



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

O Desempenho Acústico dos Edifícios e os Pormenores Construtivos

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Construções

Autor

Diana Isabel Silva Duarte

Orientadores

Professora Doutora Julieta Maria Pires António

Professor Doutor Diogo Manuel Rosa Mateus

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, Julho, 2015

RESUMO

A escolha das soluções construtivas tem um papel de destaque no campo da acústica, assim como a sua correta ou incorreta execução influencia os resultados finais do projeto e o seu bom desempenho a nível acústico. Neste campo é fundamental o estudo e pormenorização das soluções construtivas, principalmente o seu isolamento acústico.

A obtenção de condições adequadas de isolamento acústico em edifícios passa pela adoção de soluções construtivas apropriadas. No entanto, a compatibilização com as restantes especialidades de projeto envolvidas, a sua pormenorização e a correta execução em obra são normalmente decisivas. Uma solução de elevado desempenho acústico pode resultar num desastre se forem cometidos erros de execução, mesmo que de pequena dimensão.

A execução em obra de certas soluções construtivas, bem como certos detalhes de projeto, nem sempre estão corretamente concretizados, isto é, certas escolhas construtivas tidas como boas soluções ao serem mal executadas levam a um mau desempenho acústico.

O presente trabalho é resultado de uma pesquisa sobre os erros mais comuns que ocorrem, frequentemente, na construção civil, ocasionados principalmente pela ausência ou pela má qualificação dos profissionais da área pretendendo assim reunir erros de construção e de projeto, bem como o desempenho acústico dos edifícios, apresentando um guia de boas práticas à execução das soluções construtivas.

ABSTRACT

The construction solutions choices has a prominent role in the field of acoustics, because his correct or incorrect execution influence the final results of the project and its good performance to noise level. This field is essential to study and detailing of constructive solutions, especially their acoustic insulation.

The suitable conditions for acoustic insulation in buildings involves the adoption of appropriate constructive solutions, however, the compatibility with the others design specialties, and their correct detailing and execution are normally decisive. A high acoustic performance solution can result in disaster if execution errors are made, even though small size.

The execution of some construction solutions, and some design details as well, they are not always properly made. Some constructive choices seen as good solutions made incorrectly, leading to a poor acoustic performance.

This thesis work results of the research about common errors that occur in civil construction, mainly caused by the lack or poor professional qualification, pretending collect construction errors and design as well as their acoustic performance, making a good practice guide to implementation the constructive solutions.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos	4
1.3 Estrutura da dissertação	5
2. CONCEITOS DE ACÚSTICA	7
2.1 Introdução	7
2.2 A acústica nos edifícios	8
3. ISOLAMENTO SONORO E SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	12
3.1 Introdução	12
3.2 Elementos de separação vertical	12
3.3 Elementos de separação horizontal	14
3.4 Transmissão sonora	16
3.5 Isolamento a sons aéreos	20
3.6 Isolamento a sons de percussão	22
3.7 Correção Acústica	24
4. ERROS DE CONSTRUÇÃO E O DESEMPENHO ACÚSTICO	26
4.1 Introdução	26
4.2 Erros de projeto e o desempenho acústico	27
4.2.1 Ausência de projeto de execução – falta de pormenorização	27
4.2.2 Inexistência de caderno de encargos	28
4.2.3 Omissão de medições e de orçamentação	28
4.2.4 Falta de compatibilização dos projetos das diversas especialidades	28
4.2.5 Localização e disposição dos edifícios	29
4.2.6 Elementos de separação	32
4.2.7 Instalações Técnicas e Equipamentos	33
4.3 Erros de execução e o desempenho acústico	33
4.3.1 Erros que condicionam o isolamento a sons aéreos	35
4.3.2 Erros que condicionam o isolamento a sons de percussão	35
4.3.3 Elementos de separação vertical	36
4.3.4 Elementos de separação horizontal	41
4.3.6 Instalações técnicas	43
5. BOAS PRÁTICAS DE EXECUÇÃO	46
5.1 Elementos de separação vertical	46
5.2 Elementos de separação horizontal	53

5.3	Instalações Técnicas e Equipamentos.....	58
5.4	Reabilitação Acústica.....	63
5.5	Listas de verificação – <i>Checklists</i>	65
6.	CONCLUSÕES.....	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
	ANEXO A – Lista de verificação para paredes duplas.....	70
	ANEXO B – Lista de verificação para sistemas de lajeta flutuante.....	71
	ANEXO C – Lista de verificação para sistemas de pavimento flutuante em madeira.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 – Evolução das alvenarias	13
Figura 3.2 – Pavimento tradicional em madeira.....	16
Figura 3.3 – Pavimento flutuante colado	16
Figura 3.4 – Transmissão secundária via teto-parede.....	18
Figura 3.5 – Utilização de material flexível na ligação parede-teto ou parede-pavimento.....	18
Figura 3.6 – Transmissão sonora através da caixa-de-ar do teto falso	19
Figura 3.7 – Transmissão secundária através da ligação rígida teto-parede.....	19
Figura 3.8 – Execução de uma viga falsa ou de uma ligação flexível entre o teto e a parede .	19
Figura 3.9 – Transmissão direta do som através de ligações flexíveis entre divisões	20
Figura 3.10 – Transmissão direta do som através de ligações rígidas entre divisões	20
Figura 3.11 – Fenómenos de transmissão direta e indireta	21
Figura 3.12 – Transmissão de ruído aéreo (Meisser, 1973).....	22
Figura 3.13 – Transmissão de ruído de percussão (Meisser, 1973).....	22
Figura 3.14 – Esquema de funcionamento de um ressoador (Tadeu, et al., 2010).....	24
Figura 3.15 – Esquema de funcionamento de uma membrana acústica (Tadeu, et al., 2010) .	25
Figura 4.1 – Plantas de edifícios Adaptado de (COST, 2004)	30
Figura 4.2 – Exemplo de edifício, em Madrid (COST, 2014).....	31
Figura 4.3 – Exemplo de planeamento (Ambiente, 2004)	31
Figura 4.4 – Localização de edifícios para proteção do ruído (Ambiente, 2004)	32
Figura 4.5 – Mau exemplo de localização de tubagens no interior de paredes divisórias de diferentes apartamentos de um edifício (COST, 2014).....	32
Figura 4.6 – Falta de argamassa nas juntas verticais da alvenaria (COST, 2014).....	35
Figura 4.7 – Parede de alvenaria de tijolo furado com insuficiência de argamassa nas juntas de assentamento (Mateus & Pereira, 2011)	37
Figura 4.8 – Passagem de ruído devido à existência de caixas elétricas emparelhada (Mateus & Pereira, 2011).....	37
Figura 4.9 – Passagem de ruído devido à passagem de condutas (Mateus & Pereira, 2011) ..	37
Figura 4.10 – Parede dupla com ligações rígidas entre panos.....	38
Figura 4.11 – Parede dupla constituída por um painel pesado e outro leve	39

Figura 4.12 – Parede dupla constituída por dois painéis leves sem ligações rígidas.....	39
Figura 4.13 – Má execução da junta entre o caixilho da janela e a parede de alvenaria	40
Figura 4.14 – Mau desempenho acústico das caixas de estore (Mateus & Pereira, 2011)	40
Figura 4.15 – Abertura de elevada espessura entre a caixa de estore e a parede de fachada.....	41
Figura 4.16 – Erro de colocação da banda resiliente em pavimentos, criando um ponto de passagem de ruído (Mateus & Pereira, 2011)	41
Figura 4.17 – Betonilha flutuante com continuidade entre compartimentos (Mateus & Pereira, 2011)	42
Figura 4.18 – Sistema de teto falso com presença de pontos fracos como o sistema de iluminação (Mateus & Pereira, 2011)	42
Figura 4.19 – Tubagem com resíduos de argamassa (COST, 2014).....	44
Figura 4.20 – Tubagem com ligações rígidas.....	44
Figura 4.21 – Corte de pavimentos para passagem de tubagens e mudanças de direção bruscas (COST, 2014)	45
Figura 4.22 – Falta de isolamento acústico nas <i>courettes</i>	45
Figura 5.1 – Ponto de ligação entre parede divisória e parede de fachada (COST, 2014)	47
Figura 5.2 – Corte de parede divisória entre diferentes apartamentos (COST, 2014).....	47
Figura 5.3 – Ligação rígida de argamassa a ligar os dois panos de alvenaria (COST, 2014)..	48
Figura 5.4 – Ligação de parede divisória à parede de fachada. (COST, 2014).....	48
Figura 5.5 – Detalhe da construção de paredes duplas entre diferentes habitações	49
Figura 5.6 – Acumulação de argamassa entre panos da alvenaria (Details, 2004)	49
Figura 5.7 – Retirada de blocos para permitir a limpeza de detritos e restos de argamassa na caixa-de-ar das alvenarias de pano duplo (Details, 2004).....	50
Figura 5.8 – Remate superior das paredes de alvenaria. (COST, 2014).....	50
Figura 5.9 – Parede leve de estrutura metálica (COST, 2014).....	51
Figura 5.10 – Ponto de ligação entre parede divisória de estrutura leve e parede em alvenaria de fachada. (COST, 2014).....	51
Figura 5.11 – Tratamento da caixa de estore.....	52
Figura 5.12 – Grelhas de ventilação da parede de fachada	52
Figura 5.13 – Corte de um caixilho com grelhas de ventilação. (COST, 2014)	53
Figura 5.14 – Laje com revestimento flexível.....	54
Figura 5.15 – Sistema de minimização com atuação do meio de propagação do som.	54
Figura 5.16 – Sistema de teto falso	54
Figura 5.17 – Pormenor do sistema de lajeta flutuante.....	55
Figura 5.18 – Exemplo de solução para pavimento do piso térreo (COST, 2014).....	56
Figura 5.19 – Exemplo de laje não contínua entre apartamentos adjacentes (COST, 2014) ...	57

Figura 5.20 – Telas de isolamento em pavimentos (COST, 2014).....	57
Figura 5.21 – Exemplo de ligação rígida na soleira das portas (Mateus & Pereira, 2011).....	58
Figura 5.22 – Ligação das escadas à parede.....	58
Figura 5.23 – Instalações de tubagens	60
Figura 5.24 – Sistema de isolamento de tubagens	61
Figura 5.25 – Formas de fixação e de atravessamento de tubagens	61

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Nos últimos anos tem-se assistido a um significativo aumento do grau de exigência relativamente à qualidade, segurança e conforto das habitações.

As habitações evoluíram para espaços de qualidade e conforto para os seus habitantes poderem desfrutar de condições de comodidade e segurança. Esta evolução permitiu o aparecimento de novos materiais, cada vez com melhores desempenhos funcionais e “amigos” do ambiente, bem como a adoção de novas técnicas e soluções construtivas de modo a se ajustarem aos requisitos de qualidade, segurança e conforto impostos pela legislação.

O ruído torna-se um fator de degradação da qualidade do ambiente, que se tem feito sentir, de modo particularmente gravoso, nos tempos mais recentes. Por este motivo, o condicionamento acústico deve ser pensado desde o início do projeto dos edifícios.

Um dos aspetos mais importantes para garantir elevados níveis de conforto e comodidade nas habitações passa por um bom isolamento acústico da habitação. Esta condição pode e deve ser garantida em fase de projeto, mais concretamente com a elaboração de um projeto de condicionamento acústico. Uma boa coordenação do projeto de condicionamento acústico com os de outras especialidades, como o projeto de arquitetura, estruturas e instalações técnicas, permite a otimização de soluções conjuntas, com a conseqüente redução de encargos e melhoria de resultados (Patrício, 2000), permitindo minimizar a ocorrência de defeitos de construção.

A escolha das soluções construtivas tem um papel de destaque neste campo, pois a correta ou incorreta execução dessas soluções influencia os resultados finais do projeto e o seu bom desempenho a nível acústico, sendo por isso, fundamental o estudo e pormenorização das soluções construtivas. O isolamento acústico é por definição a capacidade que um dado material tem ou não para bloquear a passagem do som ou ruído entre ambientes diferentes. Um fator de elevada

importância no isolamento acústico é o facto de não se utilizar apenas uma barreira sonora, mas sim criar uma sequência de obstáculos, originando uma maior dificuldade de propagação do som. Por isso, o uso de paredes duplas, janelas com vidros duplos ou a combinação de materiais de diferentes densidades é de elevada importância para garantir um bom isolamento acústico. Neste caso, é ainda importante fazer com que os diferentes elementos usados não estejam diretamente em contacto uns com os outros, de modo a minimizar a transmissão de vibração entre eles. Devido ao modo de propagação do som torna-se necessário garantir a inexistência de ligações rígidas, por exemplo, em elementos constituídos por painéis duplos, que possam afetar o desempenho acústico do conjunto.

A obtenção de condições adequadas de isolamento acústico em edifícios passa pela adoção de soluções construtivas apropriadas. No entanto, a compatibilização com as restantes especialidades de projeto envolvidas, a sua pormenorização e a correta execução em obra são normalmente decisivas. Uma solução de elevado desempenho acústico pode resultar num fracasso, se forem cometidos erros de execução, mesmo que de pequeníssima dimensão (Mateus & Pereira, 2011).

Quando um som se torna incomodativo e indesejado podemos defini-lo como ruído. Com o aumento do número de fontes ruidosas, no interior e no exterior dos edifícios, o ruído tornou-se assim num fator de degradação da qualidade do ambiente e da qualidade de vida do Homem. A transmissão exagerada de ruído decorrente da má execução de pormenores construtivos pode contribuir para a degradação do bem-estar físico e psíquico dos indivíduos.

Os principais erros de projeto encontrados na construção atual, segundo (Santo, 2003), são:

- Desadequação do projeto de fundações ou de contenção periférica às características do solo;
- Não compatibilização do projeto de fundações com as redes de drenagem enterradas;
- Não compatibilização do projeto de especialidades (onde se inclui a acústica) com a arquitetura;
- Ausência da marcação dos negativos para as passagens das redes das instalações técnicas;
- Falta de coordenação entre projetos para implantação das redes técnicas.

Os erros cometidos ao procurar corrigir outros erros são, normalmente, mais pesados em consequências e mais difíceis de emendar. É isso que acontece com a reabilitação, dado que as

intervenções nesta área de atividade surgem, frequentemente, no seguimento de erros anteriores, seja de planeamento, de projeto, de construção ou de utilização. As consequências destes erros são, ainda, potencialmente mais graves, por vezes irreparáveis. Muitos dos erros de conceção e execução implicam a diminuição do desempenho acústico do edifício.

Surge por isso a necessidade da prevenção dos erros como a melhor maneira de os conhecer e corrigir. Neste sentido, é importante que na fase de projeto seja convenientemente avaliado o isolamento sonoro dos edifícios, em conformidade com o disposto na regulamentação (Patrício, 2000).

A legislação específica sobre a acústica é variada, contemplando, por exemplo, questões relacionadas com os requisitos acústicos dos edifícios, o ruído ambiente, as emissões sonoras de equipamentos ou a exposição dos trabalhadores ao ruído nos locais de trabalho. Desde 1987 que existem leis a regulamentar os requisitos acústicos dos edifícios, mas só em 2002, com o Decreto-Lei n.º 129/2002 de 11 de Maio é que os requisitos entram em vigor, estando cerca de 15 anos inalterável. A partir de 2002 a legislação começa a progredir acompanhando sempre a evolução dos requisitos da construção.

Em relação aos requisitos acústicos dos edifícios, o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), republicado pelo Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho, regula a vertente do conforto acústico no âmbito do regime da edificação, contribuindo para a melhoria da qualidade do ambiente acústico e para o bem-estar e saúde das populações, em articulação com o regime jurídico relativo ao ruído ambiente. A Portaria n.º 113/2015 de 22 de Abril indica os elementos instrutores dos pedidos de realização de operações urbanísticas, definindo as situações que exigem projeto acústico e avaliação acústica.

Em relação ao ruído ambiente, o Regulamento Geral do Ruído (RGR), publicado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 de 9 de Junho, regula a prevenção de ruído e o controlo da poluição sonora visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações. É aplicável às atividades ruidosas permanentes e temporárias e a outras fontes de ruído suscetíveis de causar incomodidade. Este regulamento divide por zonas as áreas afetadas em termos de exposição ao ruído, podendo estas ser classificadas como zonas sensíveis e zonas mistas. As zonas sensíveis contemplam a área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros

estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período noturno. As zonas mistas, sendo áreas cuja ocupação seja afeta a outros usos para além dos referidos na definição de zona sensível.

Em relação às emissões de ruído de equipamentos para uso exterior, o Decreto-Lei n.º 221/2006 de 8 de Novembro transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2005/88/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 14 de Dezembro, relativa às emissões sonoras dos equipamentos para utilização no exterior.

Hoje em dia é cada vez mais importante o cumprimento dos requisitos impostos pela legislação para garantir algum conforto nas habitações. A eficiência energética cada vez ganha mais força verificando-se que não está a ser dado, ao nível das políticas nacionais e europeias, o mesmo destaque à eficiência acústica dos edifícios. A consideração de conforto acústico em edifícios, geralmente fica muito abaixo na lista de prioridades, tanto na construção sustentável como no projeto da construção convencional (Kibert, 2013).

Tendo em conta este aspeto e a relevância dada atualmente aos materiais e técnicas de construção eficientes e sustentáveis considera-se que é necessário fazer estudos, que permitam evidenciar a importância do comportamento acústico dos edifícios, e a necessidade de ser um tópico de interesse ao nível das políticas decisoras. O presente estudo pretende mostrar alguns dos aspetos relacionados com o projeto e a construção dos edifícios que podem comprometer o comportamento acústico das soluções e consequentemente do edifício. Neste trabalho fez-se uma pesquisa bibliográfica e recolha de elementos que permitiram identificar e reunir num único documento os principais erros de construção e projeto que podem comprometer o desempenho acústico das soluções construtivas.

1.2 Objetivos

A presente dissertação, no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, visa apresentar uma recolha de informação existente relativa a questões que comprometem o desempenho acústico dos edifícios habitacionais.

A criação de edifícios acusticamente eficientes implica a adoção de medidas que, por um lado, maximizem o bom desempenho acústico, e por outro, aumentem o grau de satisfação dos utilizadores.

A má execução em obra de certas soluções construtivas, bem como certos detalhes de projeto, podem levar a um mau desempenho acústico. É objetivo deste trabalho reunir num documento os principais erros de construção que podem comprometer o desempenho acústico dos edifícios. A identificação dos erros permite também indicar as boas práticas a seguir na execução das soluções construtivas.

Resumidamente, os objetivos do presente trabalho são:

- Estudar boas práticas de execução de soluções construtivas sustentáveis a nível acústico;
- Analisar diversas metodologias no domínio da execução de pormenores construtivos, tendo em atenção os erros praticados tanto em projeto como em obra;
- Tendo por base as conclusões retiradas da análise dos erros de construção a nível da acústica, desenvolver regras de boas práticas de execução a nível do desempenho acústico;
- Contribuir para a sensibilização dos intervenientes na construção relativamente à importância da execução correta dos pormenores construtivos no âmbito da acústica.

Para atingir tais objetivos foi necessário proceder a uma profunda pesquisa bibliográfica sobre os requisitos acústicos das habitações e sobre os métodos de execução de soluções construtivas a nível do desempenho acústico.

1.3 Estrutura da dissertação

Perante o enquadramento e os objetivos descritos anteriormente a estrutura deste trabalho divide-se em duas partes, num total de cinco capítulos. A primeira parte faz referência a conceitos gerais da acústica, como a acústica nos edifícios, o modo e o meio de transmissão dos sons e ainda o isolamento a sons aéreos e a sons de percussão. A segunda parte incide especificamente no tema principal desta dissertação: os erros de construção que afetam o desempenho acústico dos edifícios habitacionais.

No capítulo 1, “Introdução”, é feito um enquadramento do tema do trabalho e os objetivos a alcançar com a realização desta pesquisa.

O capítulo 2, intitulado “Conceitos de Acústica”, apresenta alguns conceitos de acústica fundamentais à compreensão de certos pontos expostos ao longo do trabalho, bem como as exigências e a legislação aplicável à acústica nos edifícios.

O capítulo 3, intitulado “Isolamento sonoro e soluções construtivas”, apresenta uma breve descrição da evolução dos edifícios ao longo dos tempos, nomeadamente a evolução das exigências das alvenarias. É neste capítulo que é distinguido o modo e as vias de transmissão dos ruídos, bem como o isolamento a sons aéreos e o isolamento a sons de percussão. É ainda feita uma breve referência ao tema da correção acústica: o tipo de materiais mais utilizados e os sistemas de atenuação de ruídos.

O capítulo 4, sendo este o capítulo fulcral desta dissertação, intitulado “Erros de construção e desempenho acústico”, descreve os erros de projeto e os erros cometidos a nível de execução das soluções construtivas, quer seja a nível de pavimentos, paredes e instalações técnicas e equipamentos.

O capítulo 5 apresenta uma sugestão de boas práticas a ter em conta na execução e no projeto das soluções construtivas a fim de diminuir os erros praticados, promovendo o seu bom desempenho acústico.

No capítulo 6, “Conclusão”, estão expostas as conclusões finais da realização desta dissertação, bem como propostas para trabalhos futuros.

2. CONCEITOS DE ACÚSTICA

2.1 Introdução

O som é, para o Homem, uma componente ambiental muito importante e de equilíbrio pessoal (Silva, 2007). Este pode ser definido como uma variação de pressão produzida por uma fonte, transmitida através de um meio de propagação e detetada pelo ouvido recetor. A pressão sonora define-se como a flutuação da pressão relativamente ao valor de equilíbrio, isto é, a pressão acústica é a diferença entre a pressão atmosférica e a pressão do ar na presença das ondas acústicas.

O som poder-se-á definir como uma pequena vibração de um meio acústico quer seja fluido (ar, água) ou sólido. Este é caracterizado pela sua duração, intensidade, frequência e pelo timbre, que permite ao ouvido humano distinguir dois sons com a mesma intensidade e com a mesma frequência mas produzidos por fontes sonoras diferentes.

O som pode ser agradável, como uma música ou uma conversa, ou então pode ser incómodo, como o som emitido pelo telefone ou por uma buzina. O conceito de incomodidade é subjetivo e pode variar de pessoa para pessoa, pois não depende apenas do tipo de som, mas também das capacidades recetoras do ouvido humano e das circunstâncias em que o som ocorre.

Quando um som se torna incomodativo e indesejado podemos defini-lo como ruído. Sendo assim, podemos dizer que o ruído pode ser definido como um som não desejado ou toda a energia suscetível de alterar o bem-estar das pessoas. O ruído está fortemente ligado a países altamente industrializados onde a maior parte das pessoas está exposta a níveis de ruído indesejáveis e altamente prejudiciais, sendo esta a principal causa de degradação da qualidade de vida das populações (Tavares, 2011).

O grau de incomodidade de um ruído perturbador depende de uma grande diversidade de fatores, tais como a natureza do ruído, a sua frequência, a idade, o estado de saúde e estado psicológico da pessoa que é perturbada e o período de ocorrência do ruído. A incomodidade atribuída a um ruído pode considerar-se como a tradução do ressentimento do auditor, relativamente a uma intrusão naquilo que considera o seu domínio de privacidade (Silva, 1978). Com o aumento do número de fontes ruidosas, no interior e no exterior dos edifícios, o ruído tornou-se assim num fator de degradação da qualidade do ambiente e da qualidade de vida do Homem.

Os efeitos do ruído sobre o Homem são traduzidos pelo decréscimo do conforto acústico e pelos efeitos na saúde como o aparecimento de problemas auditivos, fadiga, incomodidade, problemas psíquicos (stress e irritabilidade), perturbação do sono e efeitos negativos no desempenho de aprendizagem e no trabalho (Silva, 2007) (Tadeu, et al., 2010).

O limiar de audição na gama de frequências audíveis (a mínima pressão sonora a que o ouvido humano responde) tenderá para valores mais elevados com o evoluir da exposição continuada a elevados níveis de ruído. O processo é designado por trauma auditivo. Este problema agrava-se caso a fonte perturbadora emita ruídos impulsivos (de curta duração), ou ruídos que se propagam a baixas frequências. A exposição do ouvido a ruído não impulsivo permite que este desenvolva mecanismos de defesa, reduzindo a sensibilidade auditiva. O ouvido necessita de cerca de 3 décimos de segundo para desenvolver o referido mecanismo de defesa. Deste modo, ruídos impulsivos (de curta duração) não são devidamente atenuados pelo sistema de defesa do ouvido, podendo causar traumas auditivos (Tadeu, et al., 2010).

Os estímulos sonoros são produzidos através de movimentos vibratórios, que determinam alterações do meio onde ocorre a propagação. Uma fonte sonora excita o meio envolvente, inicialmente em equilíbrio, emitindo energia sonora que se propaga através do meio e que se traduz numa modificação das variáveis de estado (pressão, temperatura e massa específica). Estas podem ser fontes pontuais (propagação radial, por ondas esféricas, em que a pressão sonora é proporcional ao aumento da distância à fonte), fontes lineares (propagação em planos perpendiculares à fonte que crescem de raio com o tempo) e ainda fontes planas (superfície das ondas de propagação constituem planos paralelos entre si (Tadeu, et al., 2010).

2.2 A acústica nos edifícios

A acústica nos edifícios interage com processos pelos quais o homem é afetado pelo ruído no seu bem-estar, no exercício das atividades a que se dedica ou mesmo na sua saúde, pelo que

por isso cada vez mais há uma preocupação com a localização, construção e organização dos edifícios a fim de minimizar e evitar inconvenientes resultantes de um ambiente acústico inadequado (Silva, 1978).

As exigências requeridas na acústica dos edifícios são:

- Isolamento a sons aéreos dos elementos de compartimentação verticais (paredes), tanto interiores como exteriores (fachadas);
- Isolamento a sons aéreos de elementos de compartimentação horizontais (pavimentos);
- Isolamento a sons de percussão dos elementos de compartimentação horizontais;
- Ruído de equipamentos e instalações.

O Decreto-Lei nº 96/2008 de 9 de Junho, intitulado pelo RRAE, menciona certos requisitos acústicos exigidos para os edifícios com o objetivo de preservar a fração habitacional em causa. Esses requisitos são os seguintes: isolamento sonoro a sons aéreos padronizado de fachadas ($D_{2m,nT,w}$), isolamento sonoro a sons aéreos padronizado entre compartimentos ($D_{nT,w}$), isolamento sonoro a sons de percussão padronizado ($L'_{nT,w}$), tempo de reverberação ($Tr_{500-1000-2000}$) e nível de avaliação padronizado de equipamentos coletivos dos edifícios ($L_{Ar,nT}$). É importante, por isso, o estudo do comportamento acústico dos materiais e elementos de construção a fim de proporcionar boas condições de conforto acústico aos seus ocupantes, tanto a nível da sua conceção geral como dos seus elementos.

Este regulamento, o RRAE, obriga a que seja efetuada uma verificação da conformidade do projeto acústico através de ensaios acústicos realizados por laboratórios devidamente acreditados pelo Instituto Português de Acreditação (IPAC), de acordo com o estabelecido na Norma Portuguesa NP EN ISO/IEC 17025:2005. Em virtude da complexidade dos ensaios acústicos a realizar em cada edifício, o Laboratório de Engenharia Civil (LNEC), definiu os critérios de amostragem para as diferentes tipologias de edifícios, de forma a racionalizar e a uniformizar procedimentos.

A metodologia experimental a seguir nos ensaios acústicos a realizar nos edifícios e que está definida nos procedimentos internos dos Laboratórios Acreditados em Acústica de Edifícios, deriva da normalização aplicável, designadamente:

- Isolamento sonoro a sons aéreos - fachadas: NP EN ISO 140-5:2009, NP EN ISO 717-1:2013 e NP EN ISO 3382-2:2011;
- Isolamento sonoro a sons aéreos - compartimentos: NP EN ISO 16283-1:2014, NP EN ISO 717-1:2013, NP EN ISO 140-14:2012 e NP EN ISO 3382-2:2011;

- Isolamento sonoro a sons de percussão - pavimentos: NP EN ISO 140-7:2008, NP EN ISO 717-2:2013, NP EN ISO 140-14:2012 e NP EN ISO 3382-2:2011;
- Tempo de reverberação: NP EN ISO 3382-2:2011;
- Nível de pressão sonora de equipamentos coletivos dos edifícios: NP EN ISO 16032:2009 e NP EN ISO 3382-2:2011 (Martins, et al., 2014).

O sistema auditivo global integra um conjunto de órgãos periféricos e regiões no sistema nervoso central. É importante por isso que haja um equilíbrio entre o meio ambiente e o conforto dos nossos edifícios pois apesar de o silêncio e a tranquilidade ser por muitos desejados, isto nem sempre é sinónimo de conforto acústico. A ausência de ruído de fundo ou de ruído ambiente pode provocar sentimentos de ansiedade e inquietude.

Os fatores que intervêm para a qualidade de um local são a qualidade dos acabamentos dos edifícios, a sua planta e disposição das divisórias, a iluminação, o aquecimento e a intensidade dos fenómenos acústicos afetos aos seus ocupantes (Meisser, 1973).

No estudo da acústica dos edifícios é frequente considerar três situações distintas:

- O estudo da propagação de sons entre dois espaços limitados por uma separação física, denominado de isolamento acústico. O isolamento acústico entre dois locais depende preferencialmente da massa e da ligação dos vários elementos que separam os dois locais.
- O estudo da propagação do som no interior de um espaço fechado, designado por condicionamento acústico do local, visa dotar estes espaços fechados de características adequadas para a obtenção de um ambiente acústico conveniente ao destino do espaço.
- O estudo da propagação do som por via sólida. Os sons ou ruídos de percussão são provenientes de choques ou de outras solicitações mecânicas aplicadas diretamente nos elementos de construção. Estes sons propagam-se acompanhados de vibrações da própria construção. São exemplos habituais de fontes de ruído de percussão as marteladas em paredes, o arrastamento de móveis, passos em pavimentos (especialmente quando são provocados por saltos duros) e o funcionamento de máquinas (Tadeu, et al., 2010).

Os ruídos nos edifícios podem ser transmitidos por duas vias:

- Ruídos transmitidos por via aérea: ruído resultante da conversação, choro de crianças, rádio, televisão, instrumentos musicais, circulação automóvel e aérea.

- Ruídos transmitidos por via sólida: ruídos dos passos, queda de objetos, aspiradores, aparelhos domésticos, ruído das instalações sanitárias, elevadores, condutas de ventilação. Muitos destes ruídos têm também uma componente de transmissão aérea (Meisser, 1973).

Já o modo de transmissão dos ruídos pode ser distinguido por transmissão direta de sons ou então transmissão indireta ou marginal.

Em geral, um ruído aéreo, produzido num determinado local, afeta apenas os locais mais próximos, enquanto um ruído de percussão pode propagar-se até locais bastante afastados da fonte (Tadeu, et al., 2010).

Este modo de distinguir os vários estudos em acústica não significa que os fenómenos envolvidos sejam independentes uns dos outros. Contudo, podem geralmente ser tratados independentemente pois a atuação em determinado sentido, como por exemplo, o condicionamento acústico do interior do espaço não altera de forma significativa o isolamento acústico (Tadeu, et al., 2010). São diversos os problemas a resolver por forma a assegurar, nos espaços do interior de um edifício, a satisfação das exigências funcionais, entre as quais:

- Isolamento entre espaços, à transmissão de sons aéreos e de percussão, por forma a que seja salvaguardada a privacidade das diversas atividades;
- Controle de ruídos e vibrações de equipamentos diversos integrados nas instalações técnicas do edifício, que podem propagar-se através da estrutura ou beneficiar de guiamento através de quaisquer redes de condutas (Patrício, 2000).

3. ISOLAMENTO SONORO E SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

3.1 Introdução

O aumento da população e o aumento do desenvolvimento urbano está relacionado com a produção de ruído, e a criação de certas infraestruturas fez evoluir muito os processos de construção mas também fez aumentar o número de casos de erros na construção.

Os edifícios encontram-se sujeitos a ruídos de vários tipos e proveniências que são fonte de incómodo para os residentes e utilizadores dos edifícios. O som produzido num determinado espaço pode ser transmitido para um outro recinto através da sua propagação em meio aéreo ou em meio sólido. Em geral o som final no recinto recetor é proveniente das duas vias de transmissão. No entanto, em muitos casos, o som proveniente de uma das vias de transmissão é predominante, podendo a outra via de transmissão ser desprezada (Tadeu, et al., 2010).

Um ruído aéreo produzido num determinado local afeta apenas os locais mais próximos, enquanto um ruído de percussão pode estender-se até locais bastante afastados da fonte. As ações de reabilitação correspondem a um desafio conceptual de procura de soluções híbridas que possibilitem adequar soluções construtivas existentes com a composição de novos materiais, de modo a assegurar o cumprimento das exigências atuais (Patrício, 2010).

3.2 Elementos de separação vertical

Os elementos verticais dos edifícios, as paredes, podem ser divididas entre paredes de fachada e paredes interiores. As paredes de fachada são as paredes exteriores que delimitam um edifício, enquanto as paredes interiores são paredes divisórias que se destinam a definir a compartimentação de um edifício.

A construção dos elementos verticais, com o decorrer do tempo, tem evoluído os seus processos usados nas soluções construtivas. Um desses exemplos são as paredes de fachada, que no espaço de aproximadamente 50 anos ganharam novas formas e maneiras da sua construção (figura 3.1).

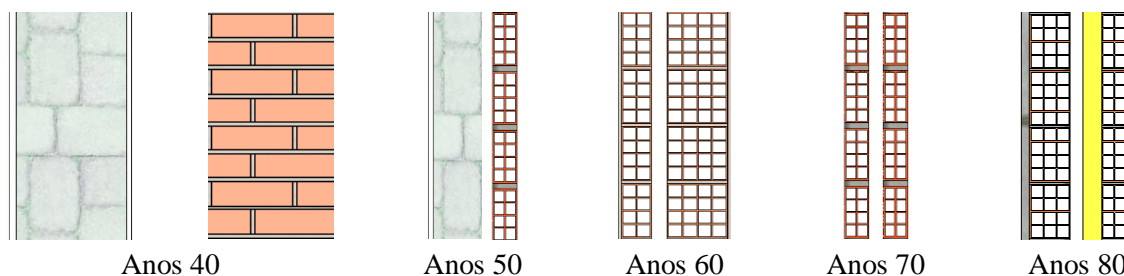


Figura 3.1 – Evolução das alvenarias

Nos anos 40, as paredes de fachada eram apenas de um pano, chamadas de paredes simples, construídas de alvenaria em pedra ou de tijolo maciço. Estas eram paredes de grande espessura e contribuía muito para o elevado peso das estruturas. Mais tarde, a partir dos anos 50 começou a utilizar-se uma caixa-de-ar entre os panos da alvenaria. Nas paredes exteriores predominava a alvenaria de pedra com o pano interior de tijolo furado com a existência ou não de caixa-de-ar entre panos. Nos anos 60 deixou-se para atrás a alvenaria de pedra e começou a usar-se paredes duplas com os dois panos em alvenaria de tijolo furado, sendo o pano exterior mais espesso que o pano interior. Nos anos 70 sentiu-se a necessidade das paredes se tornarem mais leves e ocuparem uma menor área no espaço dos edifícios, por isso, as paredes duplas de tijolo furado começaram a ter panos de espessura mais reduzida. A partir dos anos 80 há uma grande evolução no que toca à construção de alvenarias. Sentiu-se necessidade de melhorar o conforto dos edifícios e isso refletiu-se na evolução dos processos de construção das paredes duplas. As paredes duplas de tijolo furado começaram a incorporar na sua caixa-de-ar isolamento térmico, preenchendo total ou parcialmente a caixa-de-ar (adaptado de Dias & Sousa, 2000).

As paredes exteriores simples têm caído em desuso, mas ultimamente ressurgiram associadas a soluções inovadoras de isolamento térmico pelo exterior, quer com revestimento delgado armado, quer sob a forma de revestimento exterior rígido, como as paredes ventiladas, capazes de proporcionar um aumento do seu desempenho. Outras soluções mais recentes são: alvenarias resistentes de furação vertical, alvenarias armadas, alvenarias de montagem simplificada (Dias & Sousa, 2000).

As exigências das paredes de alvenaria são as seguintes: estanquidade, segurança ao fogo, segurança na sua utilização, estabilidade, conforto higrotérmico, conforto acústico, conforto visual, conforto tátil, higiene, adaptação à utilização a que se destina e ainda durabilidade. Este conjunto de exigências torna a construção de um edifício sustentável a nível de conforto para os seus utilizadores. Hoje em dia a aplicação de materiais nas alvenarias requer uma grande exigência a nível do isolamento térmico, humidade de equilíbrio da habitação, capacidade de se comportarem como elementos resistentes e ainda a nível de isolamento acústico, ponto este que tem vindo a ganhar importância no ramo da construção civil.

O comportamento das paredes é influenciado pelo tipo de argamassa de assentamento, pela posição dos tijolos no assentamento, pelo número de panos da alvenaria, pelo tipo de revestimento, pela existência de elementos complementares de isolamento e estanquidade, pela localização da parede (fachada interior ou fachada exterior) e ainda pela função a que a parede se destina (Dias & Sousa, 2000).

3.3 Elementos de separação horizontal

Os pavimentos representam o elemento estrutural que suporta todos os esforços que são aplicados num piso e constituem o elemento de separação horizontal entre dois andares, podendo assim assumir duas funções distintas: função de piso e função de teto.

Os pavimentos têm como principal característica serem uma superfície plana, que não só permite andar em cima dela com toda a comodidade, como também é importante o facto de apresentar resistência ao desgaste. Por isso, a escolha do pavimento varia em função do tipo de ocupação previsto para o local, respeitando as exigências de habitabilidade, conforto, segurança e durabilidade.

Os principais tipos de pavimentos são: pavimentos de betão armado maciços, pavimentos de betão pré-esforçado, pavimentos de betão aligeirados, pavimentos metálicos, pavimentos de madeira e ainda pavimentos mistos (betão e metal ou madeira e metal).

Atualmente, o uso de pavimentos de betão armado aligeirados é o mais frequente pois uma das grandes vantagens deste tipo de pavimento é serem mais leves em relação ao pavimento de betão armado tradicional.

Para os pavimentos manterem as suas exigências quanto à segurança e durabilidade, torna-se necessário recorrer ao uso de revestimentos de piso. Os revestimentos podem ser tradicionais, como o soalho de madeira, os ladrilhos cerâmicos ou a pedra, ou podem ser do tipo não-tradicionais, como o linóleo, o aglomerado de madeira ou ainda os revestimentos têxteis.

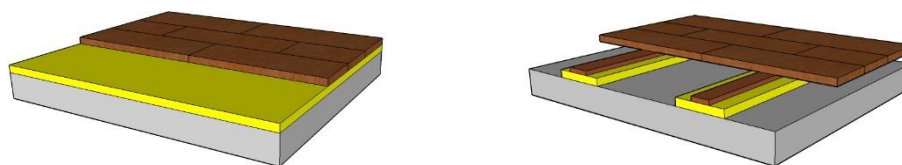
Os revestimentos de piso podem ser revestimentos cerâmicos (como os mosaicos ou ladrilhos), revestimentos sintéticos (como os vinílicos e os linóleos), revestimentos naturais (como os pavimentos em madeira ou cortiça) e ainda revestimentos têxteis (como as alcatifas).

Nos nossos dias, na construção é usado com grande frequência o sistema de pavimento flutuante, podendo este ser um pavimento de lajeta flutuante ou um pavimento flutuante de madeira.

O sistema de lajeta flutuante é, normalmente, constituída por quatro camadas contendo o elemento de suporte, a camada resiliente, a própria lajeta flutuante e o revestimento de piso final. Os materiais normalmente usados como camada resiliente das lajetas flutuantes em betão são: polietileno extrudido (XPS), aglomerado de cortiça, feltro betuminoso com granulado de cortiça, placas de lã mineral compactada com filme plástico entre este e a lajeta e materiais à base de partículas de poliuretano. Estes materiais devem conservar a sua elasticidade mesmo quando aplicado com pequenas espessuras, devem possuir elasticidade pouco sensível à variação da frequência do som e ao tipo de impacto aplicado, resistir às numerosas variações de sobrecarga, devem ser quimicamente neutros e fisicamente estáveis e ainda devem ser totalmente impermeáveis à passagem dos fluidos resultantes da betonagem. No caso de mantas em rolo, estas devem ser colocadas com comprimento de sobreposição que evite a passagem de fluidos (adaptado de Tadeu, et al., 2010).

Os sistemas de pavimento flutuante em madeira podem distinguidos por três categorias: pavimentos tradicionais de madeira maciça assentes sobre uma camada resiliente, pavimentos flutuantes colados e pavimentos contracolados.

Os pavimentos tradicionais em madeira maciça podem ser diretamente assentes sobre a camada resiliente (figura 3.2 a)) ou então assentes em ripas que, por sua vez são assentes no material resiliente (figura 3.2 b)).



a) Soalho assente diretamente na camada resiliente

b) Soalho assente em ripas

Figura 3.2 – Pavimento tradicional em madeira.

Os pavimentos flutuantes colados são constituídos por lamelas de pequena espessura ligadas a uma camada resiliente, normalmente constituída por cortiça, que é aplicada em fábrica. As lamelas são fixas à laje estrutural por meio de colas adequadas (figura 3.3).

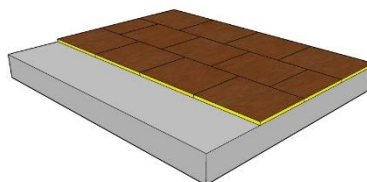


Figura 3.3 – Pavimento flutuante colado

Os pavimentos flutuantes contracolados são constituídos por placas de madeira coladas. Normalmente as placas possuem duas ou três camadas distintas de madeira sobrepostas. Estas placas são aplicadas através de um sistema de encaixe macho/fêmea que permite montar o pavimento sobre a camada resiliente.

3.4 Transmissão sonora

A transmissão sonora entre dois compartimentos é um fenómeno complexo que envolve transmissão direta (quando existe um elemento de separação comum aos dois compartimentos) e transmissões secundárias. O fenómeno de transmissão envolve um elevado número de variáveis, apresentando-se como fatores principais as características elastodinâmicas do elemento de separação, a heterogeneidade do elemento e respetivas ligações, bem como as características dos campos sonoros estabelecidos nos recintos emissor e recetor (Mateus & Pereira, 2011).

A obtenção de um adequado isolamento acústico passa pela adoção de soluções construtivas apropriadas, que tenham em conta os fenómenos de transmissão envolvidos, e a sua pormenorização e a correta execução em obra é decisiva no desempenho acústico dos edifícios. É muito frequente encontrar o mesmo tipo de solução construtiva aplicada em situações aparentemente semelhantes, mas com um desempenho acústico completamente diferente. As diferenças podem depender das transmissões marginais, que podem variar bastante, em função da forma como os elementos de construção se encontram interligados e das suas características específicas (Mateus & Pereira, 2011) Além do processo construtivo, é fundamental uma interligação entre a acústica e as restantes especialidades envolvidas em projeto, nomeadamente a arquitetura, a estabilidade e as instalações técnicas.

As transmissões marginais entre dois locais contíguos, são tanto mais relevantes quanto maior for o isolamento do elemento de separação comum aos dois locais e menor for o isolamento dos elementos transversais contíguos (Tadeu, et al., 2010). No caso de divisões contíguas separadas entre si por um material flexível, as transmissões marginais apresentam valores insignificantes. Pelo contrário, as transmissões marginais são significativas quando a ligação entre divisões é rígida. Estas transmissões são ainda mais acentuadas quando as paredes e tetos com continuidade apresentam um isolamento inferior ao da parede de separação.

Quando os 4 elementos (paredes de fachada, pavimentos, teto e parede de separação) são pesados, estes têm características de isolamento idênticas e estão ligados rigidamente. Neste caso a energia transmitida indiretamente, através dos elementos adjacentes contínuos, pode ser superior à energia transmitida diretamente pela parede separadora. A energia transmitida indiretamente poderia ser inferior caso não existisse uma ligação rígida entre a parede e os outros elementos construtivos. Contudo, no caso de paredes pesadas, torna-se, em geral, difícil garantir que não existe uma ligação rígida das paredes adjacentes à parede separadora (Tadeu, et al., 2010).

Quando uma das paredes laterais é mais leve que a parede de separação, a energia transmitida pelo elemento mais leve é bastante significativa, podendo condicionar o isolamento entre os dois locais. O aumento de isolamento da parede separadora terá muito pouca influência no isolamento efetivamente verificado. Nesta situação, quando as transmissões indiretas são mais importantes que as transmissões diretas, não se pode aumentar o isolamento sonoro entre os dois locais melhorando apenas a parede separadora. Torna-se, então, necessário atuar sobre as paredes laterais mais leves (Tadeu, et al., 2010).

Quando as paredes laterais são pesadas e a parede de separação é leve, a energia transmitida indiretamente pelos elementos adjacentes é significativamente inferior à energia transmitida diretamente pela parede separadora. No entanto há que considerar com cuidado a transmissão que pode ocorrer via teto-parede (figura 3.4). Caso a parede de separação tenha pouca inércia e a ligação entre esta e o teto seja rígida, o teto ao vibrar pode transmitir facilmente vibrações à parede separadora, resultando, desta forma, um isolamento entre os dois locais, inferior ao conferido apenas pela parede separadora. A minimização deste efeito poderá ser conseguida através do aumento da inércia da parede de separação, do corte da ligação existente entre os elementos adjacentes e a parede de separação ou da introdução de um elemento flexível nestas ligações (figura 3.5) (Tadeu, et al., 2010). Na prática opta-se, em geral, pelo aumento da inércia da parede de separação, de modo a que esta adquira comportamento acústico semelhante ao dos elementos adjacentes.

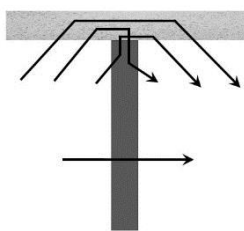


Figura 3.4 – Transmissão secundária via teto-parede

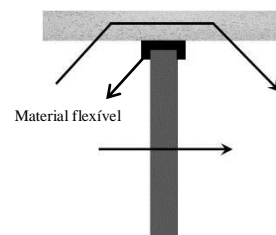


Figura 3.5 – Utilização de material flexível na ligação parede-teto ou parede-pavimento

Por vezes, para efetuar correções acústicas ou para ocultar elementos menos estéticos (como canalizações e vigas) procede-se à construção de tetos falsos. Caso a parede de separação não seja ligada rigidamente às adjacentes (Figura 3.6) verifica-se que as transmissões indiretas diminuem. Contudo, as transmissões para o local recetor podem aumentar através da reflexão das ondas sonoras no teto. Estas reflexões podem comprometer o isolamento entre os dois locais. Nestes casos é preferível que a parede separadora seja construída até ao teto (figura 3.7) ou prever a execução de uma viga falsa entre o teto falso, na zona da ligação à parede separadora, e o teto, conforme a figura 3.8. Esta última solução quando bem executada poderá ser eficaz, pois reduz em simultâneo as transmissões indiretas (Tadeu, et al., 2010).

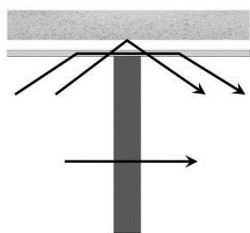


Figura 3.6 – Transmissão sonora através da caixa-de-ar do teto falso

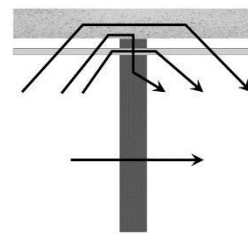


Figura 3.7 – Transmissão secundária através da ligação rígida teto-parede

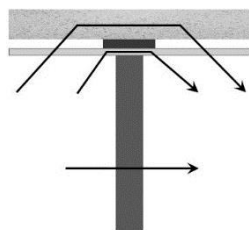


Figura 3.8 – Execução de uma viga falsa ou de uma ligação flexível entre o teto e a parede

Quando as paredes laterais, teto e pavimento são pesados e não têm continuidade, isto é, dois locais contíguos são desligados por meio de uma junta de separação e as paredes laterais apresentam um isolamento não inferior à parede de separação (Figura 3.9), as transmissões secundárias são desprezáveis e o isolamento sonoro aproxima-se do isolamento obtido em laboratório (Tadeu, et al., 2010).

Se as duas divisórias contíguas forem ligadas rigidamente (figura 3.10), o isolamento entre os dois locais é influenciado pelas transmissões secundárias. O peso destas transmissões varia com as propriedades acústicas da parede separadora e das paredes laterais (pavimento, teto e as duas paredes laterais) (Tadeu, et al., 2010).

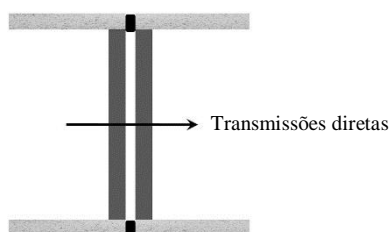


Figura 3.9 – Transmissão direta do som através de ligações flexíveis entre divisões

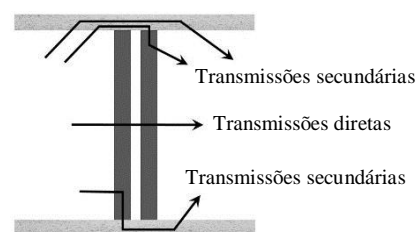


Figura 3.10 – Transmissão do som através de ligações rígidas entre divisões

3.5 Isolamento a sons aéreos

No isolamento a sons aéreos, existem duas situações que interessa distinguir: o isolamento entre o exterior e o interior, normalmente associado ao isolamento de fachada; e o isolamento entre compartimentos fechados. No primeiro caso, o isolamento sonoro depende essencialmente do vão envidraçado, em especial do caixilho e do vidro (grelhas de ventilação e caixas de estores, quando existem). No segundo caso, o isolamento sonoro depende não só do elemento de separação direto, em compartimentos contíguos, como da restante envolvente de cada compartimento que condiciona as transmissões secundárias (Mateus & Pereira, 2011).

Os ruídos aéreos que interessam o conforto acústico nos edifícios podem enquadrar-se em dois grandes grupos: ruídos exteriores e ruídos interiores. Os ruídos exteriores devem-se fundamentalmente à circulação rodoviária e ferroviária. Os ruídos interiores são devidos à utilização do próprio edifício e têm origem em múltiplas solicitações associadas ao seu uso pelos respetivos ocupantes (Patrício, 2000).

A transmissão de energia sonora num elemento de separação processa-se por vibração do elemento (excitação direta do ar), sendo a massa por unidade de área do elemento e a frequência do som variáveis relevantes. Com o aumento da massa do elemento, o isolamento aumenta, como consequência do aumento das forças de inércia. Aumentando a frequência do som incidente, mantendo o elemento com a mesma massa, a vibração do elemento diminui, verificando-se uma maior dissipação de energia sonora, e o consequente aumento do isolamento acústico.

Para além destas duas variáveis, existem outras que podem influenciar o isolamento acústico de um elemento de separação, nomeadamente o ângulo de incidência das ondas sonoras, a existência de pontos fracos de isolamento, a rigidez, o amortecimento do elemento e, no caso de elementos múltiplos, o número de painéis, características de cada um deles e sua separação (Tadeu, et al., 2010).

A transmissão sonora, por via aérea, é um fenómeno complexo que envolve, geralmente, transmissões diretas (quando existe um elemento de separação comum aos dois recintos) e transmissões indiretas ou secundárias (através dos elementos adjacentes), como mostra a figura 3.11.

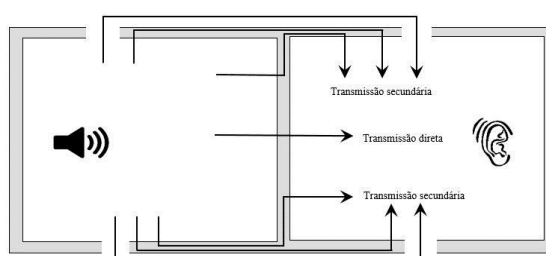


Figura 3.11 – Fenómenos de transmissão direta e indireta

No caso particular dos elementos envidraçados, aplicados na envolvente exterior dos edifícios, a transmissão do ruído proveniente do exterior do edifício processa-se de forma direta, sendo a transmissão indireta geralmente desprezável. Pelo contrário, quando os envidraçados são aplicados como elementos de compartimentação interiores, o estudo da transmissão sonora de um recinto para outro envolve a análise das transmissões que se processam também de forma indireta (Tadeu, et al., 2010).

A caixilharia exterior, integrando a envolvente do edifício, deve participar na função de separação, que esta assegura relativamente ao ambiente exterior, e na criação de um ambiente interior adequado à permanência humana e ao desenvolvimento das respetivas atividades. Entre as características de habitabilidade mais relevantes nas quais participa a caixilharia exterior contam-se a permeabilidade ao ar, estanquidade à água, o conforto térmico, o conforto visual e o conforto acústico (Viegas, et al., 2003).

Frequentemente as anomalias resultam de uma acumulação de erros e omissões de muitos desses intervenientes, contribuindo assim para a sua desresponsabilização na deficiente qualidade final neste produto.

O isolamento sonoro conferido por um vão envidraçado inserido num caixilho e eventualmente adjacente a uma caixa de estores, depende das características de isolamento de cada um dos elementos constituintes e das suas ligações. A falta de estanquidade proporcionada pelo caixilho, devido à existência de frinchas ou pontos fracos de isolamento, pode resultar num baixo isolamento conferido pelo vão envidraçado, podendo comprometer também o isolamento global do vão. A utilização de panos de vidro de elevado isolamento sonoro só se traduz num elevado isolamento global do vão envidraçado se a vedação de frinchas for convenientemente realizada e se os elementos envolventes ao vidro (caixilho e caixa de estores) assegurarem também um elevado isolamento sonoro (Tadeu, et al., 2010).

3.6 Isolamento a sons de percussão

Como foi referido anteriormente, um ruído aéreo, produzido num determinado local, afeta normalmente os locais mais próximos, enquanto um ruído de percussão pode propagar-se até locais bastante afastados visto o som ser transmitido por via sólida pela malha estrutural do edifício (figuras 3.12 e 3.13). Face ao exposto, podemos afirmar que os sons de percussão ou os sons de impacto podem ter um carácter mais incomodativo no comportamento acústico de um edifício. A transmissão sonora de sons de percussão, de um pavimento para os compartimentos vizinhos num edifício, ocorre geralmente por via marginal, através dos elementos adjacentes, e por via direta, quando o pavimento percutido é sobrejacente ao compartimento recetor (Mateus & Pereira, 2011).

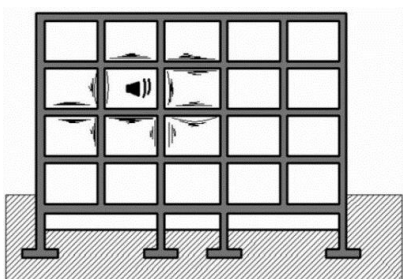


Figura 3.12 – Transmissão de ruído aéreo (Meisser, 1973)

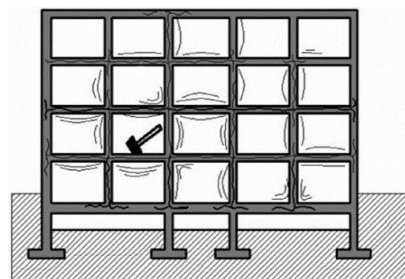


Figura 3.13 – Transmissão de ruído de percussão (Meisser, 1973)

A transmissão do som através da via sólida resulta quase exclusivamente de impactos, liberando também energia para o ar, resultado do equilíbrio dinâmico que se terá que manter em

todo o meio atravessado, enquanto dura o fenómeno de propagação. A transmissão ocorre predominantemente por via sólida pela malha estrutural do edifício.

Os sons ou ruídos de percussão são provenientes de choques ou de outras solicitações mecânicas aplicadas diretamente nos elementos de construção. Estes sons propagam-se acompanhados de vibrações da própria construção. São exemplos habituais de fontes de ruído de percussão as marteladas em paredes, o arrastamento de móveis, passos em pavimentos e o funcionamento de máquinas, sendo estes mais relevantes em cozinhas e casas de banho. Nestes locais geram-se normalmente maiores ruídos de percussão e existem boas condições para a sua propagação, tais como aquelas que resultam da existência de revestimentos mais rígidos.

A forma de impedir a transmissão de vibrações (isolamento) através da via sólida ao longo deste elemento passa pela interrupção do elemento que serve de suporte à propagação das ondas. Esta separação pode ser conseguida através da colocação de um material diferente ou com a utilização de uma caixa-de-ar. Se separarmos o elemento responsável pela transmissão de vibrações por meio de uma caixa-de-ar, as ondas de vibração ao chegarem à extremidade da primeira camada desse elemento são refletidas e apenas uma pequena parte da energia de vibração chega à extremidade da segunda camada de material.

Se a separação for executada com material duro e rígido, apenas uma pequena parte da energia de vibração é refletida na descontinuidade, pelo que grande parte da energia é transmitida à segunda camada do elemento. Caso o elemento responsável pela transmissão seja separado através de um material flexível e elástico (material resiliente) a energia de vibração que chega à superfície de separação é, em grande parte, refletida e apenas uma pequena parte é transmitida à segunda camada do elemento de separação.

Normalmente, a forma mais eficaz para evitar que ruídos provenientes de impactos se transmitam facilmente para outros locais consiste em utilizar um material flexível situado na zona onde é aplicado o choque. Desta forma a quantidade de energia vibratória transmitida ao elemento é baixa, dissipando-se a maior parte da energia no material flexível.

Um choque sobre uma superfície produz ondas vibratórias que se propagam rapidamente por todo o material. Para atenuar esta consequência podemos diminuir a quantidade de energia aplicada à superfície. Outra hipótese consiste em situar um obstáculo no caminho de propagação das ondas de vibração no solo realizando um corte de material em que é colocado um material resiliente, formando assim uma laje flutuante (Meisser, 1973).

Tendo em atenção que, na maior parte dos casos, as ações de choque ocorrem com mais probabilidade nos pavimentos do que nas paredes, o espaço acústico definido pelo compartimento situado imediatamente por baixo do pavimento percutido/excitado irá apresentar um campo sonoro com intensidade mais elevada. Quanto mais baixo for o valor do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, de um determinado elemento de compartimentação horizontal de um edifício, melhor é o isolamento sonoro que esse elemento pode conferir (Patrício, 2000).

3.7 Correção Acústica

A absorção acústica traduz-se no amortecimento das ondas sonoras que se propagam através do material. Os tipos de materiais utilizados na correção acústica têm como objetivo absorver energia sonora. Estes materiais podem ser materiais fibrosos ou porosos, ressoadores e ainda membranas.

Os materiais porosos ou fibrosos, como a lã de rocha, lã de vidro, espumas, alcatifas, são eficazes para altas frequências (1600 Hz a 6400 Hz). A existência de poros (cavidades cheias de ar) que comunicam entre si, permitindo as ondas sonoras penetrarem e propagarem-se por esses interstícios, faz com que se aproxime a impedância específica do material poroso à do ar. O movimento do ar contido nesses orifícios permite a dissipação da energia cinética em calor (Tadeu, et al., 2010).

Os ressoadores (figura 3.14) são eficazes para médias frequências (400 Hz e 1600 Hz). Os ressoadores são constituídos por um painel perfurado colocado a uma distância do elemento de suporte rígido vertical ou horizontal. Uma onda sonora ao entrar num ressoador põe em movimento a massa de ar do orifício do ressoador. Se a frequência do som incidente for próxima da frequência característica do ressoador, a velocidade e a amplitude do movimento da massa de ar do gargalo aumentam, provocando vibrações acentuadas no ressoador as quais, por atrito, acabam por dissipar, parte da energia sonora incidente (Tadeu, et al., 2010).

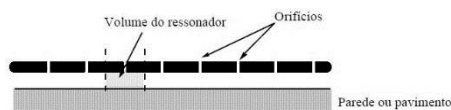


Figura 3.14 – Esquema de funcionamento de um ressoador (Tadeu, et al., 2010)

As membranas (figura 3.15) são eficazes para baixas frequências (100 Hz a 400 Hz). Este tipo de material é constituído por uma placa flexível separada de uma base de suporte, vertical ou horizontal, mediante apoios. A absorção do som é feita através da dissipação da energia sonora no movimento da placa que funciona como membrana. O som ao incidir na placa provoca um movimento vibratório, dissipando parte da energia incidente (Tadeu, et al., 2010).

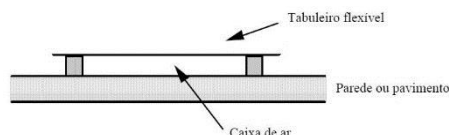


Figura 3.15 – Esquema de funcionamento de uma membrana acústica (Tadeu, et al., 2010)

A correção acústica permite resolver problemas a nível das divisões de um edifício permitindo obter um ambiente sonoro agradável, ajustando a duração da reverberação do espaço, e reduzindo o nível de ruído devido a fontes de ruído (Meisser, 1973). Para fazer a correção acústica de um edifício não basta apenas conhecer as características do material a utilizar. É importante conhecê-los, escolhê-los e sobretudo prever o seu modo de atuação.

Muitos dos erros de correção acústica são devidos ao mau tratamento realizado através da colocação de materiais absorventes sem um estudo prévio. É importante estudar o espaço que vai ser alvo de correção acústica, bem como as melhores soluções a serem lá implementadas. Existem certos aspetos que poderão determinar a escolha de um tipo de solução em detrimento de outras, entre as quais o aspeto estético, a compatibilidade com outros componentes ou outros materiais, a rapidez e facilidade de instalação, a rapidez e facilidade de reparação, a manutenção e facilidade de limpeza, a possibilidade de pintura e o espaço disponível para a sua aplicação (Domingues, 2005).

Os principais fatores a ter em conta no tratamento acústico são: o fim a que se destina o edifício, o volume do espaço, a superfície e natureza das paredes e ainda o tipo de mobiliário e número de ocupantes.

4. ERROS DE CONSTRUÇÃO E O DESEMPENHO ACÚSTICO

4.1 Introdução

Cada vez mais o desempenho acústico dos edifícios ganha um papel importante no que toca ao conforto dos seus utilizadores. Muitos dos erros cometidos que comprometem o bom desempenho acústico estão relacionados com erros cometidos ao nível do projeto da obra e ao nível da sua execução.

Os empreiteiros ao procurarem reduzir custos em obra, com a minimização de despesas e a redução de pessoal, tendem a reunir diversas situações de erros ao longo do percurso da obra. Em obras de menor dimensão e especificidade, o recurso a empreiteiros com menor capacidade financeira, torna frequente a concorrência de diversas situações para o aparecimento de patologias prematuras.

Neste capítulo irão ser destacados dois tipos de erros: os erros de projeto e os erros de execução, tanto a nível de paredes, de pavimentos e ainda de equipamentos e instalações técnicas. Irá ser dado destaque também às boas práticas na conceção e execução de pormenores construtivos que comprometem o desempenho a nível acústico.

Desta forma, toda a informação aqui reunida poderá ser útil tanto para projetistas como construtores ao nível de todo o processo da construção visando sempre o bom funcionamento do isolamento acústico.

Alguma da informação apresentada neste capítulo tem como referência bibliográfica a Ação COST TU0901. A Ação COST TU0901, ação de Cooperação Europeia no domínio da Ciência e Tecnologia, tinha como base a integração e a harmonização de aspetos relacionados com o isolamento sonoro em edifícios de habitação urbanos sustentáveis. O principal objetivo desta ação era harmonizar, a nível europeu, os descritores para o isolamento a sons aéreos e sons de percussão e propor um esquema de classificação acústica para os edifícios de habitação.

4.2 Erros de projeto e o desempenho acústico

A ausência ou insuficiente pormenorização de detalhes construtivos nos projetos das construções traduz-se num acumular de erros que podem tornar-se graves, são chamados os erros de projeto. Estes erros são derivados da falta de definição e omissões de projeto que passam dissimuladas durante determinada fase de construção. Estes erros dificilmente têm solução simples e, menos ainda, económica para reposição do comportamento esperado da construção. Por outro lado, estes erros causam por vezes a necessidade de reparação de patologias secundárias que não se manifestaram se estes erros não tivessem sido executados. Neste tipo de patologia, será frequente não se ter apenas de corrigir a patologia em si mas também os defeitos causados por arrastamento (Sequeira, 2003).

Os principais erros de projeto são a ausência de pormenorização adequada e a falta de qualidade originados pelo tempo de estudo insuficiente, projetos incompletos e mal detalhados, falta de coordenação entre especialidades, desconhecimento da tramitação de processos e ainda a ausência de apreciação sistemática quanto ao controlo de qualidade no processo.

Muitas vezes são encontradas certas deficiências que comprometem o desempenho final da construção como a ausência do próprio projeto de execução. Quando o projeto de execução existe, muitas vezes apresenta certas carências como a falta de pormenorização, a inexistência do caderno de encargos, a omissão de medições e orçamentação, falta de compatibilização dos projetos de várias especialidades e ainda os próprios erros de projeto, a nível de escalas e geometrias (Sequeira, 2003).

4.2.1 Ausência de projeto de execução – falta de pormenorização

Um projeto de execução é todo um processo composto por elementos desenhados e escritos a nível das especialidades de arquitetura, estruturas, abastecimento e drenagem de águas, eletricidade, térmica, acústica e infraestruturas de telecomunicações em edifícios (ITED).

A informação concedida por este processo torna-se por vezes escassa no que toca aos processos de construção. Os diferentes materiais que compõem todo o processo de construção desempenham funções distintas na construção, sendo por isso necessário especificar a sua forma de colocação em obra, a ordem por que são colocados, entre outros. A ausência de pormenorização

deixa a cargo do empreiteiro a decisão do processo de construção, o que vai levar a alterações de projeto e consequentemente ao aparecimento de patologias.

4.2.2 Inexistência de caderno de encargos

O caderno de encargos regula as características gerais da obra e o ambiente em que esta deverá decorrer. A omissão deste tipo de informação leva a que o empreiteiro tome decisões quanto aos materiais a aplicar ou aos procedimentos em obra, o que por vezes se torna desastroso a nível das exigências da construção. As consequências disto acabam sempre pela aplicação de materiais de menor garantia de qualidade e por processos convenientes aos intervenientes da obra, o que pode levar a que a restante instalação fique comprometida em qualidade e durabilidade por não ser capaz de corresponder às solicitações de uma determinada componente instalada, resultando numa diminuição da vida útil de todos os componentes da construção.

4.2.3 Omissão de medições e de orçamentação

A quantificação de custos é feita com base em hipóteses resultantes de um fator de custo por unidade de área. Este tipo de estimativa corresponde às exigências de projeto e poderá contribuir para um acompanhamento eficaz dos custos da obra. Quanto mais pormenorizada e específica for a empreitada, menor será a margem de imprevistos e menor a margem para erros de orçamentação.

A ausência de medições vem agravar progressivamente o risco de uma intervenção em obra. Quanto mais a jusante a empreitada se encontrar no faseamento da construção, maior será a interferência na qualidade e no cumprimento dos prazos das empreitadas anteriores.

4.2.4 Falta de compatibilização dos projetos das diversas especialidades

A redução de preços e prazos na elaboração do projeto, provoca igualmente uma distorção na compatibilização dos projetos das diversas especialidades intervenientes, entre os quais podemos destacar os seguintes: escassez de espaço destinado à localização de equipamentos das diversas especialidades, inexistência de negativos previstos no projeto de estruturas para atravessamentos das tubagens de água, esgotos, electricidades, telefones e sistemas de aquecimento,

ventilação e ar condicionado (AVAC), que resultam frequentemente no atravessamento de elementos estruturais sensíveis por negativos para tubagens das diversas especialidades, incompatibilidade de cotas entre zonas exteriores e interiores do edifício para uma drenagem eficaz das águas pluviais e ainda a impossibilidade de colocar algumas das tubagens nas espessuras previstas para os enchimentos e regularização dos pisos da obra.

Os erros de projeto a nível do desempenho acústico baseiam-se principalmente na constituição do projeto em si bem como nos pormenores que levam a alcançar um bom conforto acústico no edifício em causa. A disposição do edifício é um ponto primordial no que toca à qualidade acústica do edifício. Outro aspeto a ter em conta é a constituição dos elementos de separação: paredes e pavimentos.

4.2.5 Localização e disposição dos edifícios

Para evitar alguns dos problemas de ruído no interior dos edifícios é importante ter atenção no projeto à distribuição dos compartimentos, nas plantas. É essencial que zonas ruidosas, como cozinhas, casas de banho e salas de estar, estejam longe de zonas mais tranquilas e silenciosas como os quartos de dormir. Esta é uma regra essencial para contribuir para o conforto acústico dos utilizadores.

Um projetista ao desenhar a planta do edifício tem de ter em atenção desde o início à localização de cada divisão. Uma planta de um edifício deve ter sempre em atenção a qualidade acústica resultante final, apesar de nem sempre ser fácil, como no caso de alterações de edifícios já existentes, onde o projeto já está fixado.

Alguns erros de projeto, mais relacionados com a arquitetura, que resultam num mau comportamento acústico são:

- Quartos de dormir junto a casas de banho, cozinhas e salas de estar;
- Escadas entre diferentes pisos adjacentes a quartos de dormir;
- Caixa do elevador localizado junto à zona dos quartos;
- Espaços comerciais localizados junto a habitações;
- Equipamentos ruidosos, como os sistemas AVAC, sem qualquer tipo de tratamento acústico e localizados junto a janelas;
- Despensas com equipamentos (máquina de lavar roupa, aquecimento, máquina de secar roupa, entre outros) próximo das salas de estar e dos quartos;

- Janelas grandes e varandas viradas para fontes de ruído, como estradas e caminhos-de-ferro;
- Porta de garagem automatizadas localizadas debaixo das habitações.

Na figura 4.1 estão apresentados dois exemplos de disposição em planta de edifícios acusticamente favorável (figura 4.1 a) e desfavorável (figura 4.1 b). Na figura 4.1 a) está representado um exemplo de um projeto favorável: as áreas ruidosas (casas de banho, cozinhas, escadas, elevador) estão agrupadas em conjunto. Os corredores funcionam como espaços tampão entre áreas ruidosas e áreas mais tranquilas. Na figura 4.1 b) está representado um exemplo de um projeto desfavorável ao bom comportamento acústico: as escadas e o elevador (fontes ruidosas) estão adjacentes às salas de estar, havendo por isso transmissão de ruído para o interior dessas divisões.

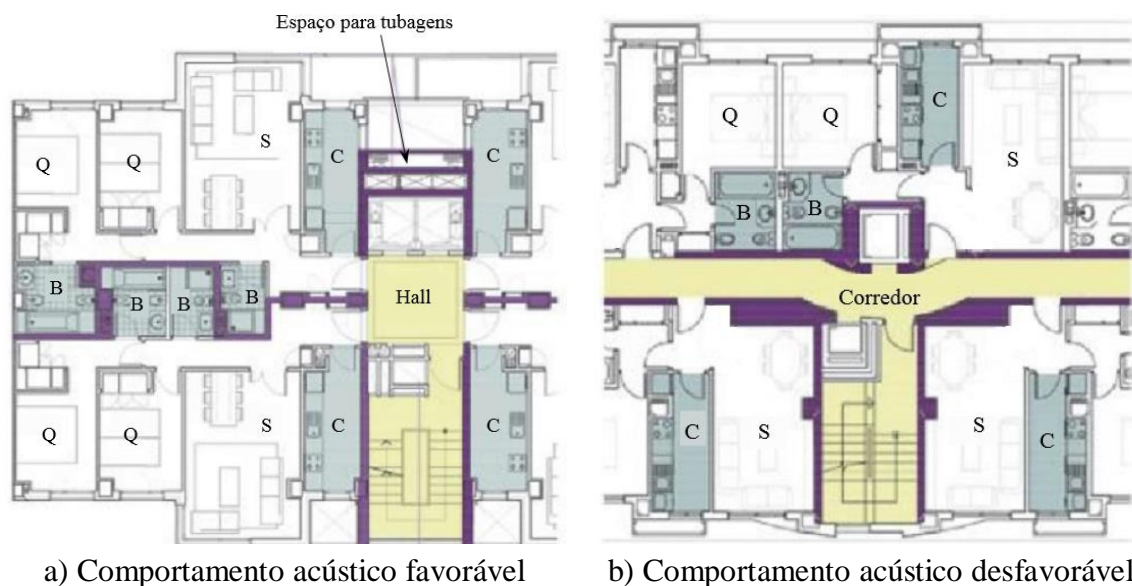


Figura 4.1 - Plantas de edifícios Adaptado de (COST, 2004)
Q – Quarto; S – Sala de Estar; B – Casa de Banho; C – Cozinha.

Na figura 4.2 podemos observar uma situação real em que o projeto do edifício contorna o problema dos ruídos provenientes do exterior. A configuração do projeto é propícia a ser eficaz quanto ao isolamento de sons aéreos provenientes do exterior. Sendo as janelas um elemento da construção mais frágil em relação ao isolamento de sons aéreos das fachadas, têm, neste projeto, uma menor dimensão na fachada virada para a via de trânsito. A diminuição da área dos elementos que isolam menos irá proporcionar um maior isolamento ao ruído.



a) Fachada exterior orientada para a fonte de ruído

b) Fachada exterior orientada para pátio interno

Figura 4.2 – Exemplo de edifício, em Madrid (COST, 2014)

Na figura 4.3 é apresentada um esquema de ordenamento do território. Como verificamos existem certos pormenores na construção de edifícios que são benéficos para a diminuição da propagação de ruídos, como o fato de haver construções em que as fachadas estão viradas para um pátio interior entre edifícios. Uma situação desvantajosa é a construção de blocos de edifícios perpendicularmente às vias de tráfego, permitindo a passagem de ruído entre eles.

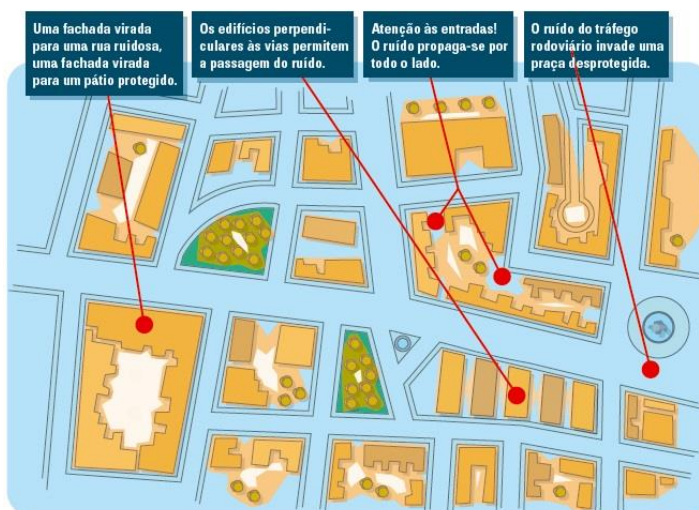


Figura 4.3 – Exemplo de planeamento (Ambiente, 2004)

Na figura 4.4, é sugerida uma proposta de intervenção para as grandes cidades, pois estas são alvo de grandes níveis de ruído. Nesta proposta é apresentada uma solução que tem como base

a criação de zonas verdes que irão funcionar como barreira à propagação do ruído, a nível de ruído de tráfego, em conjunto com uma barreira constituída por edifícios comerciais e/ou de serviços.



Figura 4.4 - Localização de edifícios para proteção do ruído (Ambiente, 2004)

4.2.6 Elementos de separação

No projeto de um edifício, no que toca às paredes divisórias, devem ser considerados alguns aspetos importantes em termos de acústica, nomeadamente desenhar em pormenor os detalhes das juntas entre divisórias para minimizar e evitar o efeito da transmissão marginal.

Alguns erros cometidos a nível de projeto na área das paredes divisórias são: escolha de materiais com fracas propriedades de isolamento sonoro, uso de material de isolamento térmico não poroso (com pouca absorção sonora), como o poliestireno expandido ou o poliuretano, falta de detalhe nos pontos singulares sujeitos a transmissão marginal, caixas elétricas localizadas simetricamente em ambos os lados da parede, canal de ventilação único para vários andares do edifício e o alojamento de instalações técnicas de águas, esgotos (figura 4.5) e AVAC entre paredes de habitações unifamiliares.

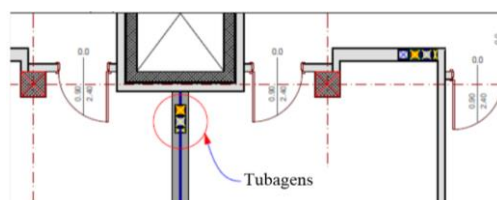


Figura 4.5 – Mau exemplo de localização de tubagens no interior de paredes divisórias de diferentes apartamentos de um edifício (COST, 2014)

4.2.7 Instalações Técnicas e Equipamentos

O desenvolvimento das redes técnicas dos edifícios, nomeadamente devido a novas exigências sobre as redes de águas (residuais e pluviais), de eletricidade, de gás, de aquecimento, de combate a incêndios, de telecomunicações, de ventilações, de aspiração centralizada e de instalação de elevadores, determinou uma maior complexidade nos projetos. Consequentemente, a coordenação e a compatibilização em obra dos atravessamentos e dos espaços para estas instalações técnicas passou a ser um problema adicional porque não pode não estar previsto em fase de projeto.

As implicações em obra, com sacrifício dos elementos estruturais cortados para permitirem atravessamentos de tubagens não previstas, são um dos problemas mais frequentes e preocupantes. Esta clara desadequação conduz ao improviso, menor qualidade da construção, maiores custos e menor flexibilização das soluções e adequação a futuras evoluções, fator importante dado o ritmo da evolução tecnológica (Santo, 2003).

O ruído proveniente das instalações de águas e esgotos dos edifícios é muitas vezes um fator de incomodidade com grande relevância. Nestes casos a limitação do ruído provocado pelas referidas instalações passa pela organização dos compartimentos, onde é produzido o ruído, de modo a concentrar e isolar os locais mais sensíveis a este tipo de ruído. Por outro lado, devem-se dimensionar e montar as canalizações e as peças dos equipamentos de acordo com regras que a experiência recomenda no sentido de reduzir a vibração transmitida aos elementos de construção que as suportam ou as integram. As várias componentes das canalizações (torneiras, fluxómetros e autoclismos) devem selecionar-se com base na informação da sua qualidade acústica, pois constituem importantes fontes de produção de ruído (Tadeu, et al., 2010).

Os erros mais frequentes em projeto associados a instalações técnicas e equipamentos são o mau dimensionamento das velocidades de escoamento de águas, levando por vezes a velocidades excessivas, irregularidades nas características e no traçado das canalizações, permitindo a ocorrência de fenómenos de cavitação e turbulência, e ainda o incorreto traçado e dimensionamento das redes das instalações de esgotos.

4.3 Erros de execução e o desempenho acústico

A escassez de empreiteiros que dispusessem de mão-de-obra com a devida formação e de um conhecimento compatível com a implementação de uma política da qualidade traduziu-se numa

redução das qualidades das construções e na repetição de erros sistemáticos, durante a fase de obra, que se revelaram contraproducentes para a viabilidade económica dos próprios construtores, para além de terem acumulado patologias e disfunções nos edifícios que representam custos de reparação com algum significado (Sequeira, 2003).

Os principais fatores que contribuem para uma má qualidade da estrutura dos edifícios têm origem em quatro aspetos distintos:

- A necessidade de economizar em todos os custos diretos, tempo investido, equipamentos e materiais;
- A falta de mão-de-obra qualificada que não permite a obtenção de uma maior produtividade;
- A desresponsabilização dos intervenientes diretos na execução das estruturas;
- A reduzida fiscalização a que os procedimentos de execução estão submetidos (Sequeira, 2003).

Também a evolução progressiva dos sistemas construtivos trouxe algumas desvantagens quanto aos erros cometidos na sua execução. A evolução da construção para uma solução de construção do tipo multicamada, trouxe novos requisitos de controlo da qualidade e de capacidade de execução para o meio de construção civil. A edificação por camadas apresenta as seguintes características:

- Independência de funções por camadas;
- Redução da espessura máxima de cada camada;
- Necessidade de compatibilização de materiais de características diferentes;
- Dependência do conjunto da qualidade de execução de cada elemento individual (Sequeira, 2003).

Os tipos de dispositivos de interligação característicos deste sistema podem ser pontuais (aparafusamentos, apoios simples, juntas de topo), lineares (rufos nos encontros de impermeabilização, juntas de dilatação), e em área (revestimentos contínuos, descontínuos e colados). Estes constituem grandes pontos fracos no que toca ao campo da acústica pois muitas vezes apresentam deficiências de ligação entre elementos de materiais diferentes.

4.3.1 Erros que condicionam o isolamento a sons aéreos

O uso incorreto de soluções construtivas ou o uso de materiais inadequados, e por vezes sem estarem nas melhores condições, levam a um mau comportamento a nível de isolamento a sons aéreos. Os erros mais comuns de construção são:

- Falta de argamassa nas juntas verticais em paredes de alvenaria (figura 4.6);
- Reboco com espessura insuficiente;
- Fissuração do reboco;
- Material de isolamento sonoro não contínuo na caixa-de-ar entre paredes duplas;
- Fissuração do material isolante entre panos de paredes duplas devido à abertura de cavidades para instalações técnicas;
- Instalação incorreta de material elástico no topo das paredes duplas;
- Camada resiliente na base das paredes, por vezes com fracas características resistentes, podendo levar ao seu esmagamento;
- Armazenamento de restos de argamassa na base da caixa-de-ar de paredes duplas;



Figura 4.6 – Falta de argamassa nas juntas verticais da alvenaria (COST, 2014)

4.3.2 Erros que condicionam o isolamento a sons de percussão

Conseguir obter um bom isolamento acústico a sons de percussão é uma questão muito sensível, mesmo quando se aplicam pavimentos flutuantes. A principal regra para o bom desempenho acústico dos pavimentos é evitar qualquer contacto entre o pavimento e as paredes interiores ou exteriores, bem como com a laje estrutural. Os erros mais comuns a este nível são:

- Rodapé em contacto direto com o revestimento do pavimento;
- Revestimento de piso em contacto direto com as paredes;
- Banda resiliente mal colocada entre o pavimento e as paredes. Muitas vezes existe folgas que propiciam a presença de argamassa;

-
- Banda resiliente com comprimento insuficiente ou aparada mesmo antes da colocação do pavimento;
 - Ausência de banda resiliente no perímetro dos caixilhos de “janelas-porta”;
 - Contacto rígido através do uso de argamassas em mosaicos nas soleiras de “janelas-porta” e portas;
 - Falta de separação estrutural entre a lajeta flutuante e portas;
 - Superfície base do pavimento irregular e indevidamente limpa, podendo originar a ruptura da manta resiliente e criar uma ligação rígida entre a lajeta flutuante e a laje.
 - Presença de tubagens sem revestimento de mangas flexíveis e assentes diretamente em argamassa;
 - No caso das casas de banho, a existência de um número elevado de tubagens no pavimento numa pequena área;
 - Falta de isolamento em tubos de sistemas de aquecimento e fixação com elementos rígidos, como argamassa, criando assim pontes sólidas suscetíveis à passagem de sons de percussão;
 - Fixação incorreta de tubagens com parafusos de fixação a tetos. Os parafusos não devem tocar nas vigas;
 - Em pavimentos de madeira, nomeadamente os soalhos, as ripas são assentes incorretamente, por vezes sem presença de um material resiliente nas ligações.

4.3.3 Elementos de separação vertical

O isolamento de sons nas fachadas dependem em muito da sua tipologia, do número de janelas da fachada, bem como do tipo de material usado nas caixas-de-ar, no caso de paredes duplas. Os principais erros neste campo são:

- Frinchas entre a porta e a parede demasiado grandes;
- Ausência de material de absorção sonora nas caixas de estore embutidas na parede;
- Caixas de estore incorretamente ligadas à parede;
- Falta de argamassa no assentamento de janelas;
- Áreas de contacto entre o vidro e a caixilharia indevidamente seladas.

A execução de paredes na sua ligação ao teto também é um ponto determinante neste assunto. Por vezes são cometidos erros que podem ser de difícil observação mas que comprometem negativamente o isolamento sonoro. Um desses casos é demonstrado na figura 4.7, em que o acabamento do topo da parede não está corretamente efetuado. Como vemos na figura, há uma

insuficiência de argamassa nas ligações da parede à laje de teto, o que faz com que haja um caminho preferencial no topo da parede de alvenaria para o som passar de um lado para o outro. O facto da camada de reboco ser muito delgada propicia uma maior passagem de ruído através das paredes divisórias do edifício.

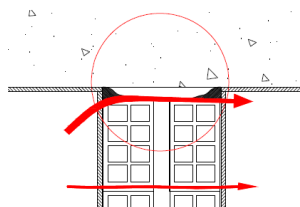


Figura 4.7 - Parede de alvenaria de tijolo furado com insuficiência de argamassa nas juntas de assentamento (Mateus & Pereira, 2011)

No caso de divisórias em gesso cartonado, como mostra a figura 4.8, ou outros materiais leves, a aplicação de tomadas elétricas a par, sito é, alinhadas em ambos os lados da parede divisória, sem qualquer tipo de reforço, faz com que haja uma quebra significativa do isolamento conferido pela parede. A aplicação de condutas de ventilação com continuidade entre compartimentos adjacentes sem atenuadores sonoros (figura 4.9) é outro dos grandes problemas a nível de isolamento a sons aéreos.

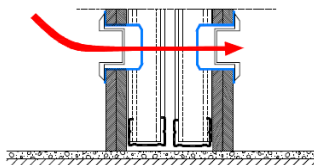


Figura 4.8 – Passagem de ruído devido à existência de caixas elétricas emparelhadas (Mateus & Pereira, 2011)

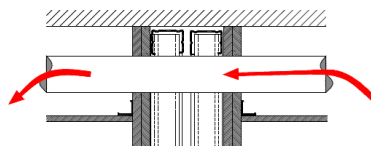


Figura 4.9 – Passagem de ruído devido à passagem de condutas (Mateus & Pereira, 2011)

Estes erros, apesar de muitas vezes serem vistos como um erro de execução, podem ser também considerados erros de projeto, pois, com frequência, este tipo de pormenores não vêm especificados no projeto nem estão previstos desde o início do projeto.

Uma das funções principais da caixa-de-ar das paredes duplas é a contribuição para a proteção do interior da habitação contra a ação da água da chuva. Em complemento, contribui para a resistência térmica e acústica da parede. A caixa-de-ar de paredes duplas apresenta frequentemente diversas anomalias que impedem o seu adequado desempenho a nível da acústica como a irregularidade das superfícies, com eventual contacto entre as “rebarbas” de argamassa das juntas de assentamento dos dois panos, a obstrução da caleira resultante da acumulação de detritos durante a construção, sem a posterior limpeza e ainda largura insuficiente ou excessiva. A colocação incorreta dos grampos entre os panos alvenaria e das placas de isolamento são também fatores que afetam o desempenho da caixa-de-ar e, conseqüentemente, da parede dupla (Silva & Abrantes, 2008).

A existência de ligações rígidas entre os panos de uma parede múltipla pode introduzir reduções bastante significativas no seu isolamento acústico. Numa parede de separação com dois painéis pesados a transmissão do som entre dois painéis totalmente desligados é conseguida através da vibração do ar existente na caixa-de-ar, funcionando esta como uma mola flexível. Se adicionalmente existirem ligações rígidas (Figura 4.10), o conjunto funciona como se existisse uma mola muito mais rígida ligando os dois painéis, resultando uma maior transmissão sonora entre os dois. O aumento do número de ligações rígidas pode conferir à parede dupla um pior comportamento acústico do que aquele proporcionado por uma parede simples de igual massa. Na verdade, para além das quebras devidas ao efeito de coincidência, a parede dupla apresenta quebras de isolamento adicionais tais como aquelas que resultam de fenómenos de ressonância da caixa-de-ar (que não existem numa parede simples) (Tadeu, et al., 2010).

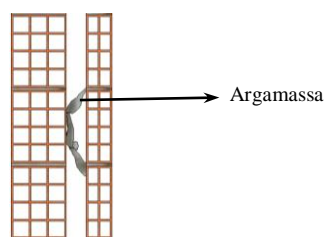


Figura 4.10 – Parede dupla com ligações rígidas entre panos

Numa parede dupla constituída por um painel pesado e outro leve, a parede mais pesada serve, de suporte ao painel mais leve (figura 4.11). A fixação destes painéis é executada mediante ligações que são rígidas, por vezes numerosas. Consequentemente, o isolamento acústico da parede dupla poderá não aumentar em relação à parede constituída apenas pelo painel mais pesado. Caso se coloque o pano mais leve do lado da fonte produtora de ruído este pode ser usado para "amortecer" parte da energia sonora incidente, reduzindo a energia que atinge a parede mais pesada (Tadeu, et al., 2010).

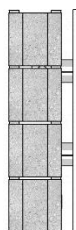


Figura 4.11 – Parede dupla constituída por um painel pesado e outro leve

No caso de soluções, com ambos os painéis leves, o isolamento sonoro melhorará, caso se coloque um material flexível entre os perfis de apoio e um dos painéis, como ilustra a figura 4.12.



Figura 4.12 – Parede dupla constituída por dois painéis leves sem ligações rígidas

O recurso a isolantes projetados sobre a face exterior do pano interior, com posterior construção do pano exterior, também é adequado desde que seja garantida a uniformidade do sistema (quer nas características do material, quer na sua espessura efetiva). O recurso a isolantes flexíveis (por exemplo mantas de lã mineral) exige a construção posterior do pano exterior e um cuidado redobrado na fixação, para prevenir desalinhamentos, deformação posterior ou perda de verticalidade ou, ainda, contacto com o pano exterior de alvenaria (Silva & Abrantes, 2008).

Como foi referido anteriormente, a falta de estanquidade proporcionada pelo caixilho, devido à existência de frinchas ou pontos fracos de isolamento, pode resultar num baixo isolamento conferido pelo vão envidraçado ao edifício. Na figura 4.13, podemos ver que existe uma abertura excessiva entre o caixilho da janela e a parede de fachada, aumentando muito a permeabilidade do ar e fazendo com que haja uma passagem direta de sons aéreos do exterior para o interior do edifício.



Figura 4.13 – Má execução da junta entre o caixilho da janela e a parede de alvenaria (COST, 2014)

A figura 4.14 permite ilustrar o mau desempenho das caixas de estore embutidas na parede de fachada dos vãos envidraçados, pois muitas vezes estas permitem uma passagem direta de ruído, visto a própria caixa de estore e a sua tampa terem um fraco desempenho acústico. O facto das janelas duplas terem dois panos de vidro de igual espessura também contribui para o mau desempenho acústico, pois os vidros da mesma espessura contribuem para agravar as quebras de isolamento na zona da frequência crítica.

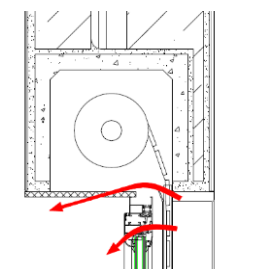


Figura 4.14 – Mau desempenho acústico das caixas de estore (Mateus & Pereira, 2011)

Outro problema que compromete o desempenho acústico, apresentado na figura 4.15, é o facto da abertura entre a caixa de estore e a parede de fachada ser muito grande levando à diminuição do conforto acústico da habitação.



Figura 4.15 – Abertura de elevada espessura entre a caixa de estore e a parede de fachada (COST, 2014)

4.3.4 Elementos de separação horizontal

No caso de pavimentos com lajeta flutuante em betão ou em argamassa, um dos problemas recorrentes é a formação de pontos rígidos na ligação com a laje, através da penetração de fluidos da argamassa pela membrana resiliente do pavimento. No caso de pavimentos com revestimento cerâmico colado, os fluidos ao penetrarem nas juntas ou em rasgos vão formar pontos rígidos junto ao rodapé ou às soleiras das portas, através do cimento cola de fixação do revestimento.

Muitas vezes as bandas resilientes do isolamento do pavimento não estão colocadas devidamente, criando pontos de passagem preferencial dos sons de impacto entre o pavimento e a parede adjacente (figura 4.16).

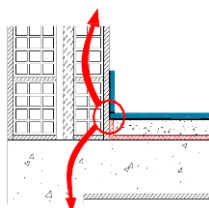


Figura 4.16 – Erro de colocação da banda resiliente em pavimentos, criando um ponto de passagem de ruído (Mateus & Pereira, 2011)

No caso da lajeta do piso ser contínua entre diferentes compartimentos e não existir uma quebra na lajeta, como uma junta de dilatação, há uma diminuição do isolamento principalmente aos sons de percussão visto a vibração provocada num compartimento percorrer toda a lajeta até chegar ao compartimento vizinho (figura 4.17).

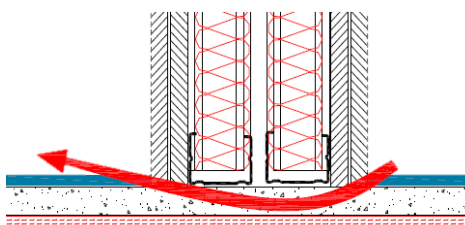


Figura 4.17 – Betonilha flutuante com continuidade entre compartimentos (Mateus & Pereira, 2011)

A utilização de pavimentos flutuantes em madeira ou derivados de madeira nem sempre é uma boa solução em termos de isolamento a sons de percussão, especialmente se a membrana resiliente for muito fina. Esta pode ser atravessada por grãos de areia ou pequenas pedras que em obra geralmente não são limpas antes da aplicação do pavimento flutuante, criando assim uma quebra no isolamento, provocando por vezes até a degradação precoce do pavimento.

No caso dos tetos falsos, a aplicação de suspensões rígidas e a falta de material isolante compromete muito o desempenho acústico esperado. Também a presença de sistemas de iluminação embutida e grelhas de ventilação é um ponto fraco no que toca à passagem de ruídos (figura 4.18).

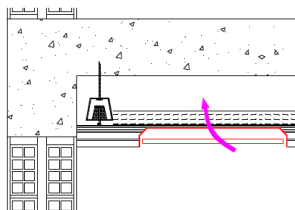


Figura 4.18 – Sistema de teto falso com presença de pontos fracos como o sistema de iluminação (Mateus & Pereira, 2011)

4.3.6 Instalações técnicas

A regulamentação estabelece limites para os níveis dos ruídos com origem no funcionamento de equipamentos e instalações que integrem os edifícios, quando estes ruídos se manifestem em espaços internos dos edifícios.

As causas que determinam a ocorrência de ruídos podem ser diversas, podendo considerar-se, que estará em causa propagação por via estrutural e por via aérea. Ocorre propagação por via estrutural quando o funcionamento do equipamento ou da instalação dê lugar à aplicação de estimulações mecânicas a elementos de construção do edifício, as quais se propagam, manifestando-se sob a forma de ruído emitido em consequência da vibração de elementos de construção que constituam a envolvente do espaço onde ocorra o ruído. A propagação por via aérea é consequência direta de emissões de ruído por parte dos equipamentos difundindo-se por via guiada (por exemplo através de redes de condutas) ou não guiada até aos espaços onde se manifeste (Silva, 2006).

Os erros e defeitos de construção das instalações traduzem-se, em regra, em fatores incómodos, como o ruído, e em durabilidades reduzidas, com consequentes problemas de roturas e humidades, obrigando a intervenções em geral de custo significativo e de elevado incómodo para os utilizadores.

Os erros mais frequentes a nível de execução são:

- Presença de ar ou vapor de ar dentro das canalizações resultado da deficiente inclinação das tubagens;
- Vibrações introduzidas na edificação pelas canalizações resultantes dos suportes dos tubos;
- Mau funcionamento de válvulas e torneiras devido à incorreta instalação das mesmas;
- Má alimentação de aparelhos sanitários devido ao mau assentamento destes;
- Tubagens das águas residuais e tubagens de sistema de aquecimento com restos de argamassa (figura 4.19);
- Falta de isolamento acústico nas tubagens;
- Conexão entre tubagens de águas residuais e paredes feitas com pontos de ligação rígidos (figura 4.20);
- Corte de pavimentos para a passagem de tubagens (figura 4.21);
- Mudanças de direção bruscas das tubagens de águas residuais (figura 4.21);
- Ausência de silenciadores nos sistemas de ventilação;

- Tubagens de sistema de aquecimento a passar entre paredes sem qualquer tipo de previsão para o efeito;
- Execução de *courettes* com pequena espessura e muitas vezes com revestimento muito delgado;
- Falta de isolamento acústico no interior da *courette* (figura 4.22).



Figura 4.19 – Tubagens com resíduos de argamassa (COST, 2014)

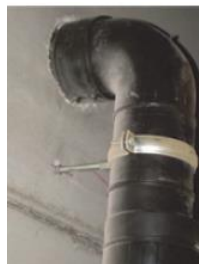


Figura 4.20 – Tubagem com ligações rígidas



Figura 4.21 – Corte de pavimentos para passagem de tubagens e mudanças de direção brucas (COST, 2014)

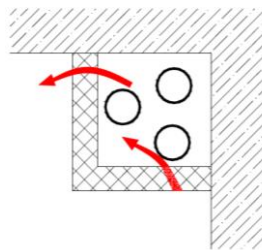


Figura 4.22 – Falta de isolamento acústico nas *courettes*

5. BOAS PRÁTICAS DE EXECUÇÃO

Nesta secção irão ser apresentadas algumas soluções tidas como boas práticas de execução a fim de diminuir os erros de aplicação das soluções construtivas, promovendo assim o seu bom desempenho acústico.

5.1 Elementos de separação vertical

Como vimos na secção 3.2, as paredes ao longo dos tempos têm vindo a sofrer alterações, começando apenas por serem compostas por um pano de alvenaria em pedra até aos dias de hoje com alvenaria dupla em tijolo cerâmico furado ou outras soluções mais sofisticadas.

Na execução de paredes divisórias é importante ter em atenção certos pormenores que irão influenciar muito a transmissão de sons e o seu isolamento acústico. Alguns métodos para melhorar o isolamento acústico de paredes de alvenaria são:

- Revestimento de paredes de separação, reduzindo a transmissão de ruído;
- Aplicação de fibras minerais, como forma de isolamento, na parede existente;
- Isolamento das paredes com uma ou duas placas de gesso fixadas em suporte de madeira ou aço sem nunca entrarem em contacto com a parede já existente. A cavidade deve ser preenchida com um material absorvente poroso.

Um ponto muito importante no que toca à transmissão do som em elementos de separação vertical é o facto das paredes divisórias terem revestimento independente aplicado na parede de separação.

A figura 5.1 mostra como o modo de execução das paredes divisórias pode influenciar muito o desempenho a nível da transmissão de ruídos. A imagem da figura 5.1 a) demonstra que não há qualquer material de isolamento na parede de fachada. A existência de uma continuidade rígida ao longo da fachada permite que os ruídos atravessam de uma divisão para a outra através da parede. Na imagem da figura 5.1 b) podemos verificar que existe um corte acústico através da

existência de material de isolamento acústico entre a parede de fachada e a parede divisória, criando assim uma barreira acústica no que toca à transmissão de ruídos entre as divisórias.

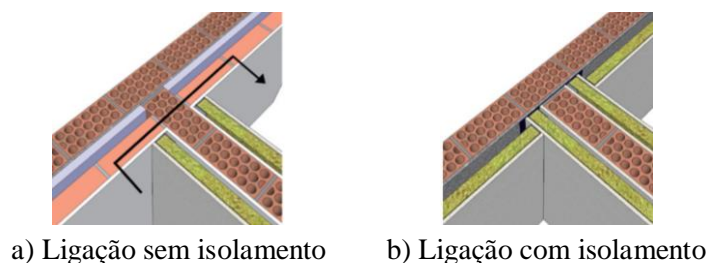


Figura 5.1 – Ponto de ligação entre parede divisória e parede de fachada (COST, 2014)

No caso de casas geminadas, ou no caso das paredes de divisão entre diferentes apartamentos, as paredes de divisão de cada um dos lados devem ser estruturalmente e acusticamente separadas. Como mostra a figura 5.2, a caixa-de-ar não tem quaisquer pontes de união entre os panos da parede e ainda o isolamento deve ser contínuo até à fundação do edifício. O tracejado a verde mostra os pontos essenciais a serem respeitados para um bom desempenho em termos de isolamento acústico. As setas vermelhas representam a transmissão marginal do som entre as diferentes divisões do edifício e a seta azul representa a transmissão direta do som via aérea.

No exemplo da figura 5.3, temos uma situação incorretamente executada, onde é evidente a existência de argamassa a ligar os dois panos da parede. Esta ligação vai gerar uma ponte rígida suscetível à transmissão de ruídos entre as diferentes divisões do edifício.

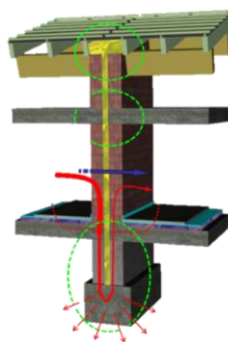
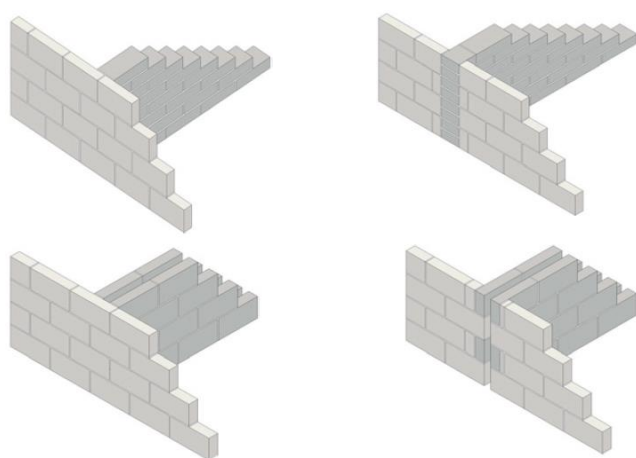


Figura 5.2 – Corte de parede divisória entre diferentes apartamentos (COST, 2014)



Figura 5.3 – Ligação rígida de argamassa a ligar os dois panos de alvenaria (COST, 2014)

Frequentemente há falta de pormenorização e detalhe de pontos essenciais da construção, como no caso, das paredes divisórias, levando à ocorrência de erros de construção suscetíveis da transmissão marginal do som. Um desses casos está representado na figura 5.4 a), em que há uma continuidade na parede exterior levando à ocorrência de transmissões marginais do som excessivas de uma divisão para a outra. Para uma correta execução desta solução, os panos da parede exterior devem ter uma interrupção, evitando assim um mau desempenho acústico. Os ruídos ao tentarem passar de um divisão do edifício para outra, são “barrados” pela interrupção e diferença de materiais encontrada, como mostra a figura 5.4 b) e figura 5.5.



a) Procedimento incorreto

b) Procedimento correto

Figura 5.4 – Ligação de parede divisória à parede de fachada. (COST, 2014)

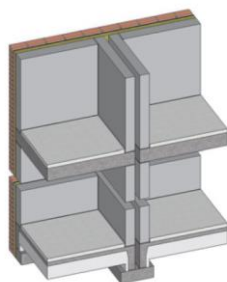


Figura 5.5 - Detalhe da construção de paredes duplas entre diferentes habitações (COST, 2014)

No caso das paredes duplas, um dos erros apontados na secção 4.3 é a existência de ligações rígidas entre os panos das paredes e a acumulação de excessos de argamassa na base entre os panos (figura 5.6). Esses excessos de argamassa e detritos devem ser cuidadosamente limpos do interior da caixa-de-ar. Um dos processos que poderá ser usado é a retirada temporária de alguns dos tijolos da alvenaria junto ao nível do pavimento (figura 5.7), permitindo assim a limpeza da cavidade.

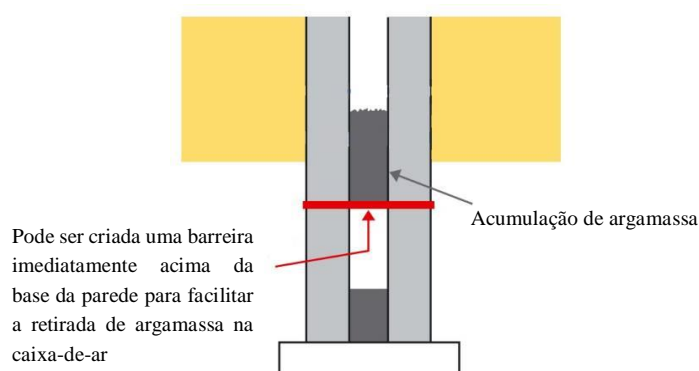


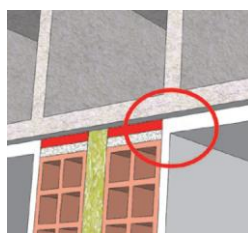
Figura 5.6 – Acumulação de argamassa entre panos da alvenaria (adaptado de Details, 2004)



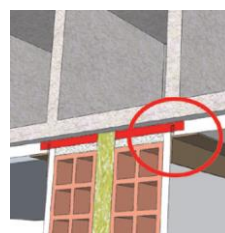
Figura 5.7 - Retirada de blocos para permitir a limpeza de detritos e restos de argamassa na caixa-de-ar das alvenarias de pano duplo (Details, 2004)

Os empreiteiros das obras devem ser instruídos desde o início do processo da obra a construir as alvenarias de pano duplo com o objetivo de evitar a acumulação de detritos e restos de argamassa na caixa-de-ar. Sendo assim, as caixas-de-ar devem ser limpas regularmente para evitar a acumulação de argamassa.

Um dos problemas mais recorrentes é o modo de execução do remate superior das paredes. Muitas das vezes, as camadas elásticas são colocadas restritamente por cima da alvenaria de tijolo furado. Como o objetivo é bloquear a transmissão marginal de ruído, o modo de execução como mostra a figura 5.8 a), não é o suficiente para esse efeito. As ligações entre os acabamentos finais do teto e da parede devem ser evitadas. Para uma correta execução, a camada elástica deve ter um comprimento superior à largura do tijolo furado e deve existir um corte entre o revestimento do teto e da parede, criando assim um corte na transmissão de ruído através do revestimento final entre a parede e o teto, como mostra a figura 5.8 b).



a) Modo incorreto



b) Modo correto

Figura 5.8 – Remate superior das paredes de alvenaria. (COST, 2014)

No caso das paredes leves com estrutura metálica, um dos erros recorrentes é fixar a estrutura metálica no pavimento contínuo entre as duas divisões adjacentes, como mostra a figura 5.9 a). Para uma boa execução e bom funcionamento dos requisitos desta estrutura é necessário que o

pavimento entre as divisões vizinhas não seja contínuo, não existindo por isso uma ponte de ligação entre ambos os lados para a passagem de sons, como mostra a figura 5.9 b).

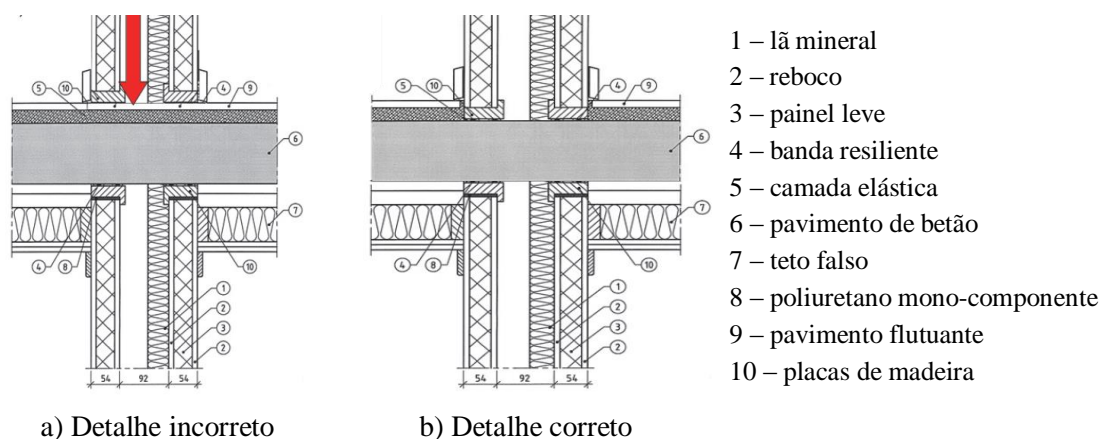


Figura 5.9 – Parede leve de estrutura metálica (COST, 2014)

No caso da junção da parede divisória com a parede de fachada, como mostra a figura 5.10 a), muitas vezes a parede divisória de estrutura em metal leve é construída praticamente encostada na parede adjacente havendo um caminho de passagem de ruído. Uma boa prática de execução deste pormenor é construir, em primeiro lugar, a parede divisória e só depois colocar o isolamento e revestimento final na parede de fachada, criando assim um corte na passagem de ruído, como mostra a figura 5.10 b).

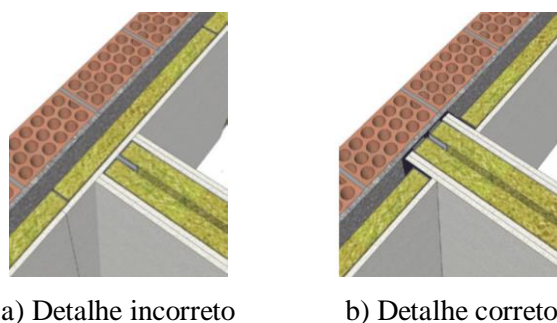


Figura 5.10 – Ponto de ligação entre parede divisória de estrutura leve e parede em alvenaria de fachada. (COST, 2014)

Em termos de paredes de fachada, na maioria das obras de edifícios de habitação, o isolamento sonoro da fachada depende essencialmente do vão envidraçado, em especial do caixilho, do vidro e das caixas de estores, quando estas existem.

No caso da existência de caixas de estore, torna-se necessário o seu tratamento principalmente quando estas são embutidas na parede de fachada. Uma solução de correção demonstrada na figura 5.11 é a aplicação de um material poroso, no interior da caixa de estore, para o isolamento acústico.

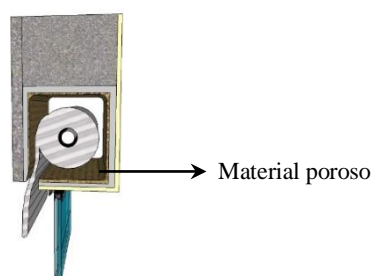


Figura 5.11 - Tratamento da caixa de estore

Para que os vãos envidraçados não comprometam o bom desempenho acústico da fachada é importante ter em atenção certos requisitos, tais como, a escolha de um vidro com bom isolamento, por exemplo a utilização de vidros duplos em que as espessuras dos vidros em questão são diferentes.

As grelhas de ventilação das fachadas devem ter atenuadores de som com materiais de absorção sonora à prova de água e não combustível. É preferível o uso de sistemas, como o representado na figura 5.12, pois evita a entrada direta de água, poeiras e do som.



Figura 5.12 – Grelhas de ventilação da parede de fachada

O material dos caixilhos das janelas tem alguma influência no isolamento ao ruído, mas a tipologia de abertura da janela é muito mais determinante. As janelas de correr proporcionam normalmente um isolamento ao som mais fraco do que as janelas de batente. O sistema das janelas de correr propicia a existência de frinchas e má vedação, enquanto as janelas de batente permitem um melhor isolamento ao som devido ao sistema de fecho que permite uma vedação mais estanque. Mesmo quando o caixilho e o sistema de fecho são adequados, podem surgir problemas devido a transmissões parasitas através de pequenos elementos como grelhas ou aberturas.

Na Figura 5.13 apresentam-se dois exemplos de grelhas de ventilação aplicadas em caixilhos. Na figura 5.13 a) a grelha de ventilação, sem qualquer tipo de tratamento facilita a transmissão do som. Na figura 5.13 b), a grelha de ventilação possui no seu interior material absorvente sonoro, melhorando o seu desempenho.



a) Janela com grelha de ventilação sem tratamento acústico

b) Janela com grelha de ventilação com tratamento acústico

Figura 5.13 – Corte de um caixilho com grelhas de ventilação. (COST, 2014)

5.2 Elementos de separação horizontal

Como já foi dito anteriormente, os pavimentos devem ter uma boa capacidade de isolamento tanto a sons aéreos como a sons de percussão. Para isso é fundamental uma escolha acertada do tipo de pavimento a usar entre os pisos dos edifícios, bem como os detalhes da junção entre pavimentos, evitando assim problemas em relação à transmissão de ruídos.

Os pavimentos em betão têm uma elevada massa. Por vezes são constituídos por betão armado, por lajes pré-fabricadas e ainda por laje vigadas. Dependendo da massa final do pavimento, o isolamento ao ruído aéreo pode ser o suficiente, mas quanto ao isolamento a sons de percussão torna-se um sistema fraco. Para corrigir este problema pode-se agir sobre a superfície de contacto, recorrendo à adoção de um revestimento de pavimento com materiais elásticos e flexíveis (figura 5.14) ou podemos agir sobre o meio de propagação do som, recorrendo à utilização de

um material resiliente entre camadas de material rígido, sistema de lajeta flutuante (figura 5.15 a)) ou de pavimento flutuante (figura 5.15 b)), ambos referidos na secção 3.3. Outra opção a ter em conta é a construção de um teto falso com compartimento inferior (figura 5.16).



Figura 5.14 – Laje com revestimento flexível

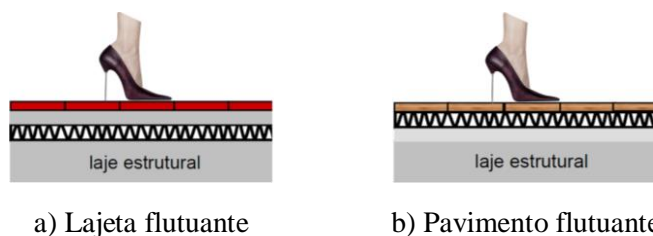


Figura 5.15 – Sistema de minimização com atuação do meio de propagação do som.

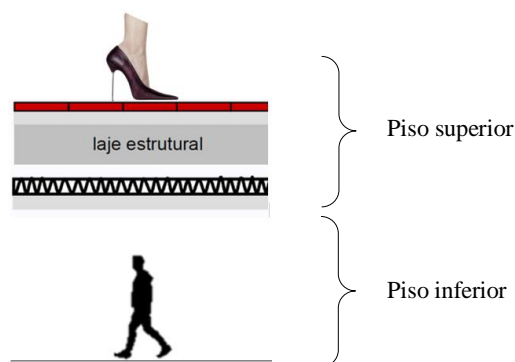


Figura 5.16 – Sistema de teto falso

Para uma correta instalação da solução de lajeta flutuante, figura 5.15 a), deve-se ter em conta os seguintes aspetos:

- Projetar a superfície onde vai ser implantado o pavimento. É importante ter em atenção a espessura final do pavimento para respeitar o pé-direito dos edifícios;

- Utilizar uma camada resiliente entre a camada de suporte e o dispositivo flutuante. Se este não for à prova de água, torna-se necessário o uso de uma camada impermeável para que a humidade não entre em contacto com a camada base do pavimento;
- Evitar ligações rígidas entre o pavimento e as paredes adjacentes a ele, evitando assim que haja a ocorrência de transmissões de ruído.
- Evitar contacto entre o pavimento base e o pavimento flutuante e entre o pavimento flutuante e as paredes adjacentes;
- Se houver necessidade de construir paredes divisórias após a execução do pavimento flutuante, estas não devem estar rigidamente ligadas ao pavimento para evitar a transmissão de ruído;
- A camada resiliente deve separar totalmente a lajeta flutuante de toda a estrutura do edifício. Caso existam canalizações que atravessam o pavimento é necessário colocá-las antes da realização da lajeta flutuante para evitar que se formem ligações rígidas nessa zona.

Na zona de ligação do pavimento às paredes deve evitar-se a ligação rígida entre a lajeta flutuante e as paredes, prolongando a camada resiliente até à parede, em pelo menos até ao nível da superfície da lajeta flutuante. Esta zona pode ser facilmente escondida e protegida com um rodapé (figura 5.17).

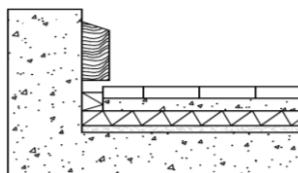


Figura 5.17 – Pormenor do sistema de lajeta flutuante

No caso dos pavimentos flutuantes em madeira, figura 5.15 b), para além dos apresentados no caso das lajetas flutuantes, dever-se-á ter em conta os seguintes aspetos:

- O suporte deve apresentar uma planimetria adequada e deve estar completamente seco;
- A temperatura superficial do suporte deve ser superior a 5°C de modo a que as colas sejam eficazes na sua função;
- O remate do pavimento junto à parede ou às soleiras das portas deve evitar ligações rígidas entre os elementos construtivos.

O sistema de teto falso, esquematizado na figura 5.16, é um tipo de solução de correção acústica, não a nível do compartimento da fonte do ruído, mas ao nível do compartimento recetor. Esta solução é frequentemente usada entre apartamentos sobrepostos de um edifício, visto serem frações distintas e a fração lesada em termos de ruído de percussão não ter hipótese de fazer a correção acústica ao nível do pavimento do apartamento emissor do ruído. Esta solução melhora ligeiramente o isolamento mas não permite o incremento conferido pelo pavimento flutuante. Refira-se, também que para que este tipo de teto deve ter materiais porosos na caixa-de-ar.

No caso de pavimentos do piso térreo dos edifícios, apesar de estar em contacto com o solo o ruído pode-se transmitir através das paredes adjacentes. Para corrigir este problema é frequente o recurso ao pavimento flutuante, como vimos anteriormente, ou então à criação de uma caixa-de-ar entre o solo e o pavimento térreo, como mostra a figura 5.18.

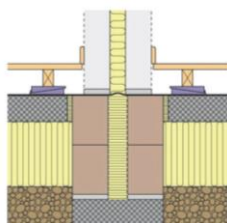


Figura 5.18 – Exemplo de solução para pavimento do piso térreo (COST, 2014)

No caso de pavimentos contínuos entre casas geminadas, o desempenho acústico das lajes nem sempre é o mais desejado em termos de transmissão horizontal a sons de percussão, sendo necessário criar um corte entre pavimentos adjacentes, isto é, a laje entre diferentes habitações não deve ser contínua (figura 5.19).

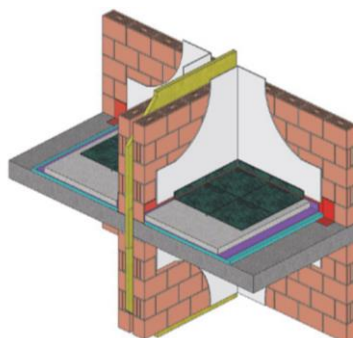


Figura 5.19 – Exemplo de laje não contínua entre apartamentos adjacentes (COST, 2014)

A figura 5.20 a) demonstra um mau exemplo de aplicação do isolamento de pavimento. Na figura podemos ver que as tiras de material resiliente não são contínuas nos cantos e não estão corretamente fixadas às paredes. Na figura 5.20 b) verificamos uma prática correta da colocação do isolamento de pavimento, mesmo antes de colocar o revestimento final. A camada de isolamento mostrada na figura é contínua e com comprimento suficiente para acompanhar a toda a altura que o revestimento final irá ter. Os cantos devem estar cobertos com o material elástico, para obter um melhor isolamento a sons de percussão.



a) Execução incorreta

b) Execução correta

Figura 5.20 – Telas de isolamento em pavimentos (COST, 2014)

A nível de isolamento a sons de percussão, outro problema que compromete o seu desempenho dos edifícios é o facto dos rodapés das paredes estarem fixados diretamente na parede e no pavimento. Para garantir o bom desempenho acústico é necessário que o rodapé tenha uma folga com material elástico, como o mástique, com os elementos que lhe são adjacentes. Os rodapés ao serem fixos diretamente no pavimento e na parede vão gerar uma ligação rígida suscetível à passagem de ruídos entre divisões do edifício.

A ligação do revestimento à soleira da porta através de cimento cola gera uma ligação rígida que compromete o isolamento a sons de percussão como mostra a figura 5.21. Neste caso deve colocar-se um material flexível para interromper a ligação rígida.

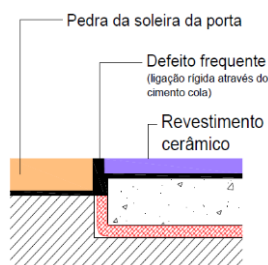
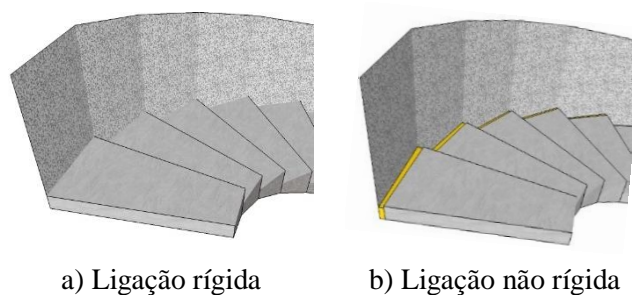


Figura 5.21 – Exemplo de ligação rígida na soleira das portas (Mateus & Pereira, 2011)

O facto da caixa de escadas estar rigidamente ligada às paredes adjacentes, também compromete muito o isolamento da transmissão do ruído de percussão, como mostra a figura 5.22 a). Uma solução para este problema é dissociar a escada das paredes que lhe são confinantes, como mostra a figura 5.22 b).



a) Ligação rígida

b) Ligação não rígida

Figura 5.22 – Ligação das escadas à parede

5.3 Instalações Técnicas e Equipamentos

Como foi dito já anteriormente, os erros provenientes da escolha ou aplicação de equipamentos traduzem-se num fator incomodativo para os habitantes do edifício. Existem certas recomendações que podem diminuir o mau desempenho em termos de acústica.

Os ruídos provenientes de instalações de águas e esgotos podem resultar do regime de escoamento, em que o ruído é gerado ao longo das canalizações devido ao carácter turbulento do

escoamento com possível ocorrência de fenómenos de cavitação associados. Se não resultam do regime de escoamento, eles resultam sobretudo do funcionamento de certos órgãos, e neste caso há que prever a utilização de órgãos com melhor qualidade acústica (Tadeu, et al., 2010).

A velocidade excessiva de escoamento de água pode-se tornar numa fonte de ruído. O escoamento, no interior da canalização, pode variar desde o laminar ao turbulento. O parâmetro normalmente utilizado para caracterizar o tipo de regime de escoamento é o número de Reynolds (Re):

$$Re = \frac{\vartheta \times D}{\mu} \quad (1)$$

em que ϑ representa a velocidade do escoamento, D o diâmetro da tubagem e μ a viscosidade cinemática. Para valores de Re inferiores a 2000 (ou 2400) o regime de escoamento é laminar, enquanto para valores superiores a esse limite o regime é turbulento, e é tanto mais turbulento quanto maior for o valor de Re . Deste modo é sempre possível encontrar um diâmetro que possibilite um escoamento laminar, que será menos ruidoso (Tadeu, et al., 2010). Os ruídos devidos ao escoamento resultam, assim, de velocidades elevadas, as quais constituem fonte de vibrações que se propagam, em parte, nos filetes de água, em parte, nas paredes das tubagens. O procedimento mais adequado para reduzir ou eliminar os ruídos resultantes da velocidade excessiva consiste na redução da pressão do escoamento (através da introdução de redutores de pressão). Nestas condições, recomenda-se um limite de velocidade de 1 m/s, em canalizações com significativa rugosidade e quando se exige um elevado conforto acústico.

Quanto à pressão, no caso em que é exigido conforto acústico, esta não deve ultrapassar os 40 mca. (ou 4 kgf/cm²) para obter um bom conforto acústico, apesar da pressão máxima regulamentar ser de 60 mca. A redução da velocidade é obtida a partir de um aumento do diâmetro da canalização. A redução da pressão do escoamento é obtida através da instalação de redutores de pressão e de reservatórios ou câmaras de perda de carga (Tadeu, et al., 2010).

As características do traçado das canalizações adquirem aqui também um papel de grande importância. As irregularidades resultantes da inclusão de acessórios, tais como "tês", joelhos e as mudanças bruscas de diâmetro originam turbulências e fenómenos de cavitação e constituem as principais causas de produção de ruído. A redução das turbulências e dos fenómenos de cavitação nas canalizações podem ser conseguidos a partir da adoção de percursos simples, instalação de curvas no lugar de joelhos e de derivações a 45° no lugar de "tês". (figura 5.23),

instalação de válvulas de passagem integral e ainda a instalação de conexões que consintam uma mudança suave de calibre, evitando a ocorrência de turbulências. As ligações entre tubagens devem ser feitas de forma adequada e especial atenção deve ser prestada à realização de juntas por soldadura em tubagens metálicas, em particular no que se refere às ligas utilizadas. Também o contato entre tubagens metálicas e as argamassas deve ser evitado. O atravessamento de elementos estruturais ou divisórios deve ser efetuado com recurso a mangas apropriadas, não sendo admissível o envolvimento em betão de tubagens plásticas (Afonso, 2003).

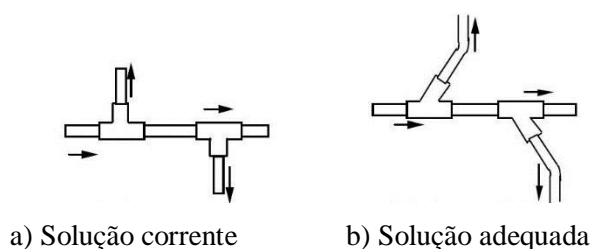


Figura 5.23 – Instalações de tubagens

A presença de ar ou vapor de água dentro das canalizações constituem também um fator de incomodidade. As bolhas de ar e vapor, acumulando-se em pontos altos das canalizações, perturbam a circulação e provocam ruídos. Com o objetivo de reduzir a presença de ar ou vapor nas canalizações devem utilizar-se torneiras ou dispositivos nos topos das prumadas de água (purgadores) quando as canalizações exibem declives elevados. É importante, para este efeito, limitar inferiormente o declive a 1 mm/m (Tadeu, et al., 2010). O traçado das redes de água deve também atender à necessidade de garantir o arrastamento do ar, em particular no que se refere aos circuitos de água quente, estabelecendo as necessárias pendentes e prevendo ainda, em algumas situações, a aplicação de ventosas em pontos altos (Afonso, 2003).

As variações de temperatura originam dilatações e contrações que, no caso das canalizações de água quente, podem provocar acomodações e reajustamentos de posição das tubagens, com produção de ruídos. Este tipo de problemas podem ser resolvidos com a utilização de juntas de dilatação ou com coquilhas a envolver os tubos de água quente. (Silva, 2006) (Tadeu, et al., 2010)

No caso de canalizações metálicas é necessário ter em atenção as dilatações da tubagem. Este fato pode ser melhorado criando uma caixa vedada preenchida de lã mineral e de mástique flexível ao redor da tubagem (figura 5.24).

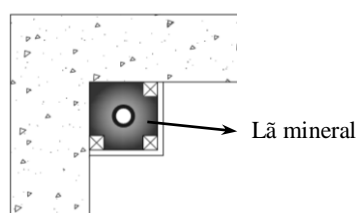


Figura 5.24 – Sistema de isolamento de tubagens

As vibrações das canalizações podem ser transmitidas ao edifício através dos suportes dos tubos e dos atravessamentos dos elementos da edificação. Para evitar a transmissão de vibrações ao edifício, provenientes das canalizações, deverá evitar-se o contacto das canalizações e seus suportes com paredes leves. Nestes casos as canalizações deverão ser envolvidas por material resiliente (feltro, feltro betuminoso espesso ou materiais fibrosos). As canalizações deverão ter massa elevada e deverão interpor-se materiais elásticos, entre as braçadeiras e os tubos, entre os maciços ou peças de ancoragem das braçadeiras e os elementos onde se apoiam ou encaixam e ainda entre os tubos e os elementos atravessados (figura 5.25).

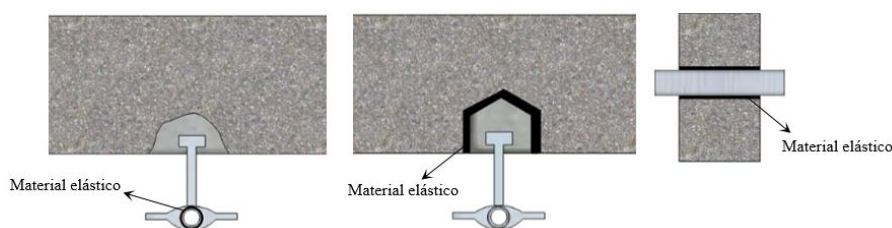


Figura 5.25 – Formas de fixação e de atravessamento de tubagens

O funcionamento de válvulas e torneiras também são um fator condicionante. As manobras de fecho ou de abertura de uma válvula ou torneira causam ruídos, desde que se registem grandes velocidades de escoamento através da menor secção da válvula ou torneira (Silva, 2006). Uma má fixação destas peças permite a ocorrência de vibrações com a passagem do líquido, originando a formação de ruídos. Nas torneiras é aconselhável utilizar dispositivos quebra-jato, constituídos por um conjunto de cilindros paralelos cuja finalidade é a de contrariar a ocorrência de turbulências pela introdução duma perda de carga e pela subdivisão da veia líquida. Para atenuar os efeitos dos golpes de aríete, devem evitar-se válvulas de retenção e torneiras de oclusão e abertura rápidas, sendo por outro lado recomendável que os trechos finais de ligação às torneiras tenham características elásticas.

O assentamento dos aparelhos sanitários, dos dispositivos de utilização e dos equipamentos de bombagem deve ser feito com os cuidados necessários, para que se evite a propagação de ruídos e vibrações. O afluxo de água aos aparelhos sanitários ou à superfície livre da água neles contida, constitui outra causa de ruídos. Em autoclismos é recomendável que a entrega de água se faça através de um tubo mergulhado, para evitar a redução da secção de saída na fase final de enchimento (Tadeu, et al., 2010). Em fluxómetros, devem preferir-se os do "tipo silencioso", de cuidada construção mecânica e bem concebidos hidraulicamente, que funcionam com pressões mais baixas e utilizam tubos de descarga de maiores calibres.

As instalações de bombagem são fontes de vibração, transmissíveis não só às canalizações como também diretamente às edificações. Nas instalações de bombagem, simples ou hidropneumáticas, há que observar as seguintes regras construtivas:

- Características do equipamento eletromecânico - o equipamento deve ser de boa qualidade mecânica e hidráulica e de funcionamento tão silencioso quanto possível. As bombas dos grupos elevatórios devem possuir dispositivos que não permitam paragens bruscas.
- Maciços de apoio do equipamento eletromecânico - os maciços de apoio devem absorver as vibrações transmitidas pelo equipamento, através da interposição dum material elástico entre o maciço e o terreno ou estrutura subjacente.
- Características de ligação - não se devem utilizar conexões que não sejam hidraulicamente racionais, nomeadamente curvas de pequeno raio e "tês". Devem inserir-se juntas elásticas entre as conexões e as bombas, e ainda entre os tubos de aspiração e de compressão e o reservatório nas instalações hidropneumáticas (adaptado de Silva, 2006).

O traçado e dimensionamento incorretos das redes e a escolha de calibres inadequados dos sifões nas instalações de esgotos podem ser um problema no que toca à transmissão acústica. Se o dimensionamento e o traçado das canalizações não for corretamente determinado em função dos caudais de esgoto e do ar a transportar, podem resultar, durante a descarga, variações de pressão que constituam causa de ruídos. Os principais problemas surgem, em geral, nos tubos de queda, quando a sua taxa de ocupação é excessiva, formando-se "tampões" que, obstando ao arrastamento do ar e submetidos a pressões elevadas, rebentam ruidosamente (Silva, 2006) (Tadeu, et al., 2010). O dimensionamento e traçado de redes devem ser realizados de forma a conduzir a baixas variações de pressão, de modo a diminuir ou eliminar os ruídos devidos a impedimentos no arrastamento de ar. Como regra geral, os sistemas de evacuação de ar deverão

ser convenientemente ventilados. No caso de tubos de queda, é recomendável uma taxa de ocupação máxima de 1/3 e para sifões devem adotar-se diâmetros, quando muito, iguais aos dos respetivos ramais de descarga.

Em relação aos sistemas de drenagem predial de águas residuais, deve salientar-se que a valência para um dimensionamento “folgado” da instalação, para minimizar os riscos de fecho hídrico, nem sempre é um procedimento correto, dado que pode conduzir a problemas de transporte sólido (deposições) (Afonso, 2003).

Os edifícios podem comportar diversos tipos de equipamento, podendo agrupar-se em equipamentos de elevação de cargas e pessoas, equipamentos de ventilação, equipamentos de condicionamento higrotérmico, equipamentos de bombagem, equipamentos de movimentação automática de portas (garagens) e equipamentos de refrigeração e lavagem. No que respeita a sons aéreos, as medidas de condicionamento a serem implementadas podem traduzir-se na elevação dos isolamentos sonoros das envolventes, na instalação de unidades atenuadoras sonoras nas condutas e na aplicação de revestimentos absorventes sonoros nos paramentos internos das envolventes dos espaços onde se localizam os equipamentos. Relativamente à atenuação das transmissões sonoras por via estrutural, as soluções mais comuns a serem implementadas são a instalação dos equipamentos ligados a maciços de inércia que assentam sobre apoios resilientes, dimensionados para que as frequências próprias de oscilação dos equipamentos assim apoiados sejam baixas, a instalação de pisos flutuantes e a instalação de “cortes elásticos” em equipamentos automáticos de movimentação de portas e em equipamentos de refrigeração de produtos ou de lavagem (Silva, 2006).

Do ponto de vista geral, relativamente ao ruído de equipamentos, devem ser considerados cuidados especiais no sentido de eliminar os contatos estruturais de natureza rígida, interpondo materiais resilientes por forma a minorar a transmissão e propagação de vibrações pela estrutura do edifício.

5.4 Reabilitação Acústica

A reabilitação acústica dos edifícios insere-se na necessidade de verificação da conformidade regulamentar do edifício com a legislação em vigor à data do licenciamento da ação de reabilitação, recuperação ou remodelação. Neste sentido, dever-se-á verificar o seguinte:

- O isolamento a sons aéreos entre fogos (tanto na horizontal como na vertical) e entre estes e o exterior (isolamento da fachada);

- O isolamento a sons de percussão entre fogos sobrepostos;
- O ruído de equipamentos;
- Caso existam, em unidades de comércio e serviços, o isolamento a sons aéreos e de percussão entre espaços e fogos imediatamente adjacentes tanto na direção vertical como na horizontal.

Os tipos de problemas correntemente encontrados neste tipo de intervenção, nos edifícios antigos, são o deficiente isolamento a sons aéreos e de percussão assegurado pelos respetivos elementos de compartimentação horizontal (pavimentos), o fraco isolamento a sons aéreos das paredes delimitadoras de fogos adjacentes e o mau isolamento conferido pelas fachadas. Nos edifícios recentes os problemas encontrados são ao nível do isolamento a sons de percussão providenciado pelos pavimentos, isolamento a sons aéreos assegurado pelas fachadas, isolamento de paredes entre fogos adjacentes e isolamento a sons aéreos e de percussão entre fogos e espaços comerciais. No que toca ao ruído provocado por equipamentos, podemos encontrar problemas a nível de ruído proveniente das instalações de escoamento de águas.

Apresenta-se em seguida um conjunto de indicações, segundo a referência bibliográfica (Patrício, 2000), para auxiliar a resolução de alguns problemas mais frequentes na reabilitação de edifícios no campo da acústica:

Isolamento sonoro da fachada: substituição da janela simples por janela dupla, com calafetação de pontos de elevada permeabilidade ao ar, como as caixas de estore.

Isolamento a sons aéreos entre frações na horizontal: duplicação de parede com recurso a sistema aligeirado, apoiado em prumos metálicos, e com minimização de pontos rígidos.

Isolamento a sons aéreos entre frações, na vertical: aplicação de teto falso com material absorvente sonoro no tardoz, apoiado em suspensores elásticos.

Isolamento a sons de percussão entre frações: aplicação de solução de revestimento de piso resiliente ou sistema de pavimento flutuante.

Isolamento a sons aéreos entre espaços comuns e frações: substituição da porta de entrada na fração por outra mais isolante, com conveniente selagem de frinchas.

Isolamento a sons de percussão entre espaços comuns e frações: aplicação de sistema de piso flutuante ou adoção de solução de revestimento de piso resiliente.

Isolamento a sons aéreos entre espaços comerciais ou de serviços e frações: aplicação de teto falso, se possível duplicado, com material absorvente no tardoz e suspenso elasticamente.

Isolamento a sons de percussão entre espaços comerciais ou de serviços e frações: aplicação de solução em revestimento de madeira, ou rígido sobreposto a sistema flutuante, dessolidarizado do contorno.

Isolamento a sons aéreos entre espaços de garagem e frações: duplicação do sistema de compartimentação com a colocação de teto falso.

Ruído de equipamentos: colocação de grelhas atenuadoras sonoras nos terminais das condutas e colocação de apoios elásticos nos pontos de fixação.

Isolamento a ruído de instalações de abastecimento e escoamento de águas: eliminação de ligações rígidas das tubagens à estrutura do edifício e redução do número de percursos com transição brusca de inclinação ou calibre.

5.5 Listas de verificação – *Checklists*

A fim de evitar erros sucessivos e recorrentes em edifícios de modo a estes alcançarem um bom desempenho acústico, torna-se essencial desenvolver um mecanismo para evitar cair nos mesmos erros. Para isso é proposto aqui o recurso a listas de verificação de certos parâmetros fundamentais para o bom funcionamento das soluções construtivas.

Em países onde existem soluções pré-definidas que garantem determinado desempenho acústico, a existência de listas de verificação é de extrema importância para verificar a correta implementação da solução com os materiais e espessuras adequados. Em países onde essas soluções não existem, podem usar-se as listas de verificação, para assegurar que determinados pormenores construtivos estão a ser executados sem comprometerem o comportamento acústico da solução.

Tendo como base a plataforma *Robust Details* e as especificações mencionadas na *Part E* do *The Building Regulations*, serão dados alguns exemplos de listas de verificação com certos parâmetros que podem permitir detetar algumas falhas ou erros, que se corrigidos atempadamente permitirão contribuir para um melhor desempenho acústico do edifício.

No anexo A podemos encontrar uma proposta de lista de verificação para paredes duplas, no anexo B para sistemas de lajeta flutuante e no anexo C para sistemas de pavimento flutuante em madeira.

6. CONCLUSÕES

Durante as últimas décadas observou-se uma crescente preocupação com a qualidade da construção, designadamente à Acústica de Edifícios. Desde a aprovação do primeiro regulamento, em 1987, que têm vindo a ser estabelecidos requisitos acústicos aplicáveis a diferentes tipologias de edifícios. Por outro lado, a obrigatoriedade de execução do projeto acústico para os edifícios foi determinante para tornar presente a acústica na construção civil das edificações. No entanto, a existência de projeto acústico não é garantia de um bom desempenho acústico dos edifícios. Face ao presente estudo, podem existir erros e omissões de projeto e erros de execução responsáveis pelo mau funcionamento acústico das soluções.

A obtenção de uma construção de qualidade, do ponto de vista de isolamento acústico, muitas vezes depende mais de pequenos pormenores de execução do que das características gerais das soluções construtivas adotadas. Para além do processo construtivo e das eventuais decisões erradas durante a obra, o sucesso da obra, do ponto de vista acústico, exige também uma adequada coordenação de projeto, sendo fundamental uma interligação entre a acústica e as restantes especialidades envolvidas em projeto, nomeadamente a arquitetura, a estabilidade e as instalações técnicas (Mateus & Pereira, 2011). O percurso de todo o processo construtivo é importante no desempenho final dos edifícios, pois os mais pequenos erros de execução ou opções incorretas de projeto podem conduzir a um fracasso no resultado final esperado.

Em muitos casos, a adoção de soluções construtivas não tradicionais, previsivelmente com elevado desempenho acústico, em que os intervenientes na construção desconhecem a sua correta aplicação, acabam por resultar muito pior que outras soluções tradicionais (com desempenho previsivelmente inferior) (Mateus, 2012).

Com a presente reflexão pretendeu reunir-se informação relacionada com a incorreta execução de alguns pormenores construtivos e erros de projeto que podem ter repercussões negativas no comportamento acústico das soluções e dos edifícios. Este documento pretende, também, ser um meio de sensibilização para estes problemas. Apesar de existirem muitas soluções e diversos

procedimentos de boas práticas aqui apenas foram apresentados os mais relevantes e que podem contribuir eficazmente para um bom desempenho acústico dos edifícios. A apresentação de um conjunto de boas práticas de execução de pormenores construtivos, fornece orientações para evitar erros comuns que podem comprometer o desempenho acústico de um edifício.

Como trabalhos futuros poder-se-ia elaborar um manual de boas práticas de execução de pormenores construtivos relativos ao desempenho acústico. A criação de listas de verificação, mais exaustivas do que as apresentadas aqui, e relativas a diferentes soluções construtivas poderá também ser um trabalho a desenvolver. Este tipo de documentos poderia ajudar não só os empreiteiros da obra, mas também arquitetos e engenheiros projetistas que poderiam aplicar estas regras básicas de boas práticas nos seus projetos e assim garantir uma boa qualidade final da obra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afonso, A. (2003). "Instalações Prediais de Águas e Esgotos: Erros e Defeitos Frequentes na sua Conceção e Construção". Lisboa. pp. 127-136.
- Ambiente, I. d. (2004). "O Ruído e a Cidade". Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente. Lisboa.
- COST (2014). "COST Action TU0901 - Building acoustics throughout Europe". Volume 1: Towards a common framework in building acoustics throughout Europe.
- Details@ (2004). <http://www.robustdetails.com>. *Robust Details*. Acedido em junho 2015.
- Dias, A. M. B. & Sousa, A. V. S. (2000). "Manual de Alvenaria de Tijolo". APICER - Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica. Coimbra.
- Domingues, O. (2005). "A Acústica nos Edifícios - Materiais e sistemas absorventes sonoros". Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- García, S. H. (2013). "Análisis del comportamiento acústico en locales. Estudio práctico". 44º Congreso Español de Acústica. TecniAcustica. Valladolid.
- Kibert, C. J. (2013). "Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery". 3ª edição. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.
- Martins, H. M. G., Mateus, M. A. & Rodrigues, C. C. (2014). "Avaliação Acústica de Edifícios em Portugal: o Estado-da-Arte". 45º Congreso Español de Acústica. TecniAcustica. Murcia.
- Mateus, D. (2012). "Reabilitação Acústica de Edifícios - Avaliação de Desempenho de Soluções Leves versus Soluções Pesadas". 4º Congresso Nacional de Construção. Coimbra.
- Mateus, D. & Pereira, A. (2011). "Influência de Pequenos Erros de Execução em Obra no Desempenho Acústico de Edifícios - Exemplos Típicos". TecniAcustica. Cáceres.
- Meisser, M. (1973). "Acustica de los Edificios". Editores Técnicos Asociados. Barcelona.
- Patrício, J. (2000). "Aspectos Regulamentares e Normativos no Domínio do Ruído e das Vibrações". Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Patrício, J. (2001). "A Acústica nos Edifícios - Guia para a Quantificação da Transmissão Marginal". Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Patrício, J. (2010). "Reabilitação Acústica - Linhas Guia". Verlag Dashofer. 2ª edição. Lisboa.

Santo, F. (2003). "A Prevenção das Patologias Construtivas nos Edifícios". 2º Simpósio Internacional sobre Patologia, Durabilidade e Reabilitação dos Edifícios. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, pp. 29-44.

Sequeira, J. (2003). "Redução de Erros em Obras de Construção Civil - Estudo sobre obras de controlo de qualidade reduzido". Dissertação para a obtenção de grau de Mestre em Construções, Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico. Lisboa.

Silva, J. A. R. M. d. & Abrantes, V. (2008). "Cadernos de Apoio ao Ensino da Tecnologia da Construção e da Reabilitação de Anomalias Não Estruturais em Edifícios". Caderno 03: 12 Erros na Construção de Fachadas. Departamento de Engenharia Civil - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra.

Silva, P. M. d. (1978). "Acústica de Edifícios". Informação Técnica de Edifícios, vol.8. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.

Silva, P. M. d. (2006). "Projecto de condicionamento acústico de edifícios". Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.

Silva, P. M. d. (2007). "Engenharia Acústica". Ordem dos Engenheiros. Lisboa.

Tadeu, A.; Mateus, D; António, J.; Godinho, L.; Mendes, P. (2010). "Acústica Aplicada". Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra.

Tavares, P. (2011). "Apontamentos de Impactos Ambientais". Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra.

Viegas, J. C., Pinto, A. & Braz, A. J. d. O. (2003). "Anomalias Construtivas em Caixilharia Exterior: Aprendendo com as suas Causas". 2º Simpósio Internacional sobre Patologia, Durabilidade e Reabilitação dos Edifícios. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. pp. 577-586.

ANEXO A – LISTA DE VERIFICAÇÃO PARA PAREDES DUPLAS

LISTA DE VERIFICAÇÃO

DESEMPENHO ACÚSTICO

PAREDES DUPLAS

	Pormenores Construtivos	✓
1	A estrutura base apresenta uma geometria alinhada e livre de empenos	
2	A superfície base de assentamento do tijolo está limpa e nivelada	
3	Foi usado o tipo de tijolo previsto em projeto	
4	O tijolo foi previamente molhado antes de ser assente	
5	A marcação dos dois panos de alvenaria foi previamente executada	
6	Foi verificado o aprumo e alinhamento dos panos da parede	
7	As juntas verticais e horizontais da alvenaria estão totalmente preenchidas por argamassa	
8	Todos os constituintes da alvenaria estão firmemente encostados	
9	Os pontos singulares, como cunhais, ombreiras e outras extremidades, foram executados de acordo com o projeto	
10	O reboco das paredes possui uma espessura suficiente	
11	As paredes possuem o material de isolamento previsto no projeto	
12	O material de isolamento está fortemente unido e/ou sem folgas	
13	A caixa-de-ar entre os panos da alvenaria não possui ligações rígidas	
14	Foram utilizados grampos, preferencialmente flexíveis, de ligação entre os dois panos da parede	
15	Foram previstas aberturas provisórias na fachada para posterior limpeza da caixa-de-ar	
16	A caixa-de-ar está livre de detritos e restos de argamassa	
17	O ponto de ligação entre a parede divisória e a parede de fachada está isolado acusticamente	
18	A ligação entre o topo da parede e o teto possui uma camada elástica	
19	A parede divisória foi construída em primeiro lugar e só depois foi colocado o isolamento e revestimento fina da parede de fachada	
20	As caixas de estore possuem material absorvente sonoro	
21	As grelhas de ventilação das fachadas possuem material de corte acústico	

Este documento foi executado de acordo com as regras de boas práticas a serem executadas em obra, não conferindo um carácter obrigatório na sua execução.

ANEXO B – LISTA DE VERIFICAÇÃO PARA SISTEMAS DE LAJETA FLUTUANTE

LISTA DE VERIFICAÇÃO

DESEMPENHO ACÚSTICO

SISTEMA DE LAJETA FLUTUANTE

	Pormenores Construtivos	✓
1	A superfície base do pavimento é regular	
2	A superfície base do pavimento foi está devidamente limpa	
3	O sistema de lajeta flutuante é implementado de acordo com as especificações em projeto	
4	A espessura final do sistema respeita o pé-direito dos edifícios	
5	O sistema possui pelo menos quatro camadas distintas	
6	Possui uma camada resiliente entre a camada de suporte e o dispositivo flutuante	
7	A camada resiliente está devidamente posta	
8	A camada resiliente não apresenta sujidades	
9	Foram evitadas ligações rígidas entre o pavimento e as paredes adjacentes	
10	O material resiliente é contínuo e com comprimento suficiente para acompanhar toda a altura do revestimento final	
11	A zona de ligação pavimento-parede está protegida com um rodapé	
12	No caso do uso de mantas de isolamento, estas são colocadas com comprimento de sobreposição adequado a fim de evitar a passagem de fluidos	
13	Existe uma separação estrutural entre a lajeta flutuante e as soleiras das portas	
14	No caso de revestimento final cerâmico colado, as juntas de assentamento estão executadas corretamente a fim de evitar a penetração de fluidos	
15	O revestimento final do pavimento não está danificado (presença de fissuras e/ou empolamentos)	

Este documento foi executado de acordo com as regras de boas práticas a serem executadas em obra, não conferindo um carácter obrigatório na sua execução

ANEXO C – LISTA DE VERIFICAÇÃO PARA SISTEMAS DE PAVIMENTO FLUTUANTE EM MADEIRA

LISTA DE VERIFICAÇÃO

DESEMPENHO ACÚSTICO

SISTEMA DE PAVIMENTO FLUTUANTE EM MADEIRA

	Pormenores Construtivos	✓
1	A camada de suporte apresenta uma planimetria adequada	
2	A superfície estava devidamente limpa	
3	A superfície estava devidamente seca	
4	A superfície base do pavimento é regular e está devidamente limpa	
5	O sistema de pavimento flutuante em madeira é implementado de acordo com as especificações em projeto	
6	A espessura final do pavimento respeita o pé-direito dos edifícios	
7	O revestimento final em madeira está sobre uma camada resiliente	
8	No caso do uso de mantas de isolamento, estas são colocadas com comprimento de sobreposição adequado a fim de evitar a passagem de fluidos	
9	A madeira usada como revestimento estava em boas condições (livres de empeno...)	
10	No caso do uso de soalhos, as ripas de assentamento estão igualmente espaçadas	
11	A zona de ligação pavimento-parede está protegida com um rodapé	
12	O remate do pavimento junto às paredes ou às soleiras das portas é feito sem a presença de ligações rígidas	

Este documento foi executado de acordo com as regras de boas práticas a serem executadas em obra, não conferindo um carácter obrigatório na sua execução