

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ARQUITETURA E URBANISMO

**ESTUDO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DAS PAREDES DE
VEDAÇÃO DA MORADIA BRASILEIRA AO LONGO DA HISTÓRIA**

Elisabeth de Albuquerque Cavalcanti Duarte
Orientadora: Elvira Barros Viveiros da Silva

Dissertação submetida à
Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção de Mestre
em Arquitetura e Urbanismo.

Florianópolis, março de 2005

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por permitir esse presente em

minha vida, que foi fazer o mestrado;

À minha bela família, Painho, Mainha, Daninho, Minzinha e Betinha e todos os

meus familiares pelo apoio, não somente no sustento, mas nas orações, nas

ligações e no amor que nos une;

Ao meu querido namorado Anderson, pelo companheirismo, pelo cuidado e por ter

a palavra e o gesto certo para cada momento;

Às minhas amigas (e agregados!) da Casa Verde, meu refúgio em Florianópolis,

com vocês tudo ficou mais fácil no mestrado (até não perder o sotaque!);

As queridas Gisela, Benilda, Juliana e Yára pelo presente de tê-las como novas

amigas e pelo apoio em suas orações;

A Claunir, Luci, Lu e Cláudia, a minha família em Florianópolis, pelo carinho;

À minha orientadora, Elvira pelo aprendizado e pela amizade que construímos;

Aos meus amigos do PósARQ e do LabCon pelas opiniões sobre meu trabalho e

pelas boas risadas juntos;

A todos os professores do PósARQ pelo aprendizado;

A Ivonete, pela disponibilidade e pelos e-mails sempre me

lembrando dos meus prazos;

E, é com muito orgulho, que agradeço a FAPEAL – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas, por me dar o privilégio de receber uma bolsa de

estudos durante um ano em um lugar que vê meu Estado de forma

tão enganosa e preconceituosa.

A todos vocês, o meu MUITO OBRIGADA!!

LISTA DE SÍMBOLOS

RESUMO

ABSTRACT

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	8
1.1. Objetivos	12
1.1.1. Objetivo geral	12
1.1.2. Objetivos específicos	12
1.2. Metodologia	13
1.3. Estrutura da dissertação.....	14
CAPÍTULO 2: EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA HABITAÇÃO.....	15
2.1. A Evolução da Casa.....	16
2.2. A Casa no Contexto da Arquitetura Brasileira.....	22
2.3. Conclusões	36
CAPÍTULO 3: ISOLAMENTO SONORO.....	39
3.1. Introdução.....	39
3.2. Perda de transmissão sonora de uma parede simples (PT).....	44
3.2.1. Perda de transmissão sonora através de três meios.....	45
3.2.1.1. Transmissão sonora com incidência oblíqua.....	47
3.2.1.2. Transmissão sonora com incidência aleatória.....	49
3.2.2. Transmissão sonora de uma parede oscilante.....	53
3.3. Considerações finais	56

CAPÍTULO 4: PREDIÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO DOS	
ELEMENTOS DE VEDAÇÃO DA ARQUITETURA BRASILEIRA.....	58
4.1. Exemplos dos primeiros processos construtivos no mundo.....	59
4.2. Principais processos construtivos brasileiros.....	63
4.2.1. Processos construtivos do período colonial	64
4.2.2. Processos construtivos do Brasil-República.....	71
4.3. Características dos processos construtivos brasileiros.....	75
4.4. Predição da transmissão sonora das vedações brasileiras.....	77
4.5. Conclusão	89
CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES	90
5.1. Considerações finais	93
5.2. Recomendações para trabalhos futuros.....	94
REFERÊNCIAS.....	95

LISTA DE SÍMBOLOS

D	Diferença de Nível [dB]
IL	Perda por inserção [dB]
L	Nível de pressão sonora [dB]
S	Área de seção transversal, área de superfície [m ²]
α	Coefficiente de absorção sonora
τ	Coefficiente de transmissão sonora
W	Potência sonora [dB]
ρ	Densidade [Kg/m ³]
K	Rigidez
k	Número de onda [1/m]
m	Massa ou Densidade superficial [Kg/m ²]
ω	Freqüência ($2\pi.f$)
f	Freqüência em ciclo por segundo [Hz]
f_c	Freqüência crítica ou de corte [Hz]
c	Velocidade do som [m/s]
c_o	Velocidade do som no ar (344 m/s)
h	Espessura [m]
c_l	Velocidade da onda longitudinal [m/s]
η	Fator de perda
C	Coefficiente de amortecimento

A história da arquitetura apresenta um vasto panorama de avanços tecnológicos em construções em diversas partes do mundo. Estes avanços sempre contribuíram na melhoria da qualidade de vida do homem. No entanto, em determinado ponto da história essa situação começou a se reverter. O século XX se deparou com uma constante busca por construções mais leves, o que se contrapõe a um bom isolamento sonoro das partições. Esta situação se torna mais patente no Brasil, onde o isolamento sonoro não é normalizado e, portanto, os construtores buscam apenas maiores lucros.

Esta pesquisa faz uma análise do isolamento sonoro em habitações brasileiras ao longo do tempo. Na primeira parte do trabalho, é realizado um levantamento sobre os principais eventos que modificaram o significado e a função da casa, e transformaram, conseqüentemente, o seu desempenho acústico. A segunda parte apresenta uma investigação sobre os principais processos construtivos brasileiros na história e um estudo sobre a teoria de isolamento sonoro de uma parede simples. Posteriormente, são feitas predições analíticas da transmissão sonora das vedações brasileiras. A perda do nível de isolamento sonoro das partições é demonstrada e quantificada. Concluiu-se que houve um declínio de, aproximadamente, 35dB na média do isolamento sonoro dos componentes de vedação brasileiros.

ABSTRACT

The history of architecture presents a vast panorama of technological invents in buildings constructed by many people from different cultures around the world. These invents always improved the human life quality. However, the 20th century experienced a constant search towards lightweight constructions, which tends to go against good sound insulated partitions. In Brazil, in particular, this is an important issue, as there are no building regulations concerning acoustic comfort and, therefore, builders target economical goals only.

This research proposes an analysis of the sound insulation performance of Brazilian houses along the centuries. In the first part of this work, a survey is presented of the most important events that changed the house's functions and, consequently, the acoustical performance of Brazilian dwellings. The second part presents an investigation about typical constructions for different periods of Brazilian history and also about the theory of transmission loss of a single panel. Subsequently, analytical predictions of the sound insulation of Brazilian components are performed and evaluated along a timeline. It is demonstrated and quantified the exponential decrease of building components performance. The media of the decline of sound insulation in partitions is about 35dB, what is a considerable loss.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.2 METODOLOGIA

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Para que serve a casa? Qual a sua principal função? No início da ocupação do homem na Terra, a de abrigo e proteção era a principal. E nos dias atuais, sua função principal tem sido cumprida? E em termos de Brasil, qual a realidade? Basta circular nos principais prédios de qualquer cidade que se terá a resposta rapidamente. Hoje, não importa a classe social, qualquer habitante da cidade sofre com um grande mal: a exposição ao ruído.

A história da arquitetura apresenta um panorama de variadas inovações tecnológicas nas construções de diversos povos no mundo. No entanto, em certo ponto da história, o avanço da tecnologia começou a significar uma constante regressão na eficiência do isolamento acústico das edificações.

Gerretsen (2003) afirma que os componentes de vedação das edificações vêm tendo suas características alteradas, com conseqüente maior permeabilidade ao ruído, fragilizando o isolamento sonoro das habitações. Segundo o autor, esse desenvolvimento dos métodos construtivos requer uma melhoria no desempenho acústico das edificações. Há necessidade da criação de novas ferramentas de avaliação do nível de isolamento das residências e da aplicação de novos

conceitos, além da revisão dos níveis de conforto das normas europeias, que apresentam, segundo Greco (1998), uma tendência de não só exigirem níveis mínimos, mas parâmetros de qualidade do conforto acústico das residências.

É de se destacar que a arquitetura contemporânea convive com rápidas e significativas mudanças, em diversas áreas, se comparada com outros momentos na história. Observa-se que houve significativa melhoria na maioria das condicionantes relacionados ao conforto, bem como quanto ao desempenho energético. Entretanto, não se percebe o mesmo ao focar-se o conforto acústico oferecido pelas edificações.

Arizmendi [198-] afirma que *nos últimos anos a edificação melhorou em diversos aspectos, como: iluminação, ventilação, calefação, condicionamento do ar, circulação etc. Praticamente em todos, exceto em um – a sua sonoridade* [tradução do autor].

À medida que as construções foram ficando mais permeáveis ao som, simultaneamente o nível de ruído ambiental foi crescendo de forma exponencial, deteriorando a qualidade de vida nas grandes cidades. As conseqüências são observadas na saúde das populações urbanas, como a que relata Arizmendi [198-]. Mediante o estudo comparativo entre países com diferentes níveis de industrialização, o resultado encontrado foi que a capacidade auditiva de um habitante da África Central com 80 anos é igual a de um nova-iorquino com 18 anos.

Martin (2002) afirma que 20% da população da Europa, o equivalente a 170 milhões de pessoas, habita áreas de risco pelo elevado nível de ruído, consideradas pelos cientistas inaceitáveis ao homem.

Como afirma Santos (2005), o problema da exposição ao ruído é bem mais antigo do que parece. O Imperador César (101 – 44 a.C.) determinou que nenhum veículo de rodas poderia permanecer em Roma do por do sol ao amanhecer. Martial (40 – 104 d.C.), poeta que comentou os costumes da sociedade de Roma, reclamava do ruído da cidade durante a noite, dizendo que não conseguia dormir, pois tinha *Roma aos pés da cama*. O decreto mais original que Santos (2005) encontrou foi na obra de Homero Rangel e Aristides Coelho, da Rainha Elizabeth I da Inglaterra, que reinou de 1588 a 1603, que *proibia aos maridos ingleses baterem em suas mulheres depois das 10 horas da noite, a fim de não perturbarem os vizinhos com gritos*.

Os reis e imperadores estavam certos em se preocuparem com o sono em suas cidades. Segundo Pimentel-Souza (2005), as conseqüências do ruído para a saúde humana são diversas e vão além da perda da audição propriamente dita, como comenta o autor:

Os órgãos alvos da exposição ao ruído incluem vísceras, como glândulas endócrinas ou exócrinas, órgãos sexuais, sistema imune, coração, vasos sanguíneos, intestinos etc, que regulam os diferentes ritmos biológicos, incluindo o vigília-sono, secreções hormonais etc (Bergamini et al, 1976 apud Pimentel-Souza, 2005).

Essas alterações conduzem o sujeito a nervosismo, fadiga mental, frustração e prejuízo na produtividade.

Também há o custo financeiro direto. Báring (1988) cita o exemplo de investimento do governo norte-americano na melhoria de 1.100 escolas próximas a áreas de sobrevôo de aviões. O resultado foi que o governo poupou cerca de 3,3 milhões de dólares com alunos em aulas de recuperação.

Losso (2002) aponta que os custos para o Estado com professores com problemas vocais são enormes. No ano de 2001, em Santa Catarina, dos 1617 professores afastados do serviço por problema de saúde, 10% apresentaram como motivo problemas vocais. O quanto se gasta em medidas paliativas, projetos acústicos tardios, edifícios que se desvalorizaram, além de alunos ou trabalhadores improdutivos, não tem comparação com o investimento em um projeto.

Segundo Nepomuceno (1968), o custo do tratamento acústico em planta, em fase de projeto, é de 0,5% a 2% do custo total. Mas o tratamento acústico posterior à construção de um prédio não é inferior a 10% do custo total para obtenção de resultados iguais ou inferiores ao tratamento realizado previamente à execução do projeto.

Seep (2002), questionando sobre a qualidade acústica das salas de aula nos Estados Unidos, chega a uma conclusão que toca no ponto crucial deste trabalho:

Por que os problemas acústicos nas salas de aula são endêmicos, quando as soluções não são necessariamente caras? A principal razão não é falta de recursos, mas falta de percepção do problema e suas soluções (SEEP, 2002).

Essa falta de percepção do problema da exposição ao ruído se encontra não apenas entre usuários, mas também entre arquitetos. Mais além, atinge os professores de arquitetura, que relegam a disciplina de acústica a profissionais sem formação específica na área.

Com o ensino de acústica para os alunos de arquitetura deficiente, com o mercado imobiliário que poucas opções oferece na área e com a população pouco esclarecida sobre o tema, o resultado não poderia ser diferente da situação em

que se encontram as cidades brasileiras atuais, com altos níveis de poluição sonora e construções sem qualquer parâmetro de qualidade acústica.

Báring (1988) ressalta que não foi por falta de aviso. A ONU (Organização das Nações Unidas) prognosticou que no final do século XX, em muitos países em desenvolvimento, o ruído estaria entre as quatro maiores ameaças ao ambiente urbano.

A contribuição deste trabalho para a transformação da qualidade do isolamento sonoro nas edificações é pretendida através da conscientização de profissionais sobre a importância do isolamento sonoro nas residências. Ainda, deseja-se oferecer subsídios para a discussão sobre a necessidade de normalização a cerca do nível de isolamento sonoro nas edificações, já que no Brasil não existe qualquer tipo de norma a esse respeito, apesar dos níveis de ruído urbano das cidades brasileiras estarem entre um dos maiores do mundo (VIVEIROS, 1998).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o processo evolutivo da moradia brasileira, por meio de predição analítica, para detectar processos construtivos que trouxeram maiores prejuízos ao desempenho de isolamento sonoro das habitações.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os principais acontecimentos ao longo da história da arquitetura brasileira que significaram mudança na qualidade acústica das residências;

- Realizar um levantamento dos principais processos construtivos brasileiros aplicados na moradia para se ter um quadro geral dos principais exemplos;
- Dentre as diversas teorias de isolamento sonoro, selecionar a que deve ser aplicada ao resultado do levantamento dos processos construtivos, quando se identificarão quais desses representaram transformações significativas no isolamento sonoro das edificações;
- Comparar os resultados obtidos com parâmetros internacionais, com a finalidade de diagnosticar qual a situação do Brasil em níveis de isolamento sonoro de residências com o restante do mundo;
- Verificar, quantitativamente, a hipótese de degradação acústica das vedações da moradia brasileira.

1.2 METODOLOGIA

Esta dissertação investiga a hipótese de uma constante degradação do isolamento sonoro dos componentes de vedação das edificações brasileiras ao longo da história. Para isso, são investigadas as inovações tecnológicas incorporadas à habitação ao longo do processo evolutivo das construções. Ao final, propõe-se um quadro histórico da perda da qualidade de isolamento acústico das edificações, ressaltando-se o impacto das principais transformações dos componentes de vedação. A casa é o objeto de estudo da pesquisa, primeiro por ser uma edificação existente ao longo de toda a história da humanidade e, também, por ser o lugar de permanência e descanso do homem.

A metodologia deste trabalho inclui uma pesquisa bibliográfica sobre diversas áreas de conhecimento, como do isolamento sonoro, da evolução da

arquitetura e dos processos construtivos. A partir daí há o cruzamento, até onde seja de conhecimento da autora, inédito, entre a história da arquitetura brasileira e a análise do isolamento sonoro oferecido pelas edificações. A correlação entre esses dois aspectos é feita através de predições analíticas do isolamento sonoro dos componentes de vedação dos principais exemplos da arquitetura brasileira.

Assim, o trabalho contém dois segmentos. O primeiro consiste na análise qualitativa dos principais eventos que contribuíram na degradação acústica da residência. No segundo, é realizada uma avaliação quantitativa do nível de isolamento das vedações brasileiras.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação é composta de cinco capítulos. O capítulo 2 apresenta a investigação da história da arquitetura ocidental e brasileira, buscando-se destacar as principais interferências na qualidade do isolamento sonoro das edificações.

No capítulo 3 encontram-se as principais formulações analíticas do isolamento sonoro, destacando-se a formulação aplicada aos componentes de edificação no capítulo seguinte. No capítulo 4 tem-se o levantamento dos principais processos construtivos brasileiros e o cálculo dos níveis de isolamento de exemplares de vedações brasileiras ao longo da história. Por último, no capítulo 5, estão apresentadas as conclusões obtidas com o estudo. Também se discutem propostas de futuras investigações na linha de pesquisa.

Capítulo 2

EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA HABITAÇÃO

2.1 A EVOLUÇÃO DO SIGNIFICADO DA CASA

2.2 A CASA NO CONTEXTO DA ARQUITETURA BRASILEIRA

2.3 CONCLUSÕES

Neste capítulo é apresentada uma investigação qualitativa sobre a habitação com o levantamento das principais etapas da história da arquitetura residencial brasileira a fim de identificarem-se quais eventos na história significaram uma mudança na qualidade acústica das habitações. Vale ressaltar que nem todos os acontecimentos têm relação direta com a qualidade acústica, mas necessitam ser relatados por serem eventos importantes da história.

Primeiramente será realizado um estudo sobre as mudanças da casa na arquitetura ocidental em geral e, posteriormente, são enfocadas as particularidades da casa brasileira. Ao final do capítulo encontra-se um quadro com os principais eventos destacados e o rebatimento na qualidade acústica das edificações.

A casa foi escolhida por se uma edificação significativa ao longo de toda a história, bem como apresenta funções que estão diretamente relacionadas a baixos níveis de ruído. Essas funções variaram ao longo do tempo, desde abrigo, refúgio, descanso e, até, estudo e trabalho.

O que é levantado neste trabalho independe de escolas ou estilos arquitetônicos de determinada época mas sim destacam-se os acontecimentos que tiveram relevância em relação ao desempenho acústico da residência.

2.1 A EVOLUÇÃO DO SIGNIFICADO DA CASA

... Mas a casa não é um frio sólido que envolve o homem. A casa é vivida pelo homem; adquire valores humanos... Esse objeto geométrico se transforma em humano, assim que entendemos a casa como um espaço de conforto e intimidade (VERÍSSIMO, 1999, pg. 9).

Há aproximadamente quinze mil anos, no período mesolítico, surgiram os primeiros resquícios de ocupação permanente do homem em um único sítio. Antes desse período, baseado apenas na caça e na coleta de alimentos para um só dia, não era possível permanecer em um único lugar, defendê-lo dos invasores e muito menos aumentar a população.

Citando Braidwood, Mumford (1998) afirma que a mais primitiva morada humana encontra-se na Mesopotâmia. Tratava-se de um buraco cavado no solo, onde a argila ressecada pelo sol fê-la tomar a consistência de tijolos. Entre 9000 e 4000 anos a.C. surgiram os embriões das antigas civilizações do Nilo e da Mesopotâmia que, no início, segundo Mumford (1998), eram apenas um *aglomerado de cabanas de barro cozido ou de construções de caniço e lama, de tamanho atarracado, a princípio pouco melhor que a morada de um castor.*

Com o suprimento alimentar, a domesticação de alguns animais e o plantio de sementes foi possível construírem-se as primeiras casas permanentes, as primeiras aldeias e, a partir daí, as primeiras civilizações. Seria um erro buscar padrões de residência na Antigüidade, pois foram incontáveis as soluções adotadas para a adequação às mais diferentes situações. No entanto, algumas características se generalizam na maioria dos exemplos mais antigos da morada humana: eram construções modestas, sem muito luxo e refinamento plástico – algo reservado para prédios públicos e religiosos – e, na maioria, construídas com

elementos cuja matéria-prima era a argila, seja em forma de blocos crus, secos ao sol, ou misturada com outros materiais, como a palha ou a pedra.

Na medida em que o ambiente exterior se desenvolveu e começou a apresentar as mais variadas fontes de ruído, surpreendentemente, o envoltório das construções se tornou gradativa e constantemente mais permeável ao som. Esse fato vai de encontro com um benefício que o homem moderno priorizou em suas habitações, a privacidade, pois o ruído é um dos principais fatores que dificultam a sensação de isolamento em relação ao exterior.

A casa burguesa típica da sociedade medieval do século XIV servia tanto como moradia como local de trabalho. A parte principal da casa funcionava como loja ou oficina, onde transitavam muitas pessoas durante todo o dia. A ilustração 2.1 exemplifica a rotina em uma oficina medieval, onde mostra artesãos executando diversas atividades em um único espaço. A área reservada para moradia não tinha diversos quartos ou salas. A morada medieval era, na verdade, um grande salão com poucos móveis que servia para diversas funções, dependendo da necessidade de quem utilizasse o espaço.

Rybczynski (1986) comenta:

Na Idade Média, as pessoas mais acampavam do que viviam em suas casas [...] A casa medieval era um lugar público, e não privado. [...] Isto ocorria em parte porque, na falta de restaurantes, bares e hotéis, elas serviam como locais de encontros públicos para as pessoas se entreterem e fazerem negócios [...]. Como todas estas pessoas viviam em um ou, no máximo, dois compartimentos, não se conhecia a privacidade (RYBCZYNSKI, 1986).



Ilustração 2.1: Pintura a óleo de uma casa medieval – as atividades de trabalho eram realizadas na parte da frente da casa. (Fonte: FARIA, 2003).

O maior passo para a conquista da privacidade e da domesticidade foi a mudança de visão da casa como uma mera proteção contra invasores e intempéries para se tornar o centro familiar. Isso se deveu, principalmente, à valorização da criança e à construção dos primeiros quartos de dormir. No período medieval, as mães enviavam seus filhos para trabalhar nas casas mais abastadas para aprenderem os bons hábitos da nobreza. *Não eram só os filhos dos pobres que trabalhavam; em todas as famílias, as crianças eram mandadas para fora de casa quando completavam sete anos de idade* (RYBCZYNSKI, 1986).

Os quartos de dormir tiveram uma grande influência da corte do século XVII. O que antes era sinônimo de solidão e acessível somente aos monges, a

intimidade, tornou-se artigo de luxo e requinte barroco. Ter o próprio quarto era questão de *status* social.

Outro aspecto que marca a história da moradia é o avanço da tecnologia. A partir do século XVIII a casa passa a oferecer suprimento e aquecimento de água, além de uma melhor subdivisão dos cômodos. Entretanto, o ápice de todos os inventos foi a energia elétrica. Com luz durante todo o dia era possível ler mais, dormir mais tarde e conversar por mais tempo com os filhos. A tecnologia, nesse ponto da história, serviu, na verdade, como instrumento de estreitamento dos laços familiares e colaborou para a criação da nova unidade social, a família.

No entanto, a partir daí, acontece o que Mumford (1998) chama de “divórcio da casa e do local de trabalho”. A setorização da casa também se refletiu no traçado das cidades. Como a casa não era mais local de trabalho, começaram a existir áreas específicas para determinadas funções, exigindo maiores deslocamentos. Surgiram, assim, as primeiras grandes avenidas das cidades barrocas, quando a moradia começa a dividir o espaço da cidade com vias que anunciam o intenso fluxo de veículos que viria no futuro.

Grande parte das cidades com molde medieval foram completamente destruídas e outras novas planejadas com a finalidade de se adequarem ao novo ritmo urbano. Exemplo típico desse momento foi o plano de Haussmann para Paris (BENÉVOLO, 1997), que foi totalmente remodelada com largas avenidas onde as quadras se adequaram à malha viária, conforme mostra a ilustração 2.2.



Ilustração 2.2 – Mapa de um setor de Paris com suas principais avenidas: proporção da malha viária versus áreas construídas^{2.1}

O senso de intimidade nas residências foi surgindo de acordo com a evolução da arquitetura e das cidades. Muito mais do que só um avanço no aspecto funcional das moradias, foi também um reflexo frente às mudanças ocorridas nos costumes das famílias e afetou, principalmente, a consciência e o modo de pensar de quem vivia aquele momento.

Passados alguns anos, no início do século XX, diversos eventos acontecem para interferir definitivamente no desempenho acústico da residência. Weissenburger (2004) afirma que um fator determinante para o declínio do isolamento acústico e da privacidade nas construções foi o final de Segunda Grande Guerra, quando as cidades europeias, em seu processo de reconstituição rápida, modificaram a estrutura das construções e as paredes se tornaram cada

^{2.1} Disponível em: <http://www.webscapades.com/france/paris/hotels/trocadero-dokhans-location.htm>. Acessado em 20/04/2004.

vez mais leves e delgadas.

Como resultado de todas as mudanças que ocorreram no mundo, a arquitetura responde com um movimento que parecia afrontar todos os preceitos visados para a residência. Surgiu o Movimento Moderno, *numa linha racional, não comprometida com o referencial humano, não visando ao resgate de escala exceto a da razão, do frio domínio da lógica, e essencialmente mecanicista, endeusando a 'machine-à-habiter', o espaço limpo, asséptico [...]* (VERÍSSIMO, 1999). O edifício de apartamentos se tornou o mais novo modo de morar e logo invadiu a paisagem de diversas cidades no mundo e, também, no Brasil.

Juntamente com a evolução da arquitetura, as cidades também se desenvolveram, oferecendo facilidades aos que nelas habitavam. Porém, as conseqüências de tamanhas mudanças nem sempre foram benéficas. A poluição é uma das piores seqüelas. Na cidade contemporânea existe poluição em todos os lugares: na água, nos alimentos, no ar, no que se vê e no que se ouve. Pesquisas mostram que o ruído se tornou um problema de saúde pública, sendo a terceira principal causa de poluição no mundo. No entanto, a poluição sonora, conforme demonstra Fiorini (2002), está longe de ser uma das maiores preocupações da população.

Ao longo do tempo, a arquitetura e a tecnologia buscaram incentivar o convívio familiar protegendo a residência de possíveis interferências, no entanto percebe-se que do século XX em diante a situação tem se revertido. Paradoxalmente, os edifícios residenciais atuais apresentam elementos de vedação que servem como separação física entre as unidades habitacionais, mas não possuem proteção adequada contra o ruído externo ou de vizinhança.

2.2 A CASA NO CONTEXTO DA ARQUITETURA BRASILEIRA

A casa é utilizada não apenas como um espaço que pode abrigar iguais (como é o caso da família norte-americana), mas como uma área onde não existem indivíduos e todos são pessoas, isto é, todos que habitam uma casa se relacionam entre si por meio de laços de sangue, idade, sexo e vínculo de hospitalidade e simpatia que permite tornar a casa como o grande ideal da própria sociedade brasileira. (DA MATTA, 1984, pg.10).

No século XVI a colonização portuguesa se iniciou no Brasil de forma rápida e extensiva. Em poucos anos de ocupação, diversas cidades já tinham sido formadas. Apesar da grande extensão territorial, as primeiras moradas brasileiras tinham quase todas a mesma aparência, principalmente por causa do uso de técnicas construtivas semelhantes e pela repetição de modelos estilísticos. Lemos (1996) afirma que eram casas brasileiras com exterioridades lusitanas.

A casa popular urbana colonial teve praticamente a mesma planta por todo o país. Isso se deveu, principalmente, à configuração dos lotes, herdada das antigas tradições urbanísticas de Portugal, que induziam à construção de casas compridas, geminadas e com cômodos enfileirados. As casas eram construídas nos limites do lote, impedindo a criação de áreas livres, como os jardins, que só apareceram no Brasil no século XIX (REIS FILHO, 1987). Como consequência na qualidade acústica tem-se a falta de privacidade e uma maior proximidade entre fontes sonoras.

A padronização era levada tão a sério que era fixada nas Cartas Régias ou em posturas municipais, tornando-se exigência corrente no século XVIII, e determinando dimensões e números de aberturas, altura dos pavimentos e alinhamentos com as edificações vizinhas. Até os nomes das vilas eram copiados das de Portugal. A principal finalidade das regras, segundo Reis Filho (1987), era

garantir para as vilas e cidades brasileiras um aspecto de cidade portuguesa.

Comparando-se a ilustração 2.3, de casas em Portugal, com a ilustração 2.4, com casas brasileiras, pode-se perceber a semelhança entre as duas arquiteturas. Barreto (1975) mostra uma parte de uma das Cartas Régias que diz:

... Ficarã pertencendo darem gratuitamente os terrenos, que se lhes pedirem para casas, e quintais nos lugares, que para isso se houver delineado; só com a obrigação de que as ditas casas sejam sempre fabricadas na mesma figura uniforme, pela parte exterior, ainda que na outra parte interior as faça cada um conforme lhe parecer, para que desta sorte se conserve a mesma formosura das vilas. Depois de terdes determinado as fundações das sobreditas vilas na referida forma, impondo-lhes os nomes das vilas mais notáveis deste reino, ou conservando os das referidas freguesias no caso que não sejam bárbaros: elegereis as pessoas, que há de servir os cargos delas, como se acha determinado pela ordenação (BARRETO, 1975, pg. 197)



Ilustração 2.3 – Residências típicas portuguesas^{2.2} .

A ilustração 2.4 mostra três exemplos brasileiros que ilustram como o padrão português se repetiu, sendo quase impossível distinguir uma cidade de outra, apesar de se localizarem em locais distintos do Brasil.

^{2.2} Fonte: Disponível em: <http://frkchemin.free.fr> e www.supphoto.net/galerie/fonds_echans_gratuits/, respectivamente. Acessado em: 15/01/2005



Ilustração 2.4 – Casas coloniais brasileiras. No sentido horário: Marechal Deodoro, Alagoas; Ouro Preto, Minas Gerais; Parati, Rio de Janeiro^{2,3}.

Enquanto o Brasil permaneceu colônia portuguesa não se observou empenho no rebuscamento da arquitetura residencial. Em sua maioria, as casas eram modestas, despojadas e executadas segundo técnicas como se repetisse um costume vernáculo (LEMOS, 1996). O interessante é que, mesmo sendo exigida apenas a padronização das fachadas, o interior das residências obedecia a uma surpreendente monotonia, como afirma Reis Filho (1987).

O século XIX trouxe para o Brasil novos hábitos fidalgos devido, principalmente, à transferência da corte de Lisboa para o Rio, à criação da Academia Imperial de Belas Artes do Rio de Janeiro e à presença da Missão Cultural Francesa. Em um curto período, a modesta casa colonial começou a

^{2,3} Fonte: www.angelfire.com/ca/jpheraud/maceio.html; www.geog.umontreal.ca/.../projetcbrasil.htm; brazilspecial.net/.../city.asp?city=Paraty, respectivamente. Acessado em: 12/09/2004.

assimilar os luxos da vida burguesa. Dizia-se, naquele tempo, que se trocou o “útil pelo fútil” (LEMOS, 1996). As primeiras transformações foram discretas e, aos poucos, tomaram grandes proporções. Já na metade do século XIX a maioria das cidades brasileiras conhecia duas modalidades de residência: a chamada “local” – modesta e com a tradição construtiva regional – e a “moderna”, típica daquele momento usufruído pela sociedade brasileira. A ilustração 2.5 mostra um exemplo dos chalés, característicos da influência européia.

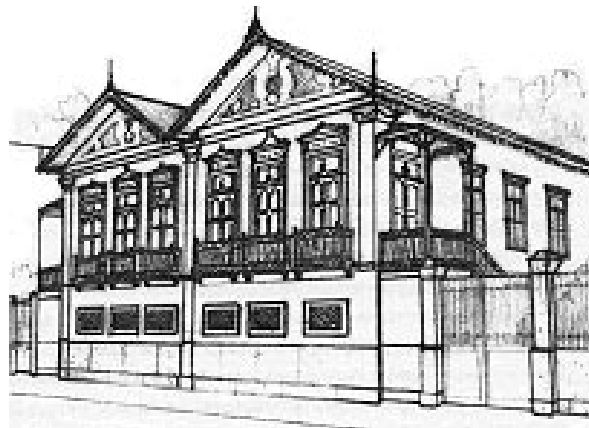


Ilustração 2.5 – Chalés urbanos, com uma influência típica européia.

(Fonte: VERÍSSIMO, 1999).

A Revolução Industrial e a integração do país ao mercado mundial, com a abertura dos portos, permitiram a entrada de equipamentos que colaboraram na alteração da aparência, bem como na acústica das casas nas cidades brasileiras, refletindo o poder do café. O vidro, material antes raro, tornou-se mais acessível economicamente e logo serviu para clarear o interior das residências, que antes era consideravelmente escuro devido às janelas feitas de tábuas de madeira, fechadas nos momentos de chuva e de forte vento.

Os equipamentos de iluminação artificial tiveram rápido avanço, desde os modernos lampiões de mecha circular às lâmpadas incandescentes. Era possível fazer à noite a chamada tertúlia, quando todos se sentavam ao redor da mesa

para comer e depois jogar, conversar ou ler (LEMOS, 1996). Assim, o programa de necessidades também se adaptou à novidade. Pessoas alheias à unidade familiar – que antes não passavam da sala de visitas – começaram a participar das programações familiares concentradas na sala de jantar, as chamadas varandas.

Se por um lado houve melhoria na qualidade acústica residencial, com a divisão mais funcional dos cômodos e no descolamento dos limites do lotes, nesse momento, também, as construções ficaram mais leves e com mais aberturas, tornando-se mais permeáveis ao ruído.

Mesmo com tamanhas mudanças, a casa brasileira não deixou de ter sua característica própria. Segundo Da Matta (1984), a casa brasileira obedece a uma gramática espacial bem definida em toda a sua história. Citado pelo mesmo autor, John Luccock descreve, em texto escrito entre 1808 e 1818, a clássica divisão da casa brasileira em sala de visitas e sala de jantar, com rígida separação dos quartos e varanda.

Entre 1808 e 1821, D. João VI encarregou o intendente geral da polícia, o desembargador Paulo Fernandes Viana, de tirar qualquer construção de influência árabe dos becos, fossem rótula, treliça, balcão ou muxarabis (LEMOS, 1996). Nesse período, o Brasil foi invadido pelos produtos ingleses, que ajudaram a dar o ar aristocrático que tanto os brasileiros almejavam. A partir do Rio de Janeiro, iniciou-se um processo de extinção de qualquer elemento que pudesse lembrar a condição de cidade colonial.

As transformações sociais decorrentes da abolição da escravatura e da Proclamação da República também marcaram a configuração da casa brasileira.

Foi quando os espaços foram reduzidos, por não existir mais escravos para desempenharem diversas atividades necessárias para manter a grande casa colonial habitável. Recolher o lixo, limpar a casa, entre outras atividades, passaram para a responsabilidade da mulher (VERÍSSIMO, 1999). Nesse momento, a classe alta da sociedade começa a buscar na periferia seu refúgio. Em São Paulo e no Rio de Janeiro eram construídos verdadeiros palacetes, com grandes e requintados jardins e praças. A maioria seguiu à risca os ditames do ecletismo. Já a classe média ocupou as casas de aluguel deixadas pelos ricos na cidade, com os típicos porões altos, de influência européia, como mostra a ilustração 2.6.

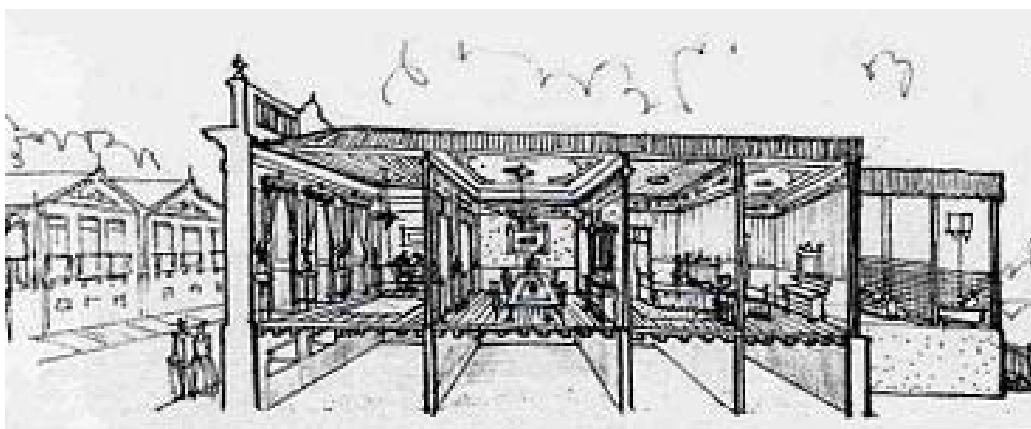


Ilustração 2.6 – Corte esquemático de uma casa urbana de classe média do século XIX
(Fonte: VERÍSSIMO, 1999).

Lemos (1999a) destaca a importância que os códigos de posturas tiveram, a partir da proclamação da república, na qualidade das habitações. O Código de Posturas de 1886 da cidade de São Paulo foi um dos primeiros documentos a exigir aberturas nos cômodos. Apesar de grandes falhas iniciais, esses textos cooperaram para a melhoria gradativa das habitações urbanas.

No final do século XIX as cidades brasileiras apresentavam um quadro de grande prosperidade. A decadência do trabalho escravo e a imigração de europeus para o país contribuíram na melhoria da qualidade técnica das construções. Dessa forma, o modelo de casa colonial foi aos poucos abandonado. A influência européia transformou a paisagem das cidades brasileiras. Na ilustração 2.7 é possível confundir a paisagem do Rio de Janeiro com uma cidade européia qualquer. O que, ironicamente, declara a sua “tropicalidade”, é o comentário do remetente: “temperatura hoje 27° centígrados ‘não no sol’”.



Ilustração 2.7 – “Uma Paris tropical”. Av. Central, no Rio de Janeiro no início do século XX. (Fonte: VERÍSSIMO, 1999).

Era possível ter água potável encanada, gás, combustível para as luminárias e fogões e energia elétrica no interior das residências. As tubulações, como grande parte dos elementos construtivos, de acabamento e de decoração, vinham da Europa e todos eram muito caros.

A melhoria da qualidade de vida, além do crescimento do comércio e da indústria nos maiores centros urbanos, principalmente na cidade de São Paulo, começou a atrair pessoas de diversas regiões. No entanto, a cidade não tinha estrutura suficiente para tamanha demanda. Diversos entraves, como a violência, a fome e o desemprego, começaram a entrar no cotidiano das cidades. Junto com as dificuldades veio a falta de moradia que, na tentativa de se resolver a situação, estimulou a proliferação, nos grandes centros, de uma enormidade de habitações com os mais variados estilos. Nesse momento, a qualidade do isolamento acústico das residências cai consideravelmente, já que as construções ficam mais leves e baratas e são feitas com materiais pouco resistentes. Esse efeito da diminuição na massa das edificações ocorrido àquela época será quantificado posteriormente no capítulo 4, utilizando-se a teoria a ser apresentada no capítulo 3.

Inspirado na senzala, surgiu o cortiço, que originalmente significava colméia, a morada coletiva das abelhas, que era uma construção com diversas casas enfileiradas e de mesmo padrão. O típico cortiço tinha entre dois e quatro metros, com dois ou três banheiros ao fundo e alguns tanques para lavar roupas, e duas fileiras de quartos separados por um corredor central. Por ser um investimento barato e lucrativo, vários proprietários mantiveram seus cortiços próximos às linhas férreas por longo período, até o final da década de 60.

Partindo dos cortiços, foram criadas as casas operárias, que tinham no mínimo três cômodos, sala, quarto, cozinha e banheiro no quintal. Qualquer casa pequena era chamada de casa operária. Logo, os industriais perceberam as vantagens de manterem seus empregados perto do trabalho e criaram as chamadas vilas, onde quarteirões inteiros próximos às fábricas, com casas

operárias, eram destinados a abrigar seus funcionários.

Também surgem nesse período as casas com novos esquemas de implantação, mais afastadas dos limites laterais do lote, permitindo maior privacidade e surgindo, então, espaço para criação de jardins laterais. Geralmente, os afastamentos eram apenas de um lado do terreno, do outro, caso existisse, era mínimo (REIS FILHO, 1987).

Com a separação da moradia do local de trabalho e o aumento da migração do campo para os grandes centros urbanos, os velhos sobrados de estilo português localizados no centro das cidades foram substituídos por prédios, inicialmente com poucos andares e de uso exclusivamente comercial. Os primeiros anos do século não trouxeram grandes mudanças e, por esse motivo, alguns teóricos (LEMOS, 1996; REIS FILHO, 1987) preferem até datar como o começo do século XX o início da Primeira Guerra, marco de profundas transformações.

A Primeira Guerra Mundial, em 1914, representou uma mudança brusca na arquitetura residencial brasileira. O ecletismo se baseava principalmente nos materiais construtivos importados da Europa. Com a dificuldade de comunicação e com o despreparo da indústria brasileira, os Estados Unidos entraram no mercado com poucos materiais de construção, mas uma imensidão de objetos decorativos que transformaram a pompa e a elegância da casa eclética.

Lemos (1996) também destaca que, durante o período de guerra, a paralisação quase que total das construções colaborou na mudança mais radical dos estilos arquitetônicos. Pode-se dizer que houve um bloqueio, um esquecimento do ecletismo nesse tempo.

A década de 20 foi um período de grande efervescência intelectual. Como afirma Veríssimo (1999), foi um momento de tensões políticas, radicalismo, e conflitos ideológicos. A crise do ecletismo foi acompanhada da chegada do edifício capitalista, que exigia novas tecnologias devido à sua complexidade e partido plástico. É nessa época que surge o movimento neocolonial, que representava um resgate das raízes da casa brasileira, pois ter uma casa moderna naquela época ainda causava espanto para a família da classe média brasileira. O neocolonial perdurou até meados de 50. Na ilustração 2.8, tem-se alguns exemplos de residências daquela época.

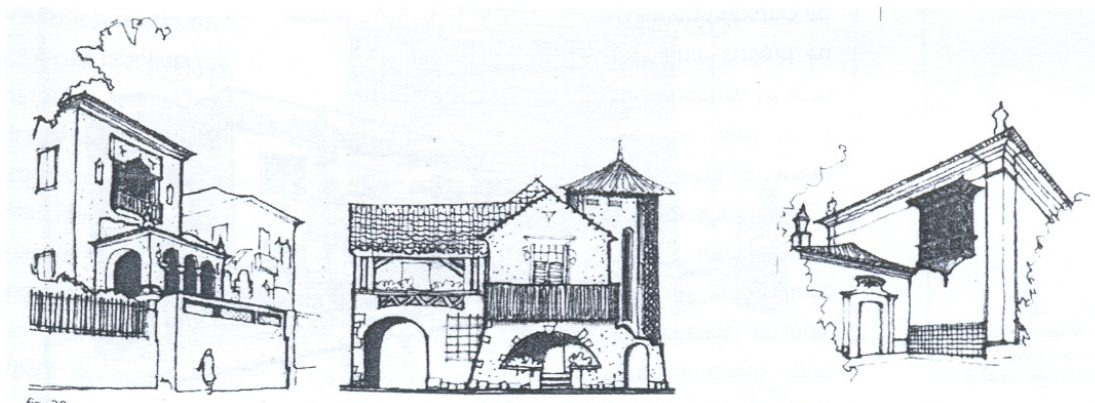


Ilustração 2.8 – As variações do estilo neocolonial com suas diferentes configurações de varanda e busca das mais variadas influências. (Fonte: VERÍSSIMO, 1999).

Junto com o neocolonial, variados “estilos” surgiram de acordo com a situação de cada região. Essa variedade de construções foi incrementada com as novas exigências das prefeituras, tornando obrigatórios os recuos de frente e laterais, permitindo a criatividade dos construtores para elaborarem todas as fachadas. Tendo como padrão as cidades européias, nesse momento inicia-se um processo de grandes intervenções na escala urbana. Extensas avenidas e *boulevares* foram abertos e arrojados planos de saneamento básico foram

implantados.

No final dos anos vinte, uma novidade trazida dos Estados Unidos invade os grandes centros e propõe para a classe média um novo investimento que, no início, poderia servir mais para negócios do que para morar propriamente: o *skyscraper*. O conceito arranha-céu chega ao Brasil e logo aparecem os primeiros exemplos em São Paulo e Rio de Janeiro, trazendo a idéia de progresso.

O edifício, só que agora com poucos andares, também começa a ocupar os bairros populares com o mesmo objetivo: obter maiores lucros em um pequeno terreno. As plantas das unidades não apresentam grandes mudanças. Eram apenas casas amontoadas com mesmo programa e organização espacial dos tempos coloniais.

A partir da segunda metade da década de 30 um novo elemento começa a participar da rotina das casas da classe média – o eletrodoméstico. O primeiro foi o ferro de passar, seguidos dos refrigeradores elétricos, aspiradores de pó e enceradeiras. O rádio, acoplado às vitrolas de 78 rotações, ajudou a substituir o som do piano e outros instrumentos musicais pelo som eletrônico. O eletrodoméstico colaborou para diminuir o número de ambientes da antiga casa colonial e reduziu o tamanho das áreas de serviço e da cozinha. Nesse momento, o ruído começa a ser gerado a partir da residência, comprometendo a qualidade acústica dos ambientes.

O modernismo chegou à arquitetura brasileira nas décadas de 30 e 40. No interior das casas a idéia de fluidez dos espaços provocou uma superposição consciente das atividades, algo que antes era considerado inaceitável. Tal tipologia afeta substancialmente a qualidade acústica das residências, já que as

paredes das casas não exercem mais a sua função de divisores, reduzindo a privacidade dos moradores. Lemos (1996), mesmo sem estar destacando a qualidade acústica da casa moderna brasileira, descreve:

Há dessas casas modernas em que até os dormitórios possuem paredes baixas. Com essa pretendida continuidade espacial, as paredes divisórias deixam de ser efetivamente isoladoras de atividades para tornarem-se simplesmente selecionadoras de ambientes, havendo uma intencional promiscuidade (LEMOS, 1996, pg. 74).

Em fins dos anos 40 e começo da década de 50 inicia-se a proliferação de prédios de apartamentos, que incentivada por um competitivo mercado imobiliário e respondendo à necessidade pela casa própria da classe média, fez surgir o apartamento mínimo com sala-quarto, banheiro e *kitchenete*. Com a saturação do mercado, começaram a surgir outras opções de escolha, com dois a cinco dormitórios.

O período de 1940 a 1960 é de intensa industrialização e urbanização do Brasil. Tal fase se inicia com a Segunda Guerra e, como marco arquitetônico, tem-se a construção do Ministério da Educação no Rio de Janeiro, estendendo-se até 1960, com a construção de Brasília.

O segundo pós-guerra é caracterizado pela imposição do *american-way-of-life*, com abandono definitivo dos hábitos tradicionais franceses e a supervalorização de novas tecnologias, que logo abarrotam as casas dos brasileiros com os mais diferentes equipamentos. Os edifícios de apartamentos se consagram como principal modelo da habitação, desde a classe alta às mais populares.

Apesar de não ser de fabricação brasileira, nos anos 40. a utilização do automóvel começa a se disseminar e a ser mais facilmente comercializado no

Brasil. Ter um carro na garagem é sinônimo de *status*, símbolo de modernidade e liberdade. A garagem toma o lugar da varanda e quanto mais exposta essa pudesse estar, melhor.

A década de 50 encerra com o país em grande euforia em diversas áreas: nos esportes, com a vitória na Copa de 58 na Suécia; na música, com a Bossa Nova; no cinema, com a Palma de Ouro em Cannes e na arquitetura, com obras extraordinárias em construção, como Brasília. Nesse período, com a popularização da televisão, a vida íntima das famílias passa por um processo de grandes mudanças. Começam a entrar no Brasil os primeiros móveis modernos, adaptados à televisão e à sala de estar, que fundiu-se com a de jantar. Em grande parte dos programas de projeto de uma residência, aparece a sala de televisão, onde a família permanece longos períodos. Assim, dois ambientes se estabelecem: o de estar e fazer as refeições e o de assistir à televisão (LEMOS, 1996).

A partir de 1960, com a finalização de Brasília, a sociedade brasileira começa a aceitar o moderno sem reservas e o edifício de apartamentos começa a ocupar com mais facilidade a paisagem urbana. Bairros antes tranquilos e arborizados, ausentes de trânsito intenso, modificam-se completamente. O Grajaú, no Rio de Janeiro, é um exemplo típico. Veríssimo (1999) afirma:

[...] a família agora é levada a aceitá-lo [movimento moderno], identificando a nova casa "funcional" com as linhas arrojadas da arquitetura moderna brasileira, porque é através dela que o futuro vai chegar mais rápido (VERÍSSIMO, 1999).

A empolgação com o moderno não durou muito tempo. Já no início da década de 70, o rigor formal da arquitetura moderna arrefeceu, principalmente nas regiões subdesenvolvidas. onde se achava mais evidente a situação pela qual

passava o país, com a crise capitalista pela alta do petróleo e do dólar. Naquele momento, a casa brasileira volta-se a um desenho mais tradicional, regional e menos internacionalista. As telhas de capa e bica, as grandes varandas, as janelas de madeira de vergas arqueadas, os pisos de tábuas corridas e as lajotas começaram a ser usadas sem medo e as formas geométricas simples, o concreto aparente e o pano de vidro ficaram em segundo plano, restringindo-se seu uso, na maioria das vezes, aos prédios de uso comercial.

A crescente febre de consumo dos anos 70 agregou valor ainda maior ao automóvel e somente um carro para a família não bastava. É nessa ocasião que o tráfego de automóveis aumenta consideravelmente. A garagem tornou-se elemento necessário da residência e não apenas uma questão de *status* frente à sociedade. A legislação começa a atrelar o número de quartos ao número de vagas oferecidas às unidades e logo andares inteiros dos prédios eram separados exclusivamente para guardar os carros dos moradores. Nos anos 80, a garagem começa a ser equipada com os mais diferentes aparelhamentos eletrônicos contra furtos e para oferecer maior praticidade aos seus usuários.

A partir dos anos 80 surge uma nova função na residência: a de trabalhar em casa, com o novo elemento que colabora no maior isolamento e individualização dos membros da família – o microcomputador. O interessante é que o fato traz de volta a situação de centenas de anos antes, quando a habitação e o trabalho dividiam o mesmo espaço, conforme foi visto anteriormente na ilustração 2.1.

Reis Filho (1987) destaca que a casa brasileira passou por um processo contínuo da busca de privacidade.

Ao contrário das velhas casas, preocupadas com a exibição de suas salas à rua, surgem agora pátios e jardins nos fundos ou na parte central, longe da vista dos estranhos, para os quais abrem-se quartos e salas, num ambiente de completa intimidade.

2.3 CONCLUSÕES

Com tantas mudanças num curto prazo de tempo, hoje, percorrendo as ruas das cidades brasileiras, é possível encontrarem-se todas as etapas pelas quais a casa brasileira passou. Como afirma Veríssimo (1999):

O prazo é tão curto que é possível hoje [...] encontrarmos a casa colonial de caboclo, a senzala nas precárias instalações dos cortadores de cana ou colhedores de laranja, a casa-grande nas grandes residências de veraneio com a casa de empregados ao fundo...

Mas também é possível nos depararmos com soluções contemporâneas como os “apart-hotéis” ou lofts pós-modernos informatizados ou ainda confortabilíssimos apartamentos triplex nos bairros-jardins paulistas (VERÍSSIMO, 1999, pg. 129).

A ilustração 2.9 mostra uma rua hipotética onde são mostrados alguns dos principais exemplos de arquitetura da casa brasileira, destacando-se suas modificações.

O objetivo desta primeira parte do trabalho foi mostrar a evolução da casa e da cidade brasileiras, relatando eventos que tiveram influência na qualidade acústica das residências. Resumindo os principais acontecimentos, este capítulo conclui com a ilustração 2.10, onde é possível observarem-se sucintamente os principais eventos históricos.

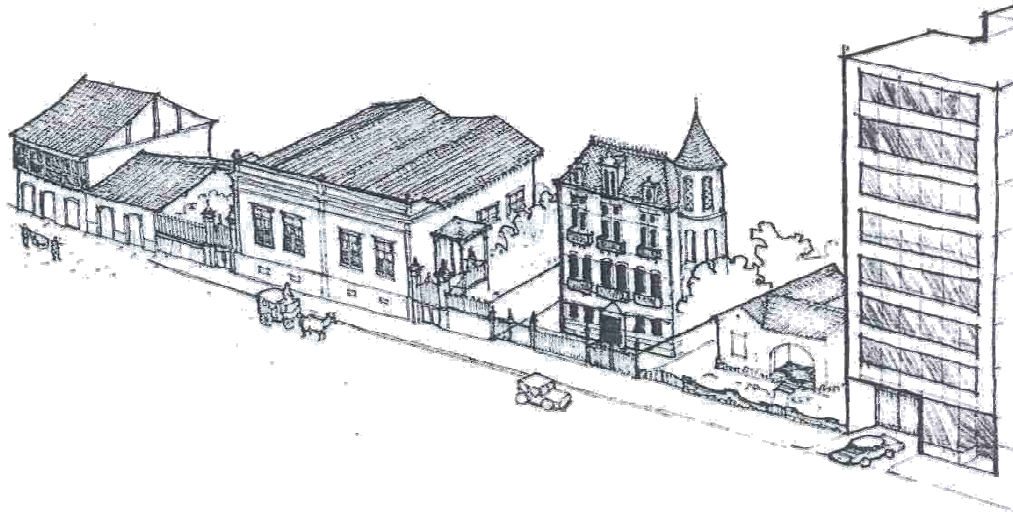


Ilustração 2.9 – Hipotética reconstituição de rua com exemplares arquitetônicos de diversas tendências estilísticas (Fonte: VERÍSSIMO, 1999).

No capítulo 4 encontra-se a segunda vertente do trabalho, que é a estimativa da transmissão sonora dos elementos de vedação da residência brasileira. No entanto, faz-se necessário um estudo preliminar sobre a teoria de isolamento sonoro, que será mostrada no próximo capítulo.



Ilustração 2.10– Evolução dos usos e costumes, alterações da tipologia residencial e os principais acontecimentos que influenciaram no desempenho acústico das residências.

3.1 INTRODUÇÃO

3.2 PERDA DE TRANSMISSÃO DE PAREDES SIMPLES (PT)

3.2.1 TRANSMISSÃO SONORA ATRAVÉS DE TRÊS MEIOS

3.2.1.1 TRANSMISSÃO SONORA COM INCIDÊNCIA OBLÍQUA

3.2.1.2 TRANSMISSÃO SONORA COM INCIDÊNCIA ALEATÓRIA

3.2.2 TRANSMISSÃO SONORA DE PAREDE OSCILANTE

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo Sharland (1979), isolamento, seja térmico, elétrico ou sonoro, significa prover uma barreira para um fluxo de energia que, neste caso, é a energia sonora. A forma mais óbvia de se obter isolamento é estabelecendo uma barreira sólida impermeável no caminho da propagação.

Neste capítulo estão expostos os parâmetros necessários para se construir uma barreira adequada ao nível de isolamento necessário a cada caso.

3.1 INTRODUÇÃO

Existe uma variedade de métodos e terminologias para se predizer o nível de isolamento sonoro de um componente. Muitos dos termos se confundem entre si e existem dúvidas entre as terminologias e traduções corretas. A tabela 4.1 apresenta os principais índices e a diferença entre eles.

Tabela 3.1 – Nomenclaturas dos principais termos utilizados em isolamento sonoro aéreo, as normas internacionais relacionadas, as principais referências que as utilizam e a definição dos termos.

ÍNDICES	NORMAS	REFERÊNCIAS	DEFINIÇÃO
Diferença de Nível, D (<i>Level Difference, D,</i> <i>ou</i> <i>Noise Reduction,</i> <i>NR</i>)	ISO 140 – 4 EN 12354-1	Reynolds, 1981 (NR) Gerges, 2000 (D) ISO 140 –4 (D) EN 12354-1 (D)	Diferença do nível de pressão sonora entre os dois lados do dispositivo isolador.
Perda por Inserção (<i>Insertion Loss, IL</i>)	—	—	Diferença do nível de pressão sonora antes e depois da colocação do dispositivo isolador em um mesmo ponto de medição.
Perda de Transmissão, <i>PT</i> , ou Índice de Redução Sonora, <i>R</i> (<i>Transmission Loss, TL,</i> ou <i>Sound Reduction Index, R</i>)	ISO 140-3 EN 12354-1	Sharland, 1979 (R) Reynolds, 1981 (TL) Pierce, 1994 (R_{TL}) Beranek, 1992 (R) Gerges, 2000 (PT) Fahy, 2001 (R) ISO 140-3 (R) EN 12354-1 (R)	Relação logarítmica entre a potência sonora incidente em uma partição e transmitida para outro ambiente.

No que diz respeito às normas internacionais sobre o assunto, existem três conjuntos, como mostra a tabela 3.2.

Tabela 3.2- Principais conjuntos de normas de isolamento sonoro.

NORMAS	ANO	REQUERIMENTOS PARA:
Conjunto de normas ISO 140		Medição do isolamento sonoro em edificações e elementos construtivos.
ISO 140 – 1	1997	▪ Medições em laboratório sem transmissão por flancos.
ISO 140 – 2	1991/ Cor 1: 1993	▪ Precisão na determinação, verificação e aplicação dos dados obtidos.
ISO 140 – 3	1995	▪ Medições em laboratório do isolamento de ruído aéreo em elementos construtivos.
ISO 140 – 5	1998	▪ Medições em campo de isolamento de ruído aéreo de fachadas ou elementos de fachadas.

ISO 140 – 6	1998	<ul style="list-style-type: none"> Medições em laboratório para isolamento de ruído de impacto de pisos.
ISO 140 – 7	1998	<ul style="list-style-type: none"> Medições em campo para isolamento de ruído de impacto de pisos.
ISO 140 – 8	1997	<ul style="list-style-type: none"> Piso padrão para medições em laboratórios de isolamento do ruído de impacto em pisos.
ISO 140 – 9	1985	<ul style="list-style-type: none"> Medições em laboratório de isolamento de ruído aéreo em tetos
ISO 140 – 10 (ISO 140 – 11: retirada do grupo de normas)	1991	Medições em laboratório de isolamento de ruído aéreo de pequenos elementos construtivos.
ISO 140 – 12	2000	<ul style="list-style-type: none"> Medições em laboratório de isolamento de ruído aéreo e de impacto em salas sobrepostas separadas por um piso.
ISO/TR 140 – 13	1997	<ul style="list-style-type: none"> Diretrizes gerais
Conjunto de normas ISO 717		Número único a partir do desempenho acústico de edificações e de seus elementos.
ISO 717 – 1	1996	<ul style="list-style-type: none"> Isolamento de ruído aéreo
ISO 717 – 2		<ul style="list-style-type: none"> Isolamento de ruído de impacto
Conjunto de normas EN 12354		Estimativa do desempenho acústico de edificações a partir do desempenho de seus elementos.
EN 12354 – 1	2000	<ul style="list-style-type: none"> Isolamento de ruído aéreo
EN 12354 – 2	2000	<ul style="list-style-type: none"> Isolamento de ruído de impacto
EN 12354 – 3	2000	<ul style="list-style-type: none"> Isolamento de fachadas
EN 12354 – 4	2000	<ul style="list-style-type: none"> Radiação sonora de fachadas
EN 12354 – 5	>2005	<ul style="list-style-type: none"> Serviço de equipamento de som
EN 12354 – 6	2003	<ul style="list-style-type: none"> Absorção em salas

Conceitualmente, os dois primeiros índices descritos na tabela 3.1 podem ser, resumidamente, definidos da seguinte forma:

▪ **Diferença de Nível (*D*):**

A diferença de nível serve para quantificar a atenuação sonora entre dois ambientes. É obtida através da medição do nível de pressão sonora entre duas câmaras isoladas estruturalmente, uma com a fonte sonora, com uma abertura onde se coloca a partição que se quer avaliar. A diferença de nível depende de diversos aspectos além das características do material, tais como local da medição, dimensões dos ambientes, coeficiente de absorção sonora das superfícies entre outros. Sendo assim, a diferença de nível sempre é associada a um dispositivo isolador específico em determinada condição de uso. A ilustração 3.1 mostra, esquematicamente, a localização dos pontos de medição para obtenção deste parâmetro.

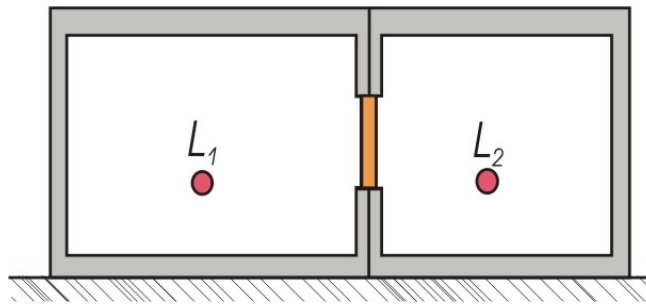


Ilustração 3.1 – Esquema dos pontos de medição para o parâmetro diferença de nível de pressão.

Segundo discutido por Viveiros (1998), a equação geral da diferença de nível é:

$$D = L_1 - L_2 = PT - 10 \log \left(\frac{S}{S_s \bar{\alpha} + S\tau} \right) \quad (3.1)$$

onde L_1 e L_2 são os níveis de pressão sonora medidos antes e depois da colocação do painel [dB], S é a área do painel [m^2] e $S_s\bar{\alpha}$ é a área [m^2] e o coeficiente de absorção das superfícies da sala receptora, respectivamente. A equação 3.1 só é válida para partições com perda de transmissão superior a 15dB (VIVEIROS, 1998). Supondo-se que $S_s\bar{\alpha} \gg S\tau$, o último termo é desconsiderado, chegando-se às seguintes equações :

- para uma sala de recepção reverberante, onde $\bar{\alpha} < 0,2$ tem-se que:

$$D = L_1 - L_2 = PT - 10 \log \left(\frac{S}{S_s\bar{\alpha}} \right) \quad (3.2)$$

- para uma sala de recepção não-reverberante:

$$D = L_1 - L_2 = PT - 10 \log \left(\frac{1}{4} + \frac{S(1-\bar{\alpha})}{S_s\bar{\alpha}} \right) \quad (3.3)$$

- por último, para um ambiente com alto nível de absorção, onde $\bar{\alpha} > 0,8$, tem-se, aproximadamente:

$$D = PT + 6dB \quad (3.4)$$

- **Perda por Inserção (IL):**

Quando um elemento divisório é inserido em um campo sonoro, pode-se quantificar a diferença antes e depois da colocação do elemento, para um determinado ponto, pela perda por inserção, dado por:

$$IL = L_2 - L_2' \quad (3.5)$$

onde L_2 é o nível de pressão sonora sem o elemento e L_2' é o nível de pressão sonora com o elemento.

Em termos técnicos é preferível utilizar-se como índice a perda de transmissão, já que esse trabalha apenas com as razões de potência sonora incidente e transmitida sendo, portanto, parâmetro intrínseco à partição. Esse índice é o que será utilizado neste trabalho e, por isso, será exposto com maior profundidade.

3.2 PERDA DE TRANSMISSÃO DE UMA PAREDE SIMPLES (*PT*)

A capacidade de isolamento de um componente tem como principal indicador a perda de transmissão (*PT*), que é a razão entre a potência sonora incidente e a transmitida de um ambiente ao outro através de um dispositivo isolador. Valores altos da perda de transmissão tem como significado físico uma baixa transmissão de energia acústica e vice-versa.

Por definição, a perda de transmissão relaciona-se logaritmicamente com o inverso do coeficiente de transmissão sonora, sendo expresso por (SHARLAND,1979; REYNOLDS, 1981; BERANEK, 1992;; FAHY, 2001):

$$PT = 10 \log \frac{W_i}{W_t} \text{ dB} \quad (3.6)$$

Considerando-se τ a relação entre potências transmitida (W_t) e incidente (W_i), a expressão da perda de transmissão expressa em (3.6) pode ser expressa matematicamente por:

$$PT = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right) \text{ dB} \quad (3.7)$$

Existem diferentes abordagens para a predição da perda de transmissão de uma parede simples. Serão tratados dois tipos de predição, através de três meios e de parede oscilante.

3.2.1 TRANSMISSÃO SONORA ATRAVÉS DE TRÊS MEIOS

O modelo mais genérico de descrição da perda de transmissão de uma parede simples separando dois ambientes é o estudo de uma onda plana, longitudinal, com propagação unidirecional e com uma fonte incidente normal à superfície (REYNOLDS, 1981). A ilustração 3.3 mostra a propagação de uma onda plana através de três meios.

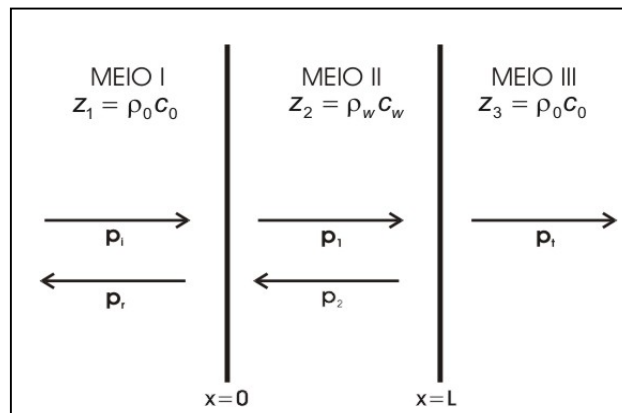


Ilustração 3.2 – Transmissão sonora através de três meios.

No exemplo, o primeiro e o terceiro meios apresentam impedância ($z = \rho.c$) muito menor que o segundo. Parte da energia sonora gerada no meio I é transmitida para o meio II em $x=0$ e parte é refletida de volta para o meio I. O mesmo acontece entre os meios II e III. Esses meios podem ser identificados como uma partição simples cercada de ar dos dois lados. As equações das ondas

incidente, refletida e transmitida da ilustração 3.3 podem ser representadas da seguinte forma (REYNOLDS, 1981):

$$\begin{aligned}
 p_i(x,t) &= A_i e^{j(\omega t - k_1 x)} & (3.8) \\
 p_r(x,t) &= \tilde{B}_r e^{j(\omega t + k_1 x)} \\
 p_1(x,t) &= \tilde{A}_1 e^{j(\omega t - k_2 x)} \\
 p_2(x,t) &= \tilde{B}_1 e^{j(\omega t + k_2 x)} \\
 p_t(x,t) &= \tilde{A}_t e^{j(\omega t - k_1(x-L))}
 \end{aligned}$$

Usando as condições de contorno em $x=0$ e $x=L$ tem-se:

$$\begin{aligned}
 p_i(0,t) + p_r(0,t) &= p_1(0,t) + p_2(0,t) & (3.9) \\
 u_i(0,t) + u_r(0,t) &= u_1(0,t) + u_2(0,t) \\
 p_1(L,t) + p_2(L,t) &= p_t(L,t) \\
 u_1(L,t) + u_2(L,t) &= u_t(L,t)
 \end{aligned}$$

Através das equações (3.9) é possível definir a razão entre onda sonora transmitida e onda sonora incidente, que pode ser escrita por:

$$\left| \frac{\tilde{A}_t}{A_i} \right| = \frac{2}{\left\{ \left(1 + \frac{z_1}{z_3}\right)^2 \cos^2 k_2 L + \left(\frac{z_1}{z_2} + \frac{z_2}{z_3}\right)^2 \sin^2 k_2 L \right\}^{1/2}} \quad (3.10)$$

Para o caso em discussão, o ar margeia os dois lados de um painel sólido, ou seja, $z_1 = z_3$ e $z_2 \gg z_1$. Logo, a equação (3.9) fica:

$$\left| \frac{\tilde{A}_t}{A_i} \right| = \frac{2}{\left\{ 4 \cos^2 k_2 L + \left(\frac{z_2}{z_1}\right)^2 \sin^2 k_2 L \right\}^{1/2}} \quad (3.11)$$

Assumindo-se que uma barreira sólida é relativamente fina em relação aos meios que a cercam, pode-se dizer que $k_2 L \ll 1$. Portanto, $\cos k_2 L \approx 1$ e $\sin k_2 L \approx k_2 L$. Considerando que a impedância do ar é $z_1 = \rho_0 c_0$, a impedância do

sólido $z_2 = \rho_w c_w$ [rayls] e a densidade superficial da partição $m = \rho_w L$ [kg/m²], a equação (3.10) pode ser simplificada para:

$$\left| \frac{\tilde{A}_t}{A_i} \right| = \frac{1}{\left\{ 1 + \left(\frac{m\omega}{2\rho_0 c_0} \right)^2 \right\}^{1/2}} \quad (3.12)$$

Relacionando-se o coeficiente de transmissão sonora, τ , com a equação (3.12), tem-se que:

$$\tau = \left| \frac{\tilde{A}_t}{A_i} \right|^2 \quad \text{ou} \quad \tau = \left\{ 1 + \left(\frac{m\omega}{2\rho_0 c_0} \right)^2 \right\}^{-1} \quad (3.13)$$

Substituindo a equação (3.5) na (3.12), chega-se a equação geral da perda de transmissão para a Lei da Massa para incidência normal (REYNOLDS, 1981; LYONS, 1993; BERANEK, 1992; FAHY, 2001):

$$PT_{normal} = 10 \log \left[1 + \left(\frac{\omega m}{2\rho_0 c_0} \right)^2 \right] \text{ dB} \quad (3.14)$$

Sabendo-se que $\rho_0 c_0 = 415$ [rayls] para o ar a 20°C e que $\omega = 2\pi.f$, a equação (3.14) simplifica-se para:

$$PT_{normal} = 20 \log m.f - 42 \text{ dB} \quad (3.15)$$

3.2.1.1 TRANSMISSÃO SONORA COM INCIDÊNCIA OBLÍQUA

Os cálculos de incidência oblíqua trabalham com a perda de transmissão sempre associada a um único ângulo de incidência sobre a partição. Lyons (1993)

e Reynolds (1981) descrevem a equação de PT para incidência oblíqua de acordo com:

$$PT = 10 \log \left\{ 1 + \left(\frac{m\omega \cos \theta_i}{2\rho_0 c_0} \right)^2 \right\} \text{ dB} \quad f < f_c \quad (3.16)$$

A equação (3.15) é válida para a região abaixo da frequência crítica, que é a mais baixa frequência de coincidência, que ocorre quando o comprimento da onda sonora incidente coincide como o comprimento da onda de flexão livre do painel. Segundo Fahy (2001), para cada ângulo de incidência, há uma única frequência de coincidência. Reynolds (1981) apresenta a seguinte equação para descrever o fenômeno da coincidência:

$$f_{co} = \frac{c_0^2}{1,8 \cdot h \cdot c_l \cdot \sin^2 \theta} \text{ Hz} \quad (3.17)$$

A mais baixa frequência na qual ocorre a coincidência é quando $\theta = 90^\circ$, ou seja, para o caso de incidência normal. É neste caso que acontece a chamada frequência crítica e, simplificando da equação (3.17) para essa condição, tem-se:

$$f_c = \frac{c_0^2}{1,8 \cdot h \cdot c_l} \text{ Hz} \quad (3.18)$$

Lyons (1993) mostra que, para frequências acima da frequência crítica, a rigidez e o amortecimento se tornam relevantes. Citando Cremer e London, Lyons (1993) apresenta a equação geral da perda de transmissão para essa região de frequência:

$$PT = 10 \log \left\{ \left[1 + \eta \left(\frac{\omega m}{2\rho_0 c_0} \cos \theta \right) \left(\frac{B\omega^2}{\rho_0 c_0^4} \sin^4 \theta \right) \right]^2 + \left[\left(\frac{\omega m}{2\rho_0 c_0} \cos \theta \right) \left(1 - \frac{B\omega^2}{\rho_0 c_0^4} \sin^4 \theta \right) \right]^2 \right\} \text{ dB} \quad f > f_c \quad (3.19)$$

A equação descrita por Lyons (1993) para se calcular a perda de transmissão na frequência de coincidência, utilizando a equação (3.19), com

$\frac{B\omega^2}{\rho_0 c_0^4} \sin^4 \theta = 1$, resume-se a:

$$PT = 10 \log \left\{ \left[1 + \eta \left(\frac{\omega m}{2\rho_0 c_0} \cos \theta \right) \right]^2 \right\} \text{ dB} \quad f = f_c \quad (3.20)$$

3.2.1.2 TRANSMISSÃO SONORA COM INCIDÊNCIA ALEATÓRIA

Na prática, uma onda sonora não incide sobre uma partição com um ângulo apenas. Em geral, é comum assumir que o painel está inserido em um campo difuso, onde as ondas têm a mesma probabilidade de incidir sobre obstáculo com diferentes ângulos (REYNOLDS, 1981; BERANEK, 1992). Nesse caso, o coeficiente de transmissão para frequências abaixo da frequência crítica é (REYNOLDS, 1981):

$$\tau = \frac{\ln(1 + a^2) - \ln(1 + a^2 \cos^2 \bar{\theta}_i)}{a^2 \sin^2 \bar{\theta}_i} \quad (3.21)$$

onde $a = \frac{m\omega}{2\rho_0 c_0}$. Simplificando-se a equação (3.21), chega-se a:

$$PT_{dif} = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right) \text{ dB} \quad \text{ou} \quad PT_{dif} = 10 \log \left\{ \frac{a^2 \sin^2 \bar{\theta}_i}{\ln(1 + a^2) - \ln(1 + a^2 \cos^2 \bar{\theta}_i)} \right\} \text{ dB} \quad (3.22)$$

No caso da incidência difusa completa, ou seja, quando há incidência em diversos ângulos aleatoriamente ($\bar{\theta}_i = 90^\circ$), a equação (3.22) reduz-se à:

$$PT_{dif} = 10\log(a^2) - 10\log\{\ln(1 + a^2)\} \text{ dB} \quad (3.23)$$

Considerando-se $\frac{m\omega}{2\rho_o c_o} \gg 1$, tem-se:

$$PT_{dif} = 10\log\left(\frac{m\omega}{2\rho_o c_o}\right)^2 - 10\log\left\{\ln\left(\frac{m\omega}{2\rho_o c_o}\right)^2\right\} \text{ dB} \quad (3.24)$$

Sabendo-se que:

$$PT_{normal} = 10\log\left(\frac{m\omega}{2\rho_o c_o}\right)^2 \text{ e } \ln\left(\frac{m\omega}{2\rho_o c_o}\right)^2 = 2,3\log\left(\frac{m\omega}{2\rho_o c_o}\right)^2, \quad (3.25)$$

a equação (3.22) pode ser escrita por:

$$PT_{dif} \cong PT_{normal} - 10\log\{0,23PT_{normal}\} \text{ dB} \quad f < f_c \quad (3.26)$$

Foi observado que, experimentalmente, a equação da perda de transmissão aleatória (3.26) apresenta valores superestimados. A que mais se adequa, segundo Reynolds (1981) e Fahy (2001), para uma partição cujo meio é o ar, é o que se chama de perda de transmissão de campo (PT_{campo}), dada pela equação:

$$PT_{campo} = PT_{normal} - 5 \text{ dB} \quad \text{ou} \quad PT_{campo} = 20\log(m.f) - 47 \text{ dB} \quad (3.27)$$

onde m é a densidade superficial do componente [kg/m^2] e f é a freqüência sonora da onda incidente [Hz].

A ilustração 3.4 mostra um gráfico onde é possível se obter, através da freqüência e da densidade superficial, o valor aproximado para os três tipos da perda de transmissão dentro da região da lei da massa: PT_{normal} (3.15), PT_{dif} (3.26) e PT_{campo} (3.27).

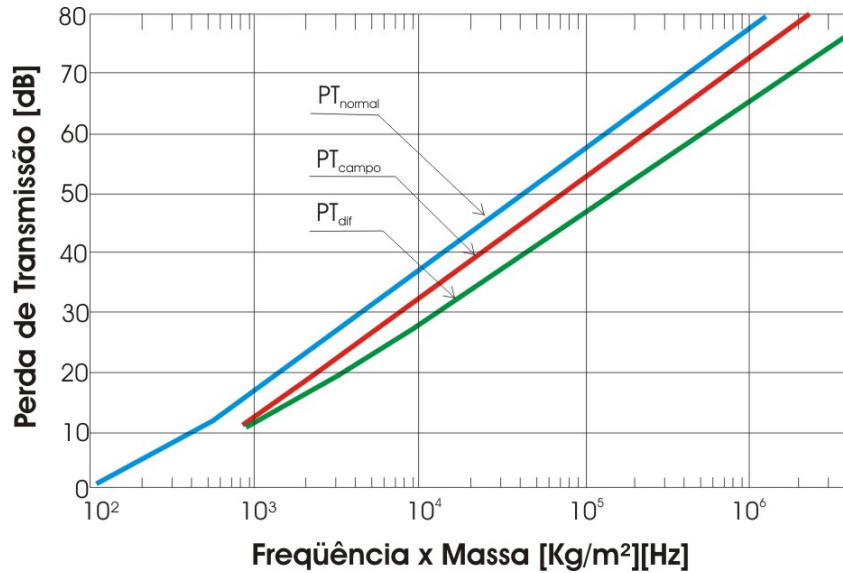


Ilustração 3.3 – Perda de transmissão para incidência normal, difusa e de campo
(FONTE: adap. REYNOLDS, 1981).

Para se calcular a perda de transmissão para campo difuso, acima da frequência crítica, Fahy (2001) aponta a seguinte equação:

$$PT_{dif} = PT_{normal} + 10 \log \left(\frac{f}{f_c} - 1 \right) + 10 \log \eta - 2 \text{ dB} \quad (3.28)$$

onde η é o fator de perda.

O conhecimento da perda de transmissão na região de coincidência envolve o conhecimento de várias propriedades físicas das partições e sua formulação analítica é mais complexa. De forma a transpor tal dificuldade, Beranek (1992) propôs dois métodos gráficos, a saber, o método do patamar e o gráfico da perda de transmissão a partir da relação com o fator de perda e com a perda de transmissão para incidência normal.

O método do patamar é aplicado utilizando-se a altura e a largura do patamar, de acordo com os dados da tabela 3.3. A ilustração 3.4 mostra o esquema do cálculo do patamar, que segue as seguintes etapas:

- 1) Calcula-se a perda de transmissão para a frequência de 500 Hz, segundo a equação (3.27), e traça-se uma linha com inclinação de 6dB por oitava.
- 2) Traçada a linha, busca-se na tabela de materiais a altura do patamar. O cruzamento entre a altura e a linha traçada determina o ponto inicial do patamar.
- 3) Para saber a largura do patamar, multiplica-se a frequência em que se iniciou o patamar pelo valor determinado na tabela.
- 4) Finalizado o patamar, traça-se uma linha com inclinação de 10 dB por oitava.

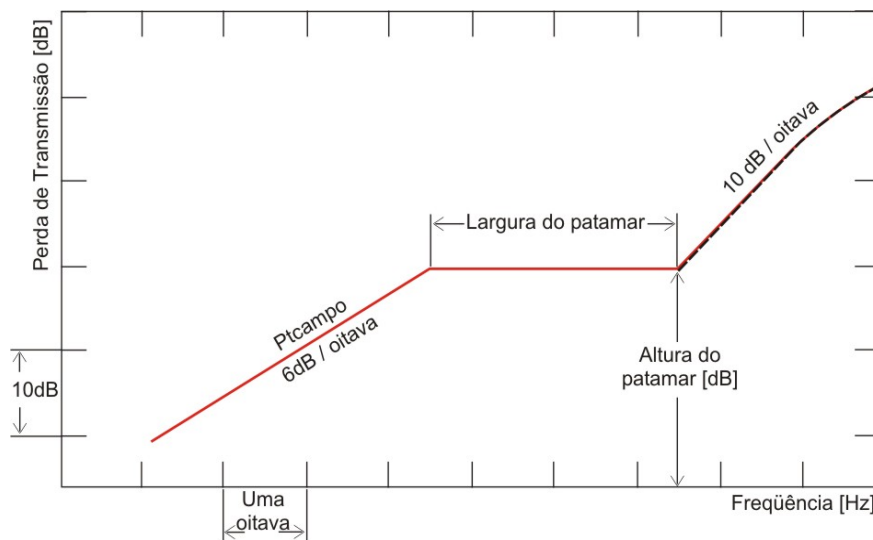


Ilustração 3.4 – Método do patamar – aproximação da perda de transmissão de campo.

(Fonte: adap. BERANEK, 1992)

Tabela 3.5 – Altura e largura do patamar de alguns materiais (Fonte: BERANEK, 1992).

Material	Altura do patamar [dB]	Largura do patamar
Aço	40	11,00
Alumínio	29	11,00
Concreto	38	4,50
Chumbo	56	4,00
Madeira	19	6,50
Tijolo	37	4,50
Vidro	27	10,00

Beraneck (1992) também utiliza o gráfico indicado na ilustração 3.6 para se calcular a perda de transmissão a partir da frequência crítica. Para se utilizar o gráfico, seguem-se os seguintes passos: (a) calcula-se a frequência crítica e a densidade superficial do painel; (b) calcula-se a PT_{normal} na frequência crítica; (c) pelo gráfico, consegue-se a diferença entre $PT_{campo}(f) - PT_{normal}(fc)$; (d) $PT_{campo}(f)$ é então obtido através de $PT_{campo}(f) = \{PT_{campo}(f) - PT_{normal}(fc)\} + PT_{normal}(fc)$.

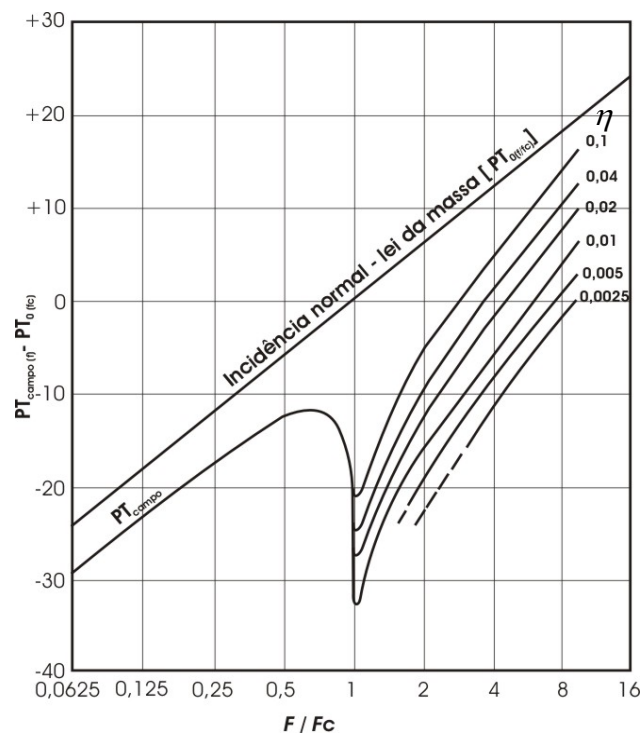


Ilustração 3.6 – Gráfico para o cálculo da perda de transmissão de campo a partir da frequência crítica (Fonte: BERANEK, 1992).

3.2.2 TRANSMISSÃO SONORA DE PAREDE OSCILANTE

Nessa abordagem é considerado um componente não-flexível, com massa considerável e rigidez e amortecimento igualmente distribuídos em todo o painel,

como mostra a ilustração 3.7. A equação geral da perda de transmissão para incidência oblíqua pode ser assim escrita (REYNOLDS, 1981):

$$PT = 10 \log \left\{ \left(1 + \frac{C}{2\rho_0 c_0 \sec \theta_i} \right)^2 + \left(\frac{m\omega - \frac{K}{\omega}}{2\rho_0 c_0 \sec \theta_i} \right)^2 \right\} \text{ dB} \quad (3.29)$$

onde m , C e K são a massa [kg/m^2], o amortecimento [Ns/m] e a rigidez por superfície de área do painel [N/m], respectivamente.

Como afirma Reynolds (1981), a equação (3.29) indica três regiões de importância, a saber:

- quando $\omega \ll \sqrt{K/m}$, ou seja, quando se encontra na região de frequência controlada pela rigidez, como mostra ilustração 3.7. Nessa região a perda de transmissão decresce numa razão de 6 dB com o aumento de uma oitava de frequência. A equação (3.28) fica assim expressa:

$$PT = 10 \log \left(\frac{K/\omega}{2\rho_0 c_0 \sec \theta_i} \right)^2 \quad (3.30)$$

Gerges (2000) propõe uma equação simplificada, independente de um único ângulo de incidência, expressa por:

$$PT = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right) = 20 \log \left(\frac{K}{f} \right) - 74,2 \text{ dB} \quad (3.31)$$

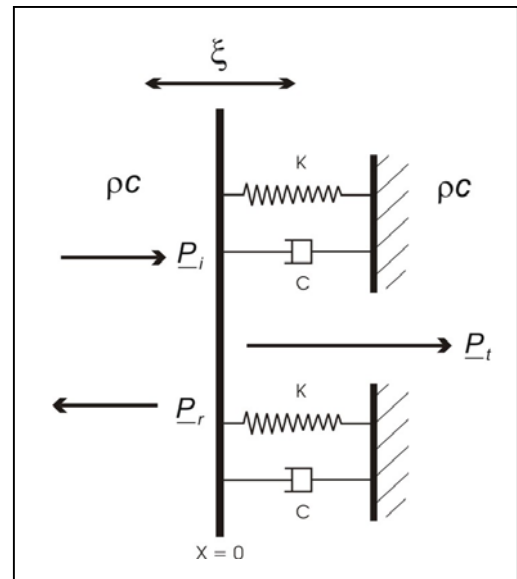


Ilustração 3.7 – Painel massivo com rigidez e amortecimentos igualmente distribuídos (Fonte: GERGES, 2000)

- quando $\omega = \sqrt{K/m}$, ou seja, quando se encontra na região de ressonância controlada pelo amortecimento (C), tem-se:

$$PT = 10 \log \left(1 + \frac{C}{2\rho_0 c_0 \sec \theta_i} \right)^2 \quad (3.32)$$

- e, finalmente, quando $\omega \gg \sqrt{K/m}$, ou seja, quando se encontra na região de frequência controlada pela massa. Nessa região, a perda de transmissão cresce numa razão de 6dB por oitava ou com o dobro da massa, como mostra a ilustração 3.8, sendo descrita por:

$$PT = 10 \log \left(\frac{m\omega}{2\rho_0 c_0 \sec \theta_i} \right)^2 \quad (3.33)$$

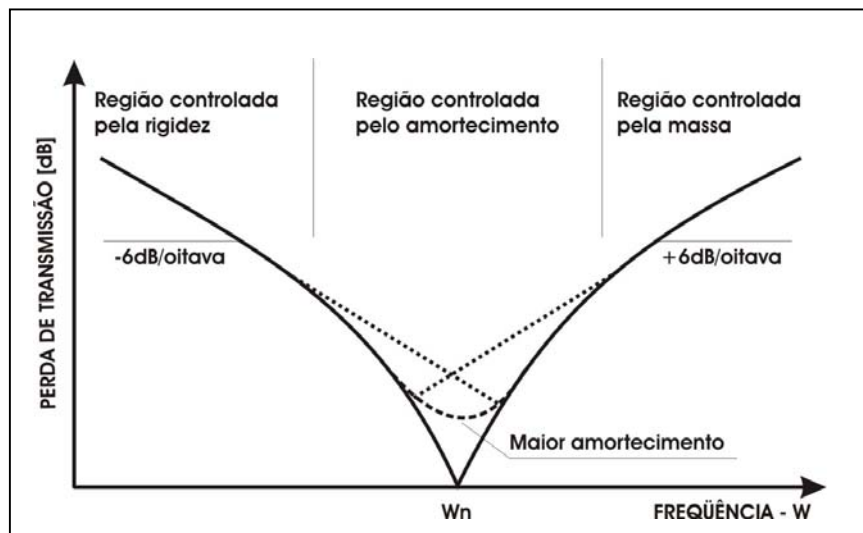


Ilustração 3.8 - Perda de transmissão em função da frequência ω para uma parede simples.

(Fonte: adap. REYNOLDS, 1981).

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma parede apresenta diferentes comportamentos de ressonância e de vibração de acordo com suas qualidades de massa e rigidez.

Nas baixas frequências, a transmissão depende basicamente da rigidez do componente. Em frequências um pouco mais altas, o comportamento da parede é de ressonância e depende da capacidade de amortecimento do componente.

Nas frequências em torno do dobro da frequência de ressonância mais baixa, a parede obedece à chamada Lei da Massa. Dentro da região do controle da massa, com o dobro da frequência e da densidade da partição, a perda de transmissão cresce numa razão de 6 dB. Essa região é limitada, estendo-se até a frequência crítica, onde há uma queda brusca na perda de transmissão (VIVEIROS, 2003; COWAN, 2000). A ilustração 3.9 mostra, esquematicamente, as essas faixas de frequência.



Ilustração 3.9. – Perda de transmissão de uma partição homogênea ao longo de diferentes faixas frequência; estão assinalados os parâmetros da partição que controlam o desempenho.

Dessa forma, pode-se perceber que o isolamento sonoro de uma parede simples deve ser calculado considerando os diferentes comportamentos para distintas bandas de frequência. A ilustração 3.10 associa, graficamente, as diferentes equações para campo difuso ao longo da curva de perda de transmissão.

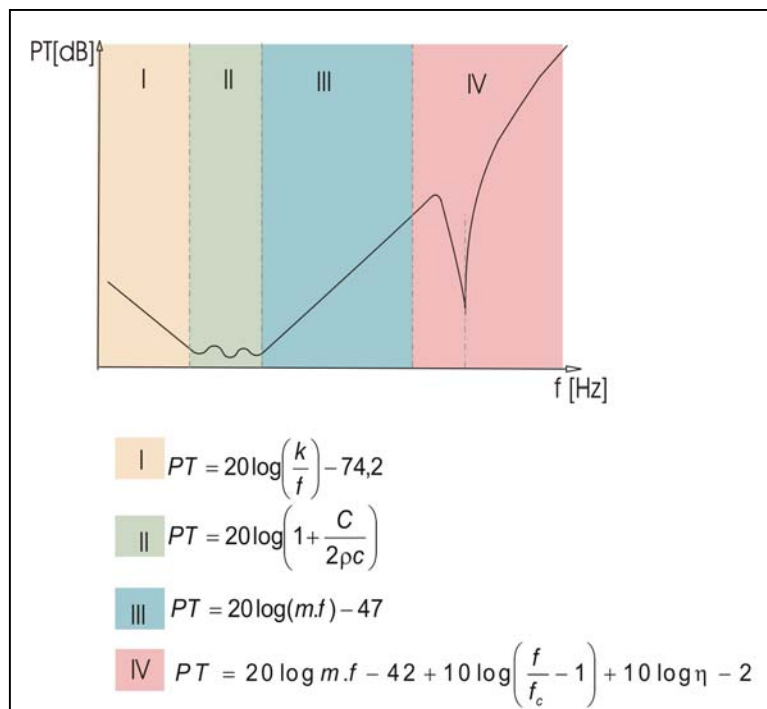


Ilustração 3.10 – Modelos matemáticos da perda de transmissão em campo difuso para diferentes regiões de frequência.

Neste capítulo foram identificadas as principais formas de se calcular a transmissão sonora de uma parede simples para diferentes tipos de incidência. No próximo capítulo a teoria de isolamento é aplicada aos diferentes tipos de vedação da arquitetura brasileira.

**PREDIÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO DOS ELEMENTOS DE
VEDAÇÃO DA ARQUITETURA BRASILEIRA**

4.1 EXEMPLOS DOS PRIMEIROS PROCESSOS CONSTRUTIVOS NO MUNDO

4.2 PRINCIPAIS PROCESSOS CONSTRUTIVOS BRASILEIROS

4.2.1 PROCESSOS CONSTRUTIVOS DO PERÍODO COLONIAL

4.2.2 PROCESSOS CONSTRUTIVOS DA REPÚBLICA

4.3 CARACTERÍSTICAS DOS PROCESSOS CONSTRUTIVOS BRASILEIROS

4.4 PREDIÇÃO DA TRANSMISSÃO SONORA DAS VEDAÇÕES BRASILEIRAS

4.5 CONCLUSÃO

Neste capítulo é apresentado outro foco da pesquisa, que consiste na avaliação dos elementos de vedação característicos da arquitetura brasileira, através da teoria de isolamento nos principais processos construtivos nacionais discutidos. O intuito desse levantamento não é fazer um estudo aprofundado sobre cada processo construtivo em si, mas sim construir um panorama dos principais exemplos para, então, fazer as considerações necessárias.

Para discutir o tema será utilizada a definição tratada por Sabbatini (1989), onde são conceituados termos que muitas vezes se confundem entre si: técnica, método, processo e processo construtivos. Na tabela 4.1 são expostas as definições utilizadas.

Tabela 4.1 – Distinção entre técnica, método, processo e sistema construtivos.

(Fonte: SABBATINI, 1989).

TERMOS	CONCEITUAÇÃO	EXEMPLOS
TÉCNICA CONSTRUTIVA	É um conjunto de operações empregadas por um particular para produzir parte de uma construção	Elevar uma parede de alvenaria; montar uma forma de madeira para moldar uma viga de concreto; pintar uma parede etc.
MÉTODO CONSTRUTIVO	É o conjunto de técnicas construtivas interdependentes e adequadamente organizadas, empregado na construção de uma parte de uma edificação.	Método construtivo para se fazer uma estrutura reticulada de concreto armado etc.
PROCESSO CONSTRUTIVO	É um organizado e bem definido modo de se construir um edifício. Um específico processo construtivo caracteriza-se pelo seu particular conjunto de métodos utilizados na construção da estrutura e das vedações do edifício (invólucro).	Processo construtivo de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos; de paredes maciças de concreto etc.
SISTEMA CONSTRUTIVO	É um processo construtivo de elevados níveis de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo.	—

De acordo com tais conceitos, será utilizado o termo processo construtivo para os exemplos apresentados neste capítulo. Primeiramente é feito um relato de alguns exemplos de habitações da civilização ocidental e, depois, enfoca-se o Brasil, onde se destacam duas fases: o período colonial, devido as suas particularidades na construção de residências e o período republicano, com grandes transformações na construção civil.

4.1 EXEMPLOS DOS PRIMEIROS PROCESSOS CONSTRUTIVOS NO MUNDO

Upjohn (1980) afirma que a escolha do partido plástico de uma edificação é definida por uma série de fatores, como a época e o país onde nasce a obra, as

condições climáticas e econômicas de cada região ou a transmissão de um estilo arquitetônico de uma região para outra. E, fato óbvio, mas de grande relevância e, talvez, o mais importante para o início da criação de um projeto arquitetônico, é a existência do material propriamente dito.

Nas regiões onde a madeira era abundante, como no Japão, ela foi utilizada e explorada em todas as suas possibilidades. A Grécia desenvolveu uma arquitetura de pedra devido às suas pedreiras de mármore. A Mesopotâmia, como não possuía nem pedra nem madeira, utilizou a argila, inventando o tijolo como elemento construtivo. Enfim, toda a riqueza de obras arquitetônicas, até um certo período da história, esteve diretamente ligada à variedade de recursos naturais disponíveis em cada região do globo.

Segundo Verçosa (1987), a importância dos materiais é tão marcante, que as primeiras fases da história são divididas de acordo com o emprego de determinado material, como Idade da Pedra ou Idade do Bronze. O homem primitivo, como diz o mesmo autor, aproveitava o material que encontrava, empregando-os como os achava na natureza.

No período neolítico, quando surgiram as primeiras aldeias, percebe-se quase que um padrão na construção das residências, que eram em sua maioria construídas com blocos de argila, variando apenas nos métodos de secagem e na mistura com outros materiais. As primeiras casas foram executadas com peles de animais ou barro cozido. Nas regiões da Mesopotâmia, do Egito e até da Grécia, a argila predominou como principal elemento construtivo (BENÉVOLO, 1997).

No Egito Antigo, apesar da predominância da pedra nos templos e nas pirâmides, nas residências era mais comum o uso do adobe, uma mistura de

argila e palha secas ao sol (CARVALHO, s.d.). Na ilustração 4.1 tem-se o exemplo de uma típica casa egípcia. Os ambientes que requeriam maior privacidade – quarto e sala de estar, mostradas na planta baixa à direita com os números 1 e 2, respectivamente, possuíam paredes mais espessas.

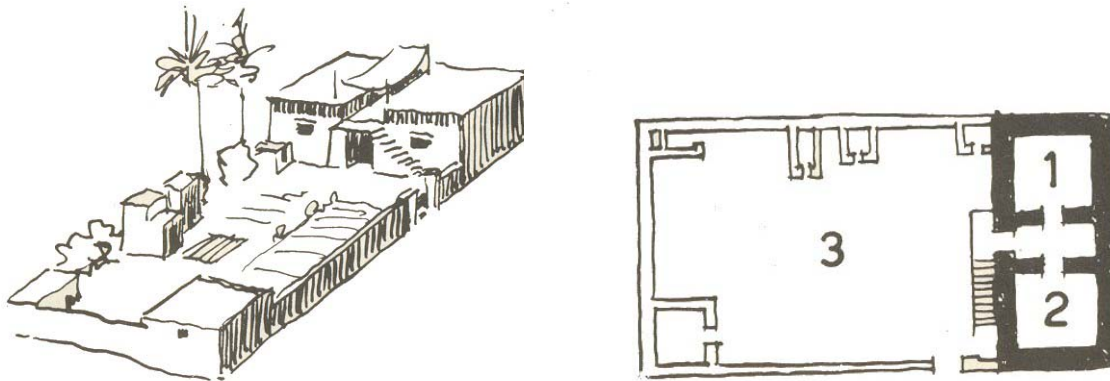


Ilustração 4.1 - Casa Egípcia: 1- Sala; 2 – Quarto; 3 – Pátio com banheiros, depósitos etc. (Fonte: CARVALHO, S.D.)

Na Mesopotâmia, o uso de blocos de argila era a técnica construtiva predominante. Quase todas as casas eram construídas com tijolos frescos, os quais, depois de secos, tinham a aparência de um grande bloco monolítico (CARVALHO, s.d.).

Nas casas gregas, a técnica de tijolos secos ao sol era a mais utilizada. Apesar do baixo custo, eles ofereciam bom comportamento estrutural e bom acabamento. Em suas plantas predominavam o pátio, com ambientes bem definidos, inclusive os quartos dos homens separados dos das mulheres. Na ilustração 4.2 encontra-se a planta baixa e a perspectiva de uma casa de Priene, do século IV a.C. Segundo Robertson (1997), as paredes das fachadas foram construídas e desenhadas de forma mais criteriosa do que as paredes internas.

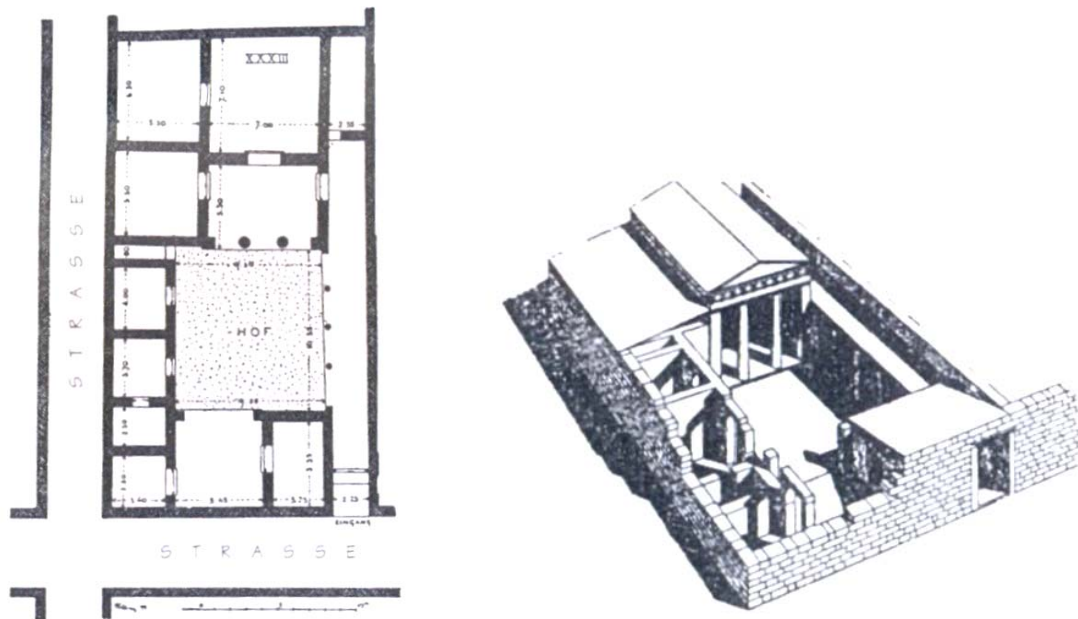


Ilustração 4.2 - Casa XXXIII, Priene (reconstituição) (Fonte: Robertson, 1997).

Construir paredes mais espessas e bem acabadas na fachada é um costume característico das casas antigas, inclusive das casas brasileiras coloniais. Apesar de que, provavelmente, a intenção não fosse a proteção contra o ruído, o costume oferecia um melhor isolamento acústico das residências.

Com o passar dos séculos, o processo construtivo sofreu diversas mudanças. O nível de exigência do homem foi aumentando e, conseqüentemente, os padrões requeridos dos materiais, como maior resistência, durabilidade e melhor aparência. O auge dessas modificações foi na Revolução Industrial, ao final do século XVIII, com o rápido crescimento das cidades e com o esgotamento de muitas reservas naturais, bem como o início da industrialização e da fabricação em massa dos mais diversos materiais.

A partir desse momento, as técnicas construtivas perderam o caráter local de cada região. O mais valorizado nem sempre era o mais eficiente, mas o que representava maior avanço tecnológico ou preço mais acessível. Nesse período, a arquitetura entra em um momento de grande conflito com o desempenho acústico das edificações, pois o que era priorizado tanto esteticamente como tecnologicamente confrontava-se com os conceitos básicos de isolamento sonoro de uma residência. Leveza e pureza plástica são as duas palavras que, ainda hoje, compõem a principal diretriz para a maioria dos arquitetos na definição do partido arquitetônico.

Toda essa situação antagônica não é única dentro da área da arquitetura, como comenta Azevedo (1989):

O homem da civilização tecnológica teria todas as condições para ser mais feliz. As artes de conforto, apresentando extraordinário desenvolvimento, procuraram dar o melhor ao homem. Os meios de comunicação encurtaram as distâncias, aumentando-lhes as facilidades materiais. A sociedade de consumo vendeu-lhes os prazeres do paraíso terrestre a crédito e ao custo. O homem desta era tecnológica tinha que ser feliz... no entanto este homem é um angustiado, um neurótico, um agressivo, um torturado. É um homem poluído. (AZEVEDO, 1989, p. 8)

4.2 PRINCIPAIS PROCESSOS CONSTRUTIVOS BRASILEIROS

Em todo o território nacional é possível encontrar exemplos das variadas épocas da história brasileira com os mais variados processos construtivos. Por esse motivo é difícil caracterizar processos construtivos específicos de cada período da arquitetura brasileira, pois eles se prolongam e se misturam no decorrer do tempo. É possível encontrar um casebre feito de taipa de mão perto de um arranha-céu com estrutura em aço. Como afirma Bazin [1983], *o Brasil é um verdadeiro museu de construção através dos tempos.*

4.2.1 PROCESSOS CONSTRUTIVOS DO PERÍODO COLONIAL

O período colonial brasileiro é caracterizado pela mescla das técnicas construtivas importadas de Portugal e pela influência indígena. A qualidade técnica das construções coloniais, no entanto, não era das melhores. Reis Filho (1987) categoricamente afirma que *o nível tecnológico era dos mais precários*. Isso porque a qualidade da mão-de-obra não era adequada. Todo o processo se baseava no trabalho escravo do africano, que não tinha sequer conhecimento das técnicas indígenas e portuguesas. Era uma mão-de-obra abundante, mas sem qualquer aperfeiçoamento.

Como afirma Reis Filho (1987), os materiais utilizados eram pouco resistentes, tais como a madeira, o barro ou a argila, dependendo da disponibilidade do local. Os exemplos de casas coloniais mais simples eram as casas feitas de pau-a-pique, adobe ou taipa de pilão. Nas residências de classes mais abastadas utilizava-se o barro em forma de tijolo e, eventualmente, a pedra. Encontram-se ainda alguns exemplos de residências coloniais feitas com tijolos e até pedra e cal. Os principais exemplos de casas coloniais são a casa térrea de chão batido, o sobrado e a chácara. Eis os principais processos construtivos coloniais:

- **Pau-a-pique, taipa de mão ou taipa de sebe**

As casas de pau-a-pique, também chamada de taipa de mão ou taipa de sebe, eram comumente encontradas no Brasil colonial. Esse processo era prática típica das classes mais baixas, mas também foi utilizado em diversas construções, principalmente como parede divisória das residências.

O processo consiste em uma estrutura de madeira, onde se coloca uma trama de piques amarrados entre si. Montada a base, é jogada com a própria mão uma mistura de argila e água. Dos elementos que participam de cada etapa, é que se derivam os nomes dados a esse tipo de taipa. Um estudo citado por Smith (1975) descreveu minuciosamente esse tipo de construção:

A maneira de construir deles consiste em fincar tantos esteios quanto são necessários para o tamanho da casa; sobre eles, constroem um andar com a altura de um homem e por cima deste andar um teto, coberto de telhas ou folhas de palmeiras. Usam o andar térreo para depósito, fechando-o por meio de um entrançado de varas emboçado e cuidadosamente caiado por dentro e por fora (SMITH, 1975).

Bazin [1983] lembra que essa técnica em tudo é comparável, em sua estrutura, ao método moderno do concreto armado. A ilustração 4.3 mostra como é a estrutura desse tipo de construção.

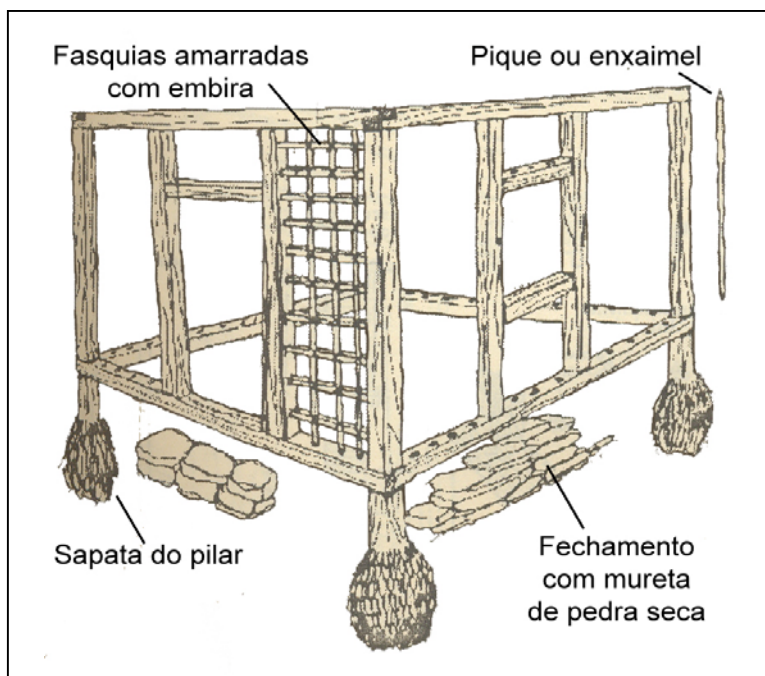


Ilustração 4.3 - Esquema estrutural de uma casa de taipa de mão.

(Fonte: adap. VARGAS, 1994).

Os holandeses, ao chegarem na região de Olinda em 1630, encontraram uma arquitetura baseada na madeira e no barro. A visão do estrangeiro em relação a essas residências não foi das melhores. Smith (1975), citando um relatório oficial holandês, refere-se às casas de engenho como sendo apenas melhores do que miseráveis cabanas de argila e, também, ressalta a ausência de quadros na parede.

L. L. Vauthier foi um engenheiro e arquiteto francês que esteve no Brasil entre 1840 a 1846 e, durante sua estada, escreveu cartas para um amigo onde descrevia detalhadamente cada observação. Seus relatos são um dos principais documentos sobre a arquitetura colonial. Sobre o pau-a-pique, destaca-se o comentário:

[...] Em outras direções menos freqüentadas, encontraríamos ao mesmo tempo uma cultura mais séria, uma arquitetura menos cuidada e um aspecto geral mais agreste; veríamos surgir de longe em longe a casa de taipa com suas paredes de pau-a-pique, e sua cobertura em que a folha de coqueiro substitui muitas vezes a telha de canal (VAUTHIER, 1975; p.72).

▪ **Taipa de pilão**

Conforme Bazin [1983], a taipa de pilão consiste em amassar a terra ou argila umedecida com água e, às vezes, água de cal, dentro de moldes ou caixas compridas, como mostra a ilustração 4.4. Para a parede se tornar mais resistente recorria-se ao emprego de aglutinantes, como a palha, a crina, excrementos de animais e o óleo de baleia, bastante comum nas armações no sul do Brasil.

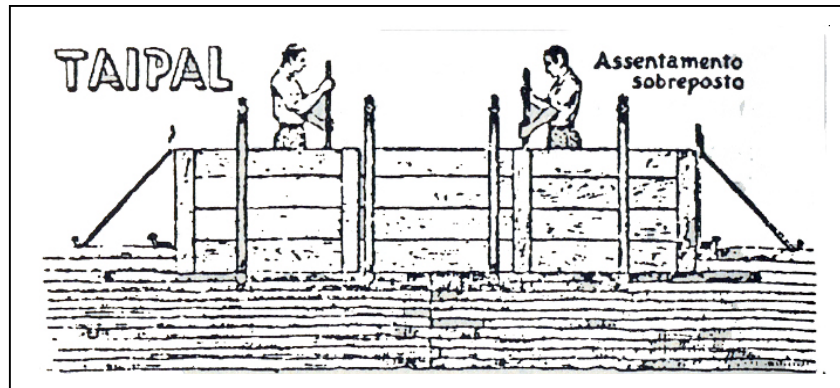


Ilustração 4.4. – Desenho ilustrativo de como se edifica uma parede de taipa de pilão
(Fonte: VARGAS, 1994).

Os portugueses também usavam a taipa há anos e sua influência é basicamente moura. Mas, segundo o mesmo autor, o emprego dessa técnica em toda a América Latina tem suas raízes indígenas. No Brasil, o método foi usado inicialmente pelos índios no interior, mas não pelos do litoral, que tinham maior contato com o estrangeiro.

A taipa de pilão é típica de países pobres, não só economicamente, mas de materiais de construção, como a cal, a pedra e o tijolo (LEMOS, 1996). Por essa razão o interior paulista se mostrou como principal centro desse processo construtivo, por apresentar solo com poucas possibilidades de aproveitamento e por ser uma região com poucas opções de comércio. O uso da taipa de pilão perdurou por quase três séculos no planalto paulista (LEMOS, 1999b).

As paredes de taipa de pilão tinham espessura média de 50 a 60 centímetros e os beirais eram avantajados para evitar chuva e erosão da parede (SMITH, 1975). Lemos (1999b) afirma que a taipa paulista assumiu uma característica própria pelo fato de iniciar a parede pela própria terra, sem qualquer mecanismo para combater a umidade natural do solo e a erosão. O interessante é

que, pelo aprimoramento da técnica, as paredes ficavam tão bem adensadas que não absorviam qualquer tipo de umidade.

▪ **Alvenaria de tijolo**

Segundo Katinsky (1980), o tijolo é utilizado no nordeste brasileiro desde a chegada dos portugueses no século XVI, tanto nas casas urbanas como nas de engenho. Vauthier (1975) confirma a predominância do tijolo nas construções em que visitou, descrevendo:

a alvenaria de tijolos constitui mais ou menos toda a construção, ou, notemos somente [...] o emprego quase exclusivo de tijolos na obra de alvenaria, ou ainda, o comum é o tijolo que geralmente não é caro e cuja mão-de-obra não exige nem grandes cuidados nem grande habilidade (VAUTHIER, 1975).

Vauthier (1975) afirma que a dimensão do tijolo era de 44 centímetros de comprimento por 22 de largura e 6 a 7 centímetros de espessura. Nas paredes da fachada davam-lhes espessura dupla, correspondente ao comprimento de um tijolo ou a duas larguras. Nas internas, utilizava-se a parede singela, com largura de um único tijolo.

▪ **Alvenaria de pedra**

Segundo Bazin [1983], um fator marcante das construções brasileiras foi a pouca utilização da pedra, que era escassa e mal distribuída em todo o território do país. Mesmo assim, Lemos (1996) aponta que na região da Bahia ao sul do Brasil, durante quase todo o período de dominação lusitana, utilizava-se a chamada pedra entaipada, que eram pedras irregulares e de tamanhos diferentes, com argamassa de areia e cal dentro de formas semelhantes aos taipais do

planalto paulista. Katinsky (1980) afirma que a pedra era principalmente utilizada em edifícios públicos, igrejas e algumas residências urbanas no litoral.

Vauthier (1975) comenta, em sua segunda carta, que encontrou o uso da pedra em construções civis no Rio de Janeiro e mais ao sul, na província do Rio Grande. Smith (1975) registra que a espessura das paredes em pedra variava entre 50 e 70 centímetros. A ilustração 4.5 mostra um detalhe desse tipo de construção.

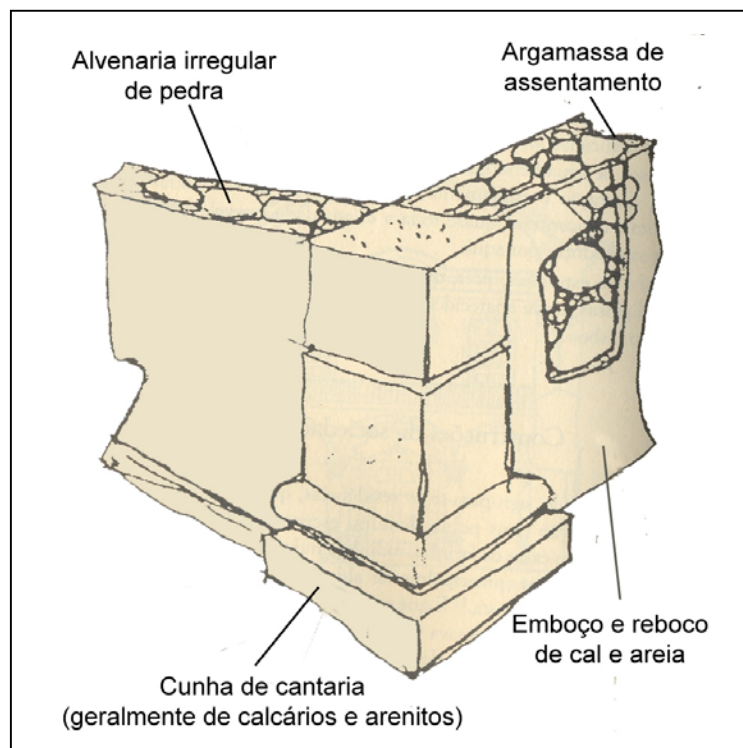


Ilustração 4.5 – Detalhe de uma parede de pedra. (Fonte: VARGAS, 1994)

Sobre a pouca utilização da pedra no Brasil, Vauthier (1975) destaca ainda que não era tanto pela pobreza do solo brasileiro, mas pela indiferença dos

habitantes pela exploração de riquezas do solo e pelo mau costume imposto por Portugal de forçar a colônia a comprar até a pedra para construir suas edificações.

Resumindo, pode-se perceber que processos construtivos brasileiros do período colonial são repetitivos e pouco sofisticados. Como afirmou Vauthier (1975), *quem viu uma casa brasileira, viu quase todas*. Sendo assim, é possível dividir o Brasil colonial em três áreas de concentração:

- 1) Nordeste: onde as técnicas mais antigas predominam. Desde o início da colonização portuguesa, essa região teve como característica principal o uso do tijolo como componente das vedações;
- 2) Litoral sul: a faixa se estende da Bahia ao sul do Brasil. As diferenças entre a região nordestina podem ser justificadas pela diferença de clima e, principalmente, pela existência de outras matérias-primas. Vale destacar a pedra entaipada, encontrada em diversos pontos dessa região (LEMOS, 1996);
- 3) Interior paulista e arredores: nessa região encontra-se como processo construtivo predominante nas residências a taipa de pilão, que foi utilizada por quase 300 anos.

A ilustração 4.6 mostra graficamente as regiões descritas, associadas aos processos construtivos predominantes.

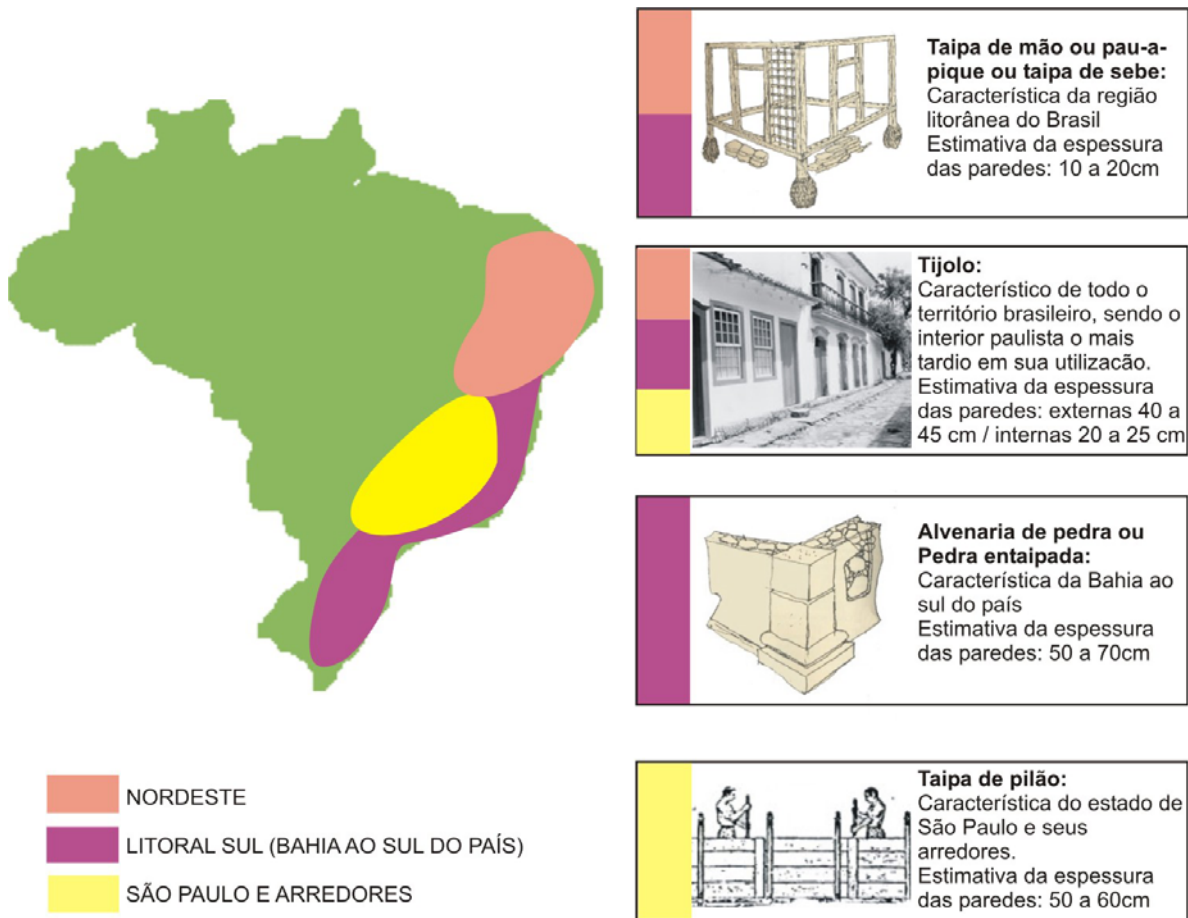


Ilustração 4.6 – Processos construtivos coloniais de acordo com cada região do Brasil.

4.2.2 PROCESSOS CONSTRUTIVOS DO BRASIL-REPÚBLICA

No final do século XIX, com a decadência do trabalho escravo e com o início da imigração européia, começa a ser utilizado o trabalho remunerado e a qualidade das técnicas construtivas apresenta considerável aprimoramento. Já era mais fácil encontrar nessa época casas construídas com tijolos e cobertas com telhas do tipo Marselha. Antes, nas coberturas, era utilizada a telha canal, a qual era feita de forma bastante primária, cujo molde era a coxa do próprio escravo que fazia a telha.

Nesse período, uma transformação importante foi a introdução do chamado tijolo queimado, ou bloco cerâmico, como opção de alvenaria. Nas residências em São Paulo, até o momento, a taipa de pilão era praticamente a única técnica construtiva utilizada. A classe proletária, impulsionada pela vinda de alemães e italianos, foi a primeira a utilizar o tijolo, posteriormente vieram os ricos fazendeiros e suas obras suntuosas. A classe média, arraigada às suas tradições, foi a que mais resistiu à novidade (LEMOS, 1996).

Mesmo com uma etapa tecnológica vencida, as formas arquitetônicas demoraram a se desprender do passado. Muitas vezes era conservada a arquitetura pesada das antigas técnicas construtivas, como se ainda fossem essas empregadas.

A abolição da escravatura, a proclamação da República e a vinda de imigrantes europeus ainda não foram suficientes para que o país transformasse definitivamente a sua estrutura econômica e instalasse uma fase industrial. A mudança real só aconteceu sob o impacto da primeira grande guerra. Mesmo assim, quando ocorre o surto de renovação política e cultural dos anos 20, já havia uma certa organização na construção civil. Vargas (1994) aponta o escritório do professor de arquitetura da Escola Politécnica em São Paulo, Francisco de Paula Ramos de Azevedo, como precursor de todo o processo, em 1886.

As primeiras obras do arquiteto foram basicamente mansões de alvenaria de tijolos (LEMOS, 1989) e, logo depois, surgiram obras de grande porte, como o Teatro Municipal. Em 1922, Ramos de Azevedo já construía importantes estruturas de aço.

O advento do concreto armado, no início do século, serviu de estímulo para o crescimento da indústria da construção civil. Entre 1920 e 1940, as técnicas construtivas passaram por uma fase de aprimoramento devido, principalmente, à mão-de-obra imigrante. Foi nesse período que se venceu por completo a etapa das tradições construtivas dos tempos da escravidão, evoluindo-se para uma fase correspondente ao trabalho remunerado.

Nesse período diversos escritórios começaram a projetar e a se superarem em diversos tipos de construção. Em 1928, Emílio Baugart projetou o edifício A Noite, no Rio de Janeiro, que foi o primeiro edifício de concreto armado em todo o mundo. Outro grande destaque da época foi o prédio Martinelli, construído entre 1925 e 1929, que depois de muitas discussões com a prefeitura chegou aos 24 andares (VARGAS, 1994).



Ilustração 4.7 – Edifício Martinelli em São Paulo destacando-se do gabarito da cidade. ^{4.1}

^{4.1} (Fonte: acessado em:10/02/2005. Disponível em: geocities.yahoo.com.br/./martinelli.html).

Foi nos anos 20 a 40 que diversas empresas e escritórios inundaram as cidades do Rio de Janeiro e de São Paulo com grandes estruturas de concreto armado. Apesar do intenso processo de mecanização na construção, até 1940 a industrialização dos materiais de construção era tímida se comparada aos anos seguintes.

O ápice da construção civil brasileira foi a construção de Brasília. Como afirma Vargas (1994):

em termos tecnológicos, [Brasília] não pode ser considerada um marco da tecnologia nacional, mas, sem dúvida o é da engenharia brasileira. [...]. Ela permitiu, contudo, que se desenvolvessem, pela ação direta, métodos de construção inusitados em regiões longínquas dos meios industrializados. (VARGAS, 1994, P. 243).

Em termos de tecnologia da construção, é possível afirmar que o Brasil não mudou muito. Talvez as tipologias, o desenho das casas ou a utilização de alguns tipos de vedação de forma isolada. O padrão continua sendo o mesmo: estrutura em concreto armado e paredes de vedação em alvenaria de tijolos ou blocos.

Nos últimos tempos, a busca do mercado por algumas exigências na residência mudou devido a diversos fatores e, mesmo sem perceber, a qualidade acústica se tornou um deles. Como afirma Báring (1988), apesar de ser um assunto que não tem prioridade nas decisões políticas da cidade, a poluição sonora é um fator preponderante nessa mudança. Tal tendência acarretou prejuízo aos proprietários dos apartamentos no centro da cidade, que assistiram seu patrimônio se desvalorizar progressivamente.

4.3 CARACTERÍSTICAS DOS PROCESSOS CONSTRUTIVOS BRASILEIROS

Esta pesquisa, ao escolher trabalhar com os componentes de vedação característicos da arquitetura brasileira, enfrentou alguns entraves. O primeiro foi em relação ao levantamento específico das técnicas construtivas brasileiras mais antigas. Era esperado encontrar as descrições e especificações dos processos construtivos no levantamento de prédios históricos do Brasil, mas não foi o que aconteceu. Como a área de concentração dos pesquisadores sobre o tema é, geralmente, a área social, informações técnicas sobre a construção civil, principalmente de residências, é algo que ainda deixa a desejar no Brasil.

Outra dificuldade foi no levantamento das propriedades físicas dos elementos de vedação, cujos dados são necessários para as predições analíticas do isolamento. A maioria das informações técnicas encontradas não diz respeito a materiais utilizados na construção civil, mas sim àqueles utilizados em outras áreas de investigação, como a engenharia mecânica, por exemplo.

Ainda, foi encontrada certa confusão de nomenclaturas entre tijolo e bloco cerâmico. Algumas referências utilizavam a expressão “tijolo maciço” ou “tijolo furado”. Também, outras referências utilizavam o termo “tijolo” referenciando-se a blocos cerâmicos. Neste trabalho, adotadas as definições técnicas, foram utilizados o termo tijolo cerâmico para o que se chama popularmente de “tijolo maciço” e bloco cerâmico para o que se chama, leigamente, de “tijolo furado”.

A ilustração 4.8 mostra um levantamento dos principais processos construtivos brasileiros e suas propriedades físico-mecânicas.

Dados Material	Densidade [kg/m ³]	Módulo de elasticidade, E [N/m ²]	Fator de Perda, η	Módulo de cisalha- mento, G [N/m ²]	Velocidade do som [m/s]	Coef. de Poisson, ν
PEDRA	2250 - 2450 ^(a)	---	---	---	1600	---
TAIPA DE MÃO	1500 ^(a,b)	---	---	---	---	---
TAIPA DE PILÃO	1600 - 1800 ^(a,b)	---	---	---	---	---
TIJOLO CERÂMICO	1700 – 2300 ^(c,d,e)	1,6 - 2,5 x 10 ¹⁰ ^(d,e)	0,01 – 0,02 ^(f)	8,417 x 10 ⁸ ^(g)	3700 ^(e)	0,2 ^(g)
BLOCO CERÂMICO	750 – 1400 ^(c,h)	0,6 x 10 ¹⁰ ^(h)	0,005 – 0,02 ^(h)	2,5 x 10 ⁹ ^(h)	2182,2 ^(h)	0,2 ^(h)
MADEIRA (construção d>650 kg/m ³)	650 – 850 ^(e,k)	1,2 x 10 ¹⁰ ^(e)	0,010	7,5 x 10 ⁵ ^(j)	4300 ^(e)	0,24
CONCRETO	2200 - 2600 ^(c,d,e,i)	2- 3 x 10 ¹⁰ ^(d,e,i)	0,005- 0,02 ^(c)	---	3100 - 3500 ^(c,e,h)	0,15 – 0,22 ^(h,i)

^a CORREA, 1939
^b NAPPI, 2004
^c BERANEK, 1992
^d FAHY, 2001
^e REYNOLDS, 1981
^f PIERCE, 1994
^g PAIXÃO, 2002
^h TADEU, 2002
ⁱ NEVILLE, 1997
^j Baseado no módulo do carvalho
^k Disponível em: www.geocities.yahoo.com.br/resumodefisica/acustica/acu04.htm. Acessado em: 22/11/2004

Ilustração 4.8 – Quadro das propriedades físicas dos materiais que compõem as vedações típicas brasileiras.

Algumas lacunas permaneceram, já que não se encontram publicados dados que referenciem as propriedades de determinados materiais. Na ilustração, as vedações estão agrupadas por cores representando as famílias de materiais e, apesar de ter sido organizada cronologicamente, vale ressaltar que alguns grupos, como o do tijolo e o da madeira, acompanham a maioria das fases da arquitetura brasileira.

4.4 PREDIÇÃO DA TRANSMISSÃO SONORA DAS VEDAÇÕES BRASILEIRAS

Como já visto, as moradias brasileiras, no seu processo de transformação ao longo da história, apresentaram evolução em direção a vedações cada vez mais leves. Segundo mostrado no capítulo 3, a densidade superficial (m) dos componentes de vedação é determinante na qualidade do isolamento sonoro em largas e importantes faixas de frequência. O valor de m é resultante do produto da densidade específica do material pela espessura da partição. Portanto, um material menos denso ou uma parede com menor espessura ou, ainda, as duas coisas simultaneamente, resultará em diminuição no isolamento sonoro oferecido.

Como pode ser comprovado na ilustração 4.9, houve uma redução acentuada da espessura das paredes ao longo do tempo. O principal acontecimento que interferiu na diminuição das espessuras das vedações foi a separação entre a estrutura e os elementos de vedação, o que coincide com a chegada do concreto, no início do século XX, ao Brasil.

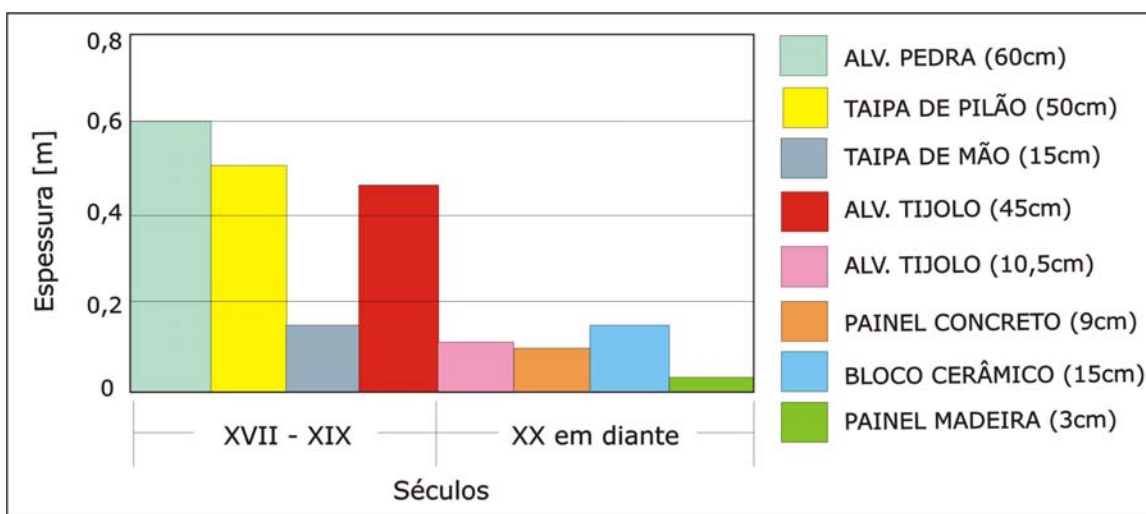


Ilustração 4.9 – Variação de espessura das paredes de vedação, ao longo dos séculos, da arquitetura brasileira.

Para subsidiar a análise do desempenho das partições brasileiras, suas densidades superficiais foram calculadas a partir do levantamento realizado. É notável o decréscimo sofrido ao longo dos séculos, que explica, não necessariamente sozinho, a perda no nível de isolamento sonoro das edificações brasileiras. Percebe-se que, com a diminuição da espessura, tem-se a conseqüente diminuição da densidade superficial das partições, como indica a ilustração 4.10.

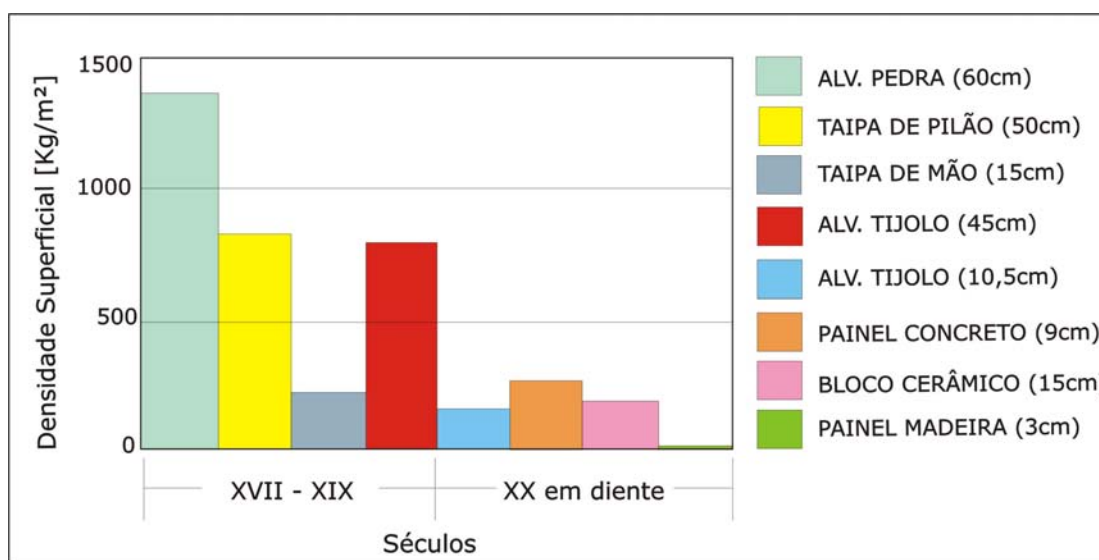


Ilustração 4.10 – Densidade superficial das paredes de vedação, ao longo dos séculos, da arquitetura brasileira.

Esse estudo utilizou os processos construtivos mais comuns nas paredes de vedação externa em cada período da arquitetura brasileira. Foram eles: taipa de pilão (50cm), alvenaria de pedra (60cm), tijolo (45cm), bloco cerâmico (15cm), painéis de concreto (9cm), tijolo (10,5cm) e a madeira (3cm). As duas dimensões de tijolo equivalem a suas diferentes medidas ao longo do tempo. A primeira equivale ao período colonial (VAUTHIER, 1975) e a segunda às medidas atuais

(PAIXÃO, 2002). O painel de concreto faz alusão às construções pré-moldadas, as quais foram analisadas por Costa (2002). A madeira de três centímetros faz referência aos painéis simples de madeira utilizados, principalmente, em casas mais humildes nas cidades brasileiras atuais.

Vale ressaltar que os processos construtivos que se apresentam mais frágeis são os que, normalmente, são característicos das classes mais pobres, como a taipa de mão e a madeira. Isso não quer dizer que esses tipos de vedação sejam apenas utilizados em determinada classe social, mas o que se quer destacar aqui são suas aplicações mais comuns.

Neste ponto já é possível estimar-se a queda na perda de transmissão, ΔPT , exclusivamente em razão do decréscimo na densidade experimentado pelas paredes, através da razão entre elas:

$$\Delta PT = 20 \log \frac{m_1}{m_2} \quad \text{dB} \quad (4.1)$$

sendo m_1 e m_2 as densidades superficiais que se quer comparar. Então, de acordo com a equação (4.1), a substituição da pedra pelo tijolo e do tijolo pelo bloco cerâmico nas edificações brasileiras significou, respectivamente, uma redução de 19 dB e 15 dB. Ainda, relacionando-se a parede de pedra, a mais densa utilizada no passado, com a de madeira, a de menor densidade utilizada do século XX em diante, os cinco séculos de evolução da arquitetura brasileira significaram, em termos gerais, uma queda de, aproximadamente, 35dB no nível de isolamento sonoro oferecido pelos componentes da moradia.

Associando-se a queda do isolamento com a sensação subjetiva do ser humano aos níveis sonoros, tem-se que a perda de 10 dB no isolamento é o

mesmo que dizer que o nível sonoro no ambiente receptor cresceu 10 dB, o que significa o dobro da sensação sonora. Ainda, um acréscimo de 20 dB tem um impacto subjetivo de um aumento da quatro vezes mais na sensação sonora.

Em uma análise mais detalhada, o cálculo do nível de isolamento sonoro, em freqüência, dos diversos componentes estudados requer a identificação precisa de diversas características das partições, conforme demonstra a presença das diferentes variáveis nas equações da ilustração 3.10. Portanto, obter a predição do isolamento sonoro das vedações brasileiras ao longo da história é tarefa complexa, já que há pouca informação técnica publicada.

Para se fazerem as predições foram utilizados dois métodos, a saber:

- O primeiro foi através das expressões expostas no capítulo 3. Inicialmente calculou-se a freqüência crítica pela equação (3.18), para depois se calcular a perda de transmissão nessa freqüência específica através do gráfico na ilustração 3.6. Com isso, calculou-se a perda de transmissão para as freqüências abaixo da freqüência crítica conforme a equação da lei da massa (3.27). Para as freqüências acima da freqüência crítica, utilizou-se a equação (3.28) proposta por Fahy (2001).
- O segundo método utilizado foi o do patamar, proposto por Beranek (1992). Apesar de ser bastante eficiente, como será visto a seguir, o único empecilho para sua utilização é que é necessário se ter a altura e a largura do patamar para cada material utilizado, conforme demonstrado no item 3.2.1.2.

Para os elementos mais antigos, sobre os quais inexistem determinadas informações, tais como fator de perda ou módulo de elasticidade, não foi possível a estimativa. Ficou representativo dos elementos históricos, porém, a alvenaria de

tijolos de 45 cm de espessura, cujas propriedades físicas necessárias são todas conhecidas. Das outras partições, cuja perda de transmissão não é calculada, espera-se um desempenho ainda melhor que a de tijolos, já que todas têm maior densidade superficial, como mostrado na ilustração 4.10, com exceção única da taipa de mão.

A partir dos dois métodos explanados, chega-se aos resultados mostrados na ilustração 4.11.

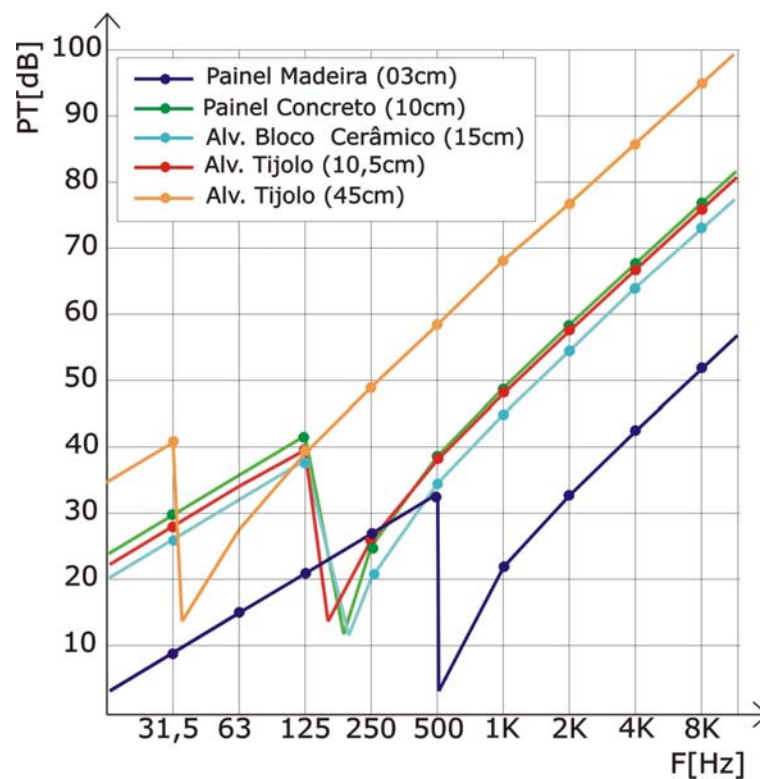


Ilustração 4.11 – Predição analítica da perda de transmissão de variados componentes de vedação da arquitetura brasileira.

Comparando-se as diversas partições da ilustração 4.11, percebe-se o desempenho superior da alvenaria de tijolo de 45 centímetros. Em todas as frequências, com exceção da região da frequência crítica, os valores da perda de

transmissão são superiores em, aproximadamente, 10 dB. Observa-se, também, nas curvas, um esperado deslocamento da frequência crítica para regiões mais baixas de frequência, à medida que a espessura da parede aumenta, ou seja, nos componentes mais antigos. Isso significa, também, um melhor desempenho das partições utilizadas no passado, pois acima da frequência crítica o crescimento da PT é mais acentuado que os 6 dB por oitava encontrado na região da massa. Ainda, a frequência crítica, onde há baixa acentuada na qualidade do isolamento, correspondente aos componentes antigos de vedação, tende a localizar-se em região de frequência pouco significativa, abaixo de 50 Hz, como se observa na curva correspondente ao tijolo de 45 centímetros.

Outra afirmação que se pode fazer a partir dos resultados é acerca da semelhança entre os comportamentos do painel de concreto (10cm), da alvenaria de bloco cerâmico (15 cm) e da alvenaria de tijolo (10,5 cm), que são exemplos de partições atuais. O painel de madeira (3cm), mais comumente utilizado por populações mais carentes, é que se destaca do conjunto, tendo desempenho ainda pior que todos os outros.

Separando cada partição individualmente, a ilustração 4.12 mostra o desempenho destas com os métodos descritos.

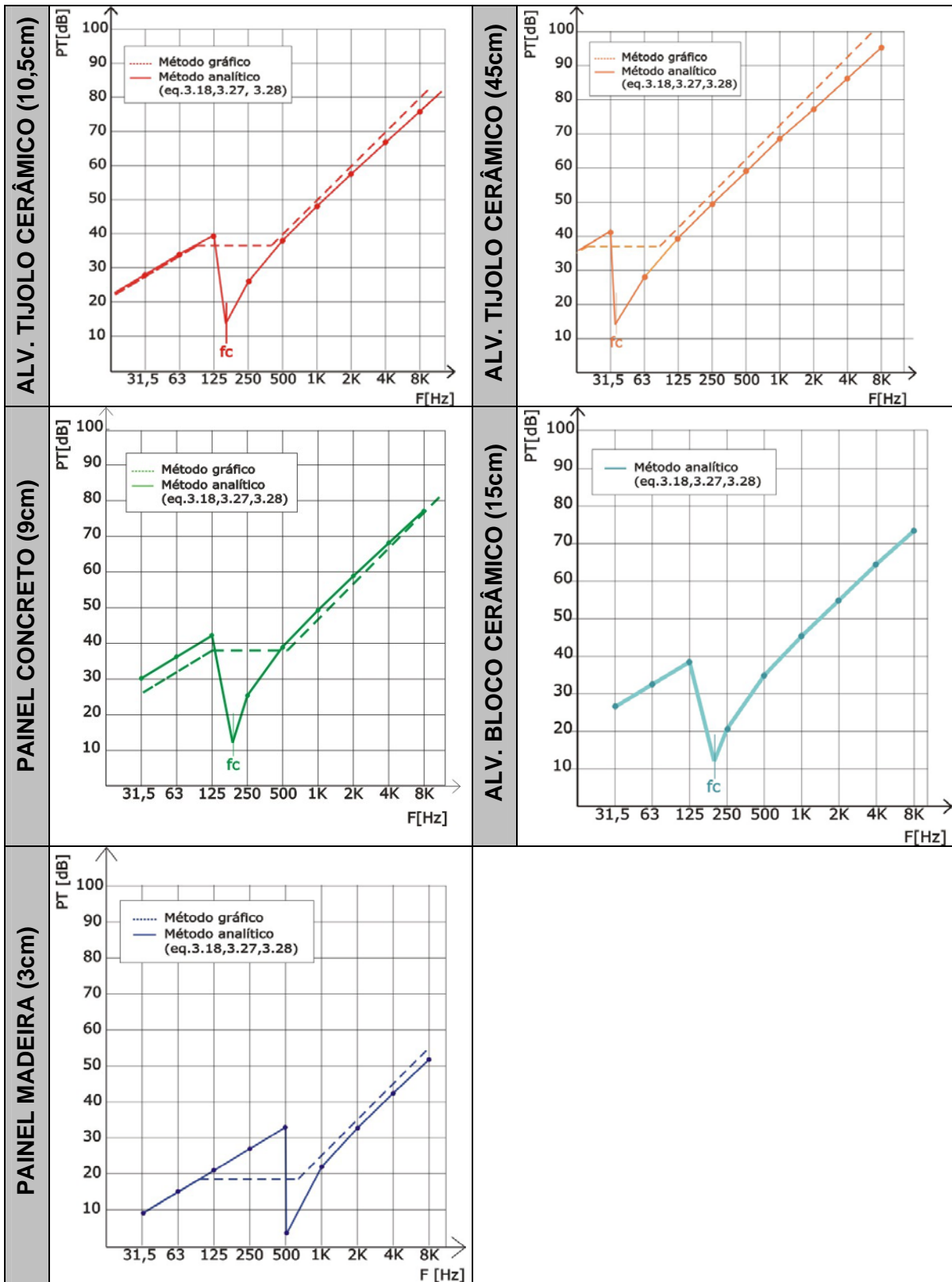


Ilustração 4.12 – Predição da perda de transmissão de exemplos de vedações brasileiras através dos métodos gráfico e analítico.

Pode-se perceber que os gráficos calculados por diferentes métodos apresentaram resultados bastante próximos para todas as regiões de frequência, com exceção da região de coincidência, onde geralmente ocorrem as maiores diferenças. A semelhança nos valores preditos reforça o estudo de Laranja (2002), que ao comparar diferentes métodos teóricos com o método experimental, a fim de avaliar a transmissão sonora de uma parede simples, pôde concluir que o método do patamar é bastante eficaz para avaliar tanto paredes finas como paredes espessas, que é o caso deste trabalho.

Sabe-se que uma partição se comporta diferentemente para cada região de frequência. No entanto, para fins didáticos, extrapolou-se a equação da lei da massa para todas as regiões de frequência para, dessa forma, ter-se um panorama geral das técnicas construtivas que, de outra forma, não há como avaliar pelos motivos já expostos. A generalização é permitida, pois o objetivo desse estudo é a comparação do desempenho da perda de transmissão entre as diversas partições. A ilustração 4.13 mostra o resultado.

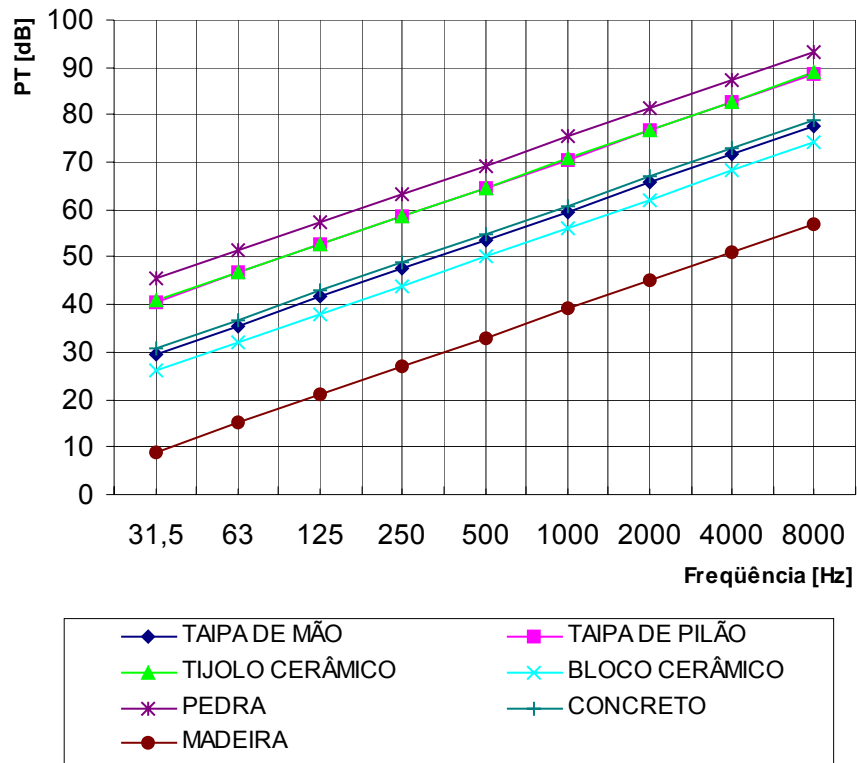


Ilustração 4.13 – Perda de transmissão de diferentes paredes de vedação pela equação lei da massa extrapolada para todas as faixas de frequência.

Uma outra forma de discutir o comportamento das vedações é através do número único de isolamento, ao invés da análise em bandas de frequência. A conversão dos valores da perda de transmissão para um índice único representativo da partição, R_w , foi feita de acordo com a ISO 717-1 e estão apresentados na ilustração 4.14.

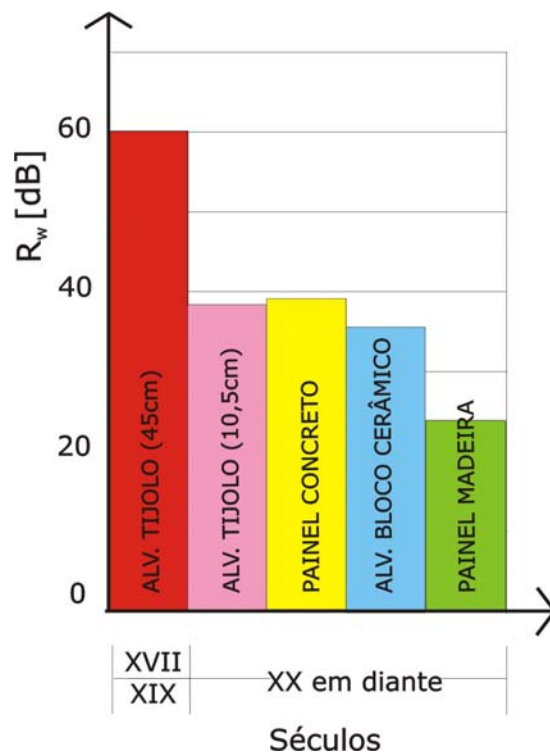


Ilustração 4.14 - R_w das paredes de vedação da arquitetura brasileira para os diferentes séculos.

Nos países europeus, onde o estudo de isolamento encontra-se em estágio muito mais avançado do que no Brasil, a forma de intervir mais eficazmente na melhoria da qualidade acústica das edificações tem sido através de normas para cada tipo de construção, como casas geminadas, apartamentos, casas isoladas etc. Mesmo assim, após cinquenta anos da existência de normalização para isolamento sonoro em habitações, Rasmussen (2004) afirma que existem discrepâncias significativas entre os níveis mínimos exigidos nas normas de vários países. Como afirma a autora, o processo para atingir níveis adequados de isolamento é bastante lento. Na Europa, depois de anos de estudos, muitos ajustes ainda estão por serem feitos.

Gerretsen (2003) relata que na Holanda, onde os estudos iniciaram-se nos anos cinquenta, depois de vinte anos de regulamentação, uma pesquisa mostrou que somente 25% das construções aplicava a norma adequadamente. Somente depois de um trabalho de conscientização da população começaram a surgir resultados mais animadores.

Na Escócia, Craik (1999) afirma existirem duas formas de se avaliar o isolamento de uma residência. O primeiro é especificar níveis de isolamento necessários para cada tipo de construção; o outro é desenvolver testes de isolamento nas construções já edificadas, a fim de se identificar, com uma avaliação pós-ocupacional, se foram ou não obedecidas as diretrizes do projeto. Craik (1999) assegura que avaliar o nível de isolamento sonoro das residências pode causar problemas, pois a fiscalização torna-se impopular entre os construtores por muitas vezes estes necessitarem aumentar os custos para atingirem níveis adequados.

Mesmo com regulamentos estabelecidos, Grimwood (1997) aponta que, em muitas residências na Inglaterra que apresentam níveis de isolamento dentro na norma, existem pessoas insatisfeitas com o ruído. Isso se explica pelo fato de que, primeiro, a norma fornece, como diz Rasmussen (2004), níveis mínimos de isolamento. Cabe ao proprietário investir ou não em um nível melhor para a sua residência. E, segundo, como afirma Gerretsen (2003) e Rasmussen (2004), os regulamentos se referenciam a níveis estipulados há cinquenta anos. Nesse período, fontes sonoras diversas surgiram e a demanda por uma melhor qualidade e conforto nas edificações se contrapõe a construções cada vez mais leves e que requerem uma otimização do processo de projeto utilizando princípios da acústica.

Como no Brasil não existem normas de isolamento para residências, foi utilizado um levantamento recente feito por Rasmussen (2004) de normas de 24 países europeus a fim de se ter um parâmetro de qualidade, sendo possível saber qual a real situação das partições brasileiras. Na pesquisa citada, o nível médio de isolamento transformado em R'_w varia entre 50 e 61dB, sendo um valor aproximando entre 50 e 61dB para casas térreas e entre 50 e 56dB para edifícios multifamiliares.

Baseado nesses níveis, foi feita uma comparação com os valores de R_w calculado para as partições brasileiras. O que observa-se é que nenhuma das partições brasileiras atuais, se fossem avaliadas, estaria dentro das normas europeias, como mostra a ilustração 4.15.

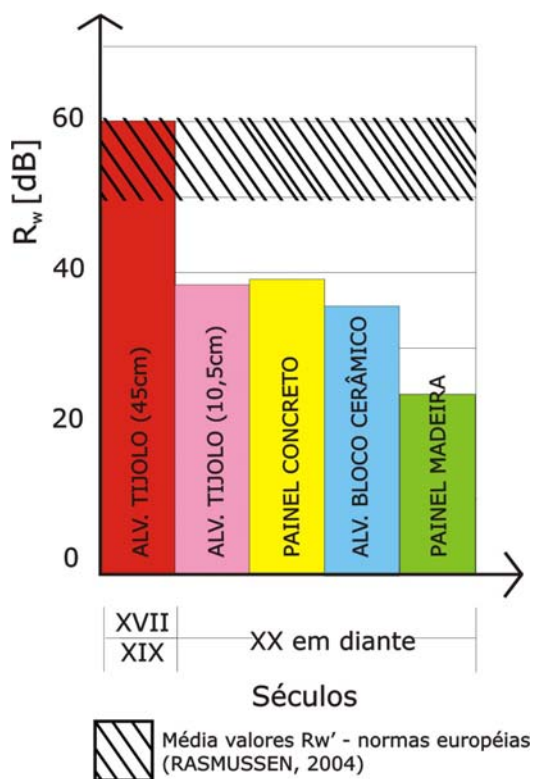


Ilustração 4.15 – Comparação da média de R'_w das normas europeias com os valores de R_w das partições brasileiras separadas por séculos.

4.5 CONCLUSÃO

Fazendo-se uma comparação entre as médias da perda de transmissão do grupo de técnicas do século XIV ao XIX e as do século XX, tem-se uma diferença aproximada de 35dB no nível de isolamento oferecido. O que se percebe é que essa queda brusca nos valores de R_w para as partições do século XX coincide com a separação da estrutura das paredes de vedação. O mais grave é que, à medida que as construções foram ficando mais permeáveis ao ruído, a poluição sonora urbana cresceu consideravelmente, piorando ainda mais a qualidade de vida oferecida pelas edificações nas cidades.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões da pesquisa, com as devidas considerações e recomendações para trabalhos futuros a partir dos resultados obtidos.

Neste trabalho foram levantados os acontecimentos ao longo da história que contribuíram para o declínio do isolamento acústico das habitações. Na primeira parte foi realizada uma avaliação qualitativa da evolução da casa no Brasil e no mundo, onde foram destacados os eventos que colaboraram na mudança da função e do sentido da moradia e que influíram na qualidade acústica das residências.

Em um segundo momento, apresentam-se dois tipos de estudo, dos processos construtivos brasileiros e das formas de predição analítica da transmissão sonora de uma parede simples. A partir do cruzamento dos dois levantamentos, fez-se a predição analítica do nível de isolamento das vedações brasileiras, comparando-as com as diversas fases da história.

A predição analítica do isolamento sonoro das vedações brasileiras foi realizada através de dois métodos. O primeiro foi através das diferentes equações para cada faixa de frequência e, o segundo, por meio do método do patamar que, apesar de ser um método gráfico, apresentou bons resultados. Organizar a teoria

em isolamento exigiu um empenho maior do que esperado, pois a há distintas equações para descrevem o fenômeno do isolamento, apresentadas por diferentes teóricos.

A partir dos objetivos pontuados no início do trabalho e diante do que foi discutido, podem ser destacadas as seguintes conclusões:

1. A função da casa evoluiu ao longo de sua história recente, de lugar de abrigo e proteção a local que inclui trabalho, estudo e lazer. No entanto, para atingir essas funções por completo, a qualidade acústica das residências é um dos fatores determinantes, mas foi mostrado nesta pesquisa o quanto tem sido desconsiderada no Brasil. A casa brasileira iniciou sua história com características não muito favoráveis a um bom isolamento, com casas geminadas nos limites do lote e o uso de meias paredes. Ao longo do tempo, porém, começou a assimilar diferentes aspectos, ora positivos, como com a separação dos limites do lote; ora negativos, como a superposição de atividades provocada pelo movimento moderno e pela entrada de novas fontes de ruído dentro da residência.
2. Os processos construtivos brasileiros se apresentaram quase que imutáveis até o século XIX, quando diversos fatores na história contribuíram para sua modificação. O que se observa de mais marcante para essa mudança foi a chegada do concreto ao Brasil, que separou a estrutura das paredes de vedação, resultando numa queda brusca na qualidade do isolamento sonoro das vedações brasileiras.
3. As vedações brasileiras apresentam grandes diferenças nos níveis de isolamento oferecido em variadas épocas. As partições características do

século XX possuem aspectos distintos, desde a densidade superficial aos valores da perda de transmissão para as diferentes faixas de frequência. Observou-se também nas curvas um esperado deslocamento da frequência crítica para regiões mais baixas de frequência, à medida que a espessura da parede aumenta, ou seja, nos componentes mais antigos. Isso significa, também, um melhor desempenho das partições utilizadas no passado, pois acima da frequência crítica o crescimento da PT é mais acentuado que os 6 dB por oitava encontrado na região da massa. Ainda, a frequência crítica, onde há baixa acentuada na qualidade do isolamento, correspondente aos componentes antigos de vedação tende a localizar-se em região de frequência pouco significativa, abaixo de 50 Hz.

4. Comparando-se com a média dos níveis mínimos de isolamento sonoro exigidos pelas normas europeias, as partições brasileiras atuais encontram-se muito abaixo do requerido.
5. Comparando a variação entre as vedações do século XVI ao XIX com as do século XX, percebe-se que houve um decréscimo em torno de 35dB na perda de transmissão da partição das residências brasileiras. Essa queda no nível de isolamento acústico é consequência, principalmente, da chegada do concreto ao Brasil, que modifica a estrutura da casa, de paredes antes estruturais para elementos apenas de vedação. Associando-se a queda do isolamento com a sensação subjetiva do ser humano aos níveis sonoros, tem-se que a perda de 10 dB no isolamento é o mesmo que dizer que o nível sonoro no ambiente receptor cresceu 10 dB, o que significa o dobro da

sensação sonora. Ainda, um acréscimo de 20 dB tem um impacto subjetivo de um aumento da quatro vezes mais na sensação sonora.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi visto neste trabalho, a situação atual da qualidade acústica da casa no Brasil necessita de melhoria. A evolução da casa e de seus processos construtivos é algo esperado em qualquer civilização, o que não é admissível que essa evolução contribua para a diminuição da qualidade de vida de seus habitantes.

Observando-se a experiência de outros países, pode-se dizer que a forma mais eficaz de alcançar alguma melhoria da qualidade acústica das habitações é através de normas que regulamentem níveis mínimos de isolamento sonoro. No entanto, para se chegar a uma norma de isolamento, diversos setores da sociedade devem colaborar. Percebe-se que o princípio de todo o ciclo começa com a qualidade do ensino de acústica nas escolas de arquitetura.

Em termos legislativos, a portaria nº 1770 de 21 de dezembro de 1994 do Ministério da Educação é coerente na preocupação em oferecer um ensino de acústica de qualidade nas escolas de arquitetura, com a obrigação de oferta para os alunos de laboratórios, equipamentos e conteúdos adequados. Mas, na prática, isso não acontece, pois são poucos os professores capacitados adequadamente.

Formando profissionais capacitados será possível conscientizar a população sobre o assunto. Quando a população começa a cobrar do mercado, esse reage com uma melhoria na qualidade. Mas, para se dizer que determinado produto é bom ou não, são necessários parâmetros de qualidade, resultado do

trabalho conjunto de órgãos que regulamentam a qualidade nas construções e de profissionais capacitados para realizar pesquisas na área. Tudo isso só será possível com uma sólida formação dos profissionais, que se dá com um ensino de qualidade de acústica desde a graduação.

5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugerem-se alguns tópicos para estudo:

- Relacionar o nível de isolamento acústico oferecido pelas residências atuais com o nível de pessoas insatisfeitas, podendo-se, assim, identificar um valor mínimo de isolamento estatisticamente aceitável;
- Avaliar a transmissão sonora de diferentes casas em diferentes faixas de renda e tipologias, formando um quadro geral da qualidade de isolamento nas residências;
- Fazer um levantamento das propriedades físico-mecânicas dos materiais da construção civil para subsidiar outros estudos na área como, também, o estudo de novos valores do método do patamar específicos para cada processo construtivo;
- Criar um banco de dados dos principais processos construtivos brasileiros, identificando informações técnicas e úteis para outros estudos na área de construção civil;
- Avaliar o isolamento das edificações multifamiliares, considerando-se, pelas suas características, o ruído de impacto;
- Analisar a diferença do nível de pressão sonora entre unidades residenciais distintas a partir de estimativas teóricas.

- ARIZMENDI, L. J. **Tratado Fundamental de Acustica en la Edificacion**. Pamplona: EUNSA, [198–].
- AZEVEDO, A. V. de A. **Acústica – Controle de Ruídos**. Apostila 02, Curso de Extensão Universitária. Maceió: 1989.
- BÁRING, J. G. de A. Desenvolvimento tecnológico em acústica das edificações: conceituação (1ª parte). In: **Tecnologia de Edificações**. São Paulo: PINI, 1988. Divisão de Edificações do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas).
- BARRETO, P. T. O Piauí e a sua arquitetura. In: **Arquitetura Civil I**. São Paulo: FAUUSP/MEC-IPHAN, 1975. (textos escolhidos da Revista do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional 1).
- BAZIN, Germain. **A Arquitetura Religiosa Barroca no Brasil**. Rio de Janeiro: Record, [1983]. vol.I.
- BENEVOLO, L. **História da Cidade**. São Paulo: Perspectiva, 1997.
- BERANEK, L. L.; VÉR, I. L. **Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1992.
- CARVALHO, B. de A. **História da Arquitetura**. Rio de Janeiro: Edições de Ouro, s.d.
- CORREA, E. D.; BACELLAR, R. H. **Manual do Engenheiro**. Porto Alegre: Livraria da Globo, 1939. 1º vol.
- COSTA, U.; SOUZA, H. A. de; NEVES, F. de A. das. Caracterização da construção metálica nacional e avaliação acústica de painéis de fechamentos pré-fabricados. In: **Anais IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Foz do Iguaçu, 07-10 maio, 2002.
- COWAN, J. **Architectural Acoustics Design Guide**. McGraw – Hill. New York, 2000.
- CRAIK, R. J. M.; McPHERSON, A.; SOMERVILLE, A. W. M. The relationship between post-construction testing and sound insulation performance. **Applied Acoustics**, 1999. n° 57, p. 79-87.

DA MATTA, R. Casa, Rua & Outro Mundo: reflexões sobre o espaço e a sociedade. **Revista do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional**, nº 19. Editora Prómémória, 1984.

FAHY, F. **Foundations of Engineering Acoustics**. United Kingdom: Academic Press, 2001.

FARIA, E. L. de. **Idade Média**. Disponível em:
<http://www.nomismatike.hpg.ig.com.br/IdadeMedia.html>. Acessado em:
28/11/2003.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. Florianópolis: NR Ed, 2ª ed, 2000.

GERRETSEN, E. Prediction of sound insulation in buildings: a tool to improve the acoustic quality. In: **DAGA '03**. Aachen, 2003.

GRECO, P. F. L.; SLAMA, J. Evolution of the influences of the acoustical environmental aspects in the context of construction: a casa study in Rio de Janeiro, Brazil. . In: . In: **Anais Congresso Ibérico de Acústica; XXIX Jornadas TecniAcústica 98; Simpósio Ibero-americano de Acústica**. Lisboa, 1998.

GRIMWOOD, C. Complaints about poor sound insulation between dwellings in England and Wales. **Applied Acoustics**, 1997. Vol. 52, nº3/4, p.211-223.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements**. Part 1: Airborne sound insulation. 2nd ed. ISO 717-1. Switzerland, 1996.

KATINSKY, J. R. Sistemas construtivos coloniais. In: **História da Técnica e da Tecnologia no Brasil**. Coordenador: Milton Vargas. São Paulo: UNESP/ Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 1994.

_____. **Um guia para a história da técnica do Brasil Colônia**. 2ª ed. São Paulo: FAUUSP, 1980.

LARANJA, R. A. C. Transmissão sonora através de parede simples. In: **1º Seminário Brasileiro de Engenharia de Áudio**. Belo Horizonte, 2002.

LEMONS, C. A. C. **A República ensina a morar (melhor)**. São Paulo: HUCITEC, 1999a.

_____. **Casa Paulista**: história das moradias anteriores ao ecletismo trazido pelo café. São Paulo: EDUSP, 1999b.

_____. **História da Casa Brasileira**. São Paulo: Contexto, 1996. Coleção Repensando a História.

_____. **Alvenaria Burguesa**. São Paulo: Nobel, 1989.

LOSSO, Marco Aurélio Faria. **Qualidade Acústica de Escolas Estaduais em Santa Catarina: Avaliação e Elaboração de Diretrizes para Implantação**. Dissertação de Mestrado - PPGEC/UFSC, Florianópolis, 2003.

LYONS, R. **Building elements of low sound insulation loss**. PhD Thesis, University of Liverpool, 1993.

MARTIN, J. The European Environmental Noise Directive. In: **Proceedings 3rd European Congress on Acoustics**. Sevilla, 2002.

MUMFORD, L. **A Cidade na História**: suas origens, transformações e perspectivas. 4^a ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

NEPOMUCENO, L. X. **Acústica Técnica**. São Paulo: ETEGIL, 1968.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2^a ed. São Paulo: PINI, 1997.

PAIXÃO, D. X. da. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando análise estatística de energia (SEA)**. Tese de doutorado, Programa de pós-graduação em engenharia de produção, UFSC. Florianópolis, 2002.

PIERCE, A. D. **Acoustics**: an introduction to its physical principles and applications. 3^a ed. New York: Acoustical Society of America, 1994.

PIMENTEL-SOUZA, F. **Efeitos do Ruído Estressante**. Disponível em: <http://www.icb.ufmg.br/lpf/2-22.html>. Acessado em: 07/02/2005.

RASMUSSEN, B. Sound insulation between dwellings – Classification schemes and building regulations in Europe. In: **Proceedings The 33rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Internoise)**. Praga, 22-25 de agosto de 2004.

REIS FILHO, N. G. **Quadro da Arquitetura no Brasil**. São Paulo: Perspectiva, 1987.

REYNOLDS, D. D. **Engineering Principles of Acoustics: Noise and Vibration Control**. Boston: Allyn and Bacon, Inc., 1981.

ROBERTSON, D. S. **Arquitetura Grega e Romana**. São Paulo: Martins Fontes, 1997.

RYBCZYNSKI, W. **Casa: Pequena História de uma Idéia**. Rio de Janeiro: Record, 1986.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos – formulação e aplicação de uma metodologia**. Tese de doutorado em engenharia civil – Universidade de São Paulo, USP. São Paulo, 1989

SANTOS, J. C. L. dos. **Barulho, mas que barulho!**. Disponível em: <http://www.pitoresco.com.br/consultoria/variedades/05.htm>. Acessado em: 07/02/2005.

SEEP, B.; GLOSEMEYER, R.; et al. Acústica de Salas de Aula. **Revista de Acústica e Vibrações**, nº29. Julho/2002.

SHARLAND, I.; LORD, P. **Woods practical guide to noise control**. 3rd ed. England: Woods of Colchester Limited, 1979.

SMITH, R. Arquitetura Civil no Período Colonial. In: **Arquitetura Civil I**. São Paulo: FAUUSP/MEC-IPHAN, 1975. (textos escolhidos da Revista do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional 1).

TADEU, A.; ANTÔNIO, J. M. P. Acoustic insulation of single panel walls provided by analytical expressions versus the mass law. **Journal of Sound and Vibration**. nº 257(3), p. 457-475.

T.R. **Ruído é problema de saúde pública**. Jornal da PUC, ano XV, nº203. 2^a quinzena, 08/2002. Disponível em: <http://www.pucusp.br/jornal/203/nt0.htm> Acesso em: 29/08/2002.

UPJOHN, E.; WINGERT, P. S.; MAHLER, J. G. **História Mundial da Arte**. São Paulo: DIFEL, 1980.

VARGAS, M. A Tecnologia na Engenharia Civil. In: **História da Técnica e da Tecnologia no Brasil**. Coordenador: Milton Vargas. São Paulo: UNESP/ Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 1994.

VAUTHIER, L. L. Casas de Residência no Brasil. In: **Arquitetura Civil I**. São Paulo: FAUUSP/MEC-IPHAN, 1975. (textos escolhidos da Revista do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional 1).

VERÇOSA, E. J. Introdução. In: **Materiais de Construção 1**. 3ª ed. Coodenador: L. A. F. Bauer. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, S.A., 1987.

VERÍSSIMO, F. S.; BITTAR, W. S. M. **500 anos da Casa no Brasil** – as transformações da arquitetura e da utilização do espaço de moradia. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ediouro, 1999.

VIVEIROS, E. B. **Acústica**. Apostila de disciplina Acústica Avançada do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFSC, 2003.

VIVEIROS, E. B. **Evaluation of the Acoustical Performance of Louvre by Impulse Response Analysis**. Tese de Doutorado – POSMEC/UFSC, 1998.

WEISSENBURGER, J. T. Room-to-room privacy and acoustical design criteria. **Sound and Vibration**. February, 2004.