tem em consideração as condições meteorológicas observadas localmente. Este nível L_{LT} é obtido à custa da soma dos contributos energéticos dos níveis sonoros obtidos, para as condições atmosféricas homogéneas, quando o gradiente vertical de velocidade do som é nulo e para condições atmosféricas favoráveis, quando o mesmo gradiente é positivo, ponderadas segundo a sua ocorrência relativa no local considerado. Nos períodos em que ocorrem condições atmosféricas desfavoráveis, quando o gradiente vertical de velocidade é negativo, são assumidos pelo método níveis sonoros correspondentes a condições homogéneas. Esta admissão majora de fato os níveis reais obtidos nestas condições de propagação, mas acaba por traduzir uma abordagem pelo lado da segurança (Silva, 2007). Assim, segundo este método, o nível acústico para um período longo é calculado a partir da Equação 5.

$$L_{LT} = 10 \log \left(p \times 10^{\frac{L_{pF}}{10}} + (1 - p) \times 10^{\frac{L_{pH}}{10}} \right) \quad [5]$$

Em que,

$L_{p,H}$ corresponde ao nível sonoro para condições meteorológicas homogéneas do local e é calculado através da Equação 6,

$$L_{p,H} = LW - A_{div} - A_{atm} - A_{solo,H} - A_{dif,H} - A_{ref} \quad [6]$$

$L_{p,F}$ corresponde ao nível sonoro para condições meteorológicas favoráveis do local e é calculado pela Equação 7,

$$L_{p,F} = LW - A_{div} - A_{atm} - A_{solo,F} - A_{dif,F} - A_{ref} \quad [7]$$

p representa a ocorrência das condições meteorológicas favoráveis durante a propagação do som e assume valores entre o intervalo aberto de 0 a 1,

LW representa a potência acústica associada ao tráfego rodoviário.

O cálculo da potência acústica (LW) associada ao tráfego rodoviário é função das características do tráfego, como o fluxo, a composição e a velocidade média do tráfego, bem como da tipologia e tipo de pavimento da estrada. Por simplificação de cálculo, os dados de tráfego relativos a duas categorias de veículos, ligeiros e pesados, são tratados de forma

agregada ponderando o fluxo de veículos pesados através de um fator de equivalência acústica entre veículos ligeiros e pesados (Silva, 2007).

A potência acústica por metro de faixa rodoviária é calculada pela Equação 8.

$$LW = LW_{VL} + 10 \log \left(\frac{\text{fluxo} + \text{fluxo} \times \%P \times (EQ - 1)/100}{V_{50}} \right) - 30 \quad [8]$$

Em que,

LW_{VL} corresponde à potência acústica produzida por um veículo ligeiro,

Fluxo corresponde ao número de veículos por hora por faixa de rodagem,

%P corresponde à percentagem de veículos pesados,

EQ corresponde à equivalência de veículos pesados/veículos ligeiros.

A potência acústica de um veículo ligeiro é obtida a partir da Equação 9.

$$LW_{VL} = 46 + 30 \log V_{50} + C \quad [9]$$

Em que,

V_{50} corresponde à velocidade do fluxo de veículos e $V_{50}=30$ se $V_{50} < 30$,

$C = 0$ para fluxo de tráfego fluído,

$C = 2$ para fluxo de tráfego interrompido,

$C = 3$ para fluxo de tráfego em aceleração.

O fator de equivalência acústica entre veículos ligeiros e pesados é dado pelo Quadro 2.2 de acordo com as Normas Francesas – NF S.31.085

Quadro 2.2 - Fatores de equivalência acústica entre veículos pesados e ligeiros. Fonte: Silva (2007)

| EQ | | Declive da faixa de rodagem (%) | | | | |
|------------|----------|---------------------------------|----|----|----|-----|
| | | ≤ 2 | 3 | 4 | 5 | ≥ 6 |
| Velocidade | 120 Km/h | 4 | 5 | 5 | 6 | 6 |
| | 100 Km/h | 5 | 5 | 6 | 6 | 7 |
| | 80 Km/h | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| | 50 Km/h | 10 | 13 | 16 | 18 | 20 |

O modelo em questão além de permitir a reprodução de cenários de determinado ruído esperado em variadas condições, também permite elaborar mapas de ruído. Estes mapas representam o ruído efetivamente existente numa determinada área.

2.11 Fontes de Ruído Ambiental

Em ambiente urbano, as principais fontes de ruído são provenientes do tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo, estas influenciam de forma determinante o ruído ambiente. Para além das infraestruturas de transportes, as atividades como a indústria, o comércio e serviços, os trabalhos de construção e a vizinhança também podem ser fontes de ruído relevantes (Shield & Dockrell, 2003).

O ruído emitido pelo tráfego rodoviário em termos de energia e teor espectral depende essencialmente de três fatores: do perfil aerodinâmico do veículo, do ruído emitido pelo motor e do ruído produzido pela relação pneus/pavimento. Este último tipo de ruído é, atualmente, o que mais contribui para o ruído emitido por todas as classes de veículos, principalmente a velocidades elevadas e é sem dúvida o tipo de pneus do veículo e a natureza do pavimento que influenciam o modo de condução (Silva, 2007).

O nível de ruído do tráfego também se encontra correlacionado com a taxa de fluxo do tráfego, com a velocidade de circulação dos veículos e com a composição do tráfego, que tem em conta a proporção de veículos pesados e de ciclomotores. Existe ainda um aumento de ruído em zonas onde a circulação implica mudanças de velocidade do veículo, como em zonas de semáforos, declives e cruzamentos.

O ruído proveniente do tráfego ferroviário depende da velocidade do comboio, do tipo de motor, dos vagões, dos trilhos e das fundações.

O ruído emitido pelo tráfego aéreo tem causado graves problemas de ruído na comunidade. As operações com aeronaves podem produzir níveis de ruído consideráveis nas imediações de aeroportos comerciais ou militares, sendo a descolagem o momento mais crítico.

As atividades industriais mecanizadas criam graves problemas de ruído, em grande escala. Estas atividades sujeitam uma fração significativa de trabalhadores a níveis de ruído potencialmente perigosos, provenientes de todos tipos de máquinas e que podem aumentar com a sua potência.

O ruído industrial varia consideravelmente, dependendo do equipamento a utilizar. Os níveis de ruído mais elevados são produzidos, geralmente, por componentes ou fluxos de gás que se movem a altas velocidades ou por operações que envolvem impactos. Em áreas industriais, o ruído, normalmente, provém de uma vasta variedade de fontes, muitas das quais são de natureza complexa.

As obras de construção são atividades que geram consideráveis emissões de ruído. Os equipamentos de construção, por vezes, são mal silenciados e as operações de construção são, frequentemente, realizadas sem considerar as consequências do ruído ambiental.

Outras fontes de ruído que resultam de áreas residenciais e de lazer podem interferir com o descanso e conforto do ser humano.

2.12 Efeitos do Ruído no Homem

Segundo o *Health Council Committee on Noise and Health*, os feitos mais comuns provocados pelo ruído ambiental na população são o ruído induzido, a incomodidade geral e as perturbações no sono (Silva, 2007).

O efeito nocivo do ruído afeta o ser humano em determinados aspetos, porém o único efeito que melhor se conhece da exposição ao ruído é a perda auditiva (Medeiros, 1999).

Os distúrbios atribuídos à exposição do ruído dependem de determinados fatores desde as características físicas do ruído, tais como a frequência, a intensidade, a duração e o ritmo, o tempo de exposição e as características individuais do ser humano exposto, como a suscetibilidade e a atitude perante o som (Medeiros, 1999).

Segundo Mergulhão (2009) a exposição ao ruído provoca alterações na saúde e no bem-estar do indivíduo, podendo-se distinguir os efeitos auditivos e extra auditivos.

2.12.1 Efeitos Auditivos

2.12.1.1 Perda Auditiva

A perda auditiva, provocada pelos efeitos do ruído, pode ocorrer devido a dois mecanismos: por exposição aguda, conhecida como trauma acústico, e por exposição crónica, tratando-se de uma perda auditiva induzida pelo ruído (PAIR) (Mello, 1999).

Mello (1999) afirma que a PAIR pode ser classificada em três tipos: trauma acústico, perda auditiva temporária e perda auditiva permanente.

Trauma Acústico

O trauma acústico consiste numa perda auditiva súbita, que ocorre após a exposição de um ruído repentino e de elevada intensidade, como uma explosão ou uma detonação. Em algumas situações é possível recuperar, parcialmente ou totalmente, a audição através de tratamentos. Este tipo de trauma pode ser acompanhado pela rotura da membrana timpânica e/ou subluxação dos ossículos do ouvido médio (Mello, 1999).

Perda Auditiva Temporária

A perda auditiva temporária, também conhecida como alteração temporária do limiar auditivo ou fadiga auditiva, ocorre após a exposição a um ruído intenso num curto intervalo de tempo.

Após um logo tempo de exposição, um ruído que provoque uma perda auditiva temporária, também pode provocar uma perda auditiva permanente (Mello, 1999).

Perda Auditiva Permanente

A perda auditiva permanente, também conhecida por PAIR, consiste numa perda pela exposição prolongada ao ruído (Mergulhão, 2009).

2.12.1.2 Efeitos Extra Auditivos

Interferência na Comunicação Oral

Ambientes com níveis de ruído elevados podem causar dificuldades na comunicação devido ao mascaramento da voz, o que prejudica a compreensão da fala (Medeiros, 1999).

Perturbações no Sono

O ruído interfere, diretamente, na qualidade do sono e, indiretamente, nos efeitos do quotidiano do trabalhador. É incontestável a importância de uma boa noite de sono para o bom desempenho do indivíduo durante as suas tarefas, principalmente aquelas que exigem concentração e habilidade, refletindo-se num melhor rendimento no trabalho e na vida social (Medeiros, 1999).

Alterações no Desempenho

Os efeitos do ruído sobre as atividades dependem do tipo de atividade e das características dos indivíduos. Mas, em geral, o ruído provoca uma diminuição da capacidade de concentração e memória, do rendimento de trabalho e um aumento do número de erros e de acidentes (Monteiro, 1998).

Para Medeiros (1999) a exposição a níveis de ruído elevados, durante intervalos de tempo consideráveis, interfere na concentração e no desempenho das atividades do indivíduo, diminuindo a sua performance e a sua produtividade.

Incomodidade

A incomodidade resulta em geral de uma intrusão do ruído que não é consentida pelo recetor. Obviamente o peso de diversos fatores irá depender das circunstâncias e das características do ruído. O ruído incomoda quando, por exemplo, se sobrepõe e mascara uma informação desejada, suscita demasiadas informações inúteis ou é incompreensível, podendo provocar no recetor reações variadas, como o stress, fadiga, irritabilidade, medo e até violência (Monteiro, 1998).

Perturbações Psicológicas

Alguns psiquiatras e psicólogos acreditam que os níveis de ruído bastante elevados podem desencadear agressividade e violência. Também afirmam que as pessoas expostas ao ruído

prolongado mostram maior sensibilidade e tendência para se envolverem em situações de briga e discussões. Após um dia em ambiente ruidoso, o indivíduo tende a irritar-se com mais facilidade. A maioria dos autores afirma que mudanças na conduta e no humor, falta de atenção e concentração, ansiedade, depressão, cansaço, stress, entre outros, são sintomas que resultam da exposição ao ruído. Estes sintomas podem aparecer isoladamente ou não (Medeiros, 1999).

Perturbações Fisiológicas

As perturbações fisiológicas são diversas e as mais comuns são as flutuações das pulsações cardíacas, da tensão arterial e da vasodilatação dos vasos periféricos, bem como a contração dos músculos das vísceras e modificações do funcionamento das glândulas endócrinas (Monteiro, 1998).

3 RUÍDO EM ESCOLAS

3.1 Importância do Ambiente Escolar

Segundo a Constituição da República Portuguesa, o Estado promove a democratização da educação com o fim de contribuir para o desenvolvimento económico, social e cultural do país e dos seus cidadãos. A escola proporciona um dos principais ambientes favoráveis a esse desenvolvimento.

O ambiente escolar deve ser propício ao desenvolvimento global do cidadão, garantindo adequadas condições acústicas, de iluminação e ventilação (Nascimento & Lemos, 2011).

O ruído em ambiente escolar prejudica o processo de ensino aprendizagem. Este processo necessita de inteligibilidade, clareza e nitidez na comunicação, principalmente no início da vida escolar, quando a criança anda não desenvolveu as estratégias auditivas, prejudicando o entendimento de determinadas ações no caso de não ser possível ouvir o enunciado completo (Lourenço & Silveira, 2011).

3.2 Inteligibilidade da Fala

Cordeiro (1996) define a inteligibilidade da fala como a relação entre o número de frases, palavras ou sílabas entendidas e o número de frases, palavras ou sílabas faladas.

Para Batista (1998), a inteligibilidade da fala está diretamente ligada às características e tipo de ocupação do espaço em estudo. Essas características correspondem ao volume da sala, nível de ruído de fundo, tempo de reverberação, coeficiente de absorção sonora das superfícies em estudo e à distância e orientação entre quem fala e quem escuta.

O autor anterior considera a inteligibilidade da fala como satisfatória quando 95% das sentenças são compreendidas. Seep *et al.* (2002) afirmam que em salas de aula onde a inteligibilidade da fala for inferior a 90% devem ser implantados tratamentos acústicos de modo a melhorar a relação sinal/ruído e a diminuir o tempo de reverberação. Os mesmos

autores descrevem que estes parâmetros acústicos podem medir a inteligibilidade da fala em salas de aula.

A relação sinal/ruído corresponde à relação entre o som produzido pela fonte principal e o ruído de fundo que existe no meio envolvente. Calcula-se pela diferença entre o nível sonoro da fonte principal e o nível sonoro do ruído de fundo e expressa-se em decibel. Este valor torna-se importante na determinação do grau de inteligibilidade de ambientes. Assim, quanto maior for este valor, maior é o grau de inteligibilidade (Hans, 2001).

Para Seep *et al.* (2002), a relação sinal/ruído, geralmente, é menor nos fundos das salas de aula, onde o nível sonoro emitido pela voz do professor decresce ou perto da fonte de ruído, onde o nível sonoro é máximo. Os mesmos autores consideram que o valor mínimo desejável de sinal/ruído é de + 15 dB para crianças com alguma deficiência auditiva.

Bradley, Reich e Norcross (1999) afirmam que a relação sinal/ruído é muito importante para garantir a inteligibilidade da fala. Contudo, segundo os mesmos, não adianta estabelecer tempos de reverberação corretos para uma determinada sala de aula se a relação anterior não for adequada. Bradley (2002) define que o valor ideal de sinal/ruído para as salas de aula é de + 15 dB.

O tempo de reverberação corresponde ao intervalo de tempo necessário para que a energia volúmica do campo sonoro de um recinto fechado se reduza a um milionésimo do seu valor inicial (RRAE, 2008).

Quando um som se propaga dentro de um ambiente, ao encontrar um obstáculo, como por exemplo uma parede, o som reflete-se voltando para o mesmo ambiente. As múltiplas reflexões do som num ambiente causam reverberação, que corresponde ao prolongamento do som. Não se deve confundir reverberação com eco uma vez que os dois são causados por reflexão do som (Fernandes, 2006).

O índice de reflexão das superfícies do ambiente e o volume do espaço são os responsáveis pela reverberação. Assim, quanto mais dura a superfície maior a reflexão e quanto maior as distâncias entre as superfícies maior será o atraso do som e maior será a reverberação (Fernandes, 2006).

Fernandes (2000) afirma que a reverberação prejudica bastante a inteligibilidade da fala. Quando se pronuncia uma palavra com várias sílabas, os sons sobrepõem-se. Assim quando se pronuncia uma sílaba, o som da sílaba anterior ainda está a ser ouvido. Acrescenta que

quando a fala é muito rápida ou a reverberação é grande, mesmo as pausas entre as palavras se tornam preenchidas com o som reverberante, em que os finais das palavras que precedem as pausas sobrepõem-se ao início das palavras que se seguem.

3.3 Propagação do Som no Interior de uma Sala de Aula

No interior de uma sala de aula, o som propaga-se quando choca contra as paredes limites e/ou contra outros obstáculos na sua trajetória. O som emitido por uma fonte pode atingir um ouvinte diretamente, designando-se por som direto ou indiretamente, designando-se por som refletido ou reverberante. O som indireto é refletido pelas superfícies como as paredes, o piso e o teto após de ter chocado contra estas. O som direto e o som refletido pode ou não atingir simultaneamente o ouvinte. Devido às reflexões, o nível sonoro na sala de aula é superior ao nível sonoro correspondente em campo livre (Amorim, 2007). A Figura 3.1 exemplifica uma situação típica em sala de aula, onde há um orador emitindo som para os recetores.

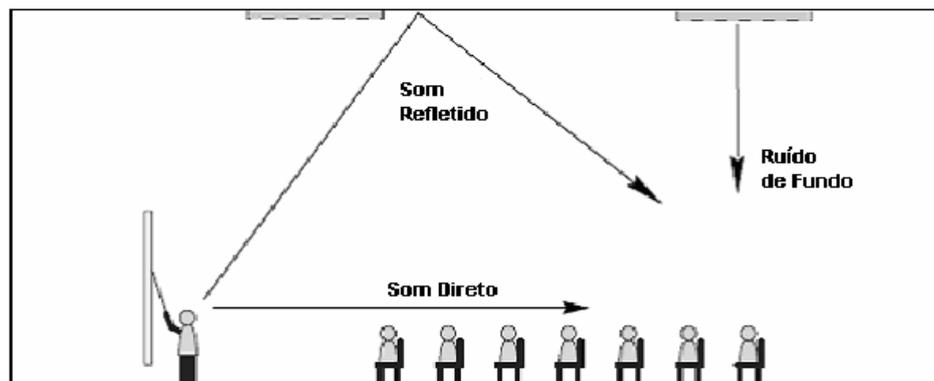


Figura 3.1 - Situação típica de sala de aula. Fonte: Adaptado de Brüel & Kjaer (2005, p.13)

Para o estudo da acústica em ambientes fechados é necessário observar que a distribuição sonora gera dois tipos de campos sonoros: um direto e outro indireto, também designado por campo sonoro refletido ou reverberante (Alvarenga, 2003).

O campo direto obedece à lei da propagação do campo livre e decai 6 dB cada vez que a distância da fonte sonora ao ouvinte é duplicada. Já no campo reverberante as ondas que atingem o ouvinte são provenientes de todas as direções (Gerges, 2000).

O som refletido pode chegar ao recetor com um determinado atraso, quando o som direto já se encontrar quase extinto. Após cessada a fonte sonora o decaimento do som é gradual e depende da quantidade, do tipo e posição dos materiais de acabamento, ou seja das

superfícies de absorção da sala. Este fenómeno é designado por reverberação do som. A reverberação representa a quantidade de absorção do ambiente e depende diretamente dos materiais de acabamento das superfícies e da ocupação da sala. Na avaliação de salas, a reverberação é analisada através do tempo de reverberação (TR). O tempo de reverberação corresponde ao tempo necessário para o nível de pressão sonora decair em 60 dB. É de referir que cada tipo de sala tem um tempo de reverberação ótimo que deve ser previsto no projeto da sala (Amorim, 2007).

A reverberação do som é um fenómeno importante na avaliação de ambientes fechados. O som emitido propaga-se em todas as direções devido aos obstáculos e duraria indefinidamente caso não houvesse a absorção na sala (Fusco, 1996).

No encontro de obstáculos, como por exemplo nas paredes da sala, as ondas dividem-se de acordo com o meio de propagação, resultando parcelas de som refletido, som transmitido e som absorvido. Como consequência, durante esta propagação são produzidos os seguintes fenómenos sonoros: transmissão; reflexão; difusão também designada por reflexão difusa, difração e absorção (Amorim, 2007). Estes fenómenos encontram-se descritos na Secção 2.6 do Capítulo 2.

3.4 Fontes de Ruído na Sala de Aula

O aumento da intensidade do ruído na escola pode estar relacionado tanto com fontes externas como com fontes internas. Conversas paralelas entre os alunos, mobiliários, equipamentos acústicos, ventilação do ambiente, proximidade entre as salas de aula adjacentes são algumas das fontes internas de ruído na sala de aula. O tráfego de veículos e a movimentação de pessoas representam algumas das fontes externas (Matos, 2008).

Fernandes (2006) classifica as fontes de ruído na sala de aula em três tipos: fontes externas, fontes da escola e fontes internas. No ruído gerado na escola, o autor distingue as fontes que geram ruído dentro da própria sala de aula e as fontes que geram ruído no interior da escola, em ambientes adjacentes às salas de aula.

O nível de ruído dentro de uma sala, proveniente de fontes externas, depende da intensidade do próprio ruído, das propriedades de isolamento sonoro dos elementos construtivos e da absorção sonora da sala. Os materiais de absorção servem para reduzir o tempo de

reverberação e o nível de ruído de fundo. Na sala de aula, o som da fala direta está misturado com o som que resulta da reverberação e com o ruído de fundo (Gonçalves, Silva & Coutinho, 2009).

As atividades em sala de aula são, por si mesmas, fontes de ruído. A voz humana tem uma potência sonora média que varia entre os 40 dB e os 70 dB (Viveiros, 2000). O ruído ambiente também pode ser designado por ruído de fundo. No caso de escolas é considerado como todo o ruído presente na sala de aula exceto a voz do professor (Magalhães, 2011).

3.5 Influência do Ruído na Escola

O ruído nas escolas pode ser encarado como um fator perturbador que impede a transferência de conhecimentos, baseada essencialmente na comunicação verbal. Os professores tentam compensar um som de fundo ruidoso elevando o tom de voz, este fenómeno designa-se por *Efeito Lombard* (Drossi & Momensohn-Santos, 2004).

No processo de aprendizagem a quantidade de informações fornecidas é muito grande, sendo a maior parte composta por novos assuntos para as crianças (Fiorini, 2002).

Eniz (2004) afirma que as crianças que estão em fase de aquisição de vocabulário são as mais prejudicadas, estas nem sempre compreendem com exatidão as palavras pronunciadas pelo seu professor. Paixão (1997) acrescenta que as crianças em anos escolares iniciais ainda não desenvolveram as suas estratégias auditivas e quando deixam de entender uma palavra torna-se difícil completar a ideia através do sentido da frase. Em termos cognitivos, também os alunos em anos escolares mais avançados são prejudicados pelo ruído, embora com menos intensidade do que aqueles que se encontram em fase de alfabetização. Estes apresentam estratégias auditivas mais desenvolvidas e um vocabulário mais vasto, tornando-se mais fácil deduzir o restante da palavra ou da frase de algum colega ou do professor pronunciada no momento prejudicado pelo ruído.

Outros efeitos do ruído em crianças e adolescentes são a perda de concentração, desinteresse, mudança de comportamento, decréscimo da capacidade de trabalho, reações de stress e aumento significativo do tom de voz na comunicação verbal, este último fato evidencia-se na comunicação entre alunos e professores (Eniz, 2004).

Segundo a OMS (2001), os níveis sonoros excessivos na escola e em casa, além de influenciarem na qualidade da comunicação verbal, causam uma série de problemas no desenvolvimento intelectual dos alunos, como a demora na aquisição de linguagem, dificuldades na escrita e na fala, limitações na habilidade de leitura e na composição de vocabulário. Acrescenta que um ambiente ruidoso pode, igualmente, levar a mudanças no comportamento das crianças. O ruído em excesso contribui para um comportamento agressivo e fácil irritabilidade, o que pode afetar o ambiente social dentro e fora da escola, resultando em discussões e brigas.

No ambiente escolar, o ruído não é apenas um incómodo, mas interfere no rendimento escolar das atividades de ensino. Pesquisas anteriores revelam que os professores que se sentiam incomodados em lecionar em salas ruidosas, apresentavam problemas de voz devido à necessidade de falar com grande intensidade, percebiam a interferência do ruído no entendimento da sua fala, pois vários alunos tinham dificuldade em ouvir e notavam a dispersão da atenção dos alunos, prejudicando a aprendizagem, a saúde e o bem-estar do aluno (Fernandes, 2006).

Em contexto de diferenças individuais entre crianças, os níveis de ruído também podem exercer uma maior ou menor influência. As crianças com dificuldades na leitura e na aprendizagem de cálculos matemáticos são mais sensíveis à exposição ao ruído (Evans & Lepore, 1993).

3.6 Valores Padrão de Acústica em Salas de Aula

Os limites para o conforto acústico nas salas de aulas são regulamentados, individualmente, pelos países ou autoridades locais. A harmonização internacional dos níveis de ruído torna-se difícil devido às diferenças no estilo de vida, clima e desenho das construções de cada país (Zwirtes, 2006).

3.6.1 OMS

O valor proposto pela OMS para o nível de ruído de fundo de 35 dB(A), baseia-se na suposição que o nível de som produzido pela voz do professor é igual a 55 dB(A), para uma distância de 1m.

O nível de ruído máximo de 55 dB(A) para zonas de recreio tem por base o mesmo valor admitido para as zonas exteriores das áreas residenciais, durante o dia, de modo a prevenir níveis de incomodidade.

Os valores de referência, segundo a OMS, de níveis de ruído máximo e tempos de reverberação em escolas encontram-se resumidos no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Valores de referência em escolas. Adaptado: Shield & Dockrell, 2003

| | Nível de ruído, dB L_{Aeq} | Tempo de reverberação, segundos |
|--------------------------|---|--|
| Salas de aula | 35 | 0.6 |
| Refeitórios e cafeterias | - | <1 |
| Zonas de recreio | 55 | - |

3.6.2 ANSI S12.60-2002

A norma americana, *ANSI S12.60-2002*, publicada em 2002, especifica limites para os níveis de ruído de fundo e tempos de reverberação em espaços destinados à aprendizagem, tais como, salas de aula, salas de conferência, bibliotecas, salas de música e outros, de acordo com o seu volume, como mostra no Quadro 3.2. A norma admite que os espaços estão mobilados mas desocupados.

Quadro 3.2 - Níveis máximos de ruído de fundo e tempos de reverberação em espaços destinados à aprendizagem. Adaptado: Shield & Dockrell, 2003

| Área | Nível de ruído de fundo, dB L_{Aeq,1hora} | Tempo de reverberação, segundos |
|---|--|--|
| < 283 m ² | 35 | 0.6 |
| > 283 m ² e < 566 m ² | 35 | 0.7 |
| > 566m ² | 40 | - |

3.6.3 BB 93

O *Building Bulletin 93* (BB 93) é um documento publicado no Reino Unido pelo Departamento de Educação em 2003, e está de acordo com a normalização de acústica de edifícios. Este documento vem em substituição do BB 87, que deu conselhos sobre sistemas de aquecimento, elétricos, de ventilação e acústicos para edifícios escolares. O BB 93

especifica os níveis de ruído ambiente interiores, tempos de reverberação e isolamento acústico para mais de 30 tipos de espaços destinados ao ensino e aprendizagem nas escolas.

O BB 93 apresenta uma maior exigência nos valores que o BB 87 por refletir uma maior conscientização dos efeitos do ruído e da reverberação nas crianças, em particular, nas crianças com deficiência auditiva.

No Quadro 3.3 encontram-se exemplos para limites de ruído ambiente e tempos de reverberação para alguns espaços escolares. Os valores entre parêntesis na tabela correspondem aos valores do BB 87. Os níveis de ruído ambiente e o tempo de reverberação referem-se a espaços desocupados e sem mobília.

Quadro 3.3 - Valores limites de níveis de ruído e tempos de reverberação. Adaptado: Shield & Dockrell, 2003

| | Nível de ruído ambiente interior, dB L_{Aeq},30min | Tempo de reverberação, segundos |
|---|---|--|
| Salas de aulas de escolas primárias | 35 (40) | <0.6 (0.5 - 0.8) |
| Salas de aulas de escolas secundárias | 35 (40) | <0.8 (0.5 - 0.8) |
| Sala de leitura (< 50 pessoas) | 30 (35) | <1.0 |
| Sala de aula para alunos com deficiência auditiva | 30 | <0.4 |
| Biblioteca | 35 (40) | <1.0 (0.5 - 1.0) |
| Auditórios | 35 (35) | 0.8 - 1.2 |
| Laboratório de ciências | 40 (40) | <0.8 (0.5 - 0.8) |
| Ginásio | 40 | <1.5 (1.0 - 1.5) |
| Refeitórios | 45 (50) | <1.0 (0.5 - 0.8) |

3.6.4 ASHA e BATOD

A *American Speech-Language-Hearing Association* (ASHA) e a *British Association of Teachers of the Deaf* (BATOD) são organizações que estão envolvidas com pessoas portadoras de deficiência auditiva e publicaram em 1995 e 2001, respetivamente, valores máximos admissíveis de níveis de ruído ambiente, tempo de reverberação e relação sinal/ruído para salas de aula desocupadas, conforme apresenta a Quadro 3.4.

Quadro 3.4 - Valores recomendados pela ASHA e BATOD para salas de aula. Adaptado:

Shield & Dockrell, 2003

| | ASHA (1995) | BATOD (2001) |
|-------------------------|--------------------|----------------------------|
| Nível de ruído de fundo | 30 - 35 dB(A) | ≤ 35 dB(A) |
| Tempo de reverberação | ≤ 0.4 s | ≤ 0.4 s, 125 Hz to 4000 Hz |
| Relação sinal/ruído | ≥ 15 dB | > 20 dB, 125 Hz to 750 Hz |
| | | > 15 dB, 750 Hz to 4000 Hz |

3.7 Níveis de Ruído nas Escolas e o Enquadramento Legal Português

Em Portugal, o enquadramento legal do ruído resulta da transposição da Diretiva 2002/49/CE para o direito jurídico interno, através do Decreto-Lei 146/2006 de 31 de julho e pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de janeiro, que aprova o Regulamento Geral do Ruído (RGR).

Na Diretiva 2002/49/CE encontram-se definidos os parâmetros limitadores a serem utilizados pelos Estados membros, num sentido de harmonização de critérios com o fim de melhorar a exposição da população da União Europeia ao ruído. Esses parâmetros correspondem ao Nível Dia-Entardecer-Noite (L_{den}) e Nível Noite (L_{noite}) (Rosão, Conceição & Marques, 2008).

O L_{den} corresponde a um parâmetro ponderado que engloba as 24 horas do dia, sendo definido pela Equação 3 da Secção 2.8 do Capítulo 2.

A ponderação do valor do L_e com um acréscimo de 5 dB e o valor do L_n com um acréscimo de 10 dB no parâmetro L_{den} , deve-se ao fato do ouvido humano exigir menos conforto acústico no período diurno comparativamente com o período entardecer e ainda menos com o período noturno. Assim, o parâmetro L_{den} está vocacionado para proteção dos usos do solo em que a sensibilidade ao ruído aumenta com o decorrer do dia, ou seja, está sobretudo vocacionado para os usos habitacionais (Rosão, Conceição & Marques, 2008).

O RGR ao estabelecer valores limites apenas para o L_{den} e para o L_{noite} , desprotege, de certa forma, os usos do solo onde a sensibilidade ao ruído é superior no período diurno, como é caso das escolas (Rosão, Conceição & Marques, 2008), objeto de estudo deste trabalho.

Sendo o RGR mais exigente para zonas sensíveis do que para zonas mistas, parte do problema poderia ser resolvido caso ocorresse uma classificação dos usos do solo referidos como zonas sensíveis, em que o RGR estabelece que o valor do L_{den} não deve exceder os 55 dB(A) e o valor do L_{noite} não deve exceder os 45 dB(A). Visto que as escolas não têm qualquer tipo de

atividade no período da noite e são obrigadas a cumprir o limite de 45 dB(A) no referido período, a sua inclusão em zonas sensíveis torna-se discutível, pelo que alguns decisores defendem a sua classificação em zonas mistas onde o valor de L_{den} não deve exceder os 65 dB(A) e o valor de L_{noite} não deve exceder os 55 dB(A) (Rosão, Conceição & Marques, 2008).

Como exemplo demonstrativo da pouca proteção fornecida por estes limites, aos usos em que a sensibilidade ao ruído é mais marcada no período diurno, que no caso da zona em causa ser muito tranquila nos períodos do entardecer e noturno em que o valor do $L_{entardecer}$ seja inferior a 50 dB(A) e o valor de L_{noite} inferior a 45 dB(A), então o valor de L_{dia} pode chegar a 67 dB(A) sem que o valor de L_{den} ultrapasse os 65 dB(A) (Rosão, Conceição & Marques, 2008).

A OMS estabelece que o nível sonoro contínuo equivalente não deve exceder os 55 dB(A) na zona de recreio no exterior durante as atividades de recreio (Rosão, Conceição & Marques, 2008).

Comparando os valores definidos pela OMS pelo RGR, conclui-se que as escolas inseridas nas zonas classificadas como mistas, segundo o RGR, estão sujeitas a níveis de pressão sonora superiores aos valores recomendados pela OMS.

3.8 Níveis de Ruído nas Salas de Aula

De acordo com estudos realizados, o discurso de um professor pode variar entre os 40 a 80 dB(A). Esta significativa variação é justificada pelos diferentes métodos de medição e posição do equipamento de medição dos níveis de pressão sonora. Assim, calcula-se que o valor médio do nível sonoro seja de 60,1 dB(A), considerando uma distância de 2 metros do professor (Shield & Dockrell, 2003).

Os níveis de ruído de fundo em salas de aula desocupadas devem-se a fontes de ruído dentro da sala, como por exemplo do ruído do sistema de ventilação, do ruído proveniente de outras áreas da escola e a partir de fontes externas à escola. Os níveis de ruído do sistema de ventilação numa sala de aula podem variar entre os 23 dB(A) e os 55 dB(A). Uma pesquisa realizada em sete salas de aulas de escolas primárias revelou que os níveis de ruído de fundo variaram entre os 35 dB(A) e os 45 dB(A) (Shield & Dockrell, 2003).

Estudos realizados por Shield e Dockrell (2003) em escolas primárias registam níveis de ruído entre os 45 dB(A) e os 48 dB(A) em salas de aulas desocupadas, assumindo que foram

estudadas sem tratamento acústico. Mesmo quando os alunos estão em silêncio no interior da sala de aula, a sua presença aumenta, significativamente, o nível de ruído comparado com a sala de aula desocupada. Assim, tendo em conta a presença de alunos e considerando que estes se encontram em silêncio, verifica-se um aumento do nível de ruído de 35 dB(A) para 56 dB(A). Acrescentam que quando os alunos se encontram em silêncio o valor médio de ruído em salas de aula com tratamento acústico é de 46.5 dB(A), e de 56 dB(A) em salas de aulas sem tratamento acústico. Independente dos níveis de ruído quando a sala se encontra desocupada ou da idade dos alunos, a presença destes, em silêncio, na sala de aula, produz um aumento de ruído, aproximadamente, para os 56 dB(A).

Estudos realizados em salas de aula com os alunos em atividades de aprendizagem revelaram que os níveis de ruído medidos variam entre os 56 dB(A), quando as crianças se encontram em silêncio e os 77 dB(A), quando as atividades envolvem trabalhos de grupo e movimento em torno da sala (Shield & Dockrell, 2003).

Segundo Russo (1993) uma sala de aula ideal deve manter um nível médio de intensidade de 40 a 50 dB(A). O mesmo autor considera que o ruído acima de 80 dB(A) é considerado, potencialmente, lesivo à audição.

3.9 Importância da Acústica nas Salas de Aula

A escola é uma instituição que tem por objetivo o ensino, a qual exerce um papel fundamental na formação dos indivíduos. Os edifícios escolares devem ser capazes de proporcionar condições favoráveis ao desenvolvimento das atividades dos alunos, satisfazendo as diferentes necessidades ambientais. Entre essas necessidades destaca-se a qualidade acústica dos edifícios.

Cada vez mais realizam-se estudos sobre a acústica de salas de aulas devido à sua influência no processo de ensino aprendizagem. Os ambientes escolares exigem que a qualidade acústica seja prevista logo na conceção do projeto (Amorim, 2007).

A importância das condições acústicas dentro das salas é determinada pelo seu tamanho, revestimento e uso (Viveiros, 2000).

Em acústica de salas de aulas, torna-se importante conhecer o comportamento do som para eliminar o ruído que possa interferir na inteligibilidade da fala, promovendo um ambiente

adequado para a aprendizagem do aluno. Os projetos de escolas que dão especial atenção às características acústicas têm revelado um melhor aproveitamento escolar (Maxwell & Evans, 2000).

Os estudos sobre a qualidade acústica nos ambientes escolares revelam que a reverberação e o ruído em excesso interferem na inteligibilidade da fala, diminuindo o entendimento e portanto interferindo no processo de ensino aprendizagem (Oiticica & Bertoli, s/d).

Em Portugal, o processo de avaliação acústica dos edifícios tem em conta a legislação imposta pelo Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE). Este documento foi aprovado pelo Decreto-Lei n.º 129/2002 de 11 de maio e alterado pelo Decreto-Lei n.º 96/2008 a 9 de junho. As alterações induzidas atualizam os parâmetros de desempenho acústico dos edifícios e os indicadores de ruído de equipamentos e instalações, estabelecendo explicitamente procedimentos de avaliação de conformidade de acordo com as normas definidas no RGR, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de janeiro.

O artigo n.º 7 do RRAE diz respeito aos edifícios escolares e similares, e de investigação, estes devem cumprir os seguintes requisitos acústicos:

O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{2m,n,w}$) entre o exterior dos edifícios e os compartimentos interiores como as salas de aula, incluindo salas de aula musical, de professores, administrativas, bibliotecas, gabinetes médicos, salas polivalentes e berçários em zonas mistas ou em zonas sensíveis cuja proximidade exista em exploração, à data da entrada em vigor do RGR, uma grande infraestrutura de transporte ou cuja proximidade esteja projetada, à data de elaboração ou revisão do plano municipal de ordenamento do território, uma grande infraestrutura de transporte aéreo ou não aéreo, não deve ser inferior a 33 dB, em zonas sensíveis não deve ser inferior a 28 dB. Quando a área translúcida for superior a 60% do elemento da fachada em análise deve ser adicionado ao índice $D_{2m,n,w}$, o termo de adaptação apropriado, C ou C_n , conforme o tipo de ruído dominante na emissão e mantendo-se os limites anteriores.

O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{n,w}$) entre locais do edifício encontra-se estabelecido no Quadro 3.5.

Quadro 3.5 - Índice de isolamento a sons de condução aérea entre compartimentos ($D_{n,w}$).

Fonte: RRAE, 2008

| Locais de receção - Locais de emissão | Salas de aula (*), de professores, administrativas | Bibliotecas e gabinetes médicos | Salas polivalentes e berçários |
|---|---|--|---|
| Salas de aula, de professores, administrativas | ≥ 45 | ≥ 45 | ≥ 45 |
| Salas de aula musical, salas polivalentes, refeitórios, ginásios e oficinas | ≥ 55 | ≥ 58 | ≥ 50 |
| Berçários | ≥ 53 | ≥ 55 | ≥ 48 |
| Corredores de grande circulação (**) | ≥ 30 | ≥ 35 | ≥ 30 |

(*) Incluindo salas de aula musical.

(**) Considerando que haverá porta de comunicação com os locais recetores; se tal não for o caso, os valores indicados serão acrescidos de 15 dB

O índice de isolamento sonoro a sons de percussão ($L_{n,w}$) proveniente de uma excitação de percussão normalizada sobre pavimentos de outros locais do edifício, no interior de salas de aula, incluindo salas de aula musical, de professores, salas administrativas, bibliotecas, gabinetes médicos, salas polivalentes e berçários, não deve ser superior a 60 dB se o local emissor for o corredor de grande circulação, ginásio, refeitório ou oficina e superior a 65 dB se o local emissor for salas de aulas, berçários ou salas polivalentes.

O tempo de reverberação (T) correspondente média aritmética dos valores obtidos para as bandas de oitava centradas nas frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz, no interior de salas de aula, bibliotecas, salas polivalentes e refeitórios, considerados mobilados e sem ocupação, deverá cumprir o requisito do Quadro 3.6.

Quadro 3.6 – Tempo de reverberação segundo o volume dos espaços. Fonte: RRAE, 2008.

| Locais | Tempo de reverberação (500 Hz – 2000 Hz) |
|--|---|
| Salas de aula, bibliotecas, salas polivalentes e refeitórios..... Ginásios..... | $T \leq 0,15 V^{1/3}$ [s] (V. artigo 9.º) |

V = Volume interior do recinto em causa

A área de absorção sonora equivalente (A), expressa em m², dos revestimentos absorventes sonoros do paramento interior da envolvente dos átrios e corredores de grande circulação deve

satisfazer a Equação 10, a qual corresponde à média aritmética dos valores obtidos para as bandas de oitava centradas nas frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz.

$$A \geq 0,25 \times S_{planta} \quad [10]$$

Onde S_{planta} refere-se à superfície de pavimento dos locais considerados.

O nível de avaliação ($L_{ar,nT}$) do ruído particular de equipamentos do edifício no interior salas de aula, salas de aula musical, de professores, salas administrativas, bibliotecas, gabinetes médico, salas polivalentes e berçários deve satisfazer as condições do Quadro 3.7.

Quadro 3.7 - Nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$, do ruído particular de equipamentos. Fonte: RRAE, 2008

| Locais | Nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$ | Condição |
|---|---------------------------------|--|
| Bibliotecas | $L_{Ar} \leq 35 \text{ dB(A)}$ | Se o funcionamento do equipamento for contínuo |
| | $L_{Ar} \leq 30 \text{ dB(A)}$ | Se o funcionamento do equipamento for intermitente |
| Salas de aula, salas de aula musical de professores, administrativas, gabinetes médicos, salas polivalentes e berçários | $L_{Ar} \leq 40 \text{ dB(A)}$ | Se o funcionamento do equipamento for contínuo |
| | $L_{Ar} \leq 35 \text{ dB(A)}$ | Se o funcionamento do equipamento for intermitente |

Nas avaliações *in situ* destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos acústicos dos edifícios deve ser tido em conta um fator de incerteza (I) associado à determinação das grandezas anteriores de modo a satisfazer o limite regulamentador. O edifício, ou alguma parte deste, encontra-se conforme os requisitos acústicos aplicáveis, quando ao valor de $D_{2m,nw}$ ou $D_{n,w}$ acrescido de 3 dB satisfaça o limite regulamentar, ao valor $L_{n,w}$ diminuído 3 dB satisfaça o limite regulamentar, ao valor de $L_{ar,nT}$ diminuído de 3 dB(A) satisfaça o valor regulamentar e ao valor do tempo de reverberação diminuído no valor de 25% do limite regulamentar, satisfaça o limite regulamentar (RRAE, 2008).

A implantação do terreno tem um papel importante na qualidade acústica do edifício escolar. O projetista deve distanciar o edifício de fontes de ruído, tendo em consideração a disposição e os limites do terreno, sendo o primeiro critério a estudar. Além dos cuidados com a escolha do terreno é necessário a escolha criteriosa da tipologia a adotar. As tipologias horizontais em um ou dois pavimentos ficam menos expostas ao ruído difundido pela vizinhança, enquanto tipologias verticais estão mais vulneráveis ao ruído presentes nos arredores da edificação. Nas

tipologias em que se adota um recreio central deve-se evitar que este seja utilizado posteriormente como áreas recreativas ou desportivas, especialmente se o espaço físico da escola não permitir recreio em comum a todas as turmas. Os recreios são áreas de grande propagação do som. O seu uso é interessante como forma de evitar aberturas voltadas para o exterior (Zwirtes, 2006).

As aberturas para a ventilação são outro elemento importante, pois a localização das mesmas pode dificultar ou facilitar a presença de ruído nas salas. Se as aberturas estiveram na fachada voltada para a área mais ruidosa, estas irão contribuir para o aumento do nível sonoro incidente nas salas de aula (Zwirtes, 2006).

As características construtivas da sala, como o tamanho e a forma geométrica, os materiais de revestimento das paredes e do teto, entre outros, interferem na qualidade acústica da própria sala (Bistafa *cit. in* Amorim, 2007).

As atividades desenvolvidas em sala de aula envolvem muito mais que escutar e escrever. A forma geométrica deve ser projetada de maneira a atender um maior número de atividades, sem comprometer a comunicação entre o professor e o aluno. Estudos internacionais têm implementado formas geométricas para salas de aula, com formatos do tipo “L” e “Z”, na busca de maior flexibilidade na ocupação e assim adequá-las às novas metodologias de ensino, tal como a inserção do uso de computadores. O formato do tipo “L” permite que diversas atividades ocorram simultaneamente, sem comprometer a visualização. As salas com o formato do tipo “Z” favorecem a adaptação do espaço de acordo com a necessidade de uso e permitem que alunos desenvolvam atividades do lado externo da sala, sem prejuízo da integração. O centro da sala permanece como tradicional para a exposição da aula pelo professor, com atendimento individual ou em grupos. As paredes podem ser adaptadas com painéis móveis de maneira a controlar a luminosidade, o sombreamento e a acústica no interior da sala. As extremidades do “Z” podem ser utilizados como área reservada ao professor, para estudos individuais ou instalação de computadores. O mesmo formato também permite ajustes entre mais de uma sala. Um bloco formado por 4 salas de formato do tipo “Z”, dotadas de paredes internas removíveis, pode se transformar em outras salas maiores ou menores, e os espaços excedentes nas extremidades podem servir de salas para pesquisas, conferências ou outras atividades (Sutton, Wait & Benseman *cit. in* Amorim, 2007).

4 CASOS DE ESTUDO

Este Capítulo inicia-se pela descrição da metodologia utilizada, seguindo-se a apresentação dos casos de estudo.

4.1 Metodologia

O presente projeto de investigação aborda a avaliação do ruído ambiente na envolvente das escolas do 1º ciclo do ensino básico da cidade de Braga.

No início deste estudo foi necessário identificar todas as escolas do 1º ciclo básico do Concelho de Braga. Para tal, recorreu-se ao portal da Câmara Municipal de Braga e ao Portal Pedagógico.

Na seleção das escolas aplicaram-se os seguintes critérios: as escolas devem se localizar dentro do anel rodoviário da cidade de Braga, de modo a inserirem-se na malha urbana e possuir apenas o 1º ciclo do ensino básico, para evitar a interferência de outros ruídos gerados em ambientes com crianças em idade pré-escolar.

Da aplicação dos critérios anteriores selecionaram-se três escolas do 1º ciclo do ensino básico, a EB1 de S. João do Souto, a EB1 de S. Victor e a EB1 da Sé.

Posteriormente, as escolas foram contactadas para tomarem conhecimento do presente projeto de investigação e autorizarem a sua participação no estudo.

Na Figura 4.1 encontra-se identificado o anel rodoviário da cidade de Braga e a localização das escolas selecionadas, identificadas por letras, em que (A) corresponde à EB1 de S. João do Souto, (B) à EB1 de S. Victor e (C) à EB1 da Sé.

A metodologia adotada para a avaliação do ruído ambiente na envolvente das três escolas envolveu três tipos de avaliação: avaliação objetiva, avaliação subjetiva e modelação matemática do ruído ambiente.

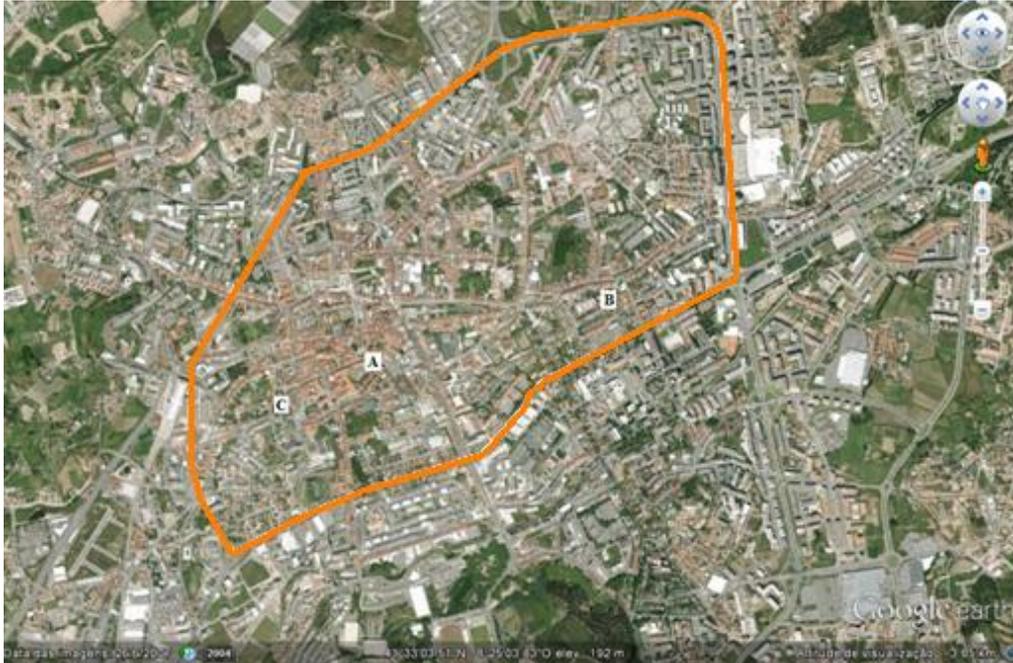


Figura 4.1 - Identificação do anel rodoviário da cidade de Braga e localização das escolas selecionadas. Fonte: Google Earth, Data das imagens: 26/06/2007

4.1.1 Avaliação Objetiva

O procedimento das medições de ruído ambiente foi realizado de acordo com o descrito na Norma NP ISO 1996:2011 intitulada “Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente”. Esta norma tem por objetivo contribuir para a harmonização internacional dos métodos de descrição, medição e avaliação do ruído ambiente.

Nas medições dos níveis de ruído utilizou-se um sonómetro de classe de precisão 1, marca CESVA, modelo SC310, verificado e calibrado pelo Instituto Português da Qualidade (IPQ). Foi utilizado um tripé para garantir a estabilidade da medição. Nas medições exteriores, o microfone foi protegido com um protetor de vento de forma a minimizar o efeito do ruído aerodinâmico.

Utilizou-se a malha de ponderação em frequência A, sendo esta a ponderação que melhor reflete a sensibilidade do ouvido humano. O tipo de leitura foi realizado em modo *fast* para a caracterizar o ruído ambiente e em modo *impulse* para detetar variações acentuadas.

Previamente ao início das medições foi verificado o bom funcionamento do equipamento, bem como a configuração dos parâmetros a retirar. O sonómetro foi programado a recolher os seguintes indicadores de ruído: L_5 , L_{95} , L_{Aeq} e o L_{AiT} .

No início e no final de cada série de medições foi verificada a calibração do sonómetro. O valor inicial e final da calibração não deve diferir mais que 0,5 dB(A), sendo o valor de referência 94 dB(A). Quando isto acontece, o conjunto de medições não é considerado válido. A Figura 4.2 mostra a calibração do sonómetro.



Figura 4.2 - Calibração do sonómetro

Foram realizadas medições no exterior e no interior de cada edifício escolar. Para ambas as situações, as medições realizaram-se com a escola *on* e com a escola *off*. A escola *on* corresponde ao período de funcionamento das atividades letivas e a escola *off* ao período fora do funcionamento das atividades letivas. Dado a ausência de proximidade de férias, o horário da escola *on* encontra-se compreendido entre as 9:00h e as 17:30h e da escola *off* entre as 17:30h e as 20:00h. Deste modo todas as medições ocorreram no período diurno, segundo os períodos de referência do RGR.

Na avaliação do ruído ambiente no exterior, o número de pontos de medição foram definidos com base na área de recreio, sendo os mesmos para escola *on* e escola *off*. Relativamente à posição do microfone, este encontrava-se afastado, pelo menos a 3,5 metros de qualquer estrutura refletora, à exceção do solo que se encontrava, aproximadamente, a 1,5 metros deste.

Na avaliação do ruído ambiente no interior, selecionou-se a sala de aula a avaliar. Esta deve fazer parte da fachada mais exposta ao ruído ambiente e pertencer aos alunos do 3º ou 4º ano de escolaridade. Com a escola *on*, foram definidos três pontos de medição na avaliação do ruído devido à heterogeneidade do ruído produzido pelos alunos. Relativamente à posição do microfone, este estava afastado das paredes, do teto e do pavimento, pelo menos a 0,5 metros, das janelas, pelo menos a 1 metro e, aproximadamente, a 1,5 metros do solo. Os três pontos

de medição estavam afastados entre si, pelo menos 0,7 metros. Com a escola *off*, definiu-se apenas um ponto de medição no centro da sala de aula.

Todos os pontos de medições foram realizados com o sonómetro montado no tripé e para cada um realizaram-se quatro medições, duas com escola *on* e duas com escola *off*. Cada medição durou 30 minutos.

Para a análise dos resultados, calculou-se a média logarítmica a partir da Equação 11:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \times \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{(L_{Aeq,t})^i / 10} \right] \quad [11]$$

Em que,

n é o número de medições,

$(L_{Aeq,t})_i$ corresponde ao valor do nível sonoro correspondente à medição i .

As medições de ruído ambiente no exterior foram acompanhadas com contagens de tráfego rodoviário, com discriminação de veículos ligeiros e pesados.

As medições de ruído ambiente no exterior deveriam ser acompanhadas por uma estação meteorológica com o fim de registar a velocidade do vento, direção do mesmo, temperatura e humidade devido à influência das condições atmosféricas na propagação do som. Não sendo possível apenas se registou a ausência de precipitação, ausência de fortes inversões de temperatura perto do solo, velocidade do vento inferior a 5m/s e alguma nebulosidade em certos dias de medição.

Os resultados obtidos nas medições de ruído ambiente no exterior foram comparados com os valores limite de exposição do artigo 11º do RGR, aprovado pelo Decreto-Lei nº. 9/2007, de 17 de janeiro.

Importa referir que a carta de classificação de zonas da cidade de Braga ainda se encontra em curso. Embora o RGR define valores limite de exposição para recetores sensíveis inseridos em zonas ainda não classificadas, para efeitos de comparação aplicou-se os valores limite estabelecidos para zonas sensíveis, dado aos usos do solo.

4.1.2 Avaliação Subjetiva

A avaliação subjetiva consistiu na perceção ao ruído por parte dos alunos, professores e auxiliares de ação educativa, sendo definidos tipos de inquéritos de acordo com a população a avaliar.

Para tal, elaboraram-se inquéritos direcionados aos alunos do 3º e 4º ano de escolaridade uma vez que são os alunos mais aptos para o preenchimento de questionários, aos professores e auxiliares de ação educativa das respetivas escolas em estudo. Nos inquéritos direcionados aos alunos, o termo ruído foi apresentado como barulho com a preocupação de se familiarizarem mais com este último. Foi necessário redigir uma autorização aos encarregados de educação para permitir o preenchimento do questionário pelos alunos. Os inquéritos e a referida autorização encontram-se presentes no Capítulo 9 designado por Anexos.

Os inquéritos dos alunos são constituídos por questões de resposta fechada e simples, por sua vez os inquéritos direcionados aos professores e aos auxiliares de ação educativa são de atribuição de uma escala de valores em que 0 significa nenhum/nenhuma, 1 significa pouco(a), 2 significa algum(a) e 3 significa muito(a). Os questionários foram efetuados por auto preenchimento e baseados no questionário aplicado por Magalhães (2011) na realização do estudo *Impacto do Ruído Ambiental nos Edifícios Escolares - Um Estudo em Escolas do 1º CEB do Concelho da Maia*.

Para a introdução e tratamento de dados utilizou-se o programa *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS®) v.19.0 e para apresentação dos dados utilizou-se o programa *Microsoft Office Excel* v.12. As respostas em branco não entraram para as estatísticas. O tratamento de dados foi apresentado em frequências relativas (%) e absolutas (n). De acrescentar, que dado ao número reduzido de auxiliares de ação educativa das escolas, apenas se apresentou uma breve referência quanto à sua perceção ao ruído. Embora o número de professores também seja reduzido para serem tratados estatisticamente, torna-se importante avaliar a sua perceção ao ruído. Esta avaliação serve para averiguar a forma como cada indivíduo percebe o ruído e constitui num importante instrumento de validação dos resultados obtidos provenientes da avaliação objetiva, isto é, das medições acústicas de ruído ambiente.

4.1.3 Modelação Matemática do Ruído Ambiente

Esta avaliação baseou-se na modelação matemática do ruído ambiente através do recurso ao método recomendado pela Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de junho de 2002 relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. Esta diretiva recomenda que para o cálculo do ruído de tráfego rodoviário deve ser utilizado o método provisório de cálculo, NMPB 96. Este método encontra-se descrito na Secção 2.10 do Capítulo 2.

O modelo utilizado tem como parâmetros de entrada: o tráfego rodoviário, as características do pavimento, o tipo de tráfego, a topografia do terreno, nomeadamente as curvas de nível, as características físicas do edificado na zona em estudo e os fenómenos físicos mais relevantes na radiação e propagação das ondas sonoras.

O modelo simula os níveis sonoros na área em estudo devido a fontes de ruído provenientes do tráfego rodoviário. É desejável que os parâmetros de cálculo adotados garantem o rigor de cálculo desejável. Os parâmetros de cálculo apontados no modelo, que está na base dos mapas de ruído, são descritos no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 - Parâmetros de cálculo adotados no modelo de cálculo provisório, NMPB 96

| Parâmetros | Dados de cálculo |
|---|--|
| Malha de cálculo | Malha retangular de 5 x 5 metros |
| Altura de Avaliação | 4 metros |
| Volumetria do Edificado | Dimensões do edificado confirmado da informação disponibilizada na cartografia |
| Coefficiente de absorção do solo (G) | 1,0 |
| Coefficiente de absorção dos edifícios (α) | 0,21 |
| Ordem das reflexões | 2º grau |
| Condições Meteorológicas | Diurno: 50% de condições meteorológicas favoráveis à propagação de ruído |
| | Entardecer: 75% de condições meteorológicas favoráveis à propagação de ruído |
| | Noturno: 100% de condições meteorológicas favoráveis à propagação de ruído |

Para a caracterização da composição do tráfego rodoviário, as medições de ruído ambiente no exterior foram acompanhadas por contagens de tráfego. Assim, durante os 30 minutos de cada

medição de ruído ambiente no exterior, foram efetuadas contagens de tráfego de 15 minutos, que posteriormente foram convertidas para uma hora.

Também para cada via rodoviária realizaram 4 contagens de tráfego, duas com escola *on* e outras duas com escola *off*, posteriormente determinou-se a contagem média para cada cenário.

O ajustamento do modelo foi efetuado por comparação entre os resultados médios das medições do ruído ambiente com o sonómetro e os valores médios calculados pelo modelo, em pontos recetores com a mesma localização dos pontos de medição.

4.2 EB1 de S. João do Souto

4.2.1 Localização do Edifício Escolar

A EB1 de S. João do Souto localiza-se no largo de S. João do Souto, freguesia S. João do Souto, no centro da cidade de Braga. A escola encontra-se numa zona histórica da cidade e com bastante comércio. Próximo, encontra-se o Largo de Carlos Amarante e a Igreja de Santa Cruz. Na Figura 4.3 apresenta-se a localização da EB1 de S. João do Souto.



Figura 4.3 - Localização da EB1 de S. João do Souto. Fonte Google Earth, Data das imagens:

26/6/2007

4.2.2 Descrição dos Espaços Escolares

A EB1 de S. João do Souto é um edifício centenário de dois pisos. O primeiro piso tem quatro salas de aula, uma sala de professores e instalações sanitárias. No R/C tem um refeitório, uma sala de estudo com computadores e uma pequena arrecadação. Esta escola possui num total de 97 alunos, 7 professores, dos quais 3 são professores de atividades de enriquecimento curricular, 2 auxiliares de ação educativa e uma auxiliar educativa da associação de pais.

4.2.3 Identificação e Descrição das Principais Fontes de Ruído

A principal fonte de ruído exterior à EB1 de S. João do Souto é a via de tráfego em frente à entrada da escola, a Rua Dom Afonso Henriques, como mostra a Figura 4.4, à esquerda.



Figura 4.4 – Identificação da via de tráfego (esquerda), Fonte: Google Earth, Data das imagens: 26/06/2007; Rua Dom Afonso Henriques (direita)

A Rua Dom Afonso Henriques (Figura 4.4, à direita), de sentido único de circulação, é constituída por cubos de granito e permite o estacionamento pago, do lado esquerdo da via. Esta rua é frequentemente utilizada por veículos ligeiros e por veículos de mercadorias que se destinam abastecer os comércios próximos. Não há registo da passagem de transportes públicos coletivos.

4.2.4 Pontos de Medição de Ruído Ambiente no Exterior

Na avaliação do ruído ambiente no exterior foram definidos apenas dois pontos de medição, designados por P1 e P2, dado à área reduzida do estabelecimento de ensino. O ponto de medição 1 (P1) localiza-se fora da escola, em frente à entrada. O ponto de medição 2 (P2) localiza-se dentro do recinto escolar na zona de recreio. Na Figura 4.5 localizam-se os pontos de medição exteriores na EB1 de S. João do Souto.



Figura 4.5 - Localização dos pontos de medição exteriores na EB1 de S. João do Souto.

Fonte: Google Earth, Data das imagens: 26/06/2007

No local de medição do ponto 1, o sonómetro encontra-se voltado para a via de tráfego Dom Afonso Henriques e no local de medição do ponto 2, encontra-se voltado para o edifício escolar. A Figura 4.6 mostra o local de medição do ponto 1, à esquerda, e o local de medição do ponto 2, à direita.



Figura 4.6 - Local de medição do ponto 1 (esquerda); Local de medição do ponto 2 (direita)

4.2.5 Pontos de Medição de Ruído Ambiente no Interior

Na avaliação do ruído ambiente no interior selecionou-se uma sala de aula a analisar. Esta sala diz respeito à sala do 4º ano de escolaridade e encontra-se no 1º piso como todas as outras salas. A sala é ocupada por 24 alunos e está equipada com 12 carteiras de aluno, 1 secretária, 26 cadeiras de aluno, 1 cadeira de professor, dois armários, um de pequenas dimensões e o outro de médias dimensões, ambos de metal e um quadro. As paredes encontram-se, parcialmente, revestidas a cortiça para a afixação de trabalhos, o pavimento é de tijoleira e a porta de madeira. As janelas possuem vidros simples.

Durante a primeira medição encontravam-se 23 alunos na sala de aula e na segunda encontravam-se 21 alunos.

A Figura 4.7 mostra a sala de aula com escola *off*, à esquerda, e a sala de aula com escola *on*, à direita.



Figura 4.7 – Sala de aula com escola *off* (esquerda); Sala de aula com escola *on* (direita)

4.2.6 Caracterização dos Inquiridos

4.2.6.1 Alunos

Género

A amostra é constituída por 51,1% (n=22) de indivíduos do género masculino e 48,9% (n=23) de indivíduos do género feminino. O gráfico da Figura 4.8 mostra a distribuição dos inquiridos segundo o género.

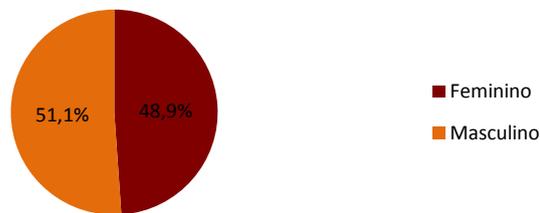


Figura 4.8 - Distribuição dos inquiridos segundo o género (n=45)

Idade

A mediana das idades é de 9 anos. Dos inquiridos 22,2% (n=10) tem uma idade igual a 8 anos, 46,7% (n=21) a 9 anos e 31,1% (n=14) a 10 anos. O gráfico da Figura 4.9 mostra a distribuição dos inquiridos segundo a idade.

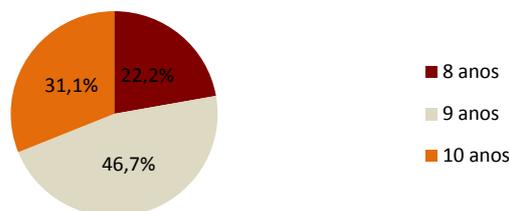


Figura 4.9 - Distribuição dos inquiridos segundo a idade (n=45)

Ano de Escolaridade

Dos inquiridos 53,2% (n=25) pertencem ao 3º ano de escolaridade e 46,8% (n=22) ao 4º ano de escolaridade. O gráfico da Figura 4.10 mostra a distribuição dos inquiridos relativamente ao ano de escolaridade.

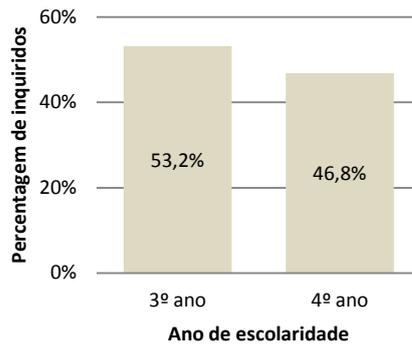


Figura 4.10 - Distribuição dos inquiridos relativamente ao ano de escolaridade (n=47)

4.2.6.2 Professores

Dos inquiridos 85,7 % (n=6) são do género feminino e 14,3 % (n=1) são do género masculino. A mediana das idades dos professores é de 40 anos, a idade mínima é de 25 anos e a máxima de 56 anos. Relativamente ao tempo de lecionação na escola em estudo, este varia desde alguns meses a 14 anos. Nenhum professor possui algum tipo de problema auditivo, no entanto um referiu ter tido a necessidade de se afastar das suas atividades letivas devido a problemas vocais.

4.2.6.3 Auxiliares de Ação Educativa

Os dois auxiliares de ação educativa são do género feminino. A idade dos mesmos é de 50 e de 56 anos. Relativamente ao tempo de atividade como auxiliar de ação educativa na escola em estudo, corresponde a 8 e a 12 anos. Nenhum auxiliar de ação educativa possui algum tipo de problema auditivo, nem referiu ter tido a necessidade de se afastar das suas atividades diárias por problemas vocais ou outro problema relacionado com o ruído.

4.2.7 Modelação Matemática do Ruído Ambiente

No Quadro 4.2 apresentam-se os parâmetros de entrada no modelo de cálculo, NMPB 96, quanto às características do tráfego rodoviário e do pavimento.

Quadro 4.2 - Parâmetros de entrada no modelo de cálculo, NMPB 96

| Parâmetros | Dados |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| Composição do tráfego | Ver Quadros 5.5 e 5.7 |
| Velocidade média de circulação | Rua Dom Afonso Henriques: 30 Km/h |
| Tipo de tráfego | Fluido |
| Caraterísticas do pavimento | Cubos de granito |

4.3 EB1 de S. Victor

4.3.1 Localização do Edifício Escolar

A EB1 de S. Victor situa-se freguesia de S. Victor, concelho de Braga. A escola encontra-se numa zona, essencialmente, de habitação. Próximo da escola encontra-se a Escola Secundária Carlos Amarante e um pouco mais a norte encontra-se a Igreja de S. Victor. Na Figura 4.11 apresenta-se a localização da EB1 de S. Victor.



Figura 4.11 – Localização da EB1 de S. Victor. Fonte: Google Earth, Data das imagens:
26/06/2007

4.3.2 Descrição dos Espaços Escolares

O edifício escolar é constituído por 2 pisos com uma distribuição de 4 salas de aula por piso e respetivas instalações sanitárias. No R/C ainda existe uma cantina, uma sala de professores e uma biblioteca. A área de recreio é constituída por 3 espaços de lazer, sendo 2 deles campo de jogos e um outro espaço de terra batida. Esta escola possui no total 146 alunos, 6 professores, 6 professores das atividades de enriquecimento curricular e 2 auxiliares de ação educativa.

4.3.3 Identificação e Descrição das Principais Fontes de Ruído

As principais fontes de ruído da escola são as vias envolventes, a Rua Martins Sarmento e a Rua Beato Miguel de Carvalho. A Figura 4.12 apresenta as vias envolventes à EB1 de S. Victor.



Figura 4.12 – Identificação das vias envolventes à EB1 de S. Victor; Fonte: Google Earth, Data das imagens: 26/06/2007

A Rua Beato Miguel de Carvalho é constituída por cubos de granito e permite a circulação rodoviária nos dois sentidos. De um lado permite o estacionamento perpendicular à via e do outro lado permite o estacionamento paralelo á via. A Figura 4.13 apresenta a via Rua Beato Miguel de Carvalho.



Figura 4.13 - Rua Beato Miguel de Carvalho

A Rua Martins Sarmiento é de sentido único e constituída por cubos de granito. Parte da sua extensão sofre um alargamento de uma via para duas vias após a interseção com a Rua Beato Miguel de Carvalho. Apenas permite o estacionamento livre em toda a sua extensão do lado esquerdo. Na Figura 4.14 apresenta-se a Rua Martins Sarmiento com uma via de tráfego, à esquerda, e com duas vias de tráfego, à direita.



Figura 4.14 - Rua Martins Sarmiento com uma via de tráfego (esquerda); Rua Martins Sarmiento com duas vias de tráfego (direita)

4.3.4 Pontos de Medição de Ruído Ambiente no Exterior

Na avaliação do ruído ambiente no exterior definiu-se três pontos de medição designados por P1, P2 e P3. O ponto de medição 1 (P1) encontra-se na zona de recreio, próximo da fachada traseira. O ponto de medição 2 (P2) encontra-se dentro do recinto escolar, próximo da entrada do estabelecimento de ensino. O ponto de medição 3 (P3) localiza-se no logradouro superior. Na Figura 4.15 localizam-se os pontos de medição exteriores na EB1 de S. Victor.



Figura 4.15 - Localização dos pontos de medição exteriores da EB1 de S. Victor, Fonte: Google Earth, Data das imagens: 26/06/2007

Relativamente à posição do equipamento de medição do ruído ambiente, o sonómetro, no local de medição do ponto 1, encontra-se voltado para o edifício escolar, no local de medição do ponto 2, está voltado para a zona de interseção das vias e no local de medição do ponto 3, está na direção da via Rua Martins Sarmiento, embora não tenha visualização devido ao desnível entre a via e o logradouro superior da escola. A Figura 4.16 mostra o local de medição do ponto 1, à esquerda, o local de medição do ponto 2, ao centro, e local de medição do ponto 3, à direita.



Figura 4.16 - Local de medição do ponto 1 (esquerda); Local de medição do ponto 2 (centro); Local de medição do ponto 3 (direita)

4.3.5 Pontos de Medição de Ruído Ambiente no Interior

Na avaliação do ruído ambiente no interior da escola, selecionou-se uma sala de aula a analisar. Esta diz respeito à sala de aula dos alunos do 4º ano de escolaridade e encontra-se no 1º piso.

A sala de aula, em questão, é ocupada por 23 alunos e está equipada com 12 carteiras de alunos, 1 mesa secretária de professor e 24 cadeiras de aluno, 2 armários metálicos e uma estante de madeira de pequenas dimensões. As paredes encontram-se, parcialmente, revestidas a cortiça para a afixação de trabalhos, o pavimento é de soalho e a porta de madeira. As janelas possuem vidro duplo.

Durante as medições estavam 22 alunos na sala de aula, a porta encontrava-se encostada e as janelas fechadas. As aulas decorreram normalmente.

A Figura 4.17 mostra a sala de aula com escola *off*, à esquerda, e a sala de aula com escola *on*, à direita.



Figura 4.17 - Sala de aula com escola *off* (esquerda); Sala de aula com escola *on* (direita)

4.3.6 Caracterização dos Inquiridos

4.3.6.1 Alunos

Género

A amostra é constituída por 57,4% (n=29) de indivíduos do género masculino e 42,6% (n=39) de indivíduos do género feminino. O gráfico da Figura 4.18 mostra a distribuição dos inquiridos segundo o género.



Figura 4.18 - Distribuição dos inquiridos segundo o género (n=68)

Idade

A mediana das idades é de 9 anos. Dos inquiridos 16,2% (n=11) tem uma idade igual a 8 anos, 51,4% (n=35) a 9 anos e 32,4% (n=22) a 10 anos. O gráfico da Figura 4.19 mostra a distribuição dos inquiridos segundo a idade.

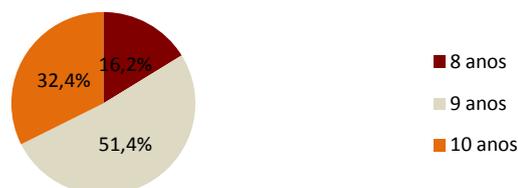


Figura 4.19 - Distribuição dos inquiridos segundo a idade (n=68)

Ano de Escolaridade

Dos inquiridos 38,2% (n=26) pertencem ao 3º ano de escolaridade e 61,8% (n=42) ao 4º ano de escolaridade. O gráfico da Figura 4.20 mostra a distribuição dos inquiridos relativamente ao ano de escolaridade.

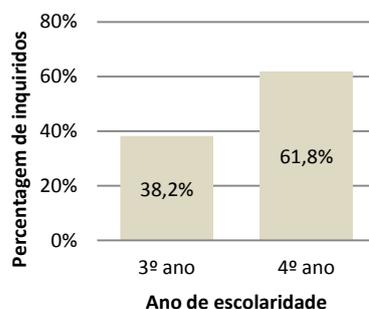


Figura 4.20 - Distribuição dos inquiridos relativamente ao ano de escolaridade (n=68)

4.3.6.2 Professores

Dos inquiridos 83,3% (n=5) são do género feminino e 16,7% (n=1) são do género masculino. A mediana das idades dos professores é de 54 anos, a idade mínima é de 49 anos e a máxima de 60 anos. Relativamente ao tempo de lecionação na escola em estudo, este varia desde um ano a seis anos. Nenhum professor possui algum tipo de problema auditivo, nem referiu ter tido a necessidade de se afastar das suas atividades letivas por problemas vocais ou outro problema relacionado com o ruído.

4.3.6.3 Auxiliares de Ação Educativa

Os dois auxiliares de ação educativa são do género feminino. A idade destes é de 39 e 58 anos. Relativamente ao tempo de atividade na escola em estudo, este é de 2 e 15 anos. Nenhum auxiliar de ação educativa referiu possuir problemas auditivos, nem referiu ter tido a necessidade de se afastar das suas atividades diárias por problemas vocais ou outro problema relacionado com o ruído.

4.3.7 Modelação Matemática do Ruído Ambiente

No Quadro 4.3 apresentam-se os parâmetros de entrada no modelo de cálculo, NMPB 96, quanto às características do tráfego rodoviário e do pavimento.

Quadro 4.3 - Parâmetros de entrada no modelo de cálculo, NMPB 96

| Parâmetros | Dados |
|--------------------------------|---|
| Composição do tráfego | Ver Quadros 5.13, 5.14, 5.15, 5.17, 5.18 e 5.19 |
| Velocidade média de circulação | Rua Martins Sarmiento: 30 Km/h |
| | Rua Beato Miguel de Carvalho: 30 Km/h |
| Tipo de tráfego | Fluido |
| Caraterísticas do pavimento | Cubos de granito |

4.4 EB1 da Sé

4.4.1 Localização do Edifício Escolar

A EB1 da Sé localiza-se na Rua Conselheiro Jerónimo Pimentel, freguesia da Sé, centro da cidade de Braga. A sul da escola situa-se a Igreja São Sebastião das Carvalheiras e a norte o Campo das Carvalheiras, a oeste e este, localizam-se edifícios de habitação. Próximo da escola encontra-se o Quartel dos Bombeiros Voluntários de Braga. Na Figura 4.21 apresenta-se a localização da EB1 da Sé.

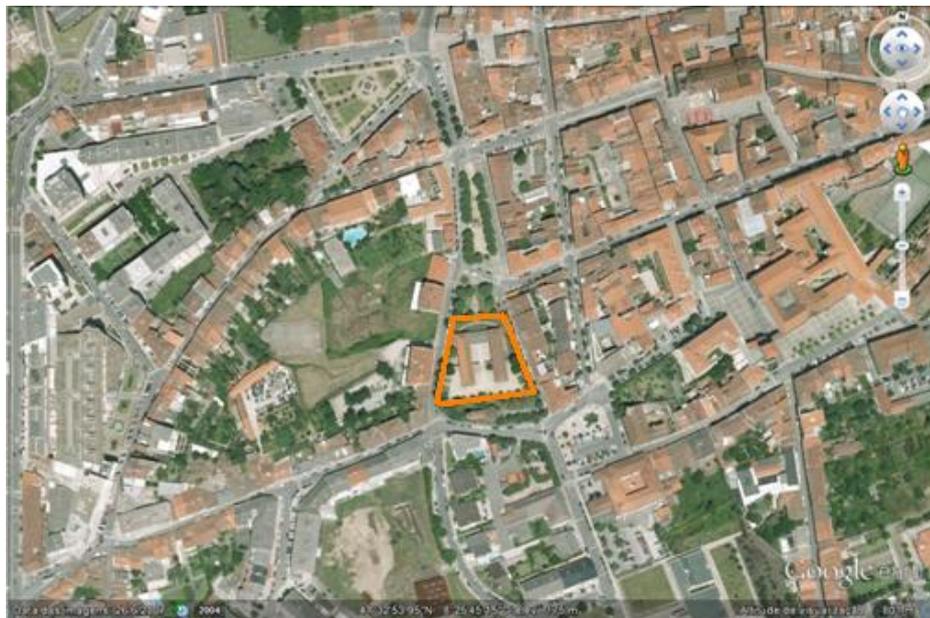


Figura 4.21 - Localização da EB1 da Sé. Fonte: Google Earth, Data das imagens: 26/06/2007

4.4.2 Descrição dos Espaços Escolares

A EB1 da Sé tem a forma de U invertido, vista em planta, como mostra a Figura 4.21. Constituída por dois pisos, o piso superior é composto por duas alas com quatro salas de aulas cada uma e respetivas instalações sanitárias, também possui um pequeno gabinete. No R/C tem um refeitório, instalações sanitárias e duas pequenas arrecadações. Exteriormente mas com ligação coberta existem uma biblioteca e uma outra sala de aula.

Quanto ao espaço exterior, este é construído por dois logradouros desnivelados unidos por uma escadaria central. O logradouro inferior é, em parte, coberto e o pavimento revestido a mosaico. Por sua vez, o logradouro superior é em terra batida coberta a saibro. A escola apresenta pequenos recantos ajardinados.

A EB1 da Sé possui um total de 210 alunos, 17 professores, incluindo com os professores das atividades de enriquecimento curricular e 5 auxiliares de ação educativa.

4.4.3 Identificação e Descrição das Principais Fontes de Ruído

As principais fontes de ruído exteriores à EB1 da Sé são as vias de tráfego que a envolvem, a Rua do Matadouro, a Rua do Conselheiro Jerónimo Pimental, a Rua de Santiago e a Rua Dom Afonso Henriques, como se pode ver na Figura 4.22.



Figura 4.22 - Identificação das vias de tráfego Fonte: Google Earth, Data das imagens: 26/06/2007

A Rua do Matadouro é a principal fonte de ruído exterior à escola. Constituída por cubos de granito e apenas com um único sentido de circulação ao tráfego rodoviário, descendente, é frequentemente utilizada pelos encarregados de educação dos alunos e professores da escola uma vez que dá acesso à entrada principal da escola e permite o estacionamento livre do seu lado direito. Também outros tipos de veículos rodoviários a utilizam, desde transportes

públicos coletivos e privados, veículos ligeiros de mercadoria e veículos pesados de mercadorias, entre outros. A Figura 4.23 apresenta a Rua do Matadouro, à esquerda.

A Rua do Conselheiro Jerónimo Pimentel, também constituída por cubos de granito, é interdita a veículos, exceto a moradores da rua e a bombeiros. No seu sentido descendente do lado direito, o estacionamento é reservado a bombeiros voluntários em dias úteis das 9h00 às 19h00, do lado esquerdo, frequentemente, é utilizado para estacionamento indevido. A Figura 4.23 mostra a Rua do Conselheiro Jerónimo Pimentel, à direita.



Figura 4.23 - Rua do Matadouro (esquerda); Rua do Conselheiro Jerónimo Pimentel (direita)

A Rua Dom Afonso Henriques, constituída por cubos de granito e apenas com um sentido de circulação de tráfego, este-oeste, interseta a Rua do Matadouro. A Figura 4.24 mostra a Rua Dom Afonso Henriques, à esquerda.

A Rua de Santiago, também constituída por cubos de granito, permite o tráfego nos dois sentidos de circulação. A Figura 4.24 mostra a Rua de Santiago, à direita.



Figura 4.24 - Rua Dom Afonso Henriques (esquerda); Rua de Santiago (direita)

4.4.4 Pontos de Medição de Ruído Ambiente no Exterior

Na avaliação do ruído ambiente no exterior definiu-se nas zonas de recreio do recinto escolar 4 pontos de medição. Os pontos de medição designados por P1, P2 e P3 localizam-se no logradouro superior onde se encontram as salas de aula. O ponto de medição 1 (P1) encontra-se numa área de recreio contígua à Rua do Conselheiro Jerónimo Pimentel. O ponto de medição 2 (P2) encontra-se numa área de recreio contígua à Rua do Matadouro. O ponto de medição 3 (P3) encontra-se numa área de recreio central. O ponto de medição 4 (P4) localiza-se no logradouro inferior, especificamente numa área ajardinada atrás da escola. Na Figura 4.25 localizam-se os pontos de medição exteriores na EB1 da Sé.



Figura 4.25 - Localização dos pontos de medição exteriores na EB1 da Sé, Fonte: Google Earth, Data das imagens: 26/06/2007

No local de medição do ponto 1, o sonómetro encontra-se voltado para a via de tráfego e no local de medição do ponto 2, a postura do mesmo repete-se. A Figura 4.26 mostra a local de medição do ponto 1, à esquerda, e do ponto de medição 2, à direita.



Figura 4.26 - Local de medição do ponto 1 (esquerda); Local de medição do ponto 2 (direita)

No local de medição do ponto 3, o equipamento de medição encontra-se voltado para o interior do edifício escolar e no local de medição do ponto 4, o mesmo equipamento encontra-se voltado para o Campo das Carvalheiras. A Figura 4.27 mostra o local de medição do ponto 3, à esquerda, e o local de medição do ponto 4, direita.



Figura 4.27 - Local de medição no ponto 3 (esquerda); Local de medição do ponto 4 (direita)

4.4.5 Pontos de Medição de Ruído Ambiente no Interior

Na avaliação do ruído ambiente no interior da escola selecionou-se uma sala de aula. Esta sala encontra-se na ala mais próxima da Rua do Matadouro e diz respeito aos alunos do 3º ano de escolaridade uma vez que nessa mesma ala não pertence nenhuma sala do 4º ano.

A sala de aula avaliada é ocupada por 20 alunos e está equipada com 10 carteiras de aluno, 1 mesa secretária de professor, 21 cadeiras de aluno, 1 cadeira de professor, 2 armários, sendo um deles embutido e uma estante, um quadro escolar e um estrado em madeira sob este. As paredes encontram-se, parcialmente, revestidas a cortiça para a afixação de trabalhos e o pavimento e a porta são de madeira. As janelas possuem vidro duplo.

Durante a primeira medição encontravam-se 20 alunos na sala de aula e na segunda encontravam-se 18 alunos. Durante as medições a porta da sala estava fechada e as janelas fechadas. A aula decorreu normalmente. A Figura 4.28 mostra sala de aula com escola *off*, à esquerda, e a sala de aula com escola *on*, à direita.



Figura 4.28 - Sala de aula com escola *off* (esquerda); Sala de aula com escola *on* (direita)

4.4.6 Caracterização dos Inquiridos

4.4.6.1 Alunos

Género

A amostra é constituída por 46,9 % (n=46) de indivíduos do género masculino e 53,1 % (n=52) de indivíduos do género feminino. O gráfico da Figura 4.29 mostra a distribuição dos inquiridos segundo o género.

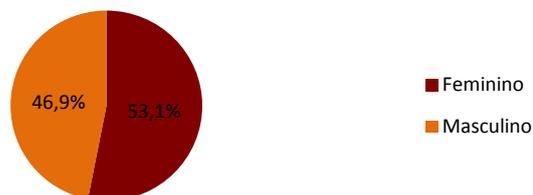


Figura 4.29 - Distribuição dos inquiridos segundo o género (n=98)

Idade

A mediana das idades é de 9 anos. Dos inquiridos 25,7% (n=8) tem uma idade igual a 8 anos, 46,3% (n=45) a 9 anos, 26,8% (n=10) a 10 anos e 1,2% (n=1) a 11 anos. O gráfico da Figura 4.30 mostra a distribuição dos inquiridos segundo a idade.

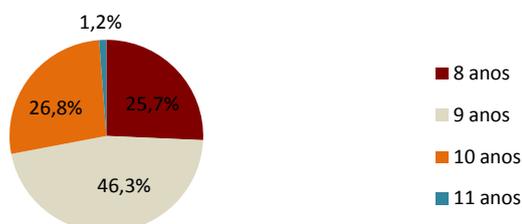


Figura 4.30 - Distribuição dos inquiridos segundo a idade (n=97)

Ano de Escolaridade

Dos inquiridos 45,9% (n=45) pertencem ao 3º ano de escolaridade e 54,1% (n=53) ao 4º ano de escolaridade. O gráfico da Figura 4.31 mostra a distribuição dos inquiridos relativamente ao ano de escolaridade.

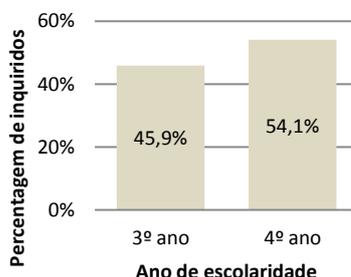


Figura 4.31 - Distribuição dos inquiridos relativamente ao ano de escolaridade (n=98)

4.4.6.2 Professores

Dos inquiridos 83,3 % (n=5) são do género feminino e 16,7 % (n=1) são do género masculino. A mediana das idades dos professores é de 54 anos, a idade mínima é de 49 anos e a máxima de 60 anos. Relativamente ao tempo de lecionação na escola em estudo, este varia entre um ano a seis anos. Nenhum professor referiu possuir problemas auditivos, nem referiu ter tido a necessidade de se afastar das suas atividades letivas por problemas vocais ou outro problema relacionado com o ruído.

4.4.6.3 Auxiliares de Ação Educativa

Os auxiliares de ação educativa são do género feminino. A idade destes varia entre os 29 e os 58 anos. Relativamente ao tempo de atividade na escola em estudo, este varia entre os 2 e os 12 anos. Somente, um auxiliar de ação educativa referiu possuir problemas auditivos, mas nenhum referiu ter tido a necessidade de se afastar das suas atividades diárias por problemas vocais ou outro problema relacionado com o ruído.

4.4.7 Modelação Matemática do Ruído Ambiente

No Quadro 4.4 apresentam-se os parâmetros de entrada no modelo de cálculo, NMPB 96, quanto às características do tráfego rodoviário e do pavimento.

Quadro 4.4 - Parâmetros de entrada no modelo de cálculo, NMPB 96

| Parâmetros | Dados |
|--------------------------------|---|
| Composição do tráfego | Ver Quadros 5.25, 5.26, 5.27, 5.29, 5.30 e 5.31 |
| Velocidade média de circulação | Rua do Matadouro: 35 Km/h |
| | Rua Dom Afonso Henriques: 30 Km/h |
| Tipo de tráfego | Fluido |
| Caraterísticas do pavimento | Cubos de granito |

5 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

5.1 EB1 de S. João do Souto

5.1.1 Medições de Ruído Ambiente

5.1.1.1 Medições de Ruído Ambiente no Exterior

No Quadro 5.1 apresentam-se os resultados das medições de ruído ambiente no exterior com a escola *on*. O ponto de medição 1 apresenta um valor do L_{Aeq} médio superior ao valor limite imposto pela legislação, 55 dB(A). Este resultado deve-se à proximidade do local de medição com a via de tráfego Dom Afonso Henriques, das buzinas dos veículos, das manobras de estacionamento dos veículos, da movimentação das pessoas na rua, do tocar dos sinos da Igreja de Santa Cruz, do início da preparação dos trabalhos para a requalificação de superfície no Largo de Carlos Amarante e do ruído gerado no interior da própria escola. Por sua vez, o ponto de medição 2 apresenta um valor do L_{Aeq} médio inferior ao valor limite imposto pela legislação, 55 dB(A). O local de medição do mesmo ponto é, praticamente, isolado do meio urbano devido à existência do edificado que acaba por formar uma barreira acústica. Assim, o resultado das medições do ponto de medição 2 é influenciado pelo chilrear dos pássaros refugiados em edifícios mais antigos, pelo tocar dos sinos da Igreja de Santa Cruz, a anunciar as horas e cerimónias religiosas e por alguma movimentação no interior da escola

Quadro 5.1 - Medição no exterior – Escola *on*

| Local de medição | Ponto 1 | | | Ponto 2 | | |
|---|------------|------------|--------------|------------|------------|--------------|
| | 1 | 2 | Média | 1 | 2 | Média |
| Medição | | | | | | |
| Data da medição | 09-05-2012 | 15-05-2012 | - | 09-05-2012 | 15-05-2012 | - |
| Horário | 14:15 | 09:25 | - | 14:56 | 10:00 | - |
| L ₅ (dBA) | 69,3 | 70,4 | 69,9 | 51,8 | 53,8 | 52,9 |
| L ₉₅ (dBA) | 49,7 | 49,5 | 49,6 | 42,7 | 39,9 | 41,5 |
| L _{AiT} (dBA) | 65,2 | 65,8 | 65,5 | 56 | 57 | 56,5 |
| L _{AiT} - L _{Aeq} (dBA) | 2,6 | 1,9 | 2,3 | 4,7 | 4,3 | 4,5 |
| L _{Aeq} (dBA) | 62,6 | 63,9 | 63,3 | 51,3 | 52,7 | 52,1 |
| Valor da calibração inicial (dBA) | 94,1 | 94,2 | - | 94,1 | 94,2 | - |
| Valor da calibração final (dBA) | 94,1 | 94,2 | - | 94,1 | 94,2 | - |

No Quadro 5.2 apresentam-se os resultados das medições de ruído ambiente no exterior com a escola *off*. O ponto de medição 1, comparado com o valor médio com a escola *on*, apresenta um valor do L_{Aeq} médio inferior, incumprindo, de igual modo, o valor limite imposto pela legislação. Este decréscimo dos níveis de ruído poderá dever-se à inexistência das atividades escolares e a uma diminuição de passagem de veículos rodoviários. Os Quadros 5.5 e 5.7 mostram que a contagem média dos veículos com a escola *on* é superior à contagem média dos veículos com a escola *off*. Apesar do período da medição 1 do mesmo ponto corresponder ao horário normal de aulas a escola encontrava-se em silêncio devido à realização de uma prova de aferição que decorria apenas para os alunos do 4º ano de escolaridade, os únicos alunos que se encontravam dentro da mesma, durante este período de medição considerou-se a escola como *off*. O ponto de medição 2 com a escola *off* também apresenta um valor do L_{Aeq} médio inferior ao valor médio com a escola *on*. As medições para este ponto de medição decorreram nas mesmas circunstâncias que a medição 1 do ponto anterior, onde a escola se encontrava apenas com os alunos do 4º ano de escolaridade que permaneciam em silêncio no decorrer da prova de aferição. As medições do ponto de medição 2 ocorreram nos dois dias de provas de aferição. Assim, para as medições de ruído ambiente efetuadas durante o horário das provas de aferição considerou-se a escola *off* devido à inexistência de atividades letivas. Este fato teve-se em consideração devido à necessidade de manter um auxiliar de ação educativa no final das suas tarefas para que fosse possível realizar as medições no interior da escola.

Quadro 5.2 - Medição no exterior – Escola *off*

| Local de medição | Ponto 1 | | | Ponto 2 | | |
|---|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|
| | 1 | 2 | Média | 1 | 2 | Média |
| Medição | 1 | 2 | Média | 1 | 2 | Média |
| Data da medição | 09-05-2012 | 14-05-2012 | - | 09-05-2012 | 11-05-2012 | - |
| Horário | 10:00 | 19:25 | - | 11:30 | 11:30 | - |
| L ₅ (dBA) | 68,9 | 66,6 | 67,9 | 51,1 | 52,9 | 52,1 |
| L ₉₅ (dBA) | 49,4 | 47,2 | 48,4 | 40,1 | 40,3 | 40,2 |
| L _{AiT} dBA) | 66,1 | 65,5 | 65,8 | 54,8 | 53,9 | 54,4 |
| L _{AiT} - L _{Aeq} (dBA) | 3,2 | 4,7 | 4,0 | 3,9 | 4,2 | 4,1 |
| L _{Aeq} (dBA) | 62,9 | 60,8 | 62,0 | 50,9 | 49,7 | 50,3 |
| Valor da calibração inicial (dBA) | 94,1 | 94,1 | - | 94,1 | 94,1 | - |
| Valor da calibração final (dBA) | 94,1 | 94,3 | - | 94,1 | 94,1 | - |

5.1.1.2 Medições de Ruído Ambiente no Interior

No Quadro 5.3 apresentam-se os resultados das medições de ruído ambiente no interior com a escola *on*. Durante o período de medições as aulas decorreram normalmente.

Quadro 5.3 - Medição no interior – Escola *on*

| Piso de medição | Piso 1 | | | | | | Média |
|---|------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|-------------|
| | Ponto interior 1 | | Ponto interior 2 | | Ponto interior 3 | | |
| Local de medição | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | Média |
| Medição | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | Média |
| Data da medição | 14-05-12 | 15-05-12 | 14-05-12 | 15-05-12 | 14-05-12 | 15-05-12 | - |
| Horário | 13:46 | 13:47 | 14:20 | 14:20 | 14:55 | 14:55 | - |
| L ₅ (dBA) | 70,8 | 76,3 | 78,2 | 75,4 | 75,5 | 79,2 | 76,6 |
| L ₉₅ (dBA) | 52,7 | 53,5 | 54,8 | 56,4 | 55,8 | 55,4 | 54,9 |
| L _{AiT} dBA) | 71,4 | 75,6 | 77,4 | 75,9 | 75,8 | 78,4 | 76,2 |
| L _{AiT} - L _{Aeq} (dBA) | 5,8 | 5,7 | 5,6 | 5,9 | 5,9 | 5,5 | 5,7 |
| L _{Aeq} (dBA) | 65,6 | 69,9 | 71,8 | 70 | 75,8 | 72,9 | 72,0 |
| Valor da calibração inicial (dBA) | 94,1 | 94,2 | 94,1 | 94,2 | 94,1 | 94,2 | - |
| Valor da calibração final (dBA) | 94,3 | 94,2 | 94,3 | 94,2 | 94,3 | 94,2 | - |

No Quadro 5.4 apresentam-se os resultados das medições de ruído ambiente no interior da sala de aula definida com a escola *off*. O valor do L_{Aeq} médio obtido no interior da sala de aula é superior ao valor de nível de ruído de fundo recomendado pela OMS, 35 dB(A). Este

resultado diz respeito apenas ao ruído fora da escola que chega ao interior da sala de aula em avaliação, apenas um auxiliar de ação educativa permanecia na escola para permitir as medições no interior da sala de aula.

Quadro 5.4 - Medição no interior – Escola *off*

| Piso de medição | Piso 1 | | |
|---|-------------------------------|----------|--------------|
| Local de medição | Ponto interior central | | |
| Medição | 1 | 2 | Média |
| Data da medição | 09-05-12 | 14-05-12 | - |
| Horário | 18:46 | 18:46 | - |
| L ₅ (dBA) | 44,7 | 44,1 | 44,4 |
| L ₉₅ (dBA) | 32,1 | 29,8 | 31,1 |
| L _{AiT} (dBA) | 41,5 | 41,2 | 41,4 |
| L _{AiT} - L _{Aeq} (dBA) | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| L _{Aeq} (dBA) | 39,5 | 39,2 | 39,4 |
| Valor da calibração inicial (dBA) | 94,1 | 94,1 | - |
| Valor da calibração final (dBA) | 94,1 | 94,3 | - |

Comparando os resultados das medições de ruído ambiente no interior da sala de aula com a escola *on* e *off* verifica-se uma diferença do L_{Aeq} médio bastante elevada. Esta deve-se ao ruído produzido em ambiente escolar na sala de aula e das salas adjacentes.

5.1.2 Avaliação Percetual

5.1.2.1 Perceção dos Alunos

Numa abordagem inicial, efetuou-se uma análise geral da perceção do ruído dos alunos do 3º e 4º ano de escolaridade da EB1 de S. João do Souto que se submeteram ao questionário com a devida autorização dos seus encarregados de educação. Como a perceção do ruído pode variar em função do lugar que o aluno ocupa na sala de aula, essa análise foi realizada tendo em conta o lugar na sala de aula do inquirido, de modo a detetar particularidades nas respostas com base no lugar ocupado.

O gráfico da Figura 5.1 mostra que 91,5% (n=43) dos alunos inquiridos admitem ouvir bem a voz do professor durante a aula, enquanto 8,5% (n=4) admite apenas ouvir mais ou menos. Encontrando-se estes últimos mais distribuídos pelo meio da sala de aula.

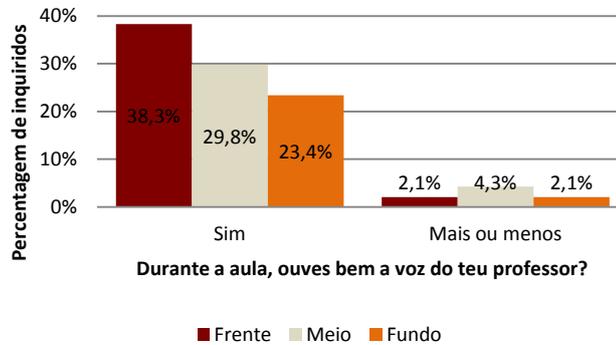


Figura 5.1 - Perceção auditiva à voz do professor e o lugar ocupado na sala de aula (n=47)

Analisando as respostas dos alunos às perguntas mais pertinentes do questionário a que foram submetidos, identificou-se qual o ruído da escola e fora da escola que mais ouvem na sala de aula.

O gráfico da Figura 5.2 identifica que o ruído da escola que os alunos mais ouvem na sua sala corresponde à voz dos seus colegas na sala de aula com um registo 76,7% (n=36). O ruído no corredor é apenas perceptível pelos alunos que estão sentados na frente da sala de aula e o ruído no recreio da escola é apenas perceptível pelos alunos que estão sentados no fundo da sala.

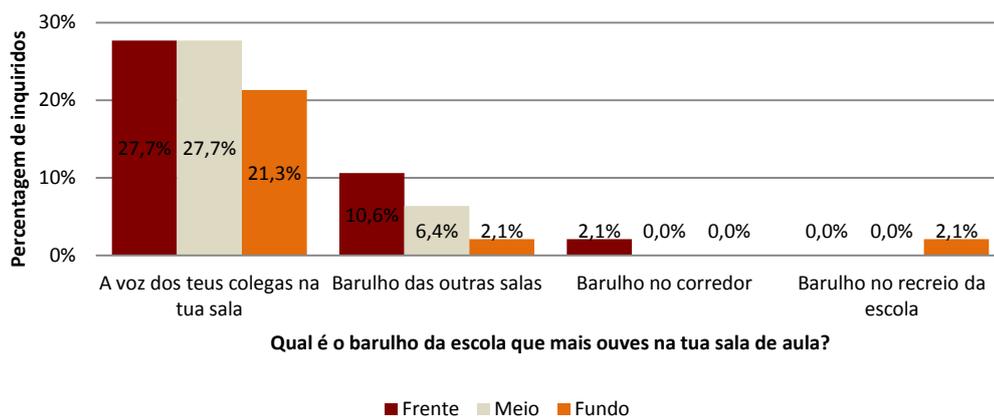


Figura 5.2 - O barulho da escola que mais ouvem e o lugar ocupado na sala de aula (n=47)

Quanto ao ruído proveniente do exterior da escola que os alunos mais ouvem na sala de aula, o gráfico da Figura 5.3 mostra que corresponde ao tocar dos sinos com um registo de 51,1%

(n=23). Este resultado é influenciado, eventualmente, pela proximidade da escola à Igreja de Santa Cruz. Também o ruído do tráfego rodoviário é bastante perceptível com um registo de 35,6% (n=16). Os alunos que estão sentados na frente da sala de aula apresentam mais diversidade nas respostas quanto ao ruído proveniente do exterior da escola que mais ouvem.

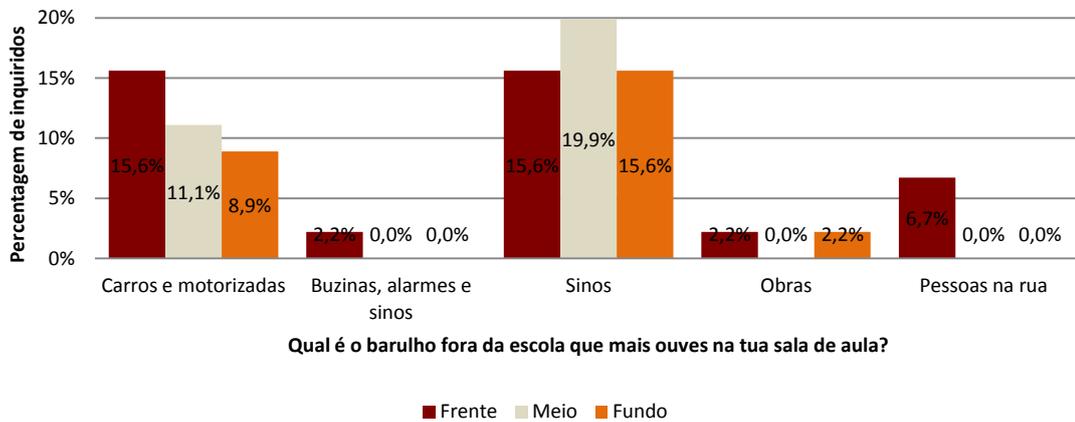


Figura 5.3 - O barulho fora da escola que mais ouvem e o lugar ocupado na sala (n=45)

Sendo o objetivo deste estudo avaliar a influência do ruído do tráfego rodoviário no processo de ensino aprendizagem, é necessário verificar se este ruído é um dos mais perceptíveis no interior da sala de aula, tendo em conta o ruído do interior e exterior da escola.

O gráfico da Figura 5.4 identifica que o ruído mais perceptível no interior da sala de aula é o ruído produzido na própria sala com um registo de 41,3% (n=19), apesar de o ruído proveniente da escola também o seja, principalmente pelos alunos da frente e do fundo da sala de aula, com um registo de 32,6% (n=15). É de notar que a perceção do ruído varia com o lugar ocupado na sala de aula. Enquanto os alunos que se encontram sentados na frente da sala têm uma perceção bastante homogénea relativamente ao ruído que mais ouvem, os alunos sentados no meio têm mais perceção do ruído produzido na sala de aula e os alunos sentados no fundo têm mais perceção do ruído proveniente da escola.

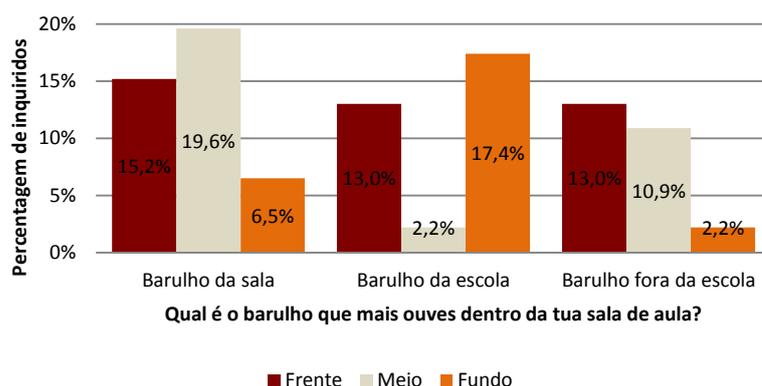


Figura 5.4 - O barulho que mais ouvem e o lugar ocupado na sala de aula (n=46)

Sabe-se que nem sempre o ruído que mais se ouve é aquele que mais incomoda, pelo que considerou-se necessário identificar qual é o ruído que mais incomoda. O gráfico da Figura 5.5 identifica que o ruído que mais incomoda na sala de aula corresponde à voz dos colegas na sua sala de aula com um registo de 44,4% (n=20). Também o ruído das mesas e cadeiras a serem arrastadas é bastante incomodativo com um registo de 35,7% (n=16). É de notar que somente uma pequena percentagem de alunos, 8,8% (n=4), sente-se incomodada com o ruído proveniente do exterior da escola.

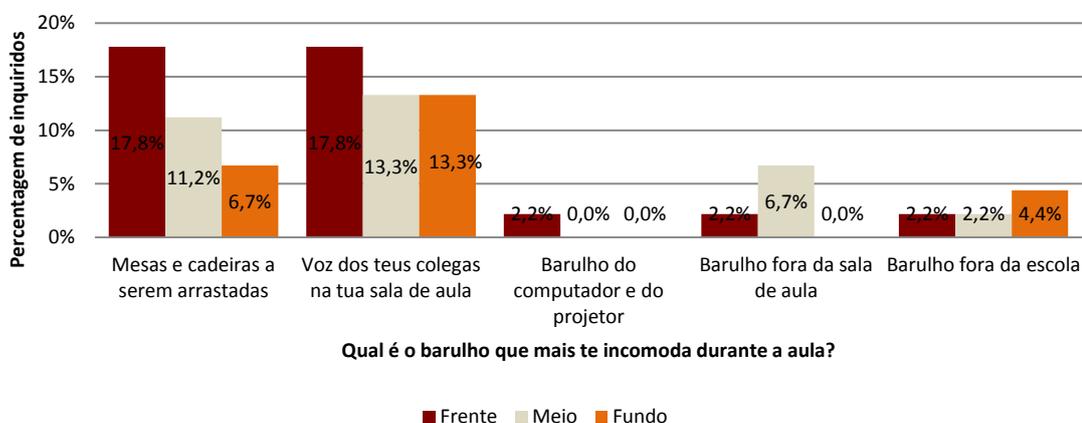


Figura 5.5 - O barulho que mais incomoda e o lugar ocupado na sala de aula (n=45)

Relativamente à caracterização do ambiente sonoro da sala de aula todos os alunos consideram a sala de aula barulhenta, como mostra o gráfico da Figura 5.6. Tendo em conta a análise geral que se tem vindo a efetuar, este resultado deve-se ao ruído da sala de aula, da escola e fora desta com um destaque maior para o ruído da sala, nomeadamente, a voz dos colegas na sala de aula. Esta análise é reforçada, posteriormente, no gráfico da Figura 5.7.

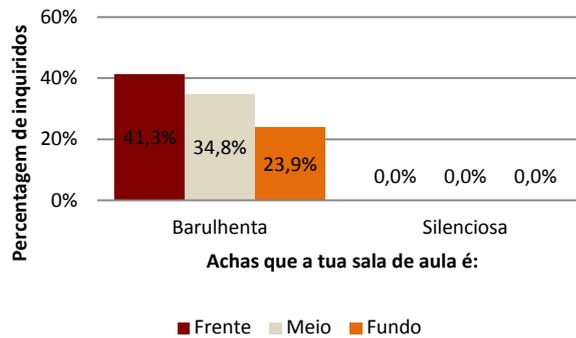


Figura 5.6 - Ambiente sonoro da sala de aula e o lugar ocupado (n=46)

De seguida, adotou-se outras abordagens mais particulares à perceção do ruído ambiente na sala de aula. O gráfico da Figura 5.7 reforça a análise anterior.

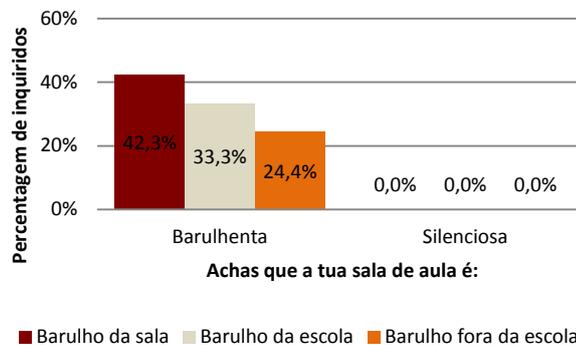


Figura 5.7 - Ambiente sonoro da sala de aula e o barulho que mais ouvem (n=45)

Na análise geral efetuada constatou-se que 8,5% (n=4) dos alunos admitiu não ouvir bem a voz do professor durante a aula. O gráfico da Figura 5.8 identifica qual o ruído que mais incomoda os alunos que admitem ouvir bem a voz do professor e os alunos que admitem ouvir apenas mais ou menos, durante a aula. Para os alunos, que não ouvem bem a voz do professor, o ruído que mais os incomodam corresponde ao ruído produzido na sala e ao ruído proveniente do exterior da escola.

Por outras palavras, 4,4% (n=2) dos alunos inquiridos admitem não ouvir bem a voz do professor durante a aula e sentem-se incomodados com o ruído proveniente do exterior da escola.

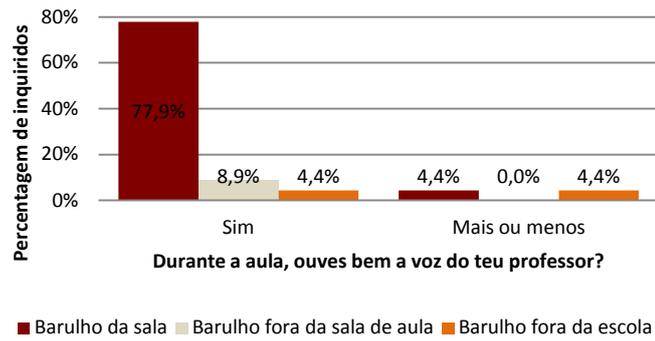


Figura 5.8 - Perceção auditiva à voz do professor e o barulho que mais incomoda (n=45)

Esta análise relaciona o ruído mais perceptível quer seja produzido na sala de aula, quer seja proveniente da escola ou do seu exterior, com o ruído mais perceptível proveniente do exterior da escola. Um aluno que mais ouve o ruído produzido na sala também se pode aperceber do ruído proveniente do exterior da escola. Um ruído não se sobrepõe a outro, necessariamente. Nesta análise é importante verificar qual é o ruído proveniente do exterior da escola que mais se ouve pelos alunos que, efetivamente responderam que é o ruído proveniente do exterior da escola que mais ouvem. Para este grupo de alunos, que corresponde a 24,5% (n=11) da população, o ruído mais perceptível proveniente do exterior da escola é o ruído do tráfego rodoviário com um registo de 15,6% (n=7), seguindo-se o ruído produzido pelos sinos com um registo de 8,9% (n=4) como mostra o gráfico da Figura 5.9.

Por outras palavras, 15,6% (n=7) dos alunos inquiridos ouvem mais o ruído proveniente do exterior da escola na sala de aula. Tendo este ruído proveniência no tráfego rodoviário.

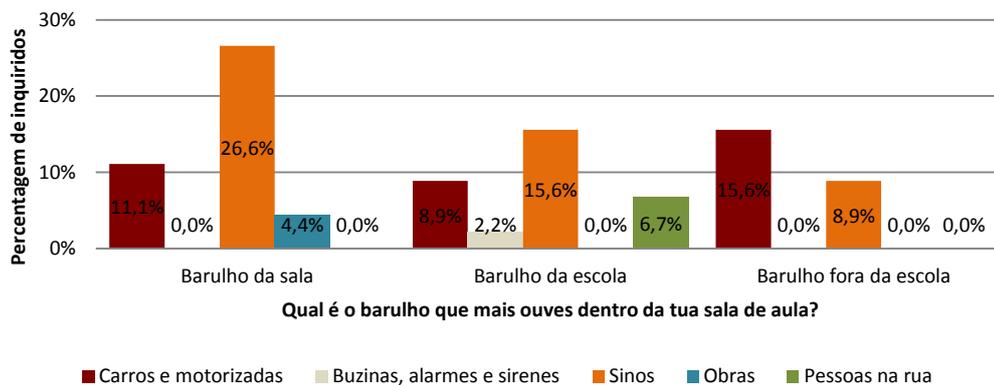


Figura 5.9 - O barulho que mais ouvem dentro da sala e o barulho exterior (n=45)

A análise seguinte relaciona o ruído mais perceptível e o ruído mais incomodativo na sala de aula. O gráfico da Figura 5.10 mostra que o ruído mais incomodativo é o da sala de aula

mesmo para alunos que consideram que é o ruído da escola e fora da escola o mais perceptível, o que neste últimos dois casos pode não ter alguma coerência. Contudo sabe-se que o ruído mais perceptível pode não ser o mais incomodativo e alunos que têm mais perceção do ruído fora da sala de aula podem ser mais facilmente incomodados com o ruído produzido na própria da sala, como aqueles que possam estar mais próximos da porta e de janelas. É de notar que a maior percentagem de alunos incomodados, com o ruído fora da escola, recai no grupo de alunos que consideram este ruído o mais perceptível.

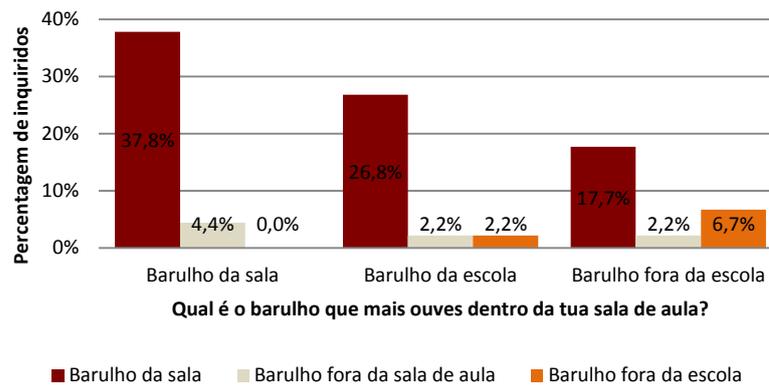


Figura 5.10 - O barulho que mais ouvem e o barulho que mais incomoda (n=45)

A análise posterior relaciona o ruído mais incomodativo com o ruído mais perceptível proveniente do exterior. O gráfico da Figura 5.11 mostra que são os alunos mais incomodados com o ruído produzido na sala que têm uma perceção mais variada relativamente ao ruído exterior à escola. Nesta análise é importante verificar qual é o ruído proveniente do exterior da escola que mais se ouve pelos alunos que, efetivamente se sentem mais incomodados pelo ruído proveniente do exterior da escola. Para este grupo de alunos, que corresponde a 6,8% (n=3) da população, o ruído do tráfego rodoviário é o mais perceptível. É de notar que o tocar dos sinos é maioritariamente apontado como o ruído mais perceptível com um registo de 52,2% (n=23), mas dos alunos que apontam este ruído como o mais perceptível do exterior, nenhum se sente incomodado com o ruído fora da escola. Este resultado deve-se eventualmente a questões de hábito.

Por outras palavras, 6,8% (n=3) dos alunos sentem-se incomodados com o ruído proveniente do exterior da escola, sendo o ruído do tráfego rodoviário o mais perceptível relativamente a ruído exterior à escola.

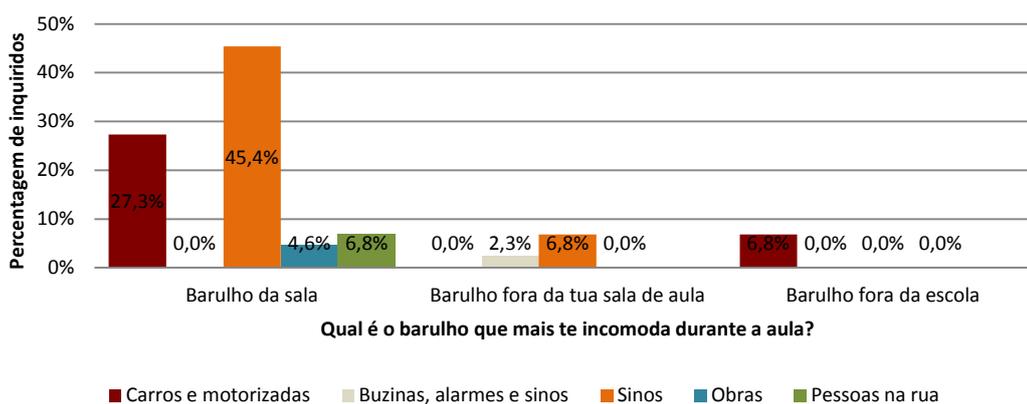


Figura 5.11 - O barulho que mais incomoda e o barulho do exterior da escola (n=44)

Alunos que em casa vivem num ambiente silencioso e que na escola possuem um ambiente barulhento tornam-se mais sensíveis ao ruído. O gráfico da Figura 5.12 mostra que 63,6% (n=28) dos inquiridos encontram-se nestas condições.

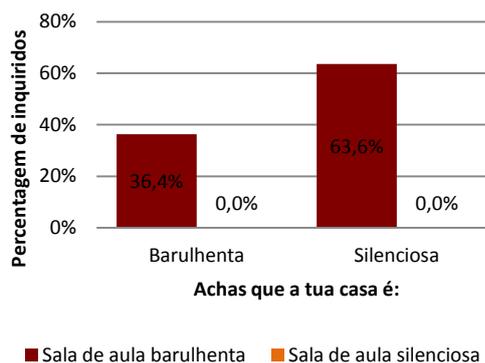


Figura 5.12 - Ambiente sonoro de casa e ambiente sonoro da sala de aula (n=44)

A análise seguinte teve em conta apenas a população que se encontra nas condições anteriores. O gráfico da Figura 5.13 identificou que o ruído proveniente do exterior da escola que mais ouvem na sala de aula é o tocar dos sinos com um registo de 63% (n=17). Por sua vez, o gráfico da Figura 5.14 identifica que o ruído mais perceptivo e o mais incomodativo é o ruído produzido na sala de aula com um registo de 46,5% (n=13) e 82,2% (n=23), respetivamente.

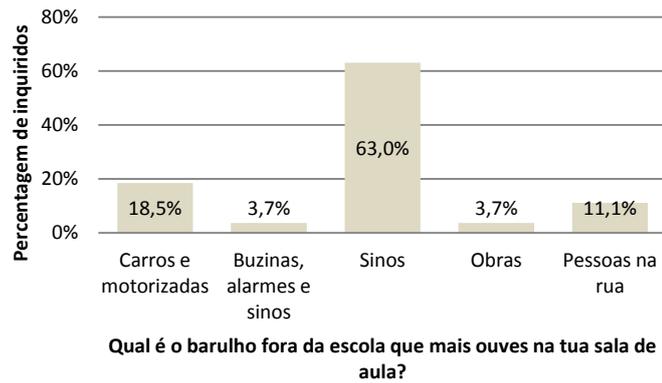


Figura 5.13 – O barulho que mais ouvem fora da escola na sala de aula (n=27)

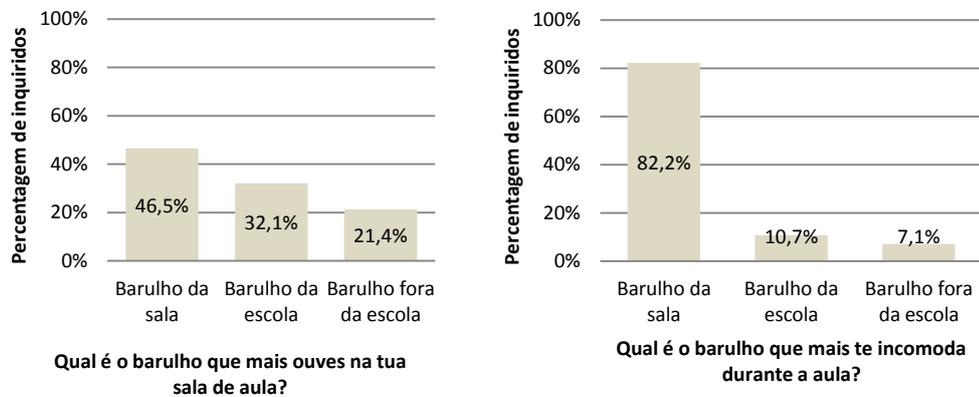


Figura 5.14 – O barulho que mais ouvem (n=28) e o barulho que mais incomoda (n=28)

Por fim, relacionou-se a atividade escolar mais afetada pelo ruído e o ruído que mais incomoda durante a aula. O gráfico da Figura 5.15 mostra que a atividade mais afetada pelo ruído é durante a explicação da matéria com um registo de 51,3% (n=21). Para qualquer atividade o ruído que mais incomoda é aquele que é produzido na sala de aula. É de ter atenção que 4,8% (n=4) da população diz que o barulho não a incomoda durante a aula, mas identifica o ruído que mais a incomoda. Este resultado, aparentemente, revela uma falta de coerência, o que torna necessário referir que durante o preenchimento do questionário os alunos tiveram que identificar o ruído que mais os incomodam durante a aula sem lhes ter dado a hipótese de não optar por nenhum.

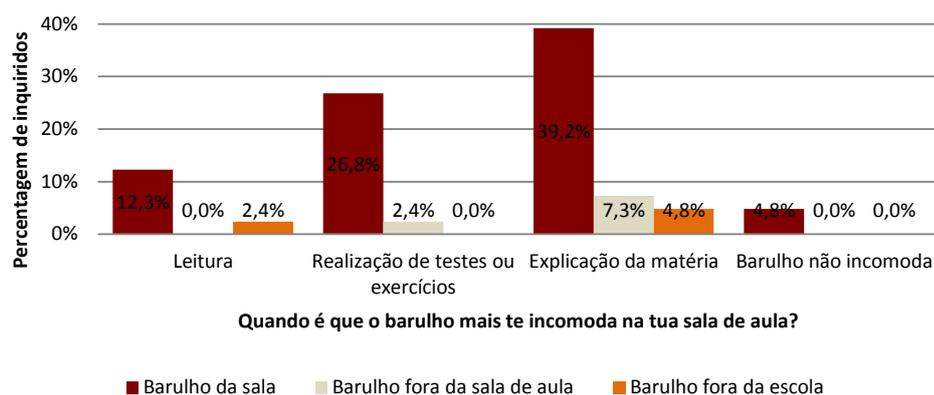


Figura 5.15 - Atividades escolares e o barulho que mais incomoda (n=41)

5.1.2.2 Perceção dos Professores

O gráfico da Figura 5.16 mostra o incómodo causado aos professores pelo ruído proveniente do exterior da escola. Para eles, o ruído do tráfego rodoviário, das buzinas, alarmes e sirenes, dos sinos e das obras causam MUITO incómodo. Sendo o ruído proveniente dos sinos o mais apontado, com um registo de 50% (n=3). O ruído proveniente do tráfego rodoviário, aquele que tem mais importância para o estudo, incomoda MUITO para 28,6% (n=2), POUCO para 42,8% (n=3) e para 28,6% (n=2) não causa incómodo.

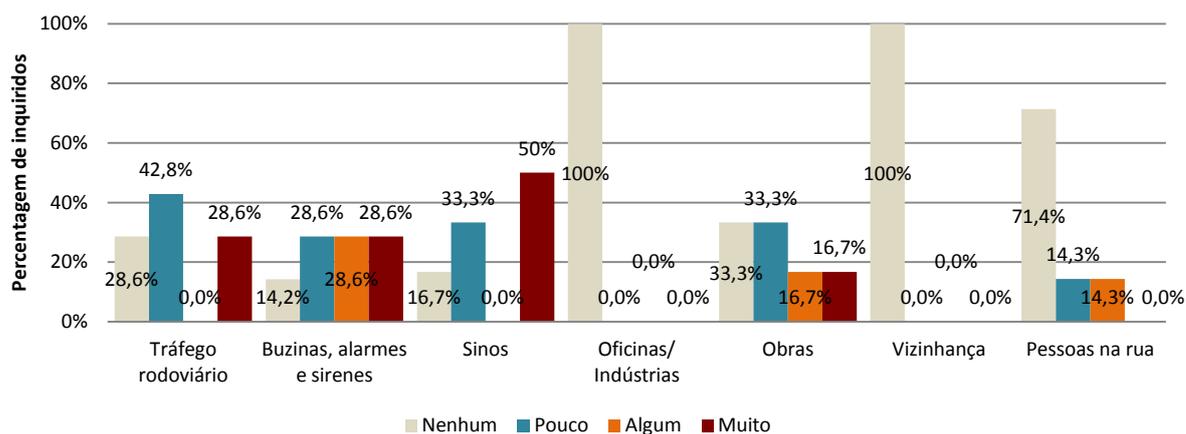


Figura 5.16 - Incómodo causado pelo ruído proveniente do exterior da escola (n=7)

O gráfico da Figura 5.17 mostra a interferência que certos tipos de ruído causam durante a aula. Para os professores, o ruído dos alunos na sua sala de aula, o ruído das outras salas e o ruído do exterior da escola causam MUITA interferência durante a aula. Sendo o ruído proveniente da sala de aula o mais apontado com um registo de 28,6% (n=2). O ruído exterior

à escola, aquele que tem mais importância para o estudo, para 14,3% (n=1) causa MUITA interferência durante a aula, para 14,3 % (n=1) causa ALGUMA a interferência, para 57,1 % (n=4) causa POUCA e para 14,3 % (n=1) não causa interferência.

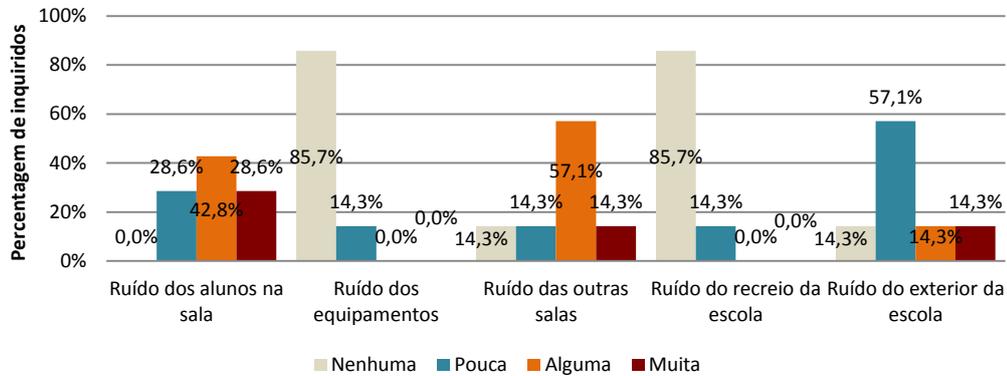


Figura 5.17 - Interferência que certos tipos de ruído causam durante a aula (n=7)

5.1.2.3 Perceção dos Auxiliares de Ação Educativa

Relativamente ao ruído proveniente do exterior da escola, para um auxiliar de ação educativa o ruído do tráfego rodoviário e das buzinas, alarmes e sirenes causa MUITO incómodo e para outro o ruído proveniente do tráfego rodoviário não causa incómodo.

Quanto à interferência que o ruído causa durante as tarefas dos auxiliares de ação educativa, somente um identifica que o ruído do recreio da escola causa MUITA interferência durante as suas tarefas. O ruído exterior à escola, aquele que tem mais importância para o estudo, não causa interferência para aos auxiliares de ação educativa.

5.1.3 Modelação Matemática do Ruído

5.1.3.1 Escola on

Durante as medições de ruído com o sonómetro junto à via rodoviária foram efetuadas contagens de tráfego com discriminação de veículos ligeiros e pesados.

No Quadro 5.5 apresentam-se as contagens de veículos rodoviários na Rua Dom Afonso Henriques, efetuadas a partir do local de medição do ponto 1 com escola *on*, assim como o valor médio dessas contagens.

Quadro 5.5 - Contagem de veículos na Rua Dom Afonso Henriques (ponto de medição 1)

| Dia | Horário | N.º Total Veículos (Veíc/h) | N.º Veículos Ligeiros (Veíc/h) | % Veículos Pesados |
|------------|---------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 09-05-2012 | 14:25 - 14:40 | 144 | 138 | 4,4 |
| 15-05-2012 | 09:35 - 09:50 | 220 | 216 | 1,8 |
| Média | | 182 | 177 | 3,1 |

Por forma a ajustar o ruído produzido e o nível de ruído medido, procedeu-se a um ajuste dinâmico que consistiu em aumentar ou diminuir as fontes de ruído introduzidas no modelo, ajuste de obstáculos, entre outros.

Depois de introduzir os dados de tráfego rodoviários, das características do pavimento, do tipo de tráfego, verificar e corrigir, quando necessário, a topografia do terreno e as características físicas do edificado, introduzir os parâmetros de cálculo e os recetores nos locais dos pontos de medição com o sonómetro procedeu-se à elaboração dos mapas de ruído.

Na Figura 5.18 apresenta-se o mapa de ruído da EB1 de S. João do Souto, com a escola *on*. Na elaboração do mapa de ruído teve-se em conta a contagem média de veículos rodoviários no modelo provisório de cálculo, NMPB 96, resultante das contagens de tráfego rodoviário efetuadas a partir do local de medição do ponto 1, com a escola *on*.

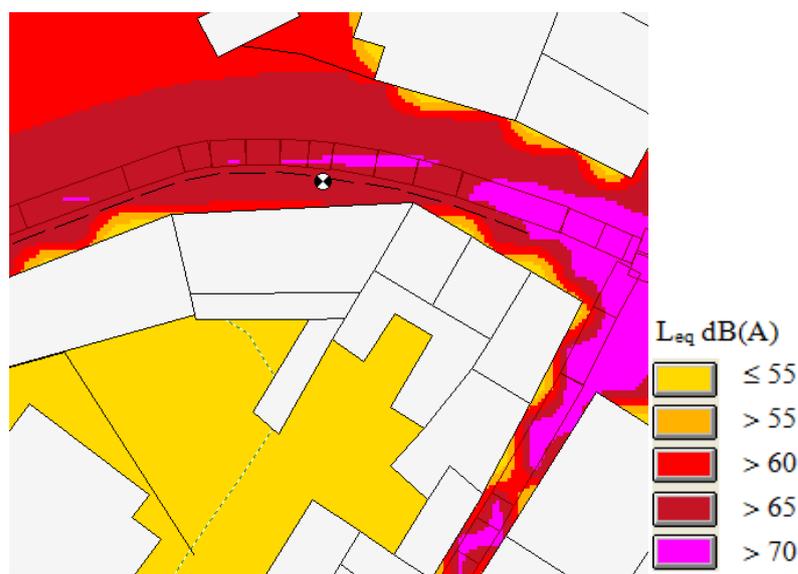


Figura 5.18 - Mapa de ruído da EB1 de S. João do Souto com escola *on*

No Quadro 5.6 apresenta-se a comparação entre o L_{Aeq} médio medido e o L_{Aeq} médio modelado do ponto de medição 1/recetor 1 com escola *on*. Com base nessa comparação o modelo de previsão de ruído encontra-se ajustado dado que a diferença entre os valores é inferior a 2 dB(A). O modelo encontra-se apto a receber as contagens médias reais de veículos em horário de funcionamento das aulas letivas de modo a poder elaborar o mapa de ruído real com a escola *on*.

Quadro 5.6 - Comparação entre L_{Aeq} médio medido e L_{Aeq} médio modelado com escola *on*.

| Ponto/Recetor | L_{Aeq} medido dB(A) | L_{Aeq} modelado dB(A) | Δ dB(A) |
|---------------|------------------------|--------------------------|----------------|
| 1 | 63,3 | 64,4 | 1,1 |

5.1.3.2 Escola *off*

No Quadro 5.7 apresentam-se as contagens de veículos rodoviários na Rua Dom Afonso Henriques, efetuadas a partir do local de medição do ponto 1 com escola *off*, assim como o valor médio dessas contagens.

Quadro 5.7 - Contagem de veículos na Rua Dom Afonso Henriques (ponto de medição 1)

| Dia | Horário | N.º Total Veículos (Veíc/h) | N.º Veículos Ligeiros (Veíc/h) | % Veículos Pesados |
|------------|---------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 09-05-2012 | 10:10 - 10:25 | 126 | 119 | 5,7 |
| 14-05-2012 | 19:35 - 19:50 | 184 | 184 | 0,0 |
| Média | | 155 | 151 | 2,9 |

Por forma a ajustar o ruído produzido e o nível de ruído medido, procedeu-se a um ajuste dinâmico que consistiu em aumentar ou diminuir as fontes de ruído introduzidas no modelo, ajuste de obstáculos entre outros.

Na Figura 5.19 apresenta-se o mapa de ruído da EB1 de S. João do Souto. Na elaboração do mapa de ruído teve-se em conta a contagem média de veículos rodoviários no modelo provisório de cálculo, NMPB 96, resultante das contagens de tráfego rodoviário efetuadas a partir do local de medição do ponto 1, com a escola *off*.

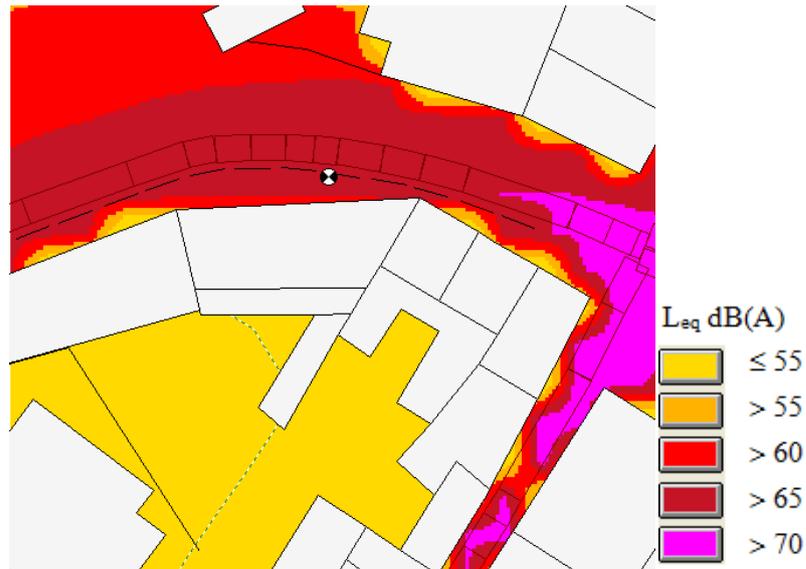


Figura 5.19 - Mapa de ruído da EB1 de S. João do Souto com escola *off*

No Quadro 5.8 apresenta-se a comparação entre o L_{Aeq} médio medido e o L_{Aeq} médio modelado no ponto de medição 1/recetor 1 com escola *off*. Com base nessa comparação o modelo de previsão de ruído encontra-se ajustado dado que a diferença entre os valores é inferior a 2 dB(A). O modelo encontra-se apto a receber as contagens reais de veículos fora do horário de funcionamento das aulas letivas de modo a poder elaborar o mapa de ruído real com a escola *off*.

Quadro 5.8 - Comparação entre L_{Aeq} médio medido e L_{Aeq} médio modelado com escola *off*.

| Ponto/Recetor | L_{Aeq} medido dB(A) | L_{Aeq} modelado dB(A) | Δ dB(A) |
|---------------|------------------------|--------------------------|----------------|
| 1 | 62 | 63,6 | 1,6 |

5.2 EB1 de S. Victor

5.2.1 Medições de Ruído Ambiente

5.2.1.1 Medições de Ruído Ambiente no Exterior

No Quadro 5.9 apresentam-se os resultados das medições de ruído ambiente no exterior com a escola *on*. O ponto de medição 1 apresenta o valor do L_{Aeq} médio mais baixo cumprindo, deste

modo, o valor imposto pela legislação, 55 dB(A). Este fato era esperado dado a localização do ponto de medição. Por sua vez, o ponto de medição 2 apresenta um valor do L_{Aeq} médio que ultrapassa o valor imposto pela legislação. Este resultado poderá dever-se à proximidade da localização do ponto de medição com as vias de tráfego rodoviário, a Rua Martins Sarmiento e a Rua Beato Miguel de Carvalho. Viu-se no capítulo anterior, que o sonómetro no local de medição do ponto 2 encontra-se próximo da fachada frontal do edifício escolar voltado para as vias envolventes ao estabelecimento de ensino. O ponto de medição 3 apresenta um valor do L_{Aeq} médio que ronda os 55 dB(A) impostos pela legislação.

Quadro 5.9 - Medição no exterior – Escola *on*

| Local de medição | Ponto 1 | | | Ponto 2 | | | Ponto 3 | | |
|-----------------------------------|----------|----------|-------------|----------|----------|-------------|----------|----------|-------------|
| | 1 | 2 | Média | 1 | 2 | Média | 1 | 2 | Média |
| Medição | 1 | 2 | Média | 1 | 2 | Média | 1 | 2 | Média |
| Data da medição | 23-04-12 | 24-04-12 | - | 23-04-12 | 24-04-12 | - | 23-04-12 | 24-04-12 | - |
| Horário | 11:33 | 10:05 | - | 09:57 | 09:30 | - | 15:55 | 11:30 | - |
| L_5 (dBA) | 52,1 | 49,4 | 51,0 | 64,8 | 65,5 | 65,2 | 59 | 59,9 | 59,5 |
| L_{95} (dBA) | 45,4 | 42,4 | 44,2 | 50,3 | 51,2 | 50,8 | 49,1 | 47,8 | 48,5 |
| L_{AiT} (dBA) | 51,7 | 53,8 | 52,9 | 61,6 | 62,1 | 61,9 | 56 | 56,4 | 56,2 |
| $L_{AiT} - L_{Aeq}$ (dBA) | 2,2 | 5,5 | 4,2 | 1,3 | 1 | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,3 |
| L_{Aeq} (dBA) | 49,5 | 48,3 | 48,9 | 60,3 | 61,1 | 60,7 | 54,8 | 55 | 54,9 |
| Valor da calibração inicial (dBA) | 93,8 | 94 | - | 93,8 | 94 | - | 93,8 | 94 | - |
| Valor da calibração final (dBA) | 94,2 | 94 | - | 94,2 | 94 | - | 94,2 | 94 | - |

No Quadro 5.10 apresentam-se os resultados das medições de ruído ambiente no exterior com a escola *off*. O ponto de medição 1 apresenta um valor do L_{Aeq} médio superior comparado com o valor do L_{Aeq} médio no exterior com a escola *on*, mas não deixa de cumprir o valor imposto pela legislação. O ponto de medição 2 apresenta um valor do L_{Aeq} médio praticamente igual, comparado com o valor do L_{Aeq} médio no exterior com a escola *on*. O ponto de medição 3 apresenta um valor do L_{Aeq} médio superior ao medido com a escola *on*, deixando de cumprir o valor limite imposto pela legislação. O aumento do L_{Aeq} médio no ponto de medição 1 e no ponto de medição 3 poderá dever-se à vizinhança da escola, dado que esta se encontra inserida numa zona de habitação e no horário de medição com a escola *off* as pessoas já se

encontrarem em casa. Como o valor do L_{Aeq} médio no ponto de medição 2, aquele que se encontra mais próximo da via, mantêm-se, poderia constatar-se que o volume de tráfego não varia significativamente ao longo do período diurno, em dias de aulas, esta suposição é posta em causa pelas contagens médias de tráfego apresentadas nos Quadros 5.13, 5.14, 5.15, 5.17, 5.18 e 5.19. Este resultado poderá dever-se a outras fontes de ruído que não o ruído do tráfego rodoviário ou pelo fato de as medições ocorrerem num período de 30 minutos e as contagens de tráfego em apenas 15 minutos.

Quadro 5.10 - Medição no exterior – Escola *off*

| Local de Medição | Ponto 1 | | | Ponto 2 | | | Ponto 3 | | |
|-----------------------------------|----------|----------|-------------|----------|----------|-------------|----------|----------|-------------|
| | 1 | 2 | Média | 1 | 2 | Média | 1 | 2 | Média |
| Medição | 1 | 2 | Média | 1 | 2 | Média | 1 | 2 | Média |
| Data da medição | 24-04-12 | 26-04-12 | - | 24-04-12 | 27-04-12 | - | 23-04-12 | 26-04-12 | - |
| Horário | 18:29 | 17:53 | - | 19:10 | 18:35 | - | 18:09 | 18:25 | - |
| L_5 (dBA) | 54,5 | 50,5 | 47,5 | 63,1 | 63,9 | 63,5 | 60,8 | 60,7 | 60,8 |
| L_{95} (dBA) | 45,6 | 44,8 | 41,8 | 53 | 54 | 53,5 | 50 | 51,5 | 50,8 |
| L_{AiT} (dBA) | 54,3 | 52,8 | 49,8 | 60,8 | 63 | 62,0 | 58,7 | 58,7 | 58,7 |
| $L_{AiT} - L_{Aeq}$ (dBA) | 2,7 | 2,9 | 2,2 | 1,1 | 1,9 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,5 |
| L_{Aeq} (dBA) | 51,6 | 49,9 | 50,8 | 59,7 | 61,1 | 60,5 | 57,2 | 57,3 | 57,3 |
| Valor da calibração inicial (dBA) | 94 | 94,1 | - | 94 | 94,1 | - | 93,8 | 94,1 | - |
| Valor da calibração final (dBA) | 94 | 94 | - | 94 | 94 | - | 94,2 | 94 | - |

5.2.1.2 Medições de Ruído Ambiente no Interior

No Quadro 5.11 apresentam-se os resultados das medições de ruído ambiente no interior da sala de aula com a escola *on*. As aulas decorreram normalmente.

Quadro 5.11 - Medição no interior – Escola *on*

| Piso de medição | Piso 1 | | | | | | Média |
|---|------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|--------------|
| | Ponto interior 1 | | Ponto interior 2 | | Ponto interior 3 | | |
| Local de medição | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | |
| Medição | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | Média |
| Data da medição | 23-04-12 | 24-04-12 | 23-04-12 | 24-04-12 | 23-04-12 | 24-04-12 | - |
| Horário | 13:43 | 13:45 | 14:16 | 14:21 | 14:50 | 14:55 | - |
| L ₅ (dBA) | 73,1 | 72,1 | 75 | 67,6 | 72 | 75,7 | 73,3 |
| L ₉₅ (dBA) | 46,3 | 47,1 | 47,8 | 45,3 | 48,4 | 49,5 | 47,6 |
| L _{AiT} (dBA) | 73,7 | 72,6 | 75,8 | 69,4 | 73,3 | 75,8 | 73,9 |
| L _{AiT} - L _{Aeq} (dBA) | 6,7 | 6,4 | 6,9 | 7,5 | 7,2 | 6,4 | 6,9 |
| L _{Aeq} (dBA) | 67 | 66,2 | 68,9 | 61,9 | 66,1 | 69,4 | 67,2 |
| Valor da calibração inicial (dBA) | 93,8 | 94 | 93,8 | 94 | 93,8 | 94 | - |
| Valor da calibração final (dBA) | 94,2 | 94 | 94,2 | 94 | 94,2 | 94 | - |

No Quadro 5.12 apresentam-se os resultados das medições de ruído ambiente no interior da sala de aula com a escola *off*. O valor do L_{Aeq} médio é superior ao nível de ruído de fundo recomendado pela OMS, 35 dB(A). Este resultado deve-se ao ruído do exterior da escola que chega ao interior da sala de aula em avaliação. Apenas uma auxiliar de ação educativa permanecia na escola para permitir o acesso ao interior da sala de aula.

Quadro 5.12 - Medição no interior – Escola *off*

| Piso de medição | Piso 1 | | Média |
|---|------------------------|----------|--------------|
| | Ponto interior central | | |
| Local de medição | 1 | 2 | |
| Medição | 1 | 2 | Média |
| Data da medição | 24-04-12 | 27-04-12 | - |
| Horário | 17:50 | 18:00 | - |
| L ₅ (dBA) | 42,1 | 41,7 | 41,9 |
| L ₉₅ (dBA) | 35,7 | 32,9 | 34,5 |
| L _{AiT} (dBA) | 40,6 | 39,7 | 40,2 |
| L _{AiT} - L _{Aeq} (dBA) | 1,2 | 1,4 | 1,3 |
| L _{Aeq} (dBA) | 39,4 | 38,3 | 38,9 |
| Valor da calibração inicial (dBA) | 94 | 94,1 | - |
| Valor da calibração final (dBA) | 94 | 94 | - |

À semelhança da comparação feita nos resultados das medições de ruído ambiente no interior da sala de aula com a escola *on* e *off* na EB1 de S. João do Souto, efetuou-se a mesma

comparação na EB1 de S. Victor. Assim, verificou-se uma diferença no valor do L_{Aeq} médio bastante elevada que se deve ao ruído produzido em ambiente escolar na sala de aula e das salas adjacentes.

5.2.2 Avaliação Percetual

5.2.2.1 Perceção dos Alunos

Numa abordagem inicial, efetuou-se uma análise geral da perceção do ruído dos alunos do 3º e 4º ano de escolaridade da EB1 de S. Victor que se submeteram ao questionário com a devida autorização dos seus encarregados de educação. A metodologia de análise aqui seguida foi a mesma adotada na seção 5.1.2.1.

O gráfico da Figura 5.20 mostra que dos alunos inquiridos 92,7% (n=63) admite ouvir bem a voz do professor durante a aula, enquanto 7,3% (n=5) admite apenas ouvir mais ou menos. Encontrando-se estes últimos mais distribuídos pelo meio e pelo fundo da sala de aula.

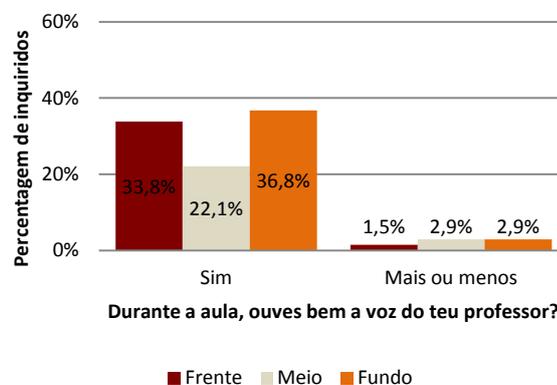


Figura 5.20 - Perceção auditiva à voz do professor e o lugar ocupado na sala de aula (n=68)

Analisando as respostas dos alunos às perguntas mais pertinentes do questionário a que foram submetidos, identificou-se qual o ruído produzido na escola e o ruído proveniente do exterior da escola que mais ouvem na sala de aula da escola.

O gráfico da Figura 5.21 identifica que o ruído produzido na escola que os alunos mais ouvem na sala de aula corresponde à voz dos seus colegas na sala de aula com um registo de 67,6% (n=46).

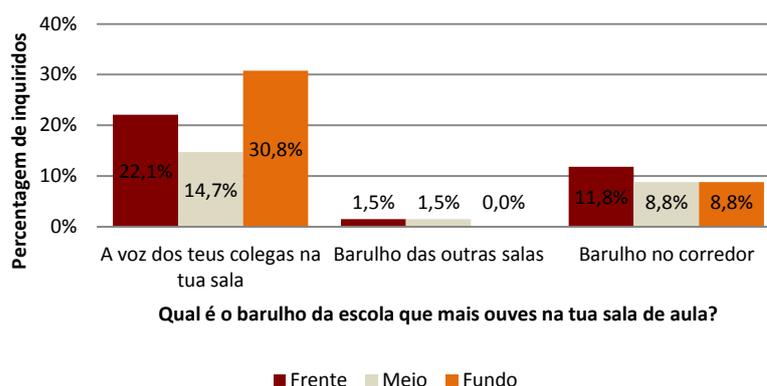


Figura 5.21 - O barulho da escola que mais ouvem e o lugar ocupado na sala de aula (n=68)

Quanto ao ruído proveniente do exterior da escola que os alunos mais ouvem na sala de aula, o gráfico da Figura 5.22 mostra que corresponde ao ruído produzido pelos carros e motorizadas, com um registo de 55,1% (n=37).

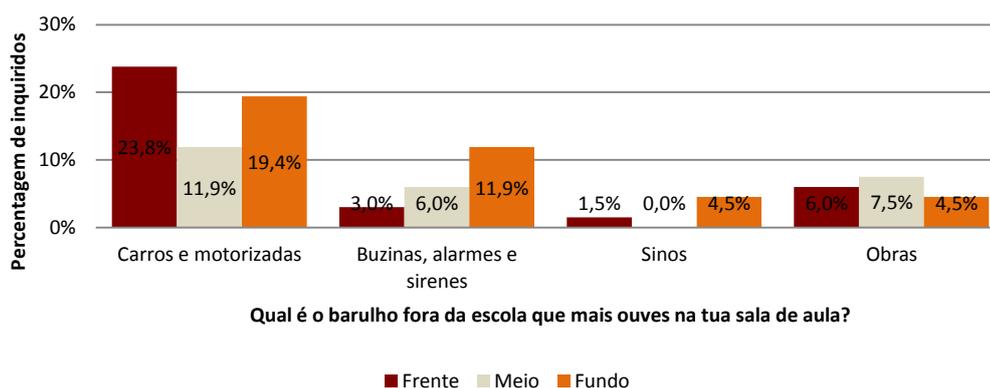


Figura 5.22 - O barulho fora da escola que mais ouvem e o lugar ocupado na sala (n=67)

À semelhança da análise feita na EB1 de S. João do Souto foi-se analisar qual o ruído mais perceptível no interior da sala de aula, tendo em conta todos os ruídos produzidos no interior da escola e proveniente do exterior da mesma.

O gráfico da Figura 5.23 identifica que o ruído mais perceptível no interior da sala de aula é o próprio ruído gerado no interior da sala de aula com um registo de 63,2% (n=43). É de notar que a opinião dos alunos sentados no meio da sala é mais homogénea relativamente aos tipos de ruído que mais ouvem. O ruído proveniente do exterior da escola, aquele com uma maior relevância para este estudo, é o menos perceptível com um registo de 14,7% (n=10).

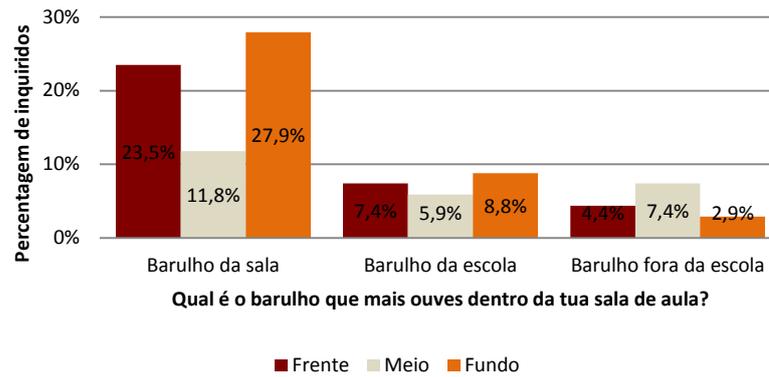


Figura 5.23 - O barulho que mais ouvem dentro da sala de aula e o lugar ocupado (n=68)

Sabe-se que nem sempre o ruído que mais se ouve é aquele que mais incomoda, sendo necessário identificar qual é o ruído que mais incomoda. O gráfico da Figura 5.24 identifica que o ruído que mais incomoda na sala de aula corresponde à voz dos colegas com um registo de 39,6% (n=27), seguindo-se logo, o ruído das mesas e cadeiras a serem arrastadas com um registo de 38,3% (n=26). É de notar que somente uma percentagem muito pequena de alunos, 1,5% (n=1), se sente incomodada com o ruído proveniente do exterior da escola.

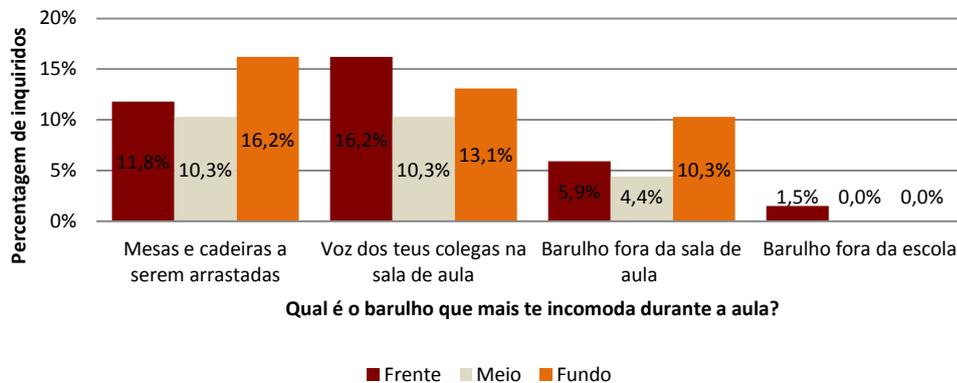


Figura 5.24 - O barulho que mais incomoda e o lugar ocupado na sala de aula (n=68)

Relativamente à caracterização do ambiente sonoro da sala de aula, 97% (n=66) dos alunos inquiridos consideram a sala de aula barulhenta, enquanto 3% (n=2) considera a sala de aula silenciosa, como mostra o gráfico da Figura 5.25. Tendo em conta a análise geral que se tem vindo a efetuar, este resultado deve-se ao ruído da sala de aula dos inquiridos, nomeadamente, à voz dos colegas na sala de aula. Esta análise é reforçada, posteriormente, no gráfico da Figura 5.26.

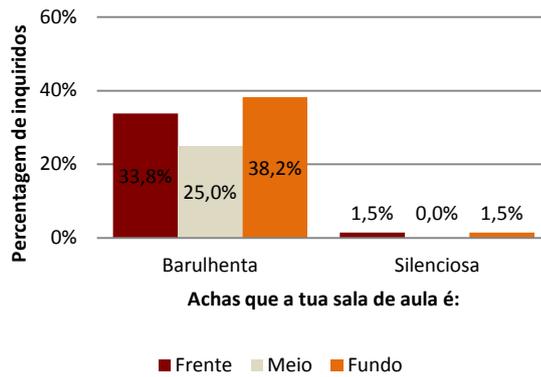


Figura 5.25 - Ambiente sonoro da sala de aula e o lugar ocupado (n=68)

De seguida, adotou-se outras abordagens mais particulares relativamente à perceção do ruído ambiente. O gráfico da Figura 5.26 reforça a análise anterior.

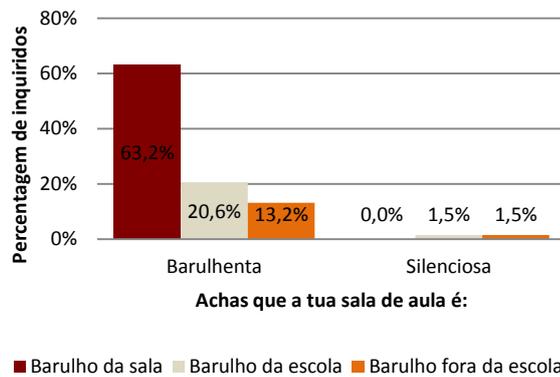


Figura 5.26 - Ambiente sonoro da sala de aula e o barulho que mais ouvem (n=68)

Na análise geral efetuada constatou-se que 7,3% (n=5) dos alunos admitiu não ouvir bem a voz do professor durante a aula. O gráfico da Figura 5.27 identifica os ruídos que mais incomodam os alunos que admitem ouvir bem a voz do professor e os alunos que admitem ouvir apenas mais ou menos, durante a aula. Para os alunos, que não ouvem bem a voz do professor, nenhum se sente incomodado com o ruído proveniente do exterior da escola. Observa-se que 1,5% (n=1) dos alunos que se sentem incomodados com o ruído proveniente do exterior da escola admite ouvir bem a voz do professor, durante a aula.

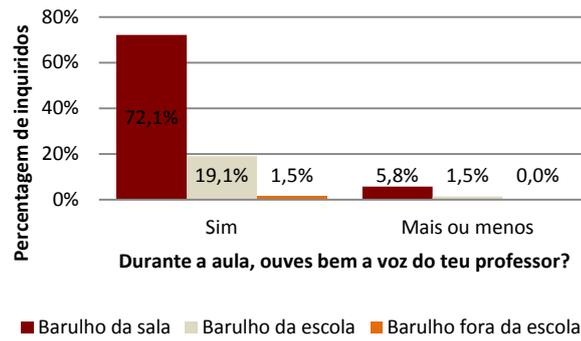


Figura 5.27 - Perceção auditiva à voz do professor e o barulho que mais incomoda (n=68)

Esta análise relaciona o ruído mais perceptível quer seja produzido na sala ou na escola, quer seja proveniente do exterior da mesma, com o ruído mais perceptível proveniente do exterior da escola. À semelhança da análise feita na EB1 de S. João do Souto, esta análise centra-se na perceção ao ruído proveniente do exterior da escola dos alunos que, efetivamente ouvem mais o ruído do exterior. O gráfico da Figura 5.28 identifica que o ruído do exterior mais perceptível para este grupo de alunos, que corresponde a 15% da população (n=10), é o ruído das obras com um registo de 7,5% (n=5), seguindo-se o ruído produzido pelas buzinas, alarmes e sirenes com um registo de 4,5% (n=3) e por último o ruído do tráfego rodoviário com um registo de 3% (n=2).

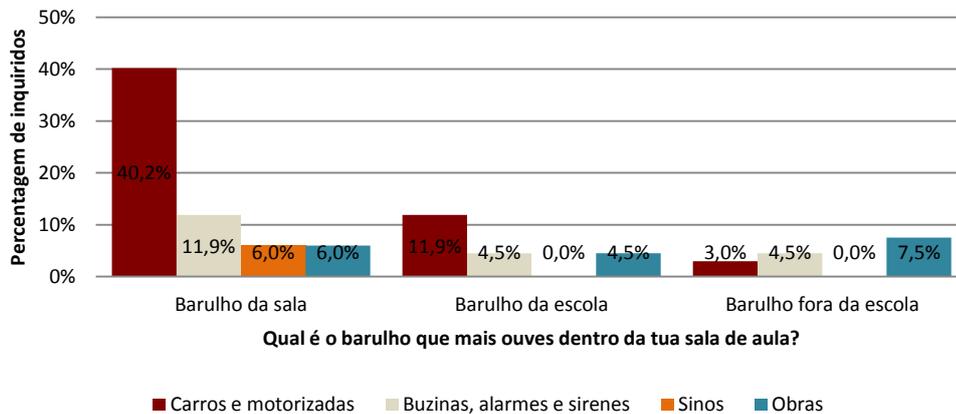


Figura 5.28 - O barulho que mais ouvem dentro da sala e o barulho exterior (n=67)

A análise seguinte relaciona o ruído mais perceptível e o ruído mais incomodativo na sala de aula. O gráfico da Figura 5.29 mostra que o ruído mais incomodativo é o da sala de aula mesmo para alunos que consideram que é o ruído da escola e fora da escola o mais perceptível, o que neste últimos dois casos pode não ter alguma coerência. À semelhança da análise feita na EB1 de S. João do Souto, fez-se referência que o ruído mais perceptível pode não ser o mais

incomodativo e alunos que têm mais perceção ao ruído fora da sala de aula podem ser mais facilmente incomodados com os ruídos produzidos na própria da sala, como aqueles alunos que possam estar mais próximos da porta e de janelas. Importa referir que dos alunos que mais ouvem o ruído proveniente do exterior da escola, nenhum se sente incomodado com o mesmo.

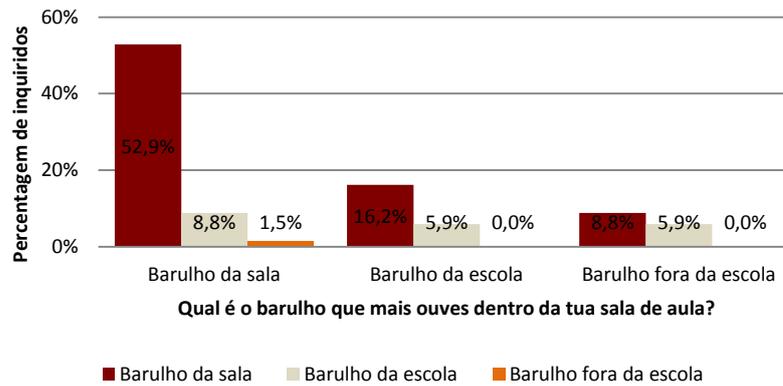


Figura 5.29 - O barulho que mais ouvem e o barulho que mais incomoda (n=68)

A análise seguinte relaciona o ruído mais incomodativo e o ruído mais perceptível proveniente do exterior da escola. O gráfico da Figura 5.30 mostra que os alunos mais incomodados com o ruído produzido na sala são os que têm uma perceção mais variada relativamente ao ruído exterior à escola. Quanto à perceção do ruído, proveniente do exterior da escola, dos alunos que, efetivamente se sentem mais incomodados pelo ruído fora da escola, somente 1 aluno se inclui neste grupo e neste caso identifica o ruído do tráfego rodoviário como o mais perceptível relativamente ao ruído proveniente do exterior da escola.

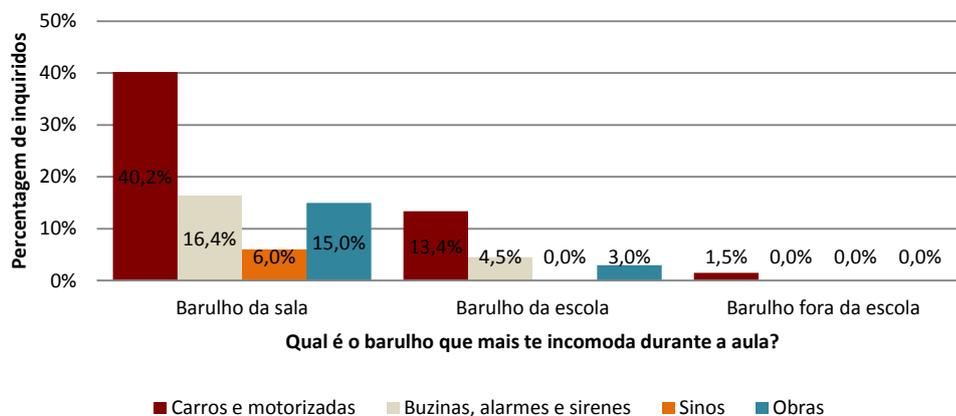


Figura 5.30 - O barulho que mais incomoda e o barulho do exterior da escola (n=67)

Alunos que em casa vivem num ambiente silencioso e que na escola possuem um ambiente barulhento tornam-se mais sensíveis ao ruído. O gráfico da Figura 5.31 mostra que 79,4% (n=54) dos alunos encontram-se nestas condições.

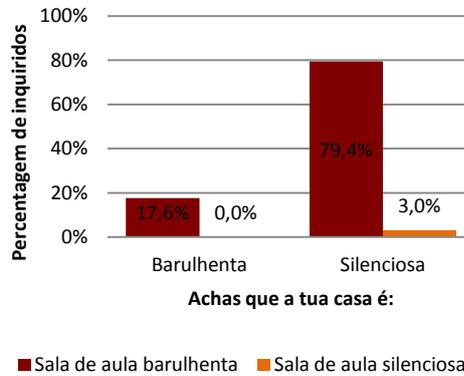


Figura 5.31 - Ambiente sonoro de casa e ambiente sonoro da sala de aula (n=68)

A análise seguinte teve em conta apenas os alunos que se encontram nas condições anteriores. O gráfico da Figura 5.32 identificou que o ruído proveniente do exterior da escola que mais ouvem na sala de aula é o do tráfego rodoviário com um registo de 60,3% (n=32). Por sua vez, o gráfico da Figura 5.33 identifica que o ruído mais perceptível e o mais incomodativo é o ruído produzido na sala de aula com um registo de 68,5% (n=37) e 75,9% (n=41), respetivamente.

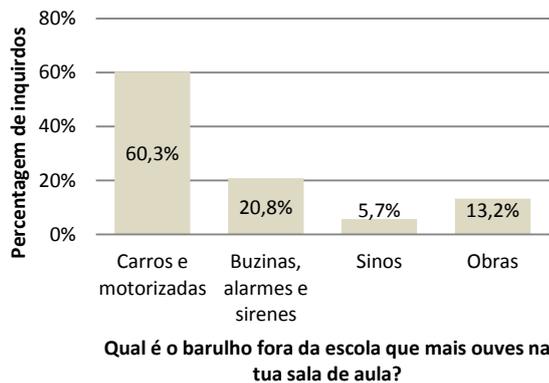


Figura 5.32 - O barulho que mais ouvem fora da escola na sala de aula (n=53)

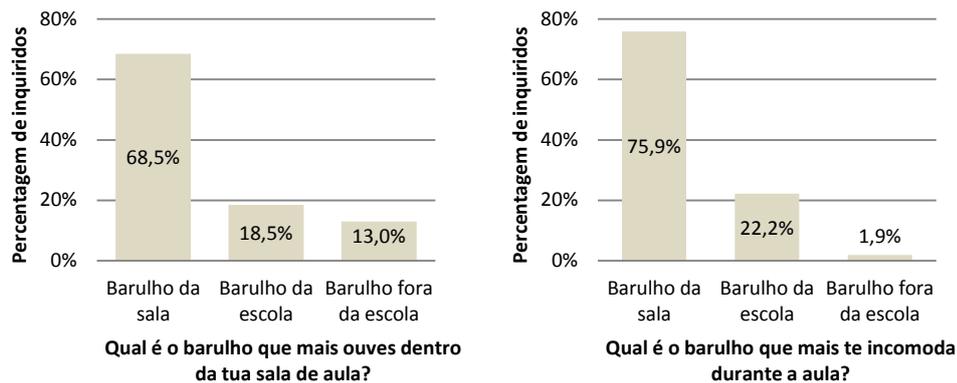


Figura 5.33 - O barulho que mais ouvem (n=54) e o barulho que mais incomoda (n=54)

Por fim, relacionou-se atividade escolar mais afetada pelo ruído e o ruído que mais incomoda durante a aula. O gráfico da Figura 5.34 mostra que a atividade mais afetada pelo ruído é durante a realização de um teste ou de exercícios com um registo de 41% (n=28). É de ter atenção que 11,8% (n=8) dos alunos dizem que o ruído não os incomoda durante a aula, mas identificam o ruído que mais a incomoda. Este resultado, aparentemente, revela uma falta de coerência. À semelhança da análise feita na EB1 de S. João do Souto é necessário referir que durante o preenchimento do questionário os alunos tiveram que identificar o ruído que mais os incomodam durante a aula sem lhes ter dado a hipótese de não optar por nenhum.

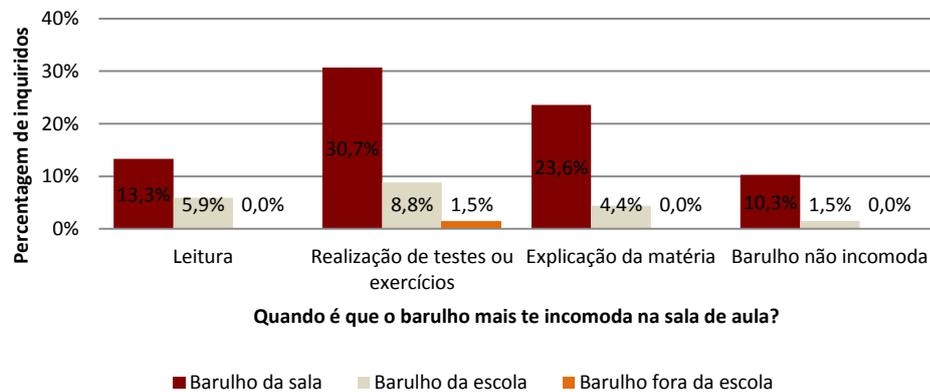


Figura 5.34 - Atividades escolares o barulho que mais incomoda (n=68)

5.2.2.2 Perceção dos Professores

O gráfico da Figura 5.35 mostra o incómodo causado aos professores pelo ruído proveniente do exterior da escola. Para estes, o ruído das obras é aquele que causa MUITO incómodo. O

ruído proveniente do tráfego rodoviário, aquele que apresenta uma maior relevância para este estudo causa ALGUM incómodo a 16,7% (n=1) dos professores e POUCO incómodo a 83,3% (n=5).

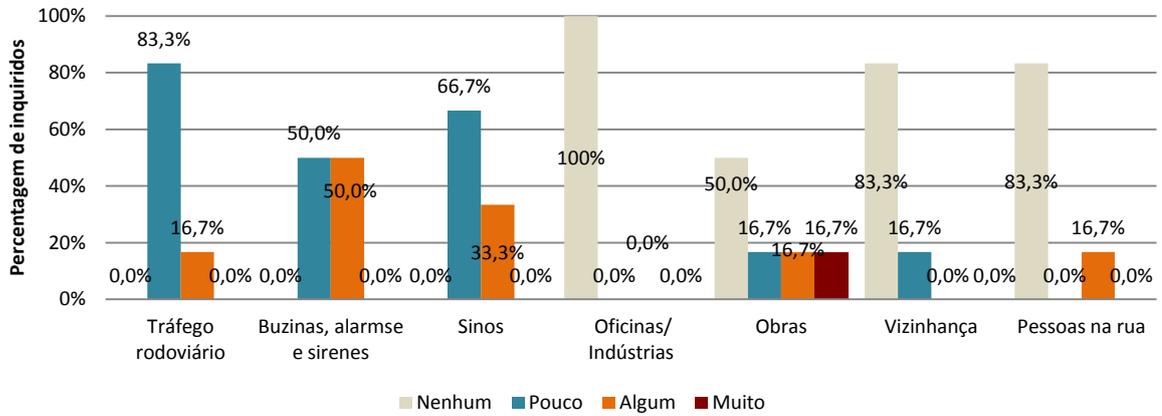


Figura 5.35 - Incómodo causado pelo ruído proveniente do exterior da escola (n=6)

O gráfico da Figura 5.36 mostra a interferência que certos tipos de ruído causam durante a aula. Para os professores, o ruído dos alunos na sala e o ruído no recreio da escola são aqueles que causam MUITA interferência durante a aula. O ruído proveniente do exterior da escola, aquele que tem uma maior relevância para este estudo, causa ALGUMA interferência durante a aula a 50% (n=3) dos professores, POUCA interferência a 33,3% (n=2) e não causa interferência a 16,7% (n=1).

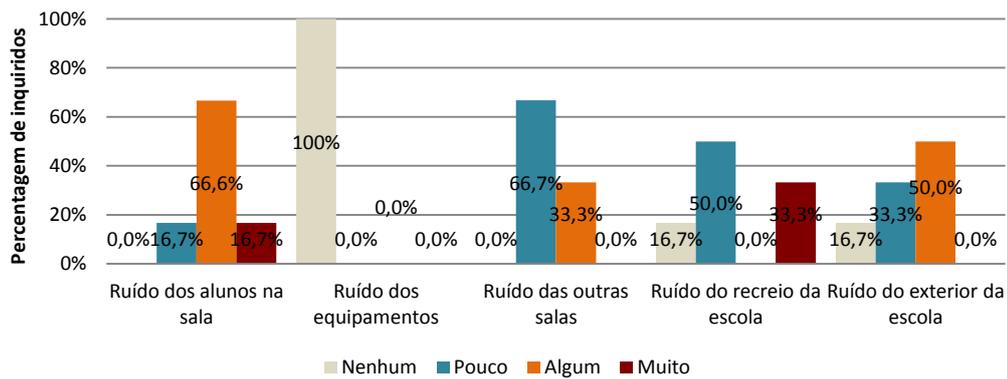


Figura 5.36 - Interferência que certos tipos de ruído causam durante a aula (n=6)

5.2.2.3 Perceção dos Auxiliares de Ação Educativa

Para os auxiliares de ação educativa, relativamente ao ruído proveniente do exterior da escola, o ruído do tráfego rodoviário causa ALGUM incómodo e acrescentam que nenhum ruído proveniente do exterior da escola causa MUITO incómodo.

Quanto à interferência que certos tipos de ruído causam durante as tarefas diárias dos auxiliares de ação educativa, eles consideram que o ruído do tráfego rodoviário tem POUCA interferência durante as suas tarefas.

5.2.3 Modelação Matemática do Ruído Ambiente

5.2.3.1 Escola *on*

Durante as medições de ruído com o sonómetro junto à via rodoviária foram efetuadas contagens de tráfego com discriminação de veículos ligeiros e pesados.

Nos Quadros 5.13 e 5.14 apresentam-se as contagens de veículos rodoviários na Rua Martins Sarmiento (1via) e na Rua Martins Sarmiento (2vias), respetivamente, efetuadas a partir do local de medição do ponto 2 com escola *on*, assim como com o valor média dessas contagens. No Quadro 5.15 apresentam-se as contagens de veículos rodoviários na Rua Beato Miguel de Carvalho, efetuadas a partir do local de medição do ponto 2 com escola *on*, assim como com o valor média dessas contagens.

Quadro 5.13 - Contagens de veículos na Rua Martins Sarmiento (1 via) (ponto de medição 2)

| Dia | Horário | N.º Total Veículos (Veíc/h) | N.º Veículos Ligeiros (Veíc/h) | % Veículos Pesados |
|------------|----------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| 23-04-2012 | 10:07 - 10:22 | 196 | 184 | 6,1 |
| 24-04-2012 | 09:40 - 09:55 | 264 | 260 | 1,5 |
| Média | | 230 | 222 | 3,8 |

Quadro 5.14 - Contagens de veículos na Rua Martins Sarmiento (2 vias) (ponto de medição 2)

| Dia | Horário | N.º Total Veículos (Veíc/h) | N.º Veículos Ligeiros (Veíc/h) | % Veículos Pesados |
|------------|---------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 23-04-2012 | 10:07 - 10:22 | 244 | 236 | 3,3 |
| 24-04-2012 | 09:40 - 09:55 | 312 | 300 | 3,8 |
| Média | | 278 | 268 | 3,6 |

Quadro 5.15 - Contagem de veículos na Rua Beato Miguel de Carvalho (ponto de medição 2)

| Dia | Horário | N.º Total Veículos (Veíc/h) | N.º Veículos Ligeiros (Veíc/h) | % Veículos Pesados |
|------------|---------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 23-04-2012 | 10:07 - 10:22 | 288 | 268 | 6,9 |
| 24-04-2012 | 09:40 - 09:55 | 352 | 344 | 2,3 |
| Média | | 320 | 306 | 4,6 |

À semelhança do procedimento efetuado na elaboração dos mapas de ruído para a EB1 de S. João do Souto, efetuou-se a elaboração dos mapas de ruído para a EB1 de S. Victor.

Na Figura 5.37 apresenta-se o mapa de ruído da EB1 de S. Victor com a escola *on*. Na elaboração do mapa de ruído teve-se em conta a contagem média de veículos rodoviários no modelo provisório de cálculo, NMPB 96, resultante das contagens de tráfego rodoviário efetuadas a partir do local de medição do ponto 2 com a escola *on*.

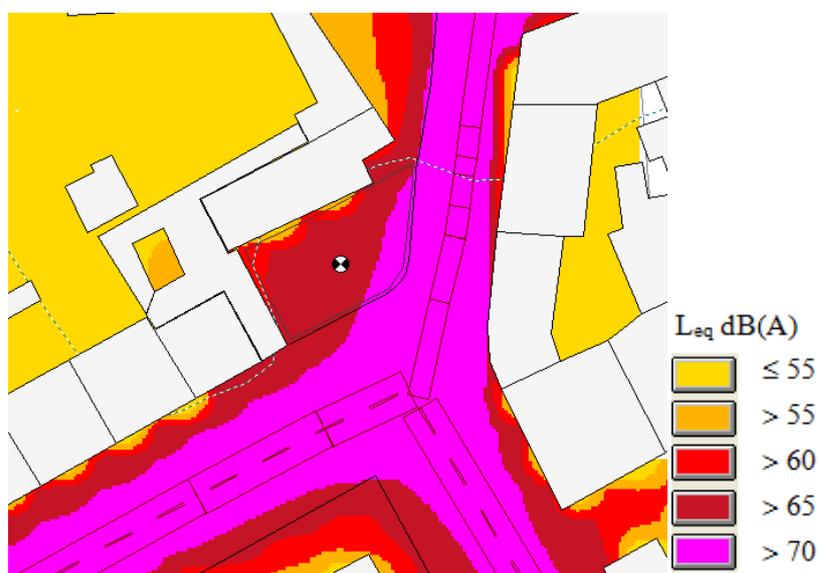


Figura 5.37 - Mapa de ruído da EB1 de S. Victor com escola *on*

No Quadro 5.16 apresenta-se a comparação entre o L_{Aeq} médio medido e o L_{Aeq} médio modelado do ponto de medição 2/recetor 2 com escola *on*. Com base nessa comparação o modelo de previsão de ruído encontra-se ajustado dado que a diferença entre os valores é

inferior a 2 dB(A). O modelo encontra-se apto a receber as contagens reais de veículos em horário de funcionamento das aulas letivas de modo a poder elaborar o mapa de ruído real com a escola *on*.

Quadro 5.16 - Comparação entre L_{Aeq} médio medido e L_{Aeq} médio modelado com escola *on*.

| Ponto/Recetor | L_{Aeq} medido dB(A) | L_{Aeq} modelado dB(A) | Δ dB(A) |
|---------------|------------------------|--------------------------|----------------|
| 2 | 61,4 | 60,7 | 0,7 |

5.2.3.2 Escola off

Nos Quadros 5.17 e 5.18 apresentam-se as contagens de veículos rodoviários na Rua Martins Sarmiento (1 via) e na Rua Martins Sarmiento (2 vias), respetivamente, efetuadas a partir do local de medição do ponto 2 com escola *off*, assim como o valor média dessas contagens. No Quadro 5.19 apresentam-se as contagens de veículos rodoviários na Rua Beato Miguel de Carvalho, efetuadas a partir do local de medição do ponto 2 com escola *off*, assim como o valor média dessas contagens.

Quadro 5.17 - Contagem de veículos na Rua Martins Sarmiento (1 via) (ponto de medição 2)

| Dia | Horário | N.º Total Veículos (Veíc/h) | N.º Veículos Ligeiros (Veíc/h) | % Veículos Pesados |
|------------|---------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 24-04-2012 | 19:20 - 19:35 | 300 | 296 | 1,3 |
| 27-04-2012 | 18:45 - 19:00 | 500 | 496 | 0,7 |
| Média | | 400 | 396 | 1,0 |

Quadro 5.18 – Contagem de veículos na Rua Martins Sarmiento (2 vias) (ponto de medição 2)

| Dia | Horário | N.º Total Veículos (Veíc/h) | N.º Veículos Ligeiros (Veíc/h) | % Veículos Pesados |
|------------|---------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 24-04-2012 | 19:20 - 19:35 | 580 | 568 | 2,1 |
| 27-04-2012 | 18:45 - 19:00 | 595 | 592 | 0,6 |
| Média | | 588 | 580 | 1,3 |

Quadro 5.19 – Contagem de veículos na Rua Beato Miguel de Carvalho (ponto de medição 2)

| Dia | Horário | N.º Total Veículos (Veíc/h) | N.º Veículos Ligeiros (Veíc/h) | % Veículos Pesados |
|------------|---------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 24-04-2012 | 19:20 - 19:35 | 492 | 484 | 1,6 |
| 27-04-2012 | 18:45 - 19:00 | 391 | 384 | 1,7 |
| Média | | 442 | 434 | 1,7 |

À semelhança do ajuste dinâmico efetuado na EB1 de S. João do Souto, procedeu-se ao mesmo ajuste na EB1 de S. Victor.

Na Figura 5.38 apresenta-se o mapa de ruído da EB1 de S. Victor com a escola *off*. Na elaboração do mapa de ruído teve-se em conta a contagem média de veículos rodoviários no modelo provisório de cálculo, NMPB 96, resultante das contagens do tráfego rodoviário efetuadas a partir do local de medição do ponto 2, com escola *off*.



Figura 5.38 - Mapa de ruído da EB1 de S. Victor com escola *off*

No Quadro 5.20 apresenta-se a comparação entre o L_{Aeq} médio medido e o L_{Aeq} médio modelado no ponto de medição 2/recetor 2 com escola *off*. Com base nessa comparação o modelo de previsão de ruído encontra-se ajustado dado que a diferença entre os valores é inferior a 2 dB(A). O modelo encontra-se apto a receber as contagens reais de veículos fora do horário de funcionamento das aulas letivas de modo a poder elaborar o mapa de ruído real com a escola *off*.

Quadro 5.20 - Comparação entre L_{Aeq} médio medido e L_{Aeq} médio modelado com escola *off*.

| Ponto/Recetor | L_{Aeq} medido dB(A) | L_{Aeq} modelado dB(A) | Δ dB(A) |
|---------------|------------------------|--------------------------|----------------|
| 2 | 62,2 | 60,5 | 1,7 |

5.3 EB1 da Sé

5.3.1 Medições de Ruído Ambiente

5.3.1.1 Medições de Ruído Ambiente no Exterior

No Quadro 5.21 apresentam-se os resultados das medições de ruído ambiente no exterior com a escola *on*. O ponto de medição 1 apresenta um valor do L_{Aeq} médio inferior ao valor imposto pela legislação, 55 dB(A). Este resultado deve-se à pouca movimentação de pessoas na Rua Conselheiro Jerónimo Pimentel e a manobras de estacionamento, dado que em termos de circulação a rua apresenta reduzido fluxo de tráfego rodoviário. O ponto de medição 2 apresenta nu valor do L_{Aeq} superior ao valor imposto pela legislação. Este resultado deve-se à afluência de tráfego rodoviário na Rua do Matadouro, à existência de serviços e comércios no R/C dos edifícios habitacionais, bem como alguma movimentação de pessoas e à proximidade do local de medição com a entrada principal da escola. O ponto de medição 3 apresenta um valor do L_{Aeq} médio inferior ao valor imposto pela legislação. Dado à localização deste ponto de medição, este valor deve-se ao ruído gerado no interior do edifício escolar e do tráfego rodoviário na Rua do Matadouro, apesar do local de medição apresentar pouca visualização para com a via. O ponto de medição 4 apresenta um valor do L_{Aeq} médio próximo do valor limite imposto pela legislação. Este resultado deve-se à proximidade da localização do ponto de medição com a interseção de duas vias de tráfego, Rua do Matadouro e a Rua Dom Afonso Henriques, bem como à vizinhança, existência de serviços e comércio, ativação de um alarme de segurança durante a medição, buzinas dos veículos e ao ruído gerado no interior da escola.

Quadro 5.21 - Medição no Exterior – Escola *on*

| Local de medição | Ponto 1 | | | Ponto 2 | | |
|---|----------|----------|-------------|----------|----------|-------------|
| Medição | 1 | 2 | Média | 1 | 2 | Média |
| Data da medição | 10-05-12 | 11-05-12 | - | 11-05-12 | 15-05-12 | - |
| Horário | 13:47 | 14:55 | - | 13:50 | 11:20 | - |
| L ₅ (dBA) | 53,2 | 53,3 | 53,3 | 63,4 | 63,8 | 63,6 |
| L ₉₅ (dBA) | 44,1 | 46,2 | 45,3 | 48 | 46,6 | 47,4 |
| L _{AiT} (dBA) | 52,6 | 51,8 | 52,2 | 61,6 | 60,2 | 61,0 |
| L _{AiT} - L _{Aeq} (dBA) | 2,3 | 1,7 | 2,0 | 2,1 | 1,5 | 1,8 |
| L _{Aeq} (dBA) | 50,3 | 50,1 | 50,2 | 59,5 | 58,7 | 59,1 |
| Valor da calibração inicial (dBA) | 94,2 | 94,1 | - | 94,1 | 94,2 | - |
| Valor da calibração final (dBA) | 94,4 | 94,1 | - | 94,1 | 94,2 | - |
| Local de medição | Ponto 3 | | | Ponto 4 | | |
| Medição | 1 | 2 | Média | 1 | 2 | Média |
| Data da medição | 10-05-12 | 11-05-12 | - | 10-05-12 | 14-05-12 | - |
| Horário | 14:40 | 14:22 | - | 11:26 | 11:20 | - |
| L ₅ (dBA) | 55,2 | 55 | 55,1 | 58,7 | 59,3 | 59,0 |
| L ₉₅ (dBA) | 45,2 | 46 | 45,6 | 48,6 | 48 | 48,3 |
| L _{AiT} (dBA) | 52,9 | 53,7 | 53,3 | 56 | 57,9 | 57,1 |
| L _{AiT} - L _{Aeq} (dBA) | 1,6 | 2,4 | 2,0 | 1,3 | 1,7 | 1,5 |
| L _{Aeq} (dBA) | 51,3 | 51,3 | 51,3 | 54,7 | 56,2 | 55,5 |
| Valor da calibração inicial (dBA) | 94,2 | 94,1 | - | 94,2 | 94,1 | - |
| Valor da calibração final (dBA) | 94,4 | 94,1 | - | 94,4 | 94,3 | - |

No Quadro 5.22 apresentam-se os resultados das medições do ruído ambiente no exterior com a escola *off*. O ponto de medição 1 apresenta um valor do L_{Aeq} médio superior quando comparado com o valor médio com a escola *on*, cumprindo, de igual modo, o valor limite imposto pela legislação. Este aumento dos níveis de pressão sonora poderá dever-se a um aumento de entradas e saídas de estacionamento por parte dos veículos que se registou a quando as medições. O ponto de medição 2 apresenta um valor do L_{Aeq} médio inferior comparado com o valor médio com a escola *on*, não cumprindo, de igual modo, o valor limite imposto pela legislação. Este decréscimo poderá dever-se à diminuição do tráfego rodoviário, que se pode comprovar pelas contagens médias apresentadas nos Quadros 5.25 e 5.29. O ponto de medição 3 apresenta um valor do L_{Aeq} médio superior comparado com valor médio com a escola *on*. Tendo em conta a diminuição de tráfego rodoviário na Rua do Matadouro e a inexistência de atividades letivas, este pequeno acréscimo de níveis de pressão sonora poderá dever-se ao arrulhar de pombos que se concentram nos calceiros da escola. O ponto de

medição 4 apresenta um valor do L_{Aeq} médio, aproximadamente, igual ao valor médio com a escola *on*. É de notar que os Quadros 5.26, 5.27, 5.30 e 5.31 que apresentam as contagens médias de tráfego registam um aumento significativo de veículos no período de medição com a escola *off*. Este aumento de tráfego não se traduz num aumento dos níveis de pressão sonora devido à redução ou até mesmo extinção de certos tipos de ruído que ocorreram durante as medições com a escola *on* e/ou pelo fato de as medições ocorrerem em períodos de 30 minutos e as contagens de tráfego efetuadas em 15 minutos.

Quadro 5.22 - Medição no exterior – Escola *off*

| Local de medição | Ponto 1 | | | Ponto 2 | | |
|-----------------------------------|----------|----------|-------------|----------|----------|-------------|
| Medição | 1 | 2 | Média | 1 | 2 | Média |
| Data da medição | 30-04-12 | 10-05-12 | - | 10-05-12 | 23-05-12 | - |
| Horário | 19:25 | 18:15 | - | 18:50 | 19:11 | - |
| L_5 (dBA) | 56,2 | 55,6 | 55,9 | 63,1 | 63,1 | 63,1 |
| L_{95} (dBA) | 47,6 | 47 | 47,3 | 48,8 | 46,7 | 47,9 |
| L_{AiT} (dBA) | 54,7 | 54,2 | 54,5 | 59,3 | 59,5 | 59,4 |
| $L_{AiT} - L_{Aeq}$ (dBA) | 2,1 | 1,5 | 1,8 | 1,0 | 1,5 | 1,3 |
| L_{Aeq} (dBA) | 52,6 | 52,7 | 52,7 | 58,3 | 58 | 58,2 |
| Valor da calibração inicial (dBA) | 93,9 | 94,2 | - | 94,2 | 94,5 | - |
| Valor da calibração final (dBA) | 93,9 | 94,4 | - | 94,4 | 94,5 | - |
| Local de medição | Ponto 3 | | | Ponto 4 | | |
| Medição | 1 | 2 | Média | 1 | 2 | Média |
| Data da medição | 21-05-12 | 12-06-12 | - | 10-05-12 | 21-05-12 | - |
| Horário | 19:29 | 19:20 | - | 19:25 | 18:55 | - |
| L_5 (dBA) | 56 | 56,1 | 56,1 | 58,2 | 60,1 | 59,3 |
| L_{95} (dBA) | 44 | 47,9 | 46,4 | 47,9 | 50,4 | 49,3 |
| L_{AiT} (dBA) | 52,6 | 53,8 | 53,2 | 56,2 | 57,2 | 56,7 |
| $L_{AiT} - L_{Aeq}$ (dBA) | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 0,9 | 1,2 |
| L_{Aeq} (dBA) | 51,3 | 52,4 | 51,9 | 54,8 | 56,3 | 55,6 |
| Valor da calibração inicial (dBA) | 94,2 | 94,2 | - | 94,2 | 94,2 | - |
| Valor da calibração final (dBA) | 94 | 94,1 | - | 94,4 | 94 | - |

5.3.1.2 Medições de Ruído no Interior

No Quadro 5.23 apresentam-se os resultados das medições de ruído ambiente no interior com a escola *on*. As aulas decorreram normalmente.

Quadro 5.23 - Medição no interior – Escola *on*

| Piso de medição | Piso 1 | | | | | | |
|---|------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|------------------|
| | Local de medição | | Ponto interior 1 | | Ponto interior 2 | | Ponto interior 3 |
| Medição | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | Média |
| Data da medição | 30-04-12 | 07-05-12 | 30-04-12 | 07-05-12 | 30-04-12 | 07-05-12 | - |
| Horário | 13:45 | 13:46 | 14:20 | 14:20 | 14:55 | 14:55 | - |
| L ₅ (dBA) | 78,9 | 78,3 | 79,7 | 79,4 | 79,2 | 77,8 | 78,9 |
| L ₉₅ (dBA) | 52,7 | 48,5 | 50,1 | 48,3 | 53,4 | 47,2 | 50,7 |
| L _{AiT} (dBA) | 78,8 | 78 | 79,2 | 79,5 | 79,1 | 77,2 | 78,7 |
| L _{AiT} - L _{Aeq} (dBA) | 6,2 | 6,4 | 6,3 | 6,9 | 6,2 | 6,6 | 6,4 |
| L _{Aeq} (dBA) | 72,6 | 71,6 | 72,9 | 72,6 | 72,9 | 70,6 | 72,3 |
| Valor da calibração inicial (dBA) | 93,9 | 94 | 93,9 | 94 | 93,9 | 94 | - |
| Valor da calibração final (dBA) | 93,9 | 94,1 | 93,9 | 94,1 | 93,9 | 94,1 | - |

No Quadro 5.24 encontram-se os resultados das medições de ruído ambiente no interior com a escola *off*. O valor do L_{Aeq} médio com a escola *off* é superior ao valor de nível de ruído de fundo recomendado pela OMS, 35 dB(A). Este resultado deve-se ao ruído fora da escola que chega ao interior da sala de aula em avaliação embora não tenha sido possível dar a escola como completamente *off*. Na escola ainda se encontravam alunos, auxiliares de ação educativa e outros funcionários que não ocuparam a ala onde se localizava a sala de aula em avaliação. Os poucos alunos que restavam permaneciam em silêncio a efetuar os trabalhos de casa.

Quadro 5.24 - Medição no interior – Escola *off*

| Piso de medição 1 | Piso 1 | | |
|---|------------------|----------|------------------------|
| | Local de medição | | Ponto interior central |
| Medição | 1 | 2 | Média |
| Data da medição | 30-04-12 | 08-05-12 | - |
| Horário | 18:26 | 18:32 | - |
| L ₅ (dBA) | 39,3 | 41 | 40,2 |
| L ₉₅ (dBA) | 34,3 | 32,7 | 33,6 |
| L _{AiT} (dBA) | 40,8 | 42,7 | 41,9 |
| L _{AiT} - L _{Aeq} (dBA) | 3,9 | 4,6 | 4,3 |
| L _{Aeq} (dBA) | 36,9 | 38,1 | 37,5 |
| Valor da calibração inicial (dBA) | 93,9 | 94 | - |
| Valor da calibração final (dBA) | 93,9 | 94,1 | - |

À semelhança da comparação feita nos resultados das medições de ruído ambiente no interior da sala de aula com a escola *on* e *off* nas escolas anteriores, efetuou-se a mesma comparação na EB1 da Sé. Assim, verificou-se uma diferença do L_{Aeq} médio bastante elevada que se deve ao ruído produzido em ambiente escolar na sala de aula e das salas adjacentes.

5.3.2 Avaliação Percetual

5.3.2.1 Perceção dos Alunos

Numa abordagem inicial, efetuou-se uma análise geral da perceção do ruído dos alunos do 3º e 4º ano de escolaridade da EB1 da Sé que se submeteram ao questionário com a devida autorização dos seus encarregados de educação. Mais uma vez, a metodologia de análise aqui seguida foi a mesma adotada na seção 5.1.2.1.

O gráfico da Figura 5.39 mostra que 94,8% (n=91) dos alunos inquiridos admitem ouvir bem a voz do professor durante a aula, enquanto 5,2% (n=5) admite apenas ouvir mais ou menos. Encontrando-se estes últimos mais distribuídos pela frente e pelo fundo da sala de aula.

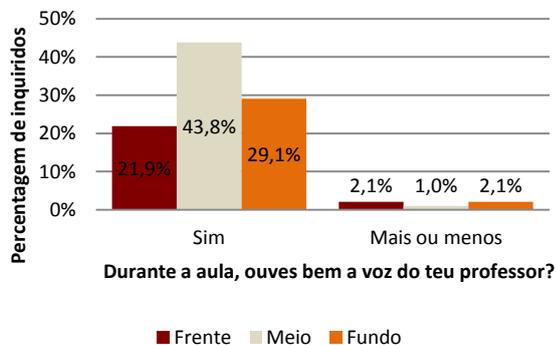


Figura 5.39 - Perceção auditiva à voz do professor e o lugar ocupado na sala de aula (n=96)

Analisando as respostas dos alunos às perguntas mais pertinentes do questionário a que foram submetidos, identificou-se qual o ruído produzido na escola e o ruído proveniente do exterior da escola que mais ouvem na sala de aula.

O gráfico da Figura 5.40 identifica que o ruído produzido na escola que os alunos mais ouvem na sua sala de aula corresponde à voz dos seus colegas na sala de aula com um registo 53,2%

(n=51). Também o ruído proveniente do recreio da escola é bastante perceptível com um registo de 36,4% (n=35).

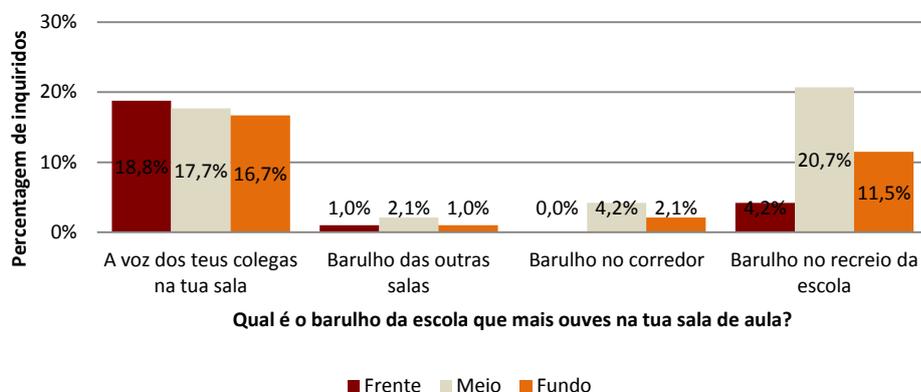


Figura 5.40 - O barulho da escola que mais ouvem e o lugar ocupado na sala de aula (n=96)

Quanto ao ruído proveniente do exterior da escola que os alunos mais ouvem na sala de aula, O gráfico da Figura 5.41 mostra que estes encontram-se mais divididos entre o ruído dos carros e das motorizadas, com um registo de 49,4% (n=47) e o ruído das buzinas, alarmes e sirenes, com um registo de 45,3% (n=43). Este último resultado, em parte, poderá dever-se à proximidade ao Quartel dos Bombeiros Voluntários.

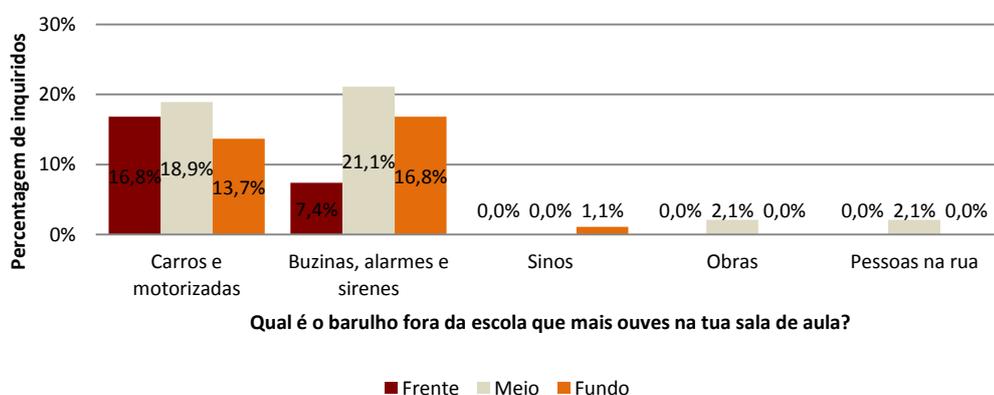


Figura 5.41 - O barulho fora da escola que mais ouvem e o lugar ocupado na sala (n=95)

À semelhança da análise feita nas duas escolas anteriores foi-se analisar qual o ruído mais perceptível no interior da sala de aula, tendo em conta o ruído produzido no interior da escola e o ruído proveniente do exterior da escola. O gráfico da Figura 5.42 identifica que o ruído mais perceptível no interior da sala é o ruído produzido na escola com um registo de 43,8% (n=42), nomeadamente, pelos alunos sentados no meio da sala.

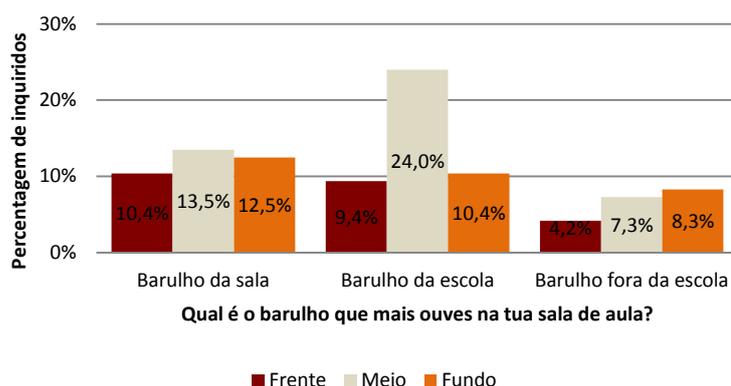


Figura 5.42 - O barulho que mais ouvem e o lugar ocupado na sala de aula (n=96)

Sabe-se que nem sempre o ruído que mais se ouve é aquele que mais incomoda. À semelhança na análise feita nas escolas anteriores considerou-se necessário identificar qual é o ruído que mais incomoda. O gráfico da Figura 5.43 identifica que o ruído que mais incomoda na sala de aula corresponde ao das mesas e cadeiras a serem arrastadas com um registo de 41% (n=39).

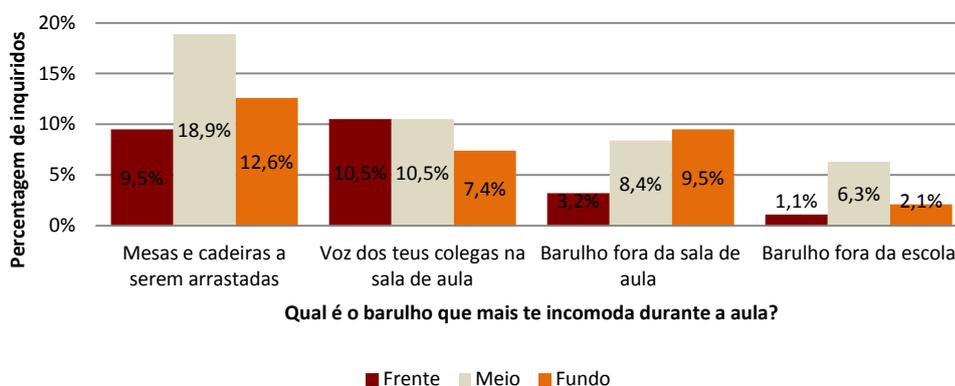


Figura 5.43 - O barulho que mais incomoda e o lugar ocupado na sala de aula (n=95)

Relativamente à caracterização do ambiente sonoro da sala de aula 78,1% (n=75) dos inquiridos consideram a sala de aula barulhenta, enquanto 21,9% (n=21) consideram a sala de aula silenciosa, como mostra o gráfico da Figura 5.44. Tendo em conta a análise geral que se tem vindo a efetuar, este resultado deve-se ao ruído da escola, nomeadamente, ao ruído gerado no recreio da escola. O ruído produzido no recreio durante o período de aulas resulta do funcionamento da atividade de enriquecimento curricular de Educação Física, segundo docentes. Esta análise é reforçada, posteriormente no gráfico da Figura 5.45.

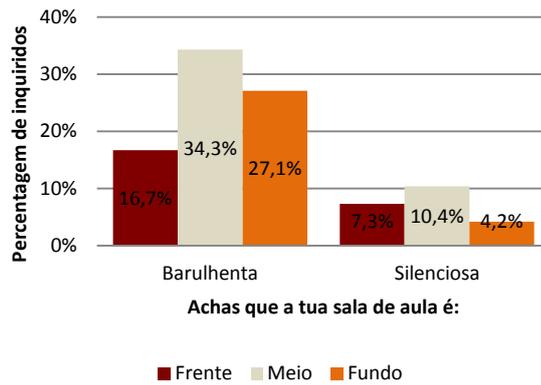


Figura 5.44 - Ambiente sonoro da sala de aula e o lugar ocupado (n=96)

De seguida, adotou-se outras abordagens mais particulares, relativamente, à perceção do ruído ambiente. O gráfico da Figura 5.45 reforça a análise anterior.

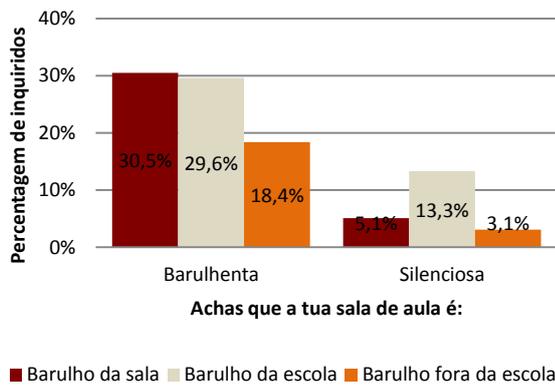


Figura 5.45 - Ambiente sonoro da sala de aula e o barulho que mais ouvem (n=98)

Na análise geral efetuado constatou-se que 5,2% (n=5) dos alunos admitiram não ouvir bem a voz do professor durante a aula. O gráfico da Figura 5.46 identifica os ruídos que mais incomodam os alunos que admitem ouvir bem a voz do professor e os alunos que admitem ouvir apenas mais ou menos, durante a aula. Para os alunos, que não ouvem bem a voz do professor, o ruído que mais lhes incomodam corresponde ao ruído produzido na sala e ao ruído gerado na escola com um registo de 4.1% (n=4) e de 1% (n=1), respetivamente.

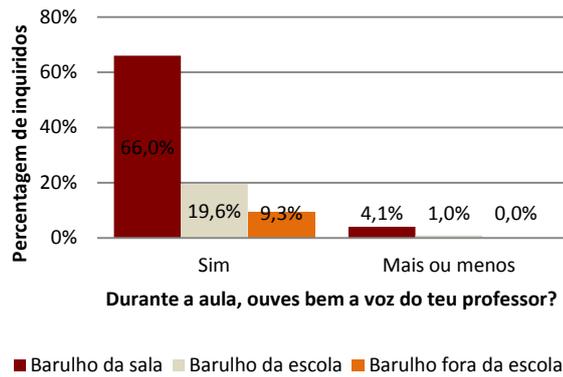


Figura 5.46 - Perceção auditiva à voz do professor e o barulho que mais incomoda (n=97)

Esta análise relaciona o ruído mais perceptível quer seja produzido na sala ou na escola, quer seja proveniente do exterior da mesma, e o ruído mais perceptível proveniente do exterior da escola. À semelhança da análise feita nas escolas anteriores, esta análise centra-se na perceção ao ruído exterior à escola dos alunos que, efetivamente ouvem mais o ruído proveniente do exterior da escola. O gráfico da Figura 5.47 identifica que o ruído exterior mais perceptível para este grupo de alunos, que corresponde a 20,5% (n=20) dos alunos inquiridos é o ruído das buzinas, alarmes e sirenes com um registo de 11,3% (n=11), seguindo-se o ruído do tráfego rodoviário com um registo de 8,2% (n=8) e por último o ruído de obras com um registo de 1% (n=1).

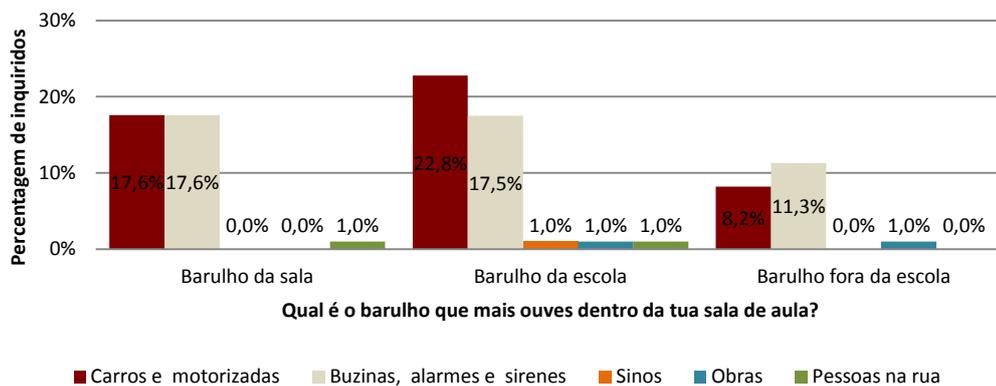


Figura 5.47 - O barulho que mais ouvem dentro da sala de aula e o barulho exterior (n=97)

A análise seguinte relaciona o ruído mais perceptível e o ruído mais incomodativo na sala de aula. O gráfico da Figura 5.48 mostra que o ruído mais incomodativo é o da sala de aula mesmo para alunos que consideram que é o ruído da escola e fora da escola o mais perceptível, o que nestes casos podem não ter alguma coerência. À semelhança da análise feita nas escolas anteriores fez-se referência que o ruído mais perceptível pode não ser o mais incomodativo e

alunos que têm mais perceção ao ruído fora da sala de aula podem ser mais facilmente incomodados com os ruídos da própria da sala, como aqueles que possam estar mais próximos da porta e de janelas. É de notar que a maior percentagem de alunos incomodados com o ruído fora da escola recai no grupo de alunos que consideram este ruído o mais perceptível também.

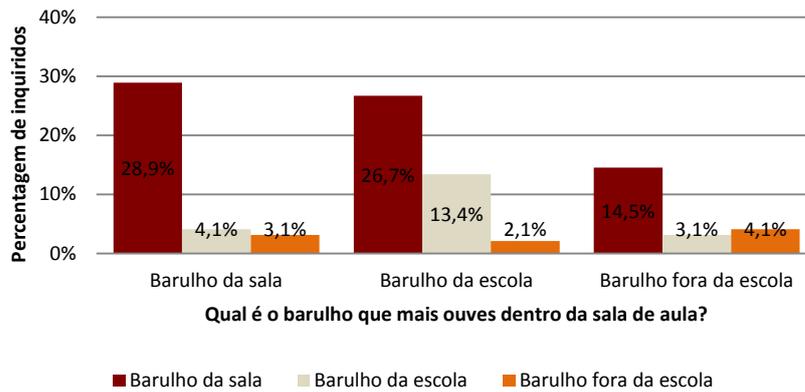


Figura 5.48 - O barulho que mais ouvem e o barulho que mais incomoda (n=97)

A análise posterior relaciona o ruído mais incomodativo e o ruído mais perceptível proveniente do exterior da escola. O gráfico da Figura 5.49 mostra que são os alunos mais incomodados com o ruído gerado na sala que têm uma perceção mais variada relativamente ao ruído exterior à escola. Nesta análise, à semelhança da análise feita nas escolas anteriores, verificou-se qual é ruído proveniente do exterior da escola que mais se ouve pelos alunos que, efetivamente se sentem mais incomodados pelo ruído fora da escola. Para este grupo de alunos que correspondem a 8,3% (n=8) dos inquiridos, o ruído das buzinas, alarmes e sirenes é o que mais se ouve com um registo de 5,2% (n=5), seguindo-se o ruído do tráfego rodoviário com um registo de 3,1% (n=3).

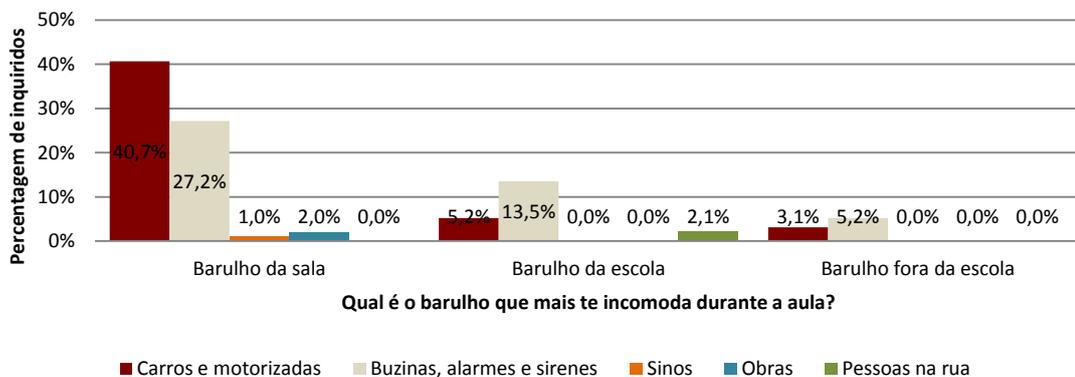


Figura 5.49 - O barulho que mais incomoda e o barulho exterior (n=96)

Alunos que em casa vivem num ambiente silencioso e que na escola possuem um ambiente barulhento tornam-se mais sensíveis ao ruído. O gráfico da Figura 5.50 mostra que 56,1% (n=55) dos inquiridos encontram-se nestas condições.

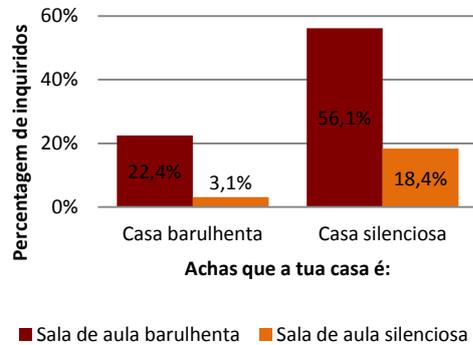


Figura 5.50 - Ambiente sonoro de casa e da sala de aula (n=98)

A análise seguinte teve em conta apenas os alunos que se encontram nas condições anteriores. O gráfico da Figura 5.51 identificou que o ruído proveniente do exterior da escola que mais ouvem na sala de aula é o das buzinas alarmes e sirenes com um registo de 51,8% (n=28). Por sua vez, a Figura 5.52 identifica que o ruído mais perceptível e o mais incomodativo na sala de aula é o próprio ruído produzido na sala de aula com um registo de 45,4% (n=25) e 70,4% (n=38), respetivamente.



Figura 5.51 - O barulho que mais ouvem fora da escola na sala de aula (n=54)

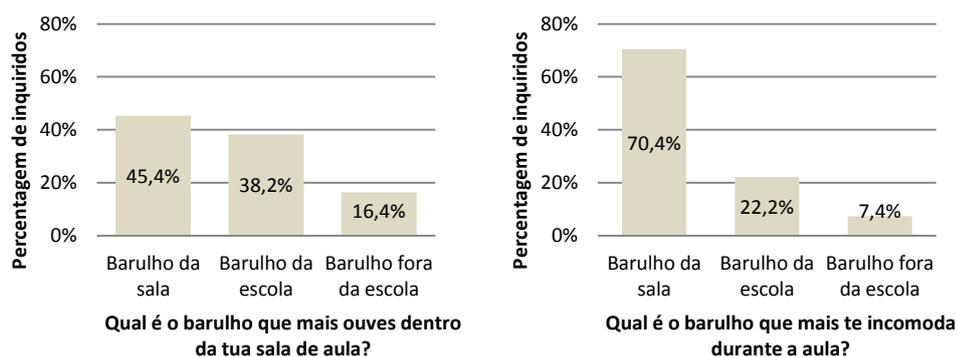


Figura 5.52 - O barulho que mais ouvem (n=55) e o barulho que mais incomoda (n=54)

Por fim relacionou-se a atividade escolar mais afetada pelo ruído e o ruído que mais incomoda durante a aula. O gráfico da Figura 5.53 mostra que a atividade mais afetada pelo ruído é durante a realização de um teste ou de um exercício com um registo de 40,9% (n=39). Para qualquer atividade o ruído que mais incomoda é o gerado na sala de aula. É de ter atenção que 7,5% (n=7) dos alunos dizem que o ruído não os incomoda durante a aula mas identificam o ruído que mais os incomoda. Este resultado, aparentemente, revela uma falta de coerência. À semelhança na análise feita nas escolas anteriores é necessário referir que durante o preenchimento do questionário os alunos tiveram que identificar o ruído que mais lhes incomoda durante a aula sem lhes ter dado a hipótese de não optar por nenhum.

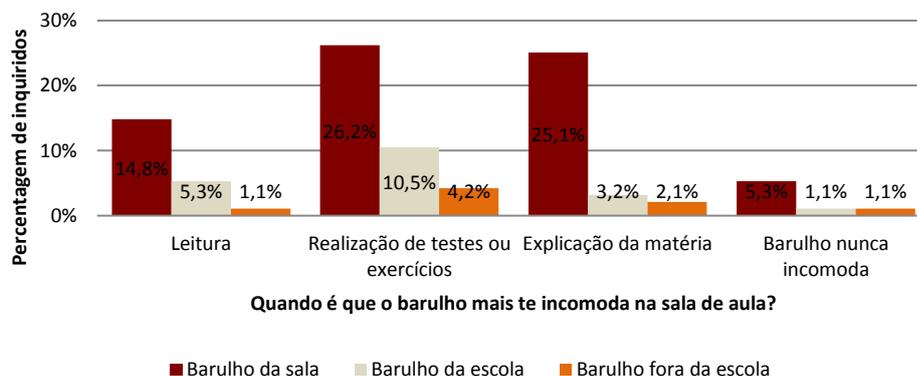


Figura 5.53 – Atividade escolares e o barulho que mais incomoda (n=95)

5.3.2.2 Perceção dos Professores

O gráfico da Figura 5.54 mostra o incómodo causado aos professores pelo ruído proveniente do exterior da escola. Para eles, o ruído das buzinas, alarmes e sirenes causa MUITO

incómodo. O ruído proveniente do tráfego rodoviário, aquele que tem maior impacto neste estudo, causa ALGUM incómodo a 14,3% (n=1) dos professores, POUCO incómodo a 57,1% (n=4) e não causa incómodo a 28,6% (n=2).

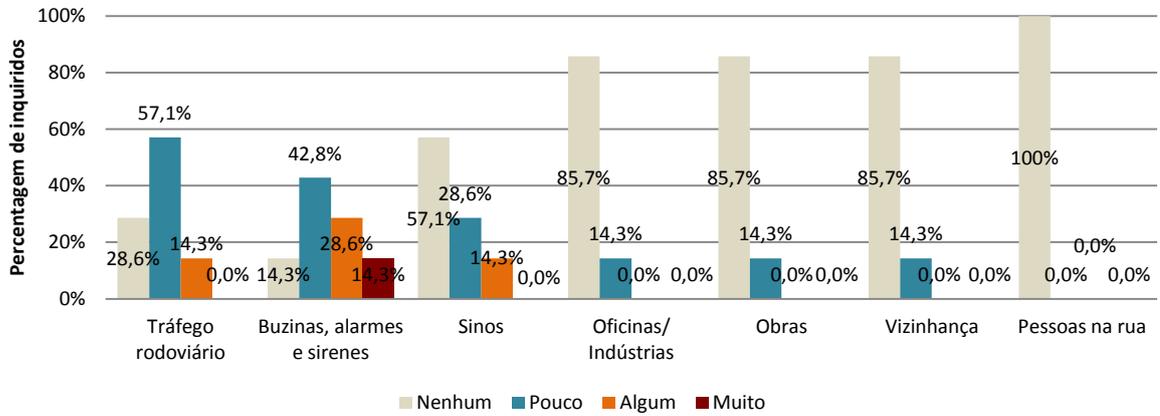


Figura 5.54 - Incómodo causado pelo ruído proveniente do exterior da escola (n=7)

O gráfico da Figura 5.55 mostra a interferência que certos tipos de ruído causam durante a aula. Para estes, o ruído dos alunos na sala, o ruído das outras salas e o ruído do recreio da escola causam MUITA interferência durante a aula. Sendo o ruído proveniente do recreio da escola o mais apontado com um registo de 42,8% (n=3). O ruído exterior à escola, aquele que tem mais importância para o estudo, causa ALGUMA interferência a 28,6% (n=2) dos professores durante a aula, causa POUCA interferência a 14,3% (n=1) e para a maioria 57,1% (n=4) não causa interferência.

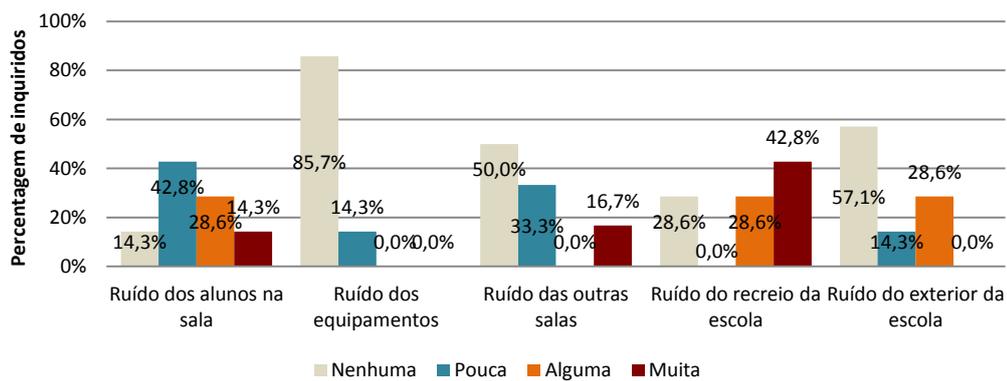


Figura 5.55 - Interferência que certos tipos de ruído causam durante a aula (n=7)

5.3.2.3 Perceção dos Auxiliares de Ação Educativa

Para os auxiliares de ação educativa, relativamente ao ruído proveniente do exterior da escola, alguns identificam que o ruído do tráfego rodoviário e das buzinas, alarmes e sirenes causa MUITO incómodo, outros consideram que causa ALGUM ou POUCO o ruído proveniente do tráfego rodoviário.

Quanto à interferência que certos tipos de ruído causam durante as tarefas diárias dos auxiliares de ação educativa, para alguns o ruído do recreio da escola causa MUITA interferência durante as suas tarefas. Por sua vez, o ruído proveniente do exterior da escola causa POUCA interferência na realização das tarefas diárias e para outros não causa interferência.

5.3.3 Modelação Matemática do Ruído Ambiente

5.3.3.1 Escola *on*

Durante as medições junto às vias rodoviárias foram efetuadas contagens de tráfego com discriminação de veículos ligeiros e pesados.

No Quadro 5.25 apresentam-se as contagens de veículos rodoviários na Rua do Matadouro, efetuadas a partir do local de medição do ponto 2 com escola *on*, assim como o valor médio dessas contagens. Nos Quadros 5.26 e 5.27 apresentam-se as contagens de veículos rodoviários na Rua do Matadouro e na Rua Dom Afonso Henriques, respetivamente, efetuadas a partir do local de medição do ponto 4 com escola *on*, assim como o valor médio dessas contagens.

Quadro 5.25 - Contagem de veículos na Rua do Matadouro (ponto de medição 2)

| Dia | Horário | N.º Total Veículos (Veic/h) | N.º Veículos Ligeiros (Veic/h) | % Veículos Pesados |
|------------|----------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| 11-05-2012 | 14:00 - 14:15 | 464 | 456 | 1,7 |
| 15-05-2012 | 11:30 - 11:45 | 320 | 312 | 2,7 |
| Média | | 392 | 384 | 2,1 |

Quadro 5.26 - Contagem de veículos na Rua do Matadouro (ponto de medição 4)

| Dia | Horário | N.º Total Veículos (Veíc/h) | N.º Veículos Ligeiros (Veíc/h) | % Veículos Pesados |
|------------|---------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 10-05-2012 | 11:36 - 11:51 | 209 | 205 | 1,7 |
| 14-05-2012 | 11:30 – 11:45 | 312 | 304 | 2,6 |
| Média | | 260 | 255 | 2,1 |

Quadro 5.27 - Contagem de veículos na Rua Dom Afonso Henriques (ponto de medição 4)

| Dia | Horário | N.º Total Veículos (Veíc/h) | N.º Veículos Ligeiros (Veíc/h) | % Veículos Pesados |
|------------|---------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------|
| 10-05-2012 | 11:36 - 11:51 | 108 | 97 | 10,0 |
| 14-05-2012 | 11:30 – 11:45 | 112 | 108 | 3,6 |
| Média | | 110 | 103 | 6,8 |

À semelhança do procedimento efetuado na elaboração dos mapas de ruído para as escolas anteriores, procedeu-se à elaboração dos mapas de ruído para a EB1 da Sé.

Na Figura 5.56 apresenta-se o mapa de ruído da EB1 da Sé com a escola *on*. Na elaboração do mapa de ruído teve-se em conta a contagem média de veículos rodoviários, no modelo provisório de cálculo, NMPB 96, resultante das contagens de tráfego rodoviário a partir do local de medição do ponto 2, com a escola *on*.

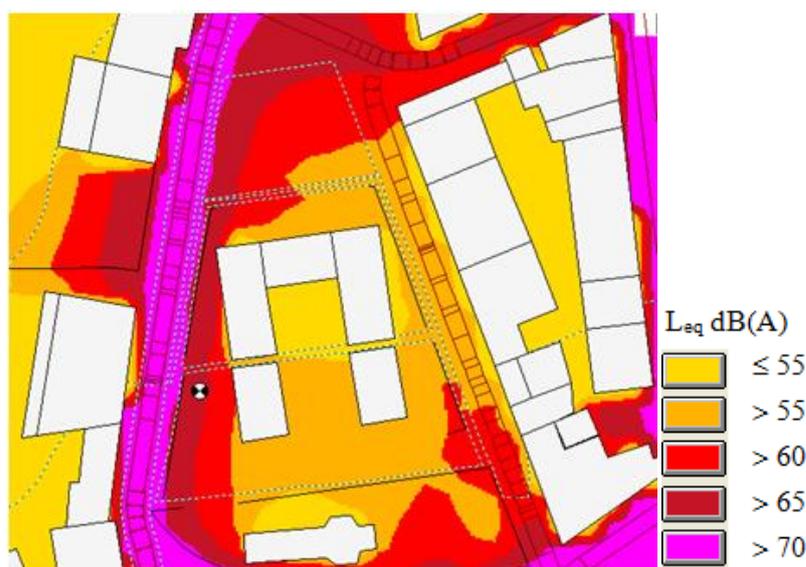


Figura 5.56 - Mapa de ruído da EB1 da Sé com escola *on*

Na Figura 5.57 apresenta-se o mapa de ruído da EB1 da Sé com a escola *on*. Na elaboração do mapa de ruído teve-se em conta a contagem média de veículos rodoviários, no modelo

provisório de cálculo, NMPB 96, resultante das contagens de tráfego rodoviário a partir do local de medição do ponto 4, com a escola *on*.

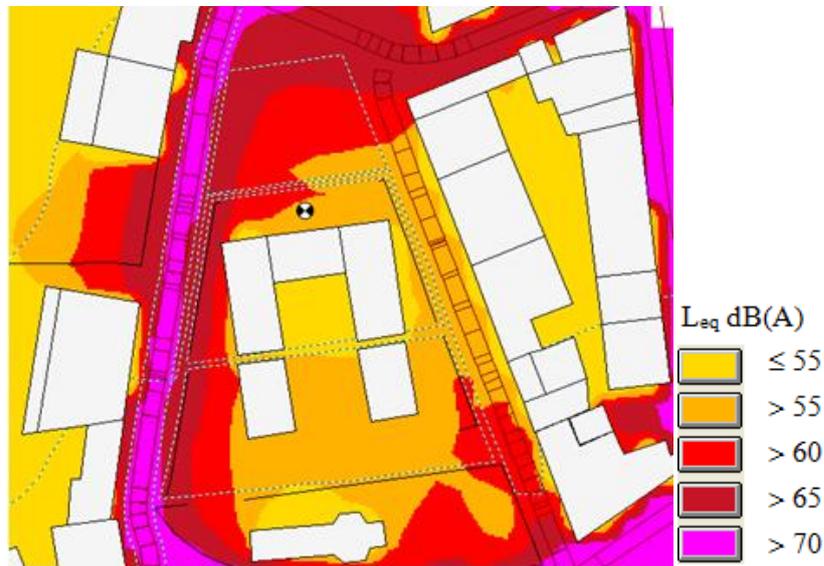


Figura 5.57 - Mapa de ruído da EB1 da Sé com escola *on*

No Quadro 5.28 apresenta-se a comparação entre o L_{Aeq} médio medido e o L_{Aeq} médio modelado do ponto de medição 2/recetor 2 e do ponto de medição 4/recetor 4 com escola *on*. Com base nessa comparação o modelo de previsão de ruído encontra-se validado dado que a diferença entre os valores é inferior a 2 dB(A). O modelo encontra-se apto a receber as contagens reais de veículos em horário de funcionamento das aulas letivas de modo a poder elaborar o mapa de ruído real com a escola *on*.

Quadro 5.28 - Comparação entre L_{Aeq} médio medido e L_{Aeq} médio modelado com escola *on*.

| Ponto/Recetor | L_{Aeq} medido dB(A) | L_{Aeq} modelado dB(A) | Δ dB(A) |
|---------------|------------------------|--------------------------|----------------|
| 2 | 59,1 | 58,9 | - 0,2 |
| 4 | 55,5 | 56,4 | 0,9 |

5.3.3.2 Escola off

No Quadro 5.29 apresentam-se as contagens de veículos rodoviários na Rua do Matadouro, efetuadas a partir do local de medição do ponto 2 com a escola *off*, assim como o valor médio dessas contagens. Nos Quadros 5.30 e 5.31 apresentam-se as contagens de veículos rodoviários na Rua do Matadouro e na Rua Dom Afonso Henriques, respetivamente,

efetuadas a partir do local de medição do ponto 4 com a escola *off*, assim como o valor médio dessas contagens.

Quadro 5.29 - Contagem de veículos na Rua do Matadouro (ponto de medição 2)

| Dia | Horário | N.º Total Veículos (Veíc/h) | N.º Veículos Ligeiros (Veíc/h) | % Veículos Pesados |
|------------|----------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| 10-05-2012 | 19:00 - 19:15 | 364 | 360 | 1,1 |
| 23-05-2012 | 19:20 - 19:35 | 348 | 336 | 3,4 |
| Média | | 356 | 348 | 2,3 |

Quadro 5.30 - Contagem de veículos na Rua do Matadouro (ponto de medição 4)

| Dia | Horário | N.º Total Veículos (Veíc/h) | N.º Veículos Ligeiros (Veíc/h) | % Veículos Pesados |
|------------|----------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| 10-05-2012 | 19:35 - 19:50 | 268 | 260 | 3,0 |
| 21-05-2012 | 19:05 - 19:20 | 408 | 400 | 2,0 |
| Média | | 338 | 330 | 2,5 |

Quadro 5.31 - Contagem de veículos na Rua Dom Afonso Henriques (ponto de medição 4)

| Dia | Horário | N.º Total Veículos (Veíc/h) | N.º Veículos Ligeiros (Veíc/h) | % Veículos Pesados |
|------------|----------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| 10-05-2012 | 19:35 - 19:50 | 144 | 144 | 0,0 |
| 21-05-2012 | 19:05 - 19:20 | 200 | 200 | 0,0 |
| Média | | 172 | 172 | 0,0 |

À semelhança do ajuste dinâmico efetuado nas escolas anteriores, procedeu-se ao mesmo ajuste na EB1 da Sé.

Na Figura 5.58 apresenta-se o mapa de ruído da EB1 da Sé com escola *off*. Na elaboração do mapa de ruído teve-se em conta a contagem média de veículos rodoviários, no modelo provisório de cálculo NMPB 96, resultante das contagens de tráfego rodoviário efetuadas a partir do local de medição do ponto 2, com a escola *off*.

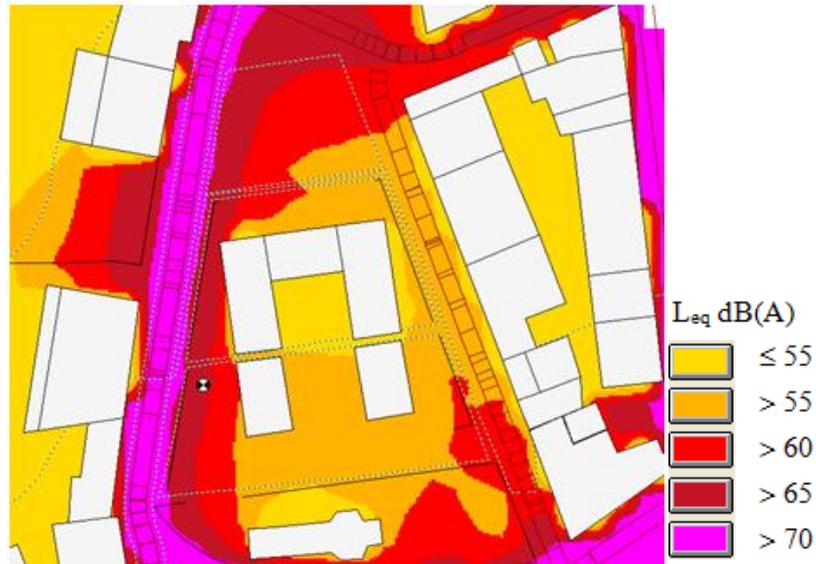


Figura 5.58 - Mapa de ruído da EB1 da Sé com escola *off*

Na Figura 5.59 apresenta-se o mapa de ruído da EB1 da Sé. Na elaboração do mapa de ruído teve-se em conta a contagem média de veículos rodoviários, no modelo provisório de cálculo, NMPB 96, resultante das contagens de tráfego rodoviário efetuadas a partir do local de medição do ponto 4, com a escola *off*.



Figura 5.59 - Mapa de ruído da EB1 da Sé com escola *off*

No Quadro 5.32 apresenta-se a comparação entre o L_{Aeq} médio medido e o L_{Aeq} médio modelado no ponto de medição 2/recetor 2 e no ponto de medição 4/recetor 4 com escola *off*. Com base nessa comparação o modelo de previsão de ruído encontra-se validado dado que a diferença entre os valores é inferior a 2 dB(A). O modelo encontra-se apto a receber as

contagens reais de veículos em horário de funcionamento das aulas letivas de modo a poder elaborar o mapa de ruído real com a escola *off*.

Quadro 5.32 – Comparação entre L_{Aeq} médio medido e L_{Aeq} médio modelado com escola *off*.

| Ponto/Recetor | L_{Aeq} medido dB(A) | L_{Aeq} modelado dB(A) | Δ dB(A) |
|----------------------|--|--|----------------------------------|
| 2 | 58,2 | 58,7 | 0,5 |
| 4 | 55,6 | 56,2 | 0,4 |

6 CONCLUSÃO

Os elevados níveis de ruído nos grandes centros urbanos têm contribuído para o aumento de perturbações auditivas em crianças, dificultando ou impedindo a sua aprendizagem.

Foram selecionadas três estabelecimentos de ensino do 1º ciclo do ensino básico da cidade de Braga. Esta seleção baseou-se nos seguintes critérios: as escolas devem localizar-se dentro do anel rodoviário da cidade e devem possuir apenas o 1º ciclo do ensino básico. Apoiado nos critérios anteriores resultaram a EB1 de S. João do Souto, a EB1 de S. Victor e a EB1 da Sé. As escolas selecionadas situam-se no centro da cidade de Braga em que a principal fonte de ruído ambiente provém do tráfego rodoviário.

Tendo como objetivo avaliar os níveis de ruído existentes na envolvente dos edifícios escolares e o seu impacto adotaram-se três metodologias de avaliação: avaliação objetiva, avaliação subjetiva e modelação matemática do ruído ambiente.

Foram realizadas medições de ruído ambiente no exterior dos edifícios escolares e no interior de salas de aula dentro e fora do horário escolar.

Todo o trabalho desenvolvido ao longo deste projeto de investigação nas escolas do 1º ciclo da cidade de Braga selecionadas permitiu tirar várias conclusões, destacando-se as mencionadas de seguida:

Os níveis de pressão sonora registados durante as medições do ruído ambiente no exterior do edifício revelam que as fachadas mais expostas ao ruído ambiente, nomeadamente, ao ruído do tráfego rodoviário estão sujeitas a valores superiores ao valor limite imposto pela legislação para zonas sensíveis, 55 dB(A), segundo o Regulamento Geral do Ruído, aprovado no Decreto-Lei de n.º 9/2007 de 17 de janeiro.

O L_{Aeq} médio mais elevado que se registou no exterior foi de 63,3 dB(A) próximo da fachada frontal da EB1 de S. João do Souto. É de referir que de todas as fachadas envolvidas nas medições, esta é a que se encontra mais próxima de uma via rodoviária, que neste caso corresponde à Rua Dom Afonso Henriques. Com valores inferiores ao anterior, a EB1 S. Victor apresentou um L_{Aeq} médio de 60,7 dB(A) na fachada frontal da escola que se encontra voltada para um local de cedência de passagem entre a Rua Beato Miguel de Carvalho e a Rua

Martins Sarmento e a EB1 da Sé apresentou L_{Aeq} médio de 59,1 dB(A) na fachada lateral contígua à Rua do Matadouro.

As medições dos níveis de ruído foram realizadas com a escola *on*, ou seja, dentro do horário das atividades letivas entre as 9.00h e as 17.30h e com a escola *off*, ou seja, fora do horário das atividades letivas, entre as 17.30h e as 20.00h. Comparando, para o mesmo ponto de medição, os valores dos níveis sonoros médios com a escola *on* e com a escola *off*, regista-se uma diferença máxima de 2,4 dB(A). Verificou-se que nem sempre os pontos de medição registaram a valor mais baixo com a escola *off*. Pelo contrário, a maioria das medições de ruído ambiente no exterior registaram valores superiores com escola *off*. As diferenças de valores, para o mesmo ponto exterior, com a escola *on* e a escola *off* devem-se sobretudo a um maior registo da passagem de veículos rodoviários nos pontos mais próximos das vias com a escola *off* e ao ruído da vizinhança dado que durante as medições com a escola *off* muitas pessoas já se encontravam em casa. Realizaram-se quatro medições de ruído para cada local definido, duas com a escola *on* e outras duas com a escola *off*. As medições exteriores foram acompanhadas por contagens de tráfego rodoviário com discriminação de veículos ligeiros e de pesados, quando o local de medição permitia a visualização da via de tráfego.

Nas medições interiores foi definido uma sala de aula para avaliar o ruído ambiente, essa sala de aula correspondeu aos alunos do 3º ano ou do 4º ano desde que pertencesse à fachada mais exposta. Os resultados obtidos nas medições com a escola *on* encontram-se dentro do intervalo que alguns estudos consideram como a variação dos níveis de ruído em sala de aula com os alunos em atividades. Este intervalo varia desde os 56 dB(A), quando se encontram em silêncio e os 77 dB(A), quando as atividades envolvem trabalhos de grupo e movimento em torno da sala. Perante os resultados das medições no interior da sala com a escola *on*, a EB1 de S. João do Souto apresentou um L_{Aeq} médio de 72 dB(A), a EB1 de S. Victor 67,2 dB(A) e a EB1 da Sé 72,3 dB(A). Os resultados devem-se ao ruído produzido na própria sala de aula devido ao ambiente escolar. Devido à heterogeneidade do ruído produzido em sala de aula foi necessário definir três pontos de medição no interior da sala.

Os resultados obtidos nas medições interiores com a escola *off* foram comparados com o valor recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS), 35 dB(A), para ruído de fundo. Conclui-se que as salas de aula avaliadas apresentaram níveis de pressão sonora superiores aos recomendados pela OMS. Perante os resultados, a EB1 de S. João do Souto apresentou um L_{Aeq} médio de 39,4 dB(A), a EB1 de S. Victor 38,9 dB(A) e a EB1 da Sé 37,5

dB(A), aproximando-se mais dos 35 dB(A) recomendados pela OMS. Nesta situação apenas bastou definir um ponto central para avaliar o ruído.

Foram aplicados inquéritos aos alunos do 3º e 4º ano de escolaridade, dado que são os mais aptos, aos professores e aos auxiliares de ação educativa dos estabelecimentos de ensino a avaliar. A sua aplicação deve-se à necessidade de avaliar como a população escolar percebe o ruído a que estão sujeitos e permite ainda validar os resultados obtidos nas medições.

Relativamente ao ruído fora da escola mais perceptível no interior da sala de aula, 51,1% (n=24) dos alunos da EB1 responderam que são dos sinos, 55,1% (n=37) dos alunos da EB1 de S. Victor responderam que é do tráfego rodoviário e 49,7% (n=47) dos alunos da EB1 da Sé responderam que é do tráfego rodoviário. Com um registo inferior de 35,6% (n=16) mas que não deixa de ser significativo, os alunos da EB1 de S. João do Souto também apontaram o ruído do tráfego rodoviário como o mais perceptível. Conclui-se que os alunos do 3º e 4º ano de escolaridade têm a percepção do tráfego rodoviário nas vias envolventes à sua escola.

Quando questionados se é o ruído da escola ou fora da escola o mais perceptível, 73,9% (n=34) dos alunos da EB1 de S. João do Souto, 85,3% (n=58) dos alunos da EB1 de S. Victor e 80,2% (n=77) dos alunos da EB1 da Sé responderam que é o ruído gerado na escola. Conclui-se que para os alunos do 3º e 4º ano de escolaridade das escolas estudadas, o ruído mais perceptível é o ruído produzido na própria escola.

Ao relacionar o ruído mais perceptível e o ruído proveniente do exterior da escola, verificou-se que para 15,6% (n=7) dos alunos da EB1 de S. João do Souto é o ruído proveniente do exterior da escola que mais ouvem e que este provém do tráfego rodoviário, o mesmo acontece para 3% (n=2) dos alunos da EB1 de S. Victor e para 8,2% (n=8) dos alunos da EB1 da Sé. Conclui-se que a influência do ruído é mais significativa para os alunos da EB1 de S. João do Souto.

Na análise global das escolas estudadas verificou-se que para 8,1% (n=17) dos alunos inquiridos das três escolas é o ruído do tráfego rodoviário que mais ouvem na sala de aula e que 3,4% (n=7) sentem-se incomodados com o ruído proveniente do exterior da escola, sendo o ruído do tráfego rodoviário o mais perceptível. Conclui-se que os alunos inquiridos têm percepção o tráfego rodoviário, contudo não é o ruído mais perceptível na sala de aula, nem tão pouco o que mais incomoda.

Em termos médios, conclui-se que para os professores da EB1 de S. João do Souto, o ruído proveniente do exterior do estabelecimento de ensino que mais causa incómodo, são os sinos, estes causam algum incómodo, para os professores da EB1 de S. Victor são as buzinas, alarmes e sirenes, causando algum incómodo e para os professores da EB1 da Sé também são as buzinas, alarmes e sirenes, porém com menor impacto, causam pouco incómodo. Quanto à interferência durante a aula, em termos médios, para os professores de S. João do Souto e de S. Victor é o ruído dos alunos produzido no interior das aulas que mais interfere, causando alguma interferência, para os professores da Sé é o ruído no recreio da escola, causando, de igual modo, alguma interferência.

Dado ao número reduzido de auxiliares de ação educativa não se efetuou o seu tratamento estatístico de dados. Tendo em conta as suas respostas ao incómodo causado pelo ruído proveniente do exterior conclui-se que, em geral, o tráfego rodoviário causa algum incómodo para os auxiliares de ação educativa das três escolas avaliadas. Quanto à interferência do ruído nas atividades diárias que desempenham como auxiliares de ação educativa conclui-se que o ruído proveniente do exterior da escola não interfere nas tarefas dos auxiliares da EB1 de S. João do Souto e interfere pouco nas tarefas dos auxiliares da EB1 de S. Victor e da EB1 da Sé.

Conclui-se que o ruído ambiente na envolvente das escolas atinge valores superiores ao valor limite imposto pela legislação mas que os níveis de ruído no interior das salas de aula devem-se ao próprio ruído gerado na sala de aula e na escola.

Na elaboração de mapas de ruído utilizou-se o método provisório recomendado pela Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de junho de 2002 relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. Esta diretiva recomenda que para o cálculo do ruído de tráfego rodoviário deve ser utilizado o método provisório de cálculo, NMPB 96, para previsão do ruído. As contagens de tráfego que acompanharam as medições no exterior serviram de parâmetros de entrada no modelo. Para os pontos de medição mais próximos das fachadas mais expostas modelou-se o ruído com a escola *on* e com a escola *off*. Comparando, para o mesmo ponto de medição, os valores médios medidos e os valores médios modelados resultou uma diferença inferior a 2 dB (A). Conclui-se que o modelo se encontra validado e apto para receber as contagens de tráfego rodoviário reais com a escola *on* e a escola *off* de modo a obter os mapas de ruído mais próximos da realidade na envolvente das escolas uma vez que as

contagens efetuadas durante as medições exteriores não são suficientes para representar o tráfego rodoviário médio real.

O trabalho desenvolvido deste projeto de investigação constitui num alerta que aborda a problemática do ruído ambiente nos estabelecimentos de ensino.

6.1 Perspetivas de Desenvolvimentos Futuros

Em termos de perspetivas de desenvolvimentos futuros sugere-se aplicar a metodologia descrita na presente dissertação a outras escolas do 1º ciclo da cidade de Braga, nomeadamente a escolas que se encontram próximas de vias rodoviárias de elevado fluxo de tráfego ou de outro tipo de fontes de ruído.

Sugere-se ainda medições de outros parâmetros acústicos como o tempo de reverberação, a inteligibilidade, a relação sinal/ruído nas salas de aula bem como o isolamento acústico do edifício em estudo, que neste caso corresponde a estabelecimentos de ensino.

Na elaboração de tratamentos estatístico de dados recorrer ao teste do Qui-quadrado para analisar a associação entre variáveis categóricas, permitindo averiguar se duas variáveis categóricas são ou não independentes.

Realizar campanhas de contagem de tráfego rodoviário nas vias envolventes às escolas alvo do presente estudo e aplica-las no modelo de modelação matemática do ruído que se encontra ajustado de modo a obter os mapas de ruído.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, M., Silva, S. & Ferreira, T. (2006), “Física das Construções: Acústica Ambiental e de Edifícios”. Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Azurém, (Portugal).

Alvarenga, B.S.T. de (2003), “O uso da teoria do sistema nebuloso na avaliação da interpretação subjetiva de estímulos sonoros”. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, (Brasil).

Amorim, A.E.O. (2007), “Formas Geométricas e Qualidade Acústica de Salas de Aula: Estudo de caso em Campinas-SP”. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo (Brasil).

American National Standard Institute (2002) - ANSI S12.60-2002, Acoustical Performance Criteria, Design Requirements and Guidelines for Schools.

Batista, N.N. (1998), “A importância do projeto acústico como um dos parâmetros para obtenção da qualidade do espaço edificado”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, (Brasil).

Beranek, L. & Vér, I.L. (1992), “Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications” *John Wiley & Sons, Inc.*

Bradley, J.S., Reich, R. & Norcross, S. (1999), “On the combined effects of signal to noise ratio and room acoustics on speech intelligibility”, *Journal of the Acoustical Society of America*”, 106, 1820.

Bradley, J.S. (2002), “Optimising Sound Quality for Classrooms”, “*II Simpósio Brasileiro de Metrologia em Acústica e Vibrações - SIBRAMA*”, Rio de Janeiro, (Brasil).

Branco, N.A.A.C. & Alves-Pereira, M. (2007), “Vibroacoustic Disease: Biological Effects of Infrasound and Low-Frequency Noise Explained by Mechanotransduction Cellular Signalling”. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 93.

Brüel & Kjaer (2005), “Application Note: measuring speech intelligibility using DIRAC-Type 781”. In: Catálogo Técnico: *Brüel & Kjaer Instruments*, Chicago, Illinois, (USA).

Constituição da República Portuguesa, Lei Constitucional n.º1/2005 de 12 de agosto publicada em Diário da República – I Série - A, N.º 155 – 12 de agosto de 2005.

Cordeiro, C.V.C. (1996), “Qualidade acústica em escritórios panorâmicos: A utilização de sistemas eletrónicos de mascaramento”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, (Brasil).

Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de junho de 2002 relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, publicada no Jornal Oficial das Comunidades Europeias, 18-07-2002.

Drossi, R.C.F. & Momensohn-Santos, T. M. (2004), “A interferência do Ruído na Aprendizagem”. *Revista Psicopedagogia*, 21(64), 38-47.

Eniz, A. de O. (2004), “Poluição Sonora em Escolas do Distrito Federal”. Dissertação de Mestrado, Universidade Católica de Brasília, Brasília (Brasil).

Evans, G.V. & Lepore, S.J. (1993), “Non auditory Effects of Noise on Children: A Critical Review”. *Children’s Environments*, 10, 42-72.

Fernandes, J.C. (2000), “Inteligibilidade Acústica da Linguagem”, “XIX Encontro da SOBRAC”, Belo Horizonte, (Brasil).

Fernandes, J.C. (2006), “Padronização das condições acústicas para salas de aula”. “XIII Simpósio de Engenharia de Produção”, São Paulo (Brasil), 6-8 de novembro de 2006.

Fiorini, A.C., Silva, S. & Bevilacqua, C. (1991), “Ruído, comunicação e outras alterações” *SOS: Saúde Ocupacional e Segurança*, 26, 49-60

Fiorini, A.C. (2002), “Percepção da fala” “XX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC”, Rio de Janeiro, (Brasil).

Fonseca, N. (2007), “Introdução à Engenharia do Som”. *FCA – Editora de Informática, Lda.*

Fusco, S.L. (1996), “Pô, vamos acabar com este barulho” *Acústica e Controle de Ruído: Guia Prático para engenheiro e técnicos de segurança industrial*, São Paulo, (Brasil).

Gasperin, A. de (2006), “A presença do ruído do trem em escolas do entorno da linha férrea na cidade de Curitiba-PR: contribuição para a construção dialética em educação sócio ambiental”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, (Brasil).

Gerges, S.N.Y. (2000), “Ruído: fundamentos e controle” (2.ª ed.). *NR Editora.*

Goeltzer, B., Hansen, C.H. & Sehrndt, G.A. (2001), “Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control”. Federal Institute for Occupational Safety Health, Dortmund, (Alemanha).

Gonçalves, V. de S.B., Silva, L.B. & Coutinho, A.S. (2009), “Ruído como agente comprometedor da inteligibilidade da fala dos professores”. *Produção*, v. 19, n. 3, p 466-476.

Guia Prático para Medições de Ruído Ambiente – no contexto do Regulamento Geral do Ruído tendo em conta a NP ISSO 1996, Outubro 2011.

Hans, R.F. (2001), “Avaliação do ruído em escolas”. Universidade Federal do Rio de Grande Sul - PROMEC (Brasil).

Jornal de CiênciaHoje® (2012), “Seis em cada dez portugueses vivem com ruídos acima do recomendado”, 2012-02-14, acessado a 30 de março de 2012, em:

<http://www.cienciahoje.pt/index.php?oid=53048&op=all>

Jornal de Notícias (2012), “Quase metade dos portugueses expostos a níveis demasiado elevados de ruído”, 2011-04-27, acessado a 30 de março de 2012, em:

http://www.jn.pt/PaginaInicial/Sociedade/interior.aspx?content_id=1838486&page=-1

Kinsler, L., Frey, A.R., Coppens, A.B. & Sanders, J.V. (2000), “Fundamentals of Acoustics” (4.ª ed.). *John Wiley & Sons, Inc.*

Lacerda, A.B.M., Magni, C., Morata, T.C., Marques, J.M. & Zannin, P.H.T. (2005), “Ambiente Urbano e Perceção da Poluição Sonora”. *Ambiente&Sociedade*, 8, n. 2.

Lourenço, G.M.S. & Silveira, D.D. (2011), “Educação Ambiental, Desenvolvendo Atividades para Minimizar o Ruído na Escola”, *Revista Eletrónica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 4, 546-557.

Magalhães, B.M.P. (2011), “Impacto do Ruído Ambiente nos Edifícios Escolares – Um Estudo em Escolas do 1º CEB do Conselho da Maia”. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Braga (Portugal).

Matos, E.C.G. de (2008), “Incômodo Decorrente do Ruído na Escola e Professores com e sem Distúrbios Vocais”. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, (Brasil).

Maxwell, L.E. & Evans, G.W. (2000), “The effects of noise on pre-school children’s pre-reading skill”. *Journal Environmental Psychology*, 20, 91-97.

Medeiros, L.B. (1999), “Efeitos Extra Auditivos no Corpo Humano”. Monografia, Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica CEFAC, Porto Alegre, (Brasil).

Mello, A. de (1999), “Alerta ao Ruído Ocupacional”, Monografia, Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica - CEFAC, Porto Alegre, (Brasil).

Mergulhão, F.C. (2009), “Ruído Ocupacional e sua Perceção pelos Alunos de Medicina Dentária”. Monografia, Universidade de Fernando Pessoa, Porto, (Portugal).

Monteiro, O.M.M. da S. (1998), “O ruído a escola e a comunidade”, Universidade do Minho, Braga, (Portugal).

Nascimento, L.S. & Lemos, S.M.A. (2011), “A influência do ruído ambiental no desempenho de escolares nos testes de padrão tonal de frequência e padrão tonal de duração”, *Revista CEFAC*, 14, acessado a 14 de março de 2012, em:

<http://www.scielo.br/scielo.php/>

Neta, M. “Propagação do Som”, acessado a 30 de junho de 2012, em:

<http://www.fisicaquimica.net/som/propagacao.htm>

Oiticica, M.L.G. & Bertoli, S.R. (s/d), “Modificação da inteligibilidade da fala devido às alterações acústicas”. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo (Brasil).

Paixão, D.X. (1997), “Análise das Condições Acústicas em Sala de Aula”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (Brasil).

Regulamento Geral do Ruído, Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de janeiro publicado em Diário da República, 1.ª Série – N.º12 – 17 de janeiro de 2007.

Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios. Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de junho publicado em Diário da República, 1.ª Série-N.º110 – 9 de junho de 2008.

Rosão, V., Conceição, E., Leonardo, R. & Rosão C. (2008), “Determinação expedita da Área de Influência Acústica de Infraestruturas de Transporte Rodoviário”. “*V Congresso Ibérico de Acústica 2008*”, Coimbra (Portugal), 20 – 22 de outubro de 2008.

Rosão, V., Conceição, E. & Marques, T. (2008), “A especial sensibilidade das Escolas ao Ruído Ambiente Exterior”. “*V Congresso Ibérico de Acústica*”, Coimbra (Portugal), 20 – 22 de outubro de 2008.

Russo, I.C.P. (1993), “Acústica e Psicoacústica aplicadas à Fonoaudiologia”. *Editora Lovise*.

SABATINA, Guia de Formação Escolar (1998), “Artes Plásticas e Música”. *Marina Editores, LDA*.

Seep, B., Glosemeyer, R., Hulce, E., Linn, M. & Aytar, P. (2002), “Acústica de salas de aulas” *Revista de Acústica e Vibrações*, nº 29.

Shield, B.M. & Dockrell, J.E. (2003), “The effects of noise on children at school: a review”. *J. Building Acoustics*, 10(2), 97-106.

Silva, L.T. (2007), “Evaluating conflict zones of air pollution in a mid-sized city”. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, (Portugal).

Souza, A.M. de (2005), “A poluição sonora no ambiente escolar – Reflexos no Processo Ensino Aprendizagem.” Dissertação de Mestrado, Centro Universitário Plínio Leite, Niterói, (Brasil).

Valente, V.H.G. (2008), “Efeitos do Ruído no Corpo Humano em Ambiente de Discoteca”. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, (Portugal).

Viveiros, E.B. (2000), “Excelência Acústica: O objetivo de projeto de uma edificação escola”. “*XIX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC*”, Belo Horizonte, (Brasil).

World Health Organization (1999), “Guidelines for Community Noise”. *Berglund, B., Lindvall T. & Schwela, D. H.*

World Health Organization (2001), “Noise in Schools”.

Zwirtes, D.P Z. (2006), “Avaliação do desempenho acústico de salas de aula: Estudo de casos nas escolas estaduais do Paraná”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (Brasil).

8 LISTA DE SITES CONSULTADOS

Agência Europeia do Ambiente, acedido a 1 de março de 2012, em:

<http://www.eea.europa.eu/pt/themes/noise/about-noise>

Agência Europeia para a Segurança e a Saúde no Trabalho, Noise in figures, acedido a 8 de março de 2012, em:

<http://osha.europa.eu/data/statistics/reports>

Portal da Câmara Municipal de Braga, acedido a 3 de abril de 2012, em:

<http://www.cm-braga.pt>

Portal Pedagógico, acedido a 3 de abril de 2012, em:

<http://portalpedagogico.bragadigital.pt/site/>

Senado Federal, acedido a 17 de julho de 2012, em:

<http://www.senado.gov.br/senadores/>

9 ANEXOS



Questionário

Caro(a) Aluno(a),

Com o objetivo de avaliar o impacto do ruído no desempenho escolar dos alunos do 1º Ciclo do Ensino Básico em algumas escolas do centro da cidade de Braga e torna-lo como projeto de investigação na dissertação de Mestrado “Avaliação do ruído ambiente na envolvente das escolas do 1º ciclo básico da cidade de Braga”, solicitamos a tua colaboração para o preenchimento do seguinte questionário. As informações obtidas através desta pesquisa serão analisadas sigilosamente e o seu fim é meramente académico.

Nome (opcional): _____

Idade: ____

Escola: _____

Ano de escolaridade: ____

Sexo: Feminino [] Masculino []

Há quantos anos estudas nesta escola? ____

Leia as perguntas que se seguem com atenção e marca com um [X] em apenas uma das respostas.

1. Em que lugar da sala costumavas sentar?
[] Na frente
[] No meio
[] No fundo

2. Durante a aula, ouves bem a voz do teu professor?
[] Sim
[] Não
[] Mais ou menos

3. Sabes o que é o barulho?
[] Sim
[] Não

4. A tua sala de aula é:
[] Barulhenta
[] Silenciosa

5. Qual é o barulho que mais ouves na tua sala de aula?
[] A voz dos teus colegas na tua sala
[] Barulho do computador e do projetor
[] Barulho das outras salas
[] Barulho no corredor
[] Barulho no recreio da escola

6. Qual é o barulho fora da escola que mais ouves na tua sala de aula?
- Carros e motorizadas
 - Buzinas, alarmes e sirenes
 - Sinos
 - Oficinas/Indústrias
 - Obras
 - Vizinhos da escola
 - Pessoas na rua
7. Qual é o barulho que mais ouves dentro da tua sala de aula?
- Barulho da sala
 - Barulho da escola
 - Barulho fora da escola
8. Qual é o barulho que mais te incomoda durante a aula?
- Mesas e cadeiras a serem arrastadas
 - Voz dos teus colegas na tua sala
 - Barulho do computador e do projetor
 - Barulho fora da tua sala de aula
 - Barulho fora da escola
9. Quando é que o barulho mais te incomoda na sala de aula?
- Quando estás a ler
 - Quando estás a fazer um teste ou exercícios
 - Quando o professor está a explicar a matéria
 - O barulho nunca te incomoda
10. Achas que a tua casa é:
- Barulhenta
 - Silenciosa
11. Assinala qual é o barulho que mais te incomoda quando estás em casa:
- Carros e motorizadas
 - Comboio
 - Avião/avionetas
 - Buzinas, alarmes e sirenes
 - Sinos
 - Vizinhos
 - Obras
 - Oficinas/Indústrias
 - Animais
 - Eletrodomésticos
 - Nenhum

Grata pela tua colaboração!



Questionário

Caro(a) Professor(a),

Com o objetivo de avaliar o impacto do ruído no desempenho escolar dos alunos do 1º Ciclo do Ensino Básico em algumas escolas do centro da cidade de Braga e de torna-lo como projeto de investigação na dissertação de Mestrado “Avaliação do ruído ambiente na envolvente das escolas do 1º ciclo básico da cidade de Braga”, solicitamos a sua colaboração para o preenchimento do seguinte questionário. As informações obtidas através desta pesquisa serão analisadas sigilosamente e o seu fim é meramente académico.

Nome (opcional): _____

Idade: ____

Escola: _____

Sexo: Feminino [] Masculino []

Há quantos anos leciona nesta escola? ____

Possui algum tipo de problema auditivo? Sim [] Não []

Já precisou de se afastar das suas atividades escolares por problemas vocais ou outro problema de saúde relacionado com o ruído? Sim [] Não []

Qual? _____

1. Atribua a escala de valores para avaliar os ruídos predominantes na sua sala de aula.

[0] Nenhum [1] Pouco [2] Algum [3] Muito

[] Ruído produzido pelos alunos na sua sala

[] Ruído produzido pelos alunos/professores de outras salas

[] Ruídos no corredor e outros espaços interiores, à exceção das salas de aula

[] Ruídos no recreio da escola

[] Equipamentos de apoio à leção das aulas: computador, projetor...

2. Atribua a escala de valores para avaliar o incómodo causado por ruídos provenientes do exterior da escola.

[0] Nenhum [1] Pouco [2] Algum [3] Muito

[] Tráfego rodoviário

[] Buzinas, alarmes e sirenes

[] Sinos

[] Oficinas/Indústrias

[] Obras

[] Vizinhança

[] Pessoas na rua

3. Atribua a escala de valores para o ruído que possua maior interferência durante a sua aula.

[0] Nenhuma [1] Pouca [2] Alguma [3] Muita

- Ruído proveniente dos alunos no interior da sua sala de aula
 Ruído proveniente dos equipamentos de apoio à leção das aulas: computadores, projetores...
 Ruído proveniente das outras salas, corredores ou outros espaços escolares interiores
 Ruído proveniente do recreio da escola
 Ruído proveniente do exterior do recinto escolar

4. Atribua a escala de valores para as atividades em sala de aula que são mais prejudicadas pelo ruído.

[0] Não prejudica [1] Pouco [2] Algum [3] Muito

- Aula expositiva
 Leitura individual dos alunos
 Concentração dos alunos durante um teste ou um exercício
 Compreensão por parte dos alunos sobre a matéria lecionada
 Atividades em grupo

5. Na sua opinião, como classificaria a influência do ruído no processo ensino aprendizagem dos alunos.

- Não influencia
 Pouca
 Alguma
 Muita

6. Atribua a escala de valores na influência que o ruído exerce sobre si ao longo das aulas.

[0] Não influencia [1] Pouca [2] Alguma [3] Muita

- Dificuldades de concentração
 Dores de cabeça
 Irritabilidade
 Cansaço
 Fadiga vocal
 Zumbido nos ouvidos
 Ansiedade

Grata pela sua colaboração!



Questionário

Caro(a) Auxiliar de Ação Educativa,

Com o objetivo de avaliar o impacto do ruído no desempenho escolar dos alunos do 1º Ciclo do Ensino Básico em algumas escolas do centro da cidade de Braga e de torna-lo como projeto de investigação na dissertação de Mestrado “Avaliação do ruído ambiente na envolvente das escolas do 1º ciclo básico da cidade de Braga”, solicitamos a sua colaboração para o preenchimento do seguinte questionário. As informações obtidas através desta pesquisa serão analisadas sigilosamente e o seu fim é meramente académico.

Nome (opcional): _____

Idade: ____

Escola: _____

Sexo: Feminino [] Masculino []

Há quantos anos trabalha nesta escola? ____

Possui algum tipo de problema auditivo? Sim [] Não []

Já precisou de se afastar das suas atividades escolares por problemas vocais ou outro problema de saúde relacionado com o ruído? Sim [] Não []

Qual? _____

1. Atribua a escala de valores para avaliar o incómodo causado por ruídos provenientes do exterior da escola.

[0] Nenhum [1] Pouco [2] Algum [3] Muito

- [] Tráfego rodoviário (automóveis, motorizadas, camiões, etc...)
- [] Buzinas, alarmes e sirenes
- [] Sinos
- [] Oficinas/Indústrias
- [] Obras
- [] Vizinhança
- [] Pessoas na rua

2. Atribua a escala de valores para o ruído que possua maior interferência nas suas tarefas como auxiliar de ação educativa.

[0] Nenhuma [1] Pouca [2] Alguma [3] Muita

- [] Ruído proveniente dos alunos no interior das salas de aula
- [] Ruído proveniente dos corredores e outros espaços escolares interiores
- [] Ruído proveniente do recreio da escola
- [] Ruído proveniente do exterior da escola

3. Na sua opinião, como classificaria a influência do ruído no processo ensino aprendizagem dos alunos.

Não influencia

Pouca

Alguma

Muita

4. Atribua a escala de valores na influência que o ruído exerce sobre si ao longo das suas tarefas diárias na escola.

[0] Não influencia [1] Pouca [2] Alguma [3] Muita

Dificuldades de concentração

Dores de cabeça

Irritabilidade

Cansaço

Fadiga vocal

Zumbido nos ouvidos

Ansiedade

Grata pela sua colaboração!



Autorização

Caro(a) Encarregado(a) de Educação,

Com o objetivo de avaliar o impacto do ruído no desempenho escolar dos alunos do 1º Ciclo do Ensino Básico em algumas escolas do centro da cidade de Braga e de torna-lo como projeto de investigação na dissertação “Avaliação do ruído ambiente na envolvente das escolas do 1º ciclo básico da cidade de Braga”, do Mestrado Integrado em Engenharia Civil da Universidade do Minho, solicitamos a colaboração de V. Exa., autorizando o seu Educando a preencher um questionário. As respostas obtidas através desta pesquisa serão analisadas sigilosamente, sendo o seu fim meramente académico. A consulta do questionário é possível junto do(a) Professor(a) titular pela turma.

Com certeza que seja do seu interesse promover a melhoria da qualidade e do conforto da escola do seu filho.

Agradecendo a atenção dispensada, apresento os melhores cumprimentos.



Autorização

Eu, _____ como Encarregado(a) de Educação do(a) aluno(a) _____, declaro em como autorizo que o mesmo responda ao questionário referido.

Braga, 18 de Abril de 2012

Encarregado(a) de Educação
