

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**FELIPE PIZI PERIN  
LETICIA JEANNE MIGLIORANZA MASSAROTTO**

**DESEMPENHO TERMO-ACÚSTICO DE RESIDÊNCIAS EM ALVENARIA E *LIGHT  
STEEL FRAME*: ANÁLISE DE MEDIÇÕES *IN LOCO* SEGUNDO A NBR 15575**

**PATO BRANCO  
2017**

**FELIPE PIZI PERIN**  
**LETICIA JEANNE MIGLIORANZA MASSAROTTO**

**DESEMPENHO TERMO-ACÚSTICO DE RESIDÊNCIAS DE ALVENARIA E *LIGHT*  
*STEEL FRAME*: ANÁLISE DE MEDIÇÕES *IN LOCO* SEGUNDO A NBR 15575**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco.

Orientador: Prof. Dr. Caroline Angulski da Luz

Co-orientador: Prof. Dr. José Ilo Pereira Filho

**PATO BRANCO**

**2017**



## TERMO DE APROVAÇÃO

### DESEMPENHO TERMO-ACÚSTICO DE RESIDÊNCIAS DE ALVENARIA E LIGHT STEEL FRAME: ANÁLISE DE MEDIÇÕES IN LOCO SEGUNDO A NBR 15575:2013

**LETICIA JEANNE MIGLIORANZA MASSAROTTO**  
**e**  
**FELIPE PIZI PERIN**

No dia 20 de junho de 2017, às 8h15min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº05-TCC/2017.

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. CAROLINE ANGULSKI DA LUZ (DACOC/UTFPR-PB)

Coorientador: Prof. Dr. JOSÉ ILO PEREIRA FILHO (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Msc. LUIZ ANTÔNIO MIOTTI (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Dr. OSMAR JOÃO CONSOLI (DACOC/UTFPR-PB)

## DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho a todos que de alguma forma nos fizeram sorrir durante estes 7 intensos anos de faculdade.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente à nossa família pelo apoio incondicional em todos os momentos desta etapa de nossas vidas.

Agradecemos em especial à nossa orientadora Prof. Dr. Caroline Angulski da Luz e co-orientador Prof. Dr. José Ilo Pereira Filho pelo conhecimento compartilhado e por todo incentivo e disponibilidade durante a elaboração deste estudo.

Aos engenheiros Bruno G. Klein e Leandro Manfroi, por todo suporte e generosidade prestado durante todo o período das medições realizadas, que não mediram esforços para proporcionar as condições necessárias para o bom andamento das medições.

Agradecemos à UTFPR – Campus Pato Branco, pelo fornecimento dos equipamentos utilizados para os ensaios deste estudo. Também agradecemos à colaboradora Cláudia, por todo o esforço prestado em nos auxiliar durante as medições de acústicas realizadas.

Aos vizinhos das duas residências estudadas, por toda gentileza prestada durante as medições, além de compreender o intuito deste trabalho, por todo o barulho causado por conta das medições acústicas.

Agradecemos aos amigos e colegas de faculdade, em especial ao apartamento 501, sobretudo por todo o companheirismo e parceria, que contribuíram de forma direta e indireta para a realização deste trabalho.

## EPÍGRAFE

"A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo"

(Albert Einstein)

## RESUMO

PERIN, Felipe; MASSAROTTO, Leticia. **Desempenho termo-acústico de residências de alvenaria e *light steel frame*: análise de medições *in loco* segundo a NBR 15575**. 2017. 85 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento acadêmico de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017.

Sabendo da importância de se atender os níveis mínimos de desempenho exigidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013), buscou-se nesse trabalho realizar um estudo comparativo do desempenho térmico e acústico entre uma residência construída em alvenaria convencional e uma construída em *light steel frame*. O método utilizado para medir o desempenho das edificações é proposto pela NBR 15575 (ABNT, 2013) e consiste em coletar dados *in loco* das temperaturas registradas internamente e externamente às casas, e dos níveis de pressão sonora registrados internamente às residências com uma fonte emissora de ruído em frente das fachadas. Ambas as residências obtiveram desempenho térmico satisfatório para as temperaturas de verão e inverno; e do ponto de vista do desempenho acústico, a edificação em alvenaria obteve desempenho satisfatório enquanto a em *light steel frame* não atingiu o desempenho mínimo exigido. Através dessa análise verificou-se que além da escolha dos materiais das aberturas, as condições de montagem também influenciam em um desempenho satisfatório, buscando garantir a total vedação de frestas e flancos para ganho do conforto acústico.

**Palavras-chave:** Desempenho térmico, desempenho acústico, alvenaria convencional, *light steel frame*, NBR 15575.

## ABSTRACT

PERIN, Felipe; MASSAROTTO, Leticia. **Thermo-acoustic performance of masonry residences and light steel frame residence: analysis of measurements in loco according to NBR 15575**. 2017. 85 pages. Final Course Assignment - Academic Department of Civil Engineering, Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2017.

Knowing the importance of meeting the minimum levels of performance required by NBR 15575 (ABNT, 2013), this study pretends to compare the thermal and acoustic performance between a residence built in conventional masonry and one built in light steel frame. The method used to measure the performance of the residences is proposed by NBR 15575 (ABNT, 2013) and consists in collecting data *in loco* of the temperatures achieved internally and externally the houses, and of the sound pressure levels registered internally the residences with a source Emitting Noise in front of them. Both residences obtained satisfactory thermal performance for summer and winter temperatures; And from the point of view of acoustic performance, masonry construction achieved satisfactory performance while light steel frame did not reach the required minimum performance. Through this analysis it was verified that besides the choice of the opening materials, the installation conditions also should be considered when trying to achieve satisfactory performance, avoiding flanks and bad sealed gaps.

**Key words:** Thermal performance, acoustic performance, conventional masonry, light steel frame, NBR 15575



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Obra executada em sistema de alvenaria convencional .....	17
Figura 2 – Componentes do sistema <i>Light Steel Framing</i> .....	22
Figura 3 - Esquema básico de painéis LSF.....	23
Figura 4 - Revestimento de parede em LSF .....	24
Figura 5 - Aplicação da membrana sobre a estrutura em LSF .....	25
Figura 6 - Detalhe construtivo da banda acústica .....	26
Figura 7 - Curva da perda de transmissão sonora para paredes simples .....	35
Figura 8 - Sistema massa-mola-massa.....	36
Figura 9 - Comparativo entre parede de concreto maciço e uma parede em LSF para mesmo nível de redução sonora .....	37
Figura 10 - Comparativo acústico entre diferentes tipos de paredes .....	37
Figura 11 - Transmissão do som em ambiente receptor .....	38
Figura 12 - Zoneamento bioclimático brasileiro.....	43
Figura 13 - Exemplo para obtenção do número único segundo ISO 717-1.....	48
Figura 14 – Diagrama das atividades.....	50
Figura 15 - Localização das residências selecionadas .....	51
Figura 16 - Fachada da residência em LSF .....	52
Figura 17 - Fachada da residência em Alvenaria Convencional .....	52
Figura 18 - Planta baixa da Residência em LSF .....	53
Figura 19 - Planta baixa da residência de alvenaria convencional.....	54
Figura 20 - Detalhes construtivos da residência em LSF .....	56
Figura 21 - Janelas em vidro temperado de correr em detalhe.....	57
Figura 22 - Fresta na porta de entrada.....	58
Figura 23 - Fresta na porta de entrada.....	58
Figura 24 - Flancos na porta de entrada .....	58
Figura 25 - Abertura para escoamento de água da chuva .....	59
Figura 26 - Locação dos pontos para medição térmica.....	61
Figura 27 – Datalogger AK 174.....	62
Figura 28 – Protótipo para medição de temperatura externa .....	62
Figura 29 - Equipamentos utilizados para medição acústica .....	63
Figura 30 - Locação dos pontos coletados para medição acústica .....	64
Figura 31- Variações da temperatura (verão) - Casa em LSF.....	66
Figura 32 - Variações da temperatura (verão) - Casa em alvenaria.....	66

Figura 33 - Comparação da variação térmica (verão) entre as residências .....	68
Figura 34 - Variações da temperatura (inverno) - Casa em alvenaria.....	69
Figura 35 - Variações da temperatura (inverno) - Casa em LSF.....	69
Figura 36 - Definição do <b><i>D2m, nT</i></b> (casa em LSF).....	72
Figura 37 - Definição do <b><i>D2m, nT</i></b> (casa em alvenaria) – Posição 1 .....	73
Figura 38 - Definição do <b><i>D2m, nT</i></b> (casa em alvenaria) – Posição 2 .....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado fresco. ....	18
Tabela 2 - Características exigidas para os blocos cerâmicos de vedação .....	19
Tabela 3 - Índice de Redução Sonoro da lã de vidro .....	25
Tabela 4 - Níveis de desempenho para dias típicos de verão .....	40
Tabela 5 - Níveis de desempenho para dias típicos de inverno .....	41
Tabela 6 – Parâmetros acústicos de verificação .....	42
Tabela 7 – Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa para ensaios de campo .....	42
Tabela 8 – Valores de referência para medições de isolamento sonoro aéreo.....	47
Tabela 9 - Características técnicas das residências selecionadas.....	55
Tabela 10 - Temperaturas típicas de Pato Branco e Curitiba .....	60
Tabela 11 - Temperaturas típicas de Pato Branco e Curitiba (verão) .....	69
Tabela 12 - Temperaturas típicas de Pato Branco e Curitiba (inverno).....	70
Tabela 13 - Parâmetros acústicos dos sistemas construtivos analisados .....	73
Tabela 14 - Resumo dos parâmetros acústicos medidos.....	74

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2.3	JUSTIFICATIVA.....	15
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
3.1	SISTEMAS CONSTRUTIVOS .....	17
3.1.1	Alvenaria Convencional .....	17
3.1.1.1	Paredes de vedação .....	18
3.1.1.2	Concreto Armado .....	20
3.1.2	<i>Light Steel Frame</i> .....	21
3.1.2.1	Painéis estruturais.....	22
3.1.2.2	Painéis de vedação.....	23
3.1.2.3	Lajes e coberturas.....	28
3.2	CONFORTO AMBIENTAL .....	28
3.2.1	Conforto térmico.....	29
3.2.1.1	Influência do conforto térmico no organismo .....	29
3.2.1.2	Variáveis que influenciam o conforto térmico.....	30
3.2.1.3	Condições ideais para proporcionar conforto térmico .....	31
3.2.2	Conforto Acústico.....	32
3.2.2.1	Influência do conforto acústico no organismo .....	33
3.2.2.2	Variáveis que influenciam o conforto acústico .....	33
3.2.2.3	Condições ideais para proporcionar conforto acústico.....	34
3.3	NORMAS DE DESEMPENHO AMBIENTAL.....	39
3.3.1	NBR 15575 .....	39
3.3.1.1	Desempenho térmico .....	39
3.3.1.2	Desempenho acústico.....	41
3.3.2	NBR 15220 .....	43
3.3.3	Normas Internacionais: ISO 10140, ISO 16283 e ISO 717 .....	44
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>49</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	49

4.2	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO .....	50
4.3	ANÁLISE DO DESEMPENHO AMBIENTAL.....	59
4.3.1	Análise do conforto térmico.....	59
4.3.2	Análise do conforto acústico .....	63
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>66</b>
5.1	DESEMPENHO TÉRMICO .....	66
5.2	DESEMPENHO ACÚSTICO .....	72
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>77</b>
<b>7</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>79</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>80</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil vem crescendo nos últimos anos, como evidenciado pelo crescimento de 8% do PIB nacional gerado por esse setor (MENIN *apud* PORTAL PLANALTO, 2017). Muito disso se deve ao sucesso de programas habitacionais, como o Minha Casa Minha Vida (MCMV), criado em 2009 pelo governo federal, que já está em sua terceira fase, entregando casas populares a pessoas de baixa renda, e movimentando além da economia, o desenvolvimento social e o emprego.

Relacionado a este crescimento, atenta-se também a qualidade das edificações entregues, uma vez que muitas construtoras executam estas unidades em grande escala, e negligenciam algumas condições de habitabilidade, como o desempenho térmico e acústico. Em atenção a este fato, a Organização das Nações Unidas (ONU) *apud* Brasil (p. 13, 2013), define que “a moradia não é adequada se não garantir a segurança física e estrutural proporcionando um espaço adequado, bem como proteção contra o frio, umidade, calor, chuva, vento, outras ameaças à saúde”.

O alto consumo de energia elétrica de aparelhos utilizados para refrigeração e aquecimento, bem como a poluição ambiental que estes causam, devem ser levados em conta ao se projetar uma edificação. Segundo Lapa, Saidel e Santo (2010), “a eficiência energética destaca-se cada vez mais no cenário brasileiro por contribuir com a redução da demanda futura por energia elétrica, consequentemente reduzindo impactos ambientais e sociais advindos da necessidade da implantação de grandes projetos de geração de energia.”. O projeto da edificação deve ser elaborado de forma a maximizar o equilíbrio térmico entre o ser humano e o ambiente construído, e garantir que os materiais empregados possibilitem tal equilíbrio. O sistema construtivo empregado, os materiais utilizados e a arquitetura em si, desempenham papel fundamental na adequação da edificação ao clima onde se está sendo construído.

Na tentativa de padronizar os níveis mínimos de desempenho exigidos, a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013) traz índices que classificam o desempenho das edificações levando-se em conta as condições de segurança, habitabilidade, estanqueidade, conforto térmico e acústico, entre outros parâmetros. Estes índices são comparados com parâmetros relativos as propriedades dos materiais empregados, não limitando a apenas um tipo de sistema construtivo da edificação. Desta forma, a norma pode servir como meio para fiscalizar a qualidade e o cumprimento das exigências mínimas de desempenho de uma edificação.

O *light steel frame* (LSF), como apresentado por Silva e Silva (2004), é um sistema que possui conceitos de montagem industrial e precisão dimensional no seu processo produtivo, muito distintos da alvenaria convencional, em que o processo é não racionalizado e os prazos de execução são longos. Porém, o emprego do *light steel frame* no Brasil ainda sofre resistência devido a barreira cultural. Segundo Bezerra (2013) “a barreira cultural é uma das principais desvantagens do sistema LSF, pois a população por desconhecer as características técnicas do sistema tende a preferir as construções executadas pelo sistema convencional.” Como a possibilidade do emprego desse sistema construtivo é relevante para a construção de residências pelos programas habitacionais, é necessário vencer a barreira cultural através de estudos comprovando os benefícios que o emprego deste sistema pode ter em relação a alvenaria convencional, sistema construtivo mais utilizado atualmente no Brasil.

Este trabalho contempla o estudo do desempenho térmico e acústico conforme exigências da NBR 15.575 (ABNT, 2013), de edificações em alvenaria e *light steel frame*, através do estudo de caso de duas residências unifamiliares com características semelhantes, localizadas na cidade de Pato Branco, Paraná.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Comparar o desempenho térmico e acústico de residências construídas em *light steel frame* e em alvenaria convencional.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar o comportamento termo-acústico dos sistemas construtivos em alvenaria convencional e em *light steel frame*, através de medições in loco.
- Classificar o comportamento termo-acústico de residências de acordo com a norma brasileira de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013).
- Analisar a influência da orientação das fachadas no desempenho térmico dos sistemas construtivos.
- Avaliar a influência das aberturas no desempenho global acústico dos sistemas construtivos.

### 2.3 JUSTIFICATIVA

Segundo a Fundação João Pinheiro (2016), em 2013, o déficit habitacional estimado correspondeu a 5,846 milhões de domicílios, dos quais 5,010 milhões, ou 85,7%, estão localizados nas áreas urbanas. Em 2014, observou-se aumento do número de domicílios de déficit habitacional, perfazendo um total de 6,068 milhões de unidades. Programas como Minha Casa Minha Vida, Companhia de habitações como a Cohapar – no Paraná – e outras similares, em contrapartida, vem tentando frear este número, e já se tornaram populares entre as famílias de baixa renda. Como calculado pela Fundação Getúlio Vargas *apud* Santos (2016), de maio de 2009 até dezembro de 2015, o MCMV possibilitou a contratação de 4,1 milhões de moradias, sendo assim um indispensável aliado na redução do déficit habitacional do Brasil.

Outra preocupação que está inserida no contexto atual do país é a forte resistência enfrentada por parte dos projetistas e executores com a recente atualização da Norma de desempenho, NBR 15.575 (ABNT, 2013). Em regiões onde



o clima apresenta grande variação de temperatura ao longo do ano, como na região onde será aplicado este estudo, sudoeste do Paraná, levando-se em conta que em habitações populares a renda familiar é baixa e não comporta gastos com climatização artificial.

Considerando que não só nas habitações populares, mas em todas as edificações, o consumo de energia elétrica empregado em equipamentos de refrigeração e aquecimento deve ser minimizado (LAPA, SAIDEL e SANTO, 2010), um estudo comparativo entre a alvenaria convencional e o *Light Steel Frame* levando-se em conta o desempenho térmico e acústico das mesmas quando submetidas aos mesmos fatores climáticos, tem grande aplicabilidade visto que o *Light Steel Frame* é um sistema muito mais rápido de se construir em relação a alvenaria porém sua recente inserção no mercado ainda sofre resistência em sua utilização. O conhecimento desses dados pode ser fator determinante na escolha do sistema construtivo a ser empregado.

Sendo assim, tendo em vista que há disponibilidade dos equipamentos necessários na UTFPR-PB para a realização das medições orientadas por norma, e também da existência de unidades habitacionais com ambos sistemas construtivos na cidade de Pato Branco, Paraná, a pesquisa, além de facilmente viabilizada, trará resultados essenciais para um possível estudo de melhoria do conforto térmico e acústico de residências semelhantes às estudadas.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Os diferentes métodos construtivos são caracterizados pelos materiais que compõem a edificação e seu processo executivo, conferindo propriedades únicas e convenientes a cada projeto. Sendo assim, convém detalhar os processos construtivos e propriedades dos materiais dos sistemas empregados nesta pesquisa: a alvenaria convencional e o *Light Steel Frame*.

##### 3.1.1 Alvenaria Convencional

A alvenaria convencional, pode ser entendida como o método construtivo que integra elementos estruturais de concreto armado, como as vigas, pilares e lajes, com blocos cerâmicos, que atuam como elementos de vedação. Este método é amplamente utilizado no cenário nacional e por isso dito convencional. Na figura 1 é mostrado o esquema do sistema convencional:



**Figura 1 - Obra executada em sistema de alvenaria convencional**  
**Fonte: Alfonsi Construções (2016).**

### 3.1.1.1 Paredes de vedação

Segundo Thomaz et al (2009), as paredes deste sistema são compostas pela associação de blocos cerâmicos vazados com argamassa de assentamento e de revestimento, tendo a função de preencher os vãos das peças estruturais. Cabe as paredes de vedação ter resistência adequada para suportar seu peso próprio e as cargas de ocupação, como por exemplo armários, prateleiras e impactos acidentais, e ainda a força do vento, mais relevantes para paredes externas.

A argamassa de assentamento é composta por cimento e cal hidratada, e desempenha um fator aglutinante para a parede. Como explica Carasek (2010), a argamassa de assentamento constitui um elemento monolítico uma vez que une os blocos cerâmicos, garantindo resistência aos esforços laterais e distribuindo uniformemente as cargas atuantes na parede. Carasek também aponta que a argamassa de assentamento é capaz de absorver as deformações de origem térmica e de retração por secagem.

É importante ressaltar que no processo construtivo da alvenaria convencional muitas vezes não é utilizado argamassa para assentar tijolos dispostos horizontalmente, a chamada junta seca, que apesar de não causar patologias e proporcionar menores custos pode influenciar no desempenho termo-acústico da parede. Esta relação é devido à densidade da argamassa, que pode proporcionar melhorias quanto a estas propriedades. A tabela 1 abaixo mostra esta relação:

**Tabela 1 - Classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado fresco.**

Argamassa	Densidade de massa A (g/cm <sup>3</sup> )	Principais agregados empregados	Usos
Leve	< 1,40	Vermiculita, perlita, argila expandida	Isolamento térmico e acústico
Normal	2,30 < A < 1,40	Areia de rio (quartzo) e calcário britado	Aplicações convencionais
Pesada	> 2,30	Barita (sulfato de bário)	Blindagem de radiação

Fonte: Carasek (2010).

A argamassa de revestimento é encontrada na parede de vedação na forma de chapisco, emboço e reboco (ou ainda camada única). Estas três camadas desempenham funções específicas na parede: a primeira é a de preparo da base, com

o objetivo de melhorar a aderência das camadas seguintes; o emboço é uma camada de regularização, proporcionando superfície adequada para receber o reboco ou algum revestimento decorativo (como a cerâmica); e o reboco traz uma camada fina para que possa ser recebido a pintura ou um revestimento que caracterize o acabamento final, conforme explicado por Carasek (2010).

Entre suas funções, Carasek (2010) destaca a proteção garantida da alvenaria contra a ação do intemperismo, contribuição de 30% no isolamento térmico, 50% no isolamento acústico e de 70% a 100% na estanqueidade a água. Além disso, ressalta-se a segurança ao fogo, a resistência ao desgaste e abalos superficiais.

Os blocos cerâmicos utilizados são os que possuem furos na horizontal, e todos devem atender à norma NBR 15270 (ABNT, 2005), onde está fixado os requisitos dimensionais, físicos e mecânicos destes blocos. A tabela 2 a seguir, resume as exigências desta norma:

**Tabela 2 - Características exigidas para os blocos cerâmicos de vedação**

<b>Características</b>	<b>Condições</b>
Forma	Prisma reto
Tolerância dimensional individual relacionada à dimensão efetiva	$\pm 5$ mm (largura, altura ou comprimento)
Tolerância dimensional relacionada à média das dimensões efetivas	$\pm 3$ mm (largura, altura ou comprimento)
Espessura das paredes internas dos blocos	$\geq 6$ mm
Espessura das paredes externas dos blocos	$\geq 7$ mm
Desvio em relação ao esquadro	$\leq 3$ mm
Planeza das faces	Flecha $\leq 3$ mm
Resistência à compressão (área bruta)	$\geq 1,5$ MPa (para furos na horizontal)
Índice de absorção de água (AA)	$8\% \leq AA \leq 22\%$

Fonte: NBR 15270 (ABNT, 2005)

Pauluzzi (2005) destaca que propriedades como a geometria do bloco, densidade do bloco e da argamassa e o tipo de revestimento e sua espessura influenciam no desempenho térmico proporcionado pela parede. E já para o desempenho acústico, além destes fatores, Pauluzzi ressalta também que o módulo de elasticidade dos blocos e o encunhamento da alvenaria são fatores que podem variar o conforto acústico. Os blocos de seis furos com revestimento de argamassa de assentamento com 1,5 cm nos dois lados apresenta índices de redução sonora de 38 dB, valores obtidos de ensaios em laboratório.

Além destes elementos, compõem também às paredes de vedação as vergas e contravergas, necessárias quando há existência de aberturas nas paredes (portas ou janelas). De acordo com Thomaz et al. (2009, p. 5, p. 8):

Verga: Reforço de material resistente à flexão e ao cisalhamento, introduzida e solidarizada às alvenarias sobre os vãos como os de portas ou janelas, com a finalidade de absorver tensões que se concentram no entorno dos vãos.

Contraverga: Reforço de material resistente à tração e ao cisalhamento, introduzida e solidarizada às alvenarias, localizada na parte inferior de vãos, como os de janelas, com a finalidade de absorver essas tensões.

### 3.1.1.2 Concreto Armado

No sistema de alvenaria convencional o concreto armado assume função primordialmente estrutural, na forma de lajes, vigas e pilares, compondo a estrutura. Estes elementos diferem em suas proporções e formas, porém, devido a ter a mesma composição, possuem comportamentos térmicos e acústicos semelhantes.

Falando de seus componentes, o concreto utilizado em obra é composto por uma mistura adequada de agregado fino, graúdo, cimento e água. A denominação de concreto armado é usada quando é feita a adição do aço ao concreto, vantagem esta que possibilita aumento considerável do desempenho estrutural do concreto, especificamente, da sua resistência à tração, fator decisivo para a escolha deste material, uma vez que o dimensionamento é feito para atender à uma solicitação prevista. Como alternativa, outros produtos que podem ser agregados são os aditivos, incorporados por produtos químicos ou até polímeros e microssílicas, que buscam otimizar a performance do concreto em situações que exija do concreto comportamentos específicos, como por exemplo aumentar a fluidez e trabalhabilidade do concreto fresco, ou reduzir o tempo de cura (endurecimento do concreto).

Como aponta Carvalho e Figueiredo Filho (2015), a grande maioria dos projetistas e engenheiros de obras avaliam o desempenho do concreto apenas pela resistência à compressão mostrado pelos corpos de prova obtidos no canteiro. Isso faz com que propriedades do isolamento térmico e acústico não sejam conhecidos e investigados. Condição financeira e a não disponibilidade da realização de novos ensaios são fatores indicados pelos autores que também impossibilitam o conhecimento amplo do material utilizado na obra.

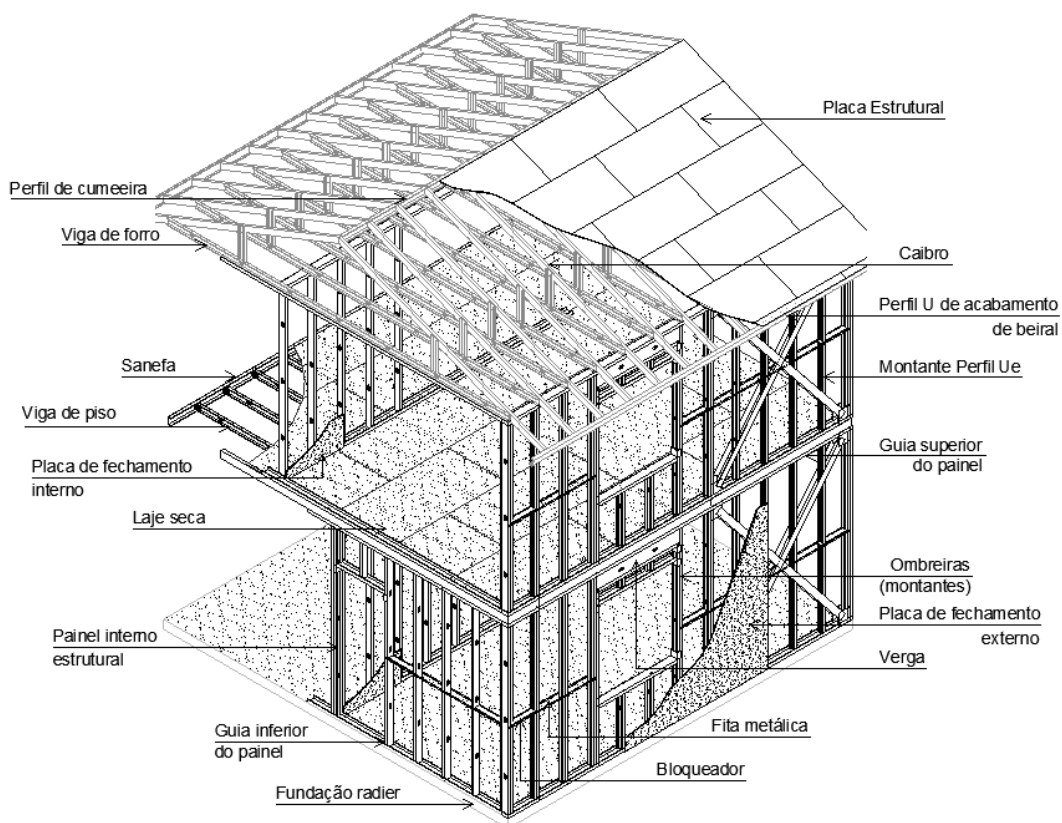
Dentro das suas vantagens é possível destacar pontos importantes em relação ao concreto armado. Por ser um elemento inicialmente fluido e de boa trabalhabilidade, permite ao projetista maior liberdade quanto a sua concepção e formato, além de integrar o concreto endurecido com o posteriormente lançado de maneira a facilitar a transmissão de esforços. Em relação ao aço, o concreto possui maior durabilidade e resistência ao fogo, além de resistir a choques, efeitos térmicos e desgastes mecânicos (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2015).

Já evidenciando suas desvantagens, é preciso ter conhecimento que sua execução acaba por ser mais complexa. O uso de formas e escoras para o endurecimento do concreto armado resulta na permanência destes elementos na obra por tempo variável, influenciado por condições climáticas, de logística, além da resistência definida por projeto a ser alcançada.

Por ser um material bastante denso (ou pesado) e possuir quimicamente ligações metálicas, o concreto armado passa a ser um bom condutor do som e calor, conforme apresentado por Carvalho e Figueiredo Filho (2015), acarretando em um isolamento acústico e térmico nem sempre conforme desejado, podendo ser necessária a associação de outros materiais que destaquem estes fatores em casos onde o comportamento térmico ou acústico seja uma prioridade de projeto.

### 3.1.2 *Light Steel Frame*

O *Light Steel Frame (LSF)* é um sistema construtivo tipicamente industrializado, composto estruturalmente por perfis leves de aço galvanizado formados a frio, e externamente possui a vantagem de poder contar com a flexibilidade entre a escolha do material, sendo usualmente vedado por placas cimentícias, painéis de tiras de madeira orientadas (*Oriented Strand Board*) ou peças de gesso acartonado (SANTIAGO, 2008). Apesar de leve, estes elementos unidos entre si possibilitam resistência suficiente aos esforços solicitantes à estrutura. A figura 2 ilustra os componentes deste sistema:



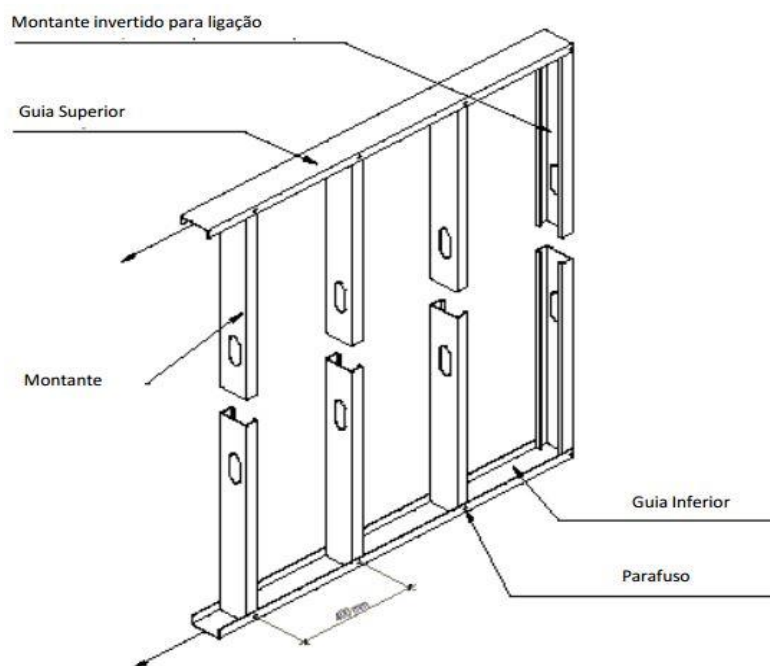
**Figura 2 – Componentes do sistema *Light Steel Framing***  
**Fonte: Santiago, Castro e Freitas (2012).**

Como pode ser visto na figura 2, a utilização dos perfis metálicos se dá em todos os componentes do esqueleto da obra, tanto para os painéis estruturais, que caracterizam as “paredes” do sistema, quanto para lajes e cobertura. As placas de fechamento externo e interno complementam o sistema garantindo vedação da edificação, e a variedade de painéis de vedação ofertados no mercado oferecem condições apropriadas a cada tipo de ambiente.

### 3.1.2.1 Painéis estruturais

Os painéis estruturais ou autoportantes, conforme explica Santiago, Castro e Freitas (2012), compostos pelos perfis leves de aço galvanizado, sustentam as cargas do edifício funcionando de forma análoga a alvenaria estrutural. Estes perfis são formados através da imersão do aço em zinco (ou em liga contendo zinco) que possibilita a formação de uma camada que protege o perfil da corrosão. Para a execução dos painéis estruturais, Palatnik (2012) apresenta um modelo usualmente

utilizado no *LSF*. Os painéis são basicamente compostos por guias (horizontal) e montantes (vertical), e o perfil mais utilizado para estes componentes é o perfil U, sendo que para o montante, é utilizado o perfil U enrijecido. A figura 3 a seguir mostra a confecção de um painel típico.



**Figura 3 - Esquema básico de painéis LSF**  
Fonte: Palatnik (2012).

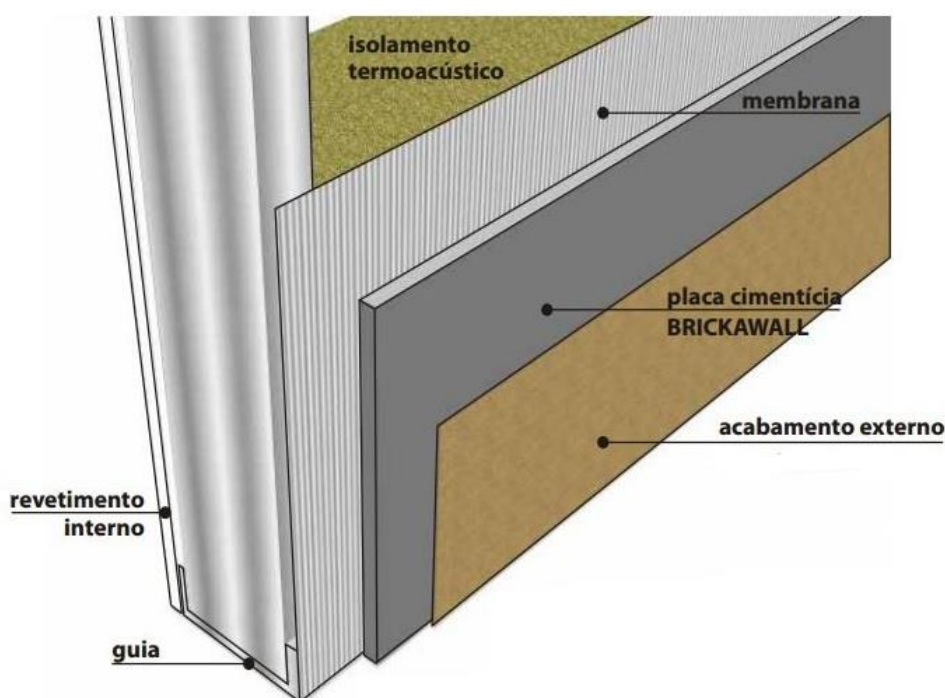
A figura apresenta espaçamento de 400 mm entre dois montantes, porém este valor não é fixo. Ele deve ser dimensionado conforme sua solicitação, que é recomendado pela norma ABNT NBR 14762 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis conformados a frio – Procedimento (ABNT, 2001). Além de 400 mm, o espaçamento de 600 mm é bastante empregado, devido aos materiais de vedação mais comerciais utilizarem estes espaçamentos para fixação. Vale lembrar que os painéis podem contar com mais elementos dependendo seu projeto, podendo ser necessário o uso de contraventamentos para sua estabilização.

### 3.1.2.2 Painéis de vedação

Os materiais de fechamento de uma edificação em LSF podem ser compostos por vários materiais dispostos em camadas que cumprem funções específicas para



garantir um bom desempenho do sistema. Dentro destas funções, a ISO 6241 (ISO, 1984) cita como requisitos fundamentais a segurança estrutural e ao fogo, estanqueidade, conforto térmico-acústico, conforto visual, adaptabilidade ao uso, durabilidade, higiene e economia. Um modelo usual do revestimento de paredes leves é apresentado na figura 4.



**Figura 4 - Revestimento de parede em LSF**  
Fonte: Adaptado do manual de vedação *Brickawall*.

Observando a figura 4, podemos ver que há uma camada para isolamento termo-acústico entre o revestimento interno e externo. O manual da construção em aço, apresentado por Santiago, Castro e Freitas (2012), explica que este tratamento é necessário devido ao conceito da lei da massa (explicado no item 3.2.2) não poder ser aplicado no LSF, uma vez que o isolamento é garantido em função da densidade do material, e como o *Steel Framing* adota materiais leves, o princípio massa-mola-massa (comentado também no item 3.2.2) é a solução adequada para este caso, onde são empregados materiais absorventes (mola) entre os revestimentos (massa). Entre estes materiais, a lã de vidro, pet ou de rocha são as que apresentam melhor índice de absorção sonora e são amplamente comercializados no mercado, e seu desempenho aumenta conforme aumenta a sua espessura, além da influência da estrutura dos painéis de vedação, apresentando melhores resultados em paredes de estruturas dupla, como mostra a tabela 3.

Tabela 3 - Índice de Redução Sonoro da lã de vidro

	Parede Simples	Parede Dupla	Parede Simples	Parede Dupla	Parede Simples	Parede Dupla
Espessura da lã de vidro (mm)	50	50	75	75	100	100
Rw (dB)	43	50	47	55	52	58

Fonte: Isover – Saint Gobain (2005).

A membrana ilustrada na figura 4 é necessária para garantir a estanqueidade do sistema. O manual de vedação *Brickawall* orienta a fixação de membranas de poliuretano de alta densidade em toda a área externa da estrutura, evitando a entrada de água do meio externo para dentro da casa. Além disso, a membrana permite a passagem da umidade da parte interna dos painéis para o exterior, inibindo que ocorra condensação nesta região. A membrana é comercializada em rolos e sua fixação é sobreposta de 15 a 30 cm em suas juntas para garantir continuidade e evitar infiltrações, como mostra a figura 5.



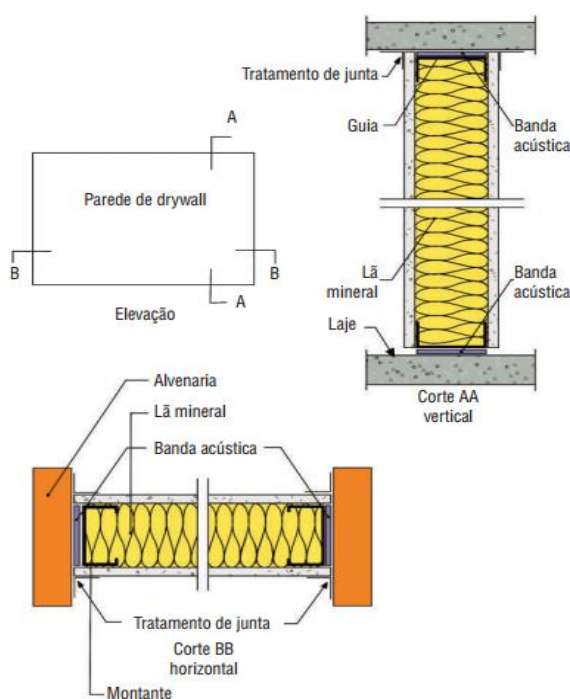
Figura 5 - Aplicação da membrana sobre a estrutura em LSF  
Fonte: Adaptado do manual de vedação *Brickawall*.

Os painéis de vedação usados para compor o revestimento externo do LSF podem ser variados, sendo o mais comum a placa cimentícia, conforme aponta Medeiros et al (2014). As placas são indicadas para ambientes externos e em áreas molháveis dos ambientes internos, e são constituídas de cimento Portland, fibras sintéticas (ou celulose) e agregados.

As placas cimentícias possuem elevada resistência a impactos, grande resistência à umidade, compatíveis com a maioria dos revestimentos (pedras naturais, pintura acrílica, cerâmica, pastilhas), podem ser curvadas se saturadas previamente, têm peso próprio de até 18 kg/m<sup>2</sup> e não são combustíveis (MEDEIROS et al., 2014).

Alguns acessórios específicos para a fixação dos painéis de vedação são necessários e disponibilizados pelos fabricantes. O manual técnico descritivo *Brickawall* recomenda a utilização de seus acessórios na instalação das placas cimentícias. Entre os acessórios, destaca-se a fita ar e o rejunte, que trata o encontro das placas cimentícias; e o delimitador e o pu, utilizados em juntas de dilatação e controle. Medeiros et al. (2014) lembra ainda que soluções construtivas com bandas acústicas (fitas de poliestireno expandido) e aplicação de selante nos encontros irregulares das superfícies que terão encontro com perfis estruturais evitam a formação de pontes acústicas e térmicas, causadores da redução do desempenho termo-acústico da edificação.

O manual de desempenho acústico em sistemas *drywall* (LUCA, 2015) mostra como deve ser feito o detalhe construtivo da banda acústica na junta com o painel de vedação, conforme mostra figura 6. Empregado deste modo, a parede evita que o som se transmita para os elementos estruturais por vibração.



**Figura 6 - Detalhe construtivo da banda acústica**  
Fonte: Luca (2015).

O manual também recomenda a instalação das bandas acústicas nos encontros dos batentes com os perfis de contorno das aberturas, da mesma forma evitando a transmissão da vibração na batida da porta, e de selos acústicos na parte de baixo das portas, impedindo a passagem do som pelas frestas (LUCA, 2015).

Outros painéis de vedação além das placas cimentícias também podem ser adotados. Santiago, Castro e Freitas (2012) destacam os painéis de OSB (*Oriented Strand Board*) e o gesso acartonado como produtos disponíveis no mercado nacional para fechamento de construções em LSF. A aplicação destes materiais difere, sendo que o OSB é indicado para áreas internas, externas, desde que protegidos contra umidade previamente, e em coberturas, servindo de substrato para a aplicação de telhados Shingle. Os painéis em OSB desempenham também função estrutural devido ao seu processo de fabricação, formado pela união de tiras de madeira (geralmente de reflorestamento) dispostas em três camadas perpendiculares entre si, conferindo um ganho na resistência mecânica e rigidez.

O gesso acartonado por sua vez não é indicado para áreas externas, uma vez que por ser formado de chapas leves de gesso montado sobre cartão (acartonado), não tem bom comportamento em ambientes submetidos à ação da umidade, como explica Silva e Silva (2004). Estes materiais, porém, atribuem a boa resistência à compressão do gesso, com a resistência à tração do cartão, alcançando desempenho satisfatório.

Silva e Silva (2004) complementam que existem três categorias de chapas acartonadas, podendo ser usadas em condições específicas, e podem ser diferenciadas pela cor do cartão na peça. A chapa normal é utilizada em divisórias sem exigências específicas de desempenho. A chapa hidrófuga, de cor verde, é empregada em paredes internas expostas a umidade, pois além da chapa receber um tratamento à base de silicone na superfície do cartão e parte interna do gesso, também há adição de polímeros na composição do gesso. E por último, a chapa resistente ao fogo, de cor rosa, que recebe a adição de fibras minerais, evitando a combustão em divisórias com exigências especiais.

### 3.1.2.3 Lajes e coberturas

Não muito diferente do que imaginado, o sistema de lajes do LSF utiliza o mesmo princípio dos painéis, sendo os perfis U enrijecidos os mais utilizados, e podem ser de duas formas, conforme classificados pelo Manual da Construção em Aço (SANTIAGO, CASTRO E FREITAS, 2012): laje úmida, quando a laje for constituída por uma chapa metálica ondulada e preenchida com concreto para servir a base do contrapiso; ou laje seca, quando há apenas a utilização de placas rígidas de OSB, cimentícias ou similares.

Adicionalmente, recomenda-se a colocação de lã de vidro para otimização do conforto acústico, devendo ser colocado sobre a chapa ondulada protegida por um filme de polietileno capaz de evitar a umidificação durante a concretagem, caso seja uma laje úmida, e entre a chapa OSB e o contrapiso, se for uma laje seca.

A cobertura deste sistema pode ser projetada para qualquer tipo, e sua concepção não difere muito da utilizada em alvenaria convencional, caracterizado pela utilização de tesouras em madeiras. A diferença aqui é o emprego de tesouras pré-fabricada em aço, ou montadas *in loco*, também constituídos por perfis U enrijecidos em sua grande maioria. Pode ser também utilizado coberturas planas, fazendo então o uso de treliças planas em suas extremidades, e composta por uma laje úmida, em que a inclinação para o caimento da água é obtida variando a espessura do contrapiso de concreto (SANTIAGO, CASTRO E FREITAS, 2012).

## 3.2 CONFORTO AMBIENTAL

Lamberts *et al* (2016), cita que “o conforto ambiental pode ser entendido como um conjunto de condições ambientais que permitem ao ser humano sentir bem-estar térmico, visual, acústico e antropométrico, além de garantir a qualidade do ar e o conforto olfativo”.

O desempenho ambiental das edificações é fundamental, porém esse fator muitas vezes é negligenciado em fase de projeto, e as edificações acabam por consumir mais energia elétrica em aparelhos do que se a edificação tivesse sido projetada levando-se em conta condições bioclimáticas e geográficas.

### 3.2.1 Conforto térmico

Segundo Ruas (1999), “conforto térmico num determinado ambiente pode ser definido como a sensação de bem-estar experimentada por uma pessoa, como resultado da combinação satisfatória, nesse ambiente, de diversos fatores climáticos”. Lamberts *et al* (2016), complementa dizendo que “a não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio, quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente”.

A evolução tecnológica constante em diversos setores da economia, sustenta buscas por edificações cada vez mais eficientes. De acordo com Lamberts, Dutra E Pereira (1997), “a preocupação do homem com seu conforto é diretamente proporcional à evolução da humanidade, ou seja, quanto mais evoluídas as sociedades, maiores ficam as exigências relacionadas ao conforto e ao bem-estar”.

#### 3.2.1.1 Influência do conforto térmico no organismo

O organismo adquire energia através do metabolismo, e cerca de 20% dessa energia é transformada em potencialidade de trabalho. A parcela restante, cerca de 80%, se transforma em calor, que deve ser dissipado para que o organismo seja mantido em equilíbrio, (FROTTA e SHIFFER, 2003). A sensação do organismo quando perde para o ambiente o calor produzido pelo metabolismo, sem recorrer a nenhum mecanismo termorregulador, é a sensação de conforto térmico.

Um ambiente termicamente confortável exerce influência muito maior do que apenas o estado de bem-estar perceptível. Slack (1999) *apud* Silva e Almeida (2010), relata que “o ambiente imediato no qual o trabalho acontece pode influenciar a forma como ele é executado. As condições de trabalho que são muito quentes ou muito frias (...) vão influenciar na forma como o trabalho é levado avante”. Lida (2000) *apud* Silva e Almeida (2010), afirma que “quando uma pessoa é obrigada a suportar altas temperaturas, seu rendimento cai significativamente. A velocidade do trabalho diminui, as pausas se tornam maiores, a propensão a acidentes aumenta (principalmente a partir de 30°C) e a concentração diminui”. E quando os mecanismos de termorregulação não são capazes de manter a temperatura interna constante e

adequada, o corpo entra em estado de stress térmico, podendo apresentar problemas de saúde mais graves.

Embora o corpo se adapte ao meio, temperaturas muito altas ou muito baixas exigem um trabalho maior dos mecanismos termorreguladores, que interferem consideravelmente no bem-estar das pessoas. É fundamental que a edificação proporcione condições de conforto térmico, a fim de reduzir a necessidade de mecanismos termorreguladores do corpo humano (ASHRAE, 1997). Uma edificação que não foi corretamente projetada para adequar a arquitetura ao clima do local onde a mesma foi construída, deve recorrer a soluções artificiais de climatização. Estas soluções, além de onerosas aos proprietários, contrariam conceitos de sustentabilidade que devem ser adotados em todas as edificações para a preservação do meio ambiente.

### 3.2.1.2 Variáveis que influenciam o conforto térmico

Apesar de existirem estudos para determinar as condições ideais de conforto e os graus de desconforto causados pelo frio e pelo calor, considerando-se todas as variáveis que os influenciam, as sensações são subjetivas, e dependem além dos fatores físicos, de fatores fisiológicos e psicológicos. O estado de conforto térmico ideal varia de pessoa para pessoa, porém define-se como condições ambientais de conforto, as que propiciam bem-estar ao maior número possível de pessoas.

Segundo Lamberts (2008), os cálculos analíticos do conforto térmico, baseados em estudos realizados em câmaras climatizadas, apresentam seis variáveis que influenciam o conforto térmico. São elas: atividade desempenhada, isolamento térmico das roupas utilizadas, temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e pressão parcial do vapor d'água no ambiente. As duas primeiras variáveis são subjetivas ou pessoais, pois não dependem das condições do ambiente, e as outras são ambientais.

Numa edificação, o conforto ambiental depende das condições de exposição da mesma, o que inclui condições climáticas, de implantação e de uso. Os principais agentes e variáveis ambientais climáticos relevantes são a temperatura e a umidade do ar, a velocidade e a direção dos ventos, e a radiação solar. As condições de implantação são a latitude e a longitude, a topografia e a orientação solar. E as

condições de uso são o número de ocupantes, as atividades desenvolvidas, os equipamentos utilizados, a quantidade produzida de vapor d'água e a taxa de renovação do ar no ambiente. Outro aspecto importante é o desempenho térmico da edificação, bem como dos seus materiais e componentes constituintes. Nesse sentido, grandezas como forma e dimensão da edificação, transmitância, atraso térmico, refletância a radiação solar, emissividade das superfícies, capacidade térmica, calor específico e massa específica dos materiais devem caracterizar o comportamento térmico da edificação (SPANNENBERG, 2006 *apud* BORGES, 2013).

### 3.2.1.3 Condições ideais para proporcionar conforto térmico

A condição de neutralidade térmica é a de que o calor gerado pelo corpo possa ser dissipado no ambiente sem a atuação dos mecanismos termorreguladores. “A manutenção da temperatura interna do organismo humano relativamente constante, em ambientes cujas condições termo higrométricas são as mais variadas e variáveis, se faz por intermédio de seu aparelho termorregulador, que comanda a redução dos ganhos ou o aumento das perdas de calor através de alguns mecanismos de controle” (FROTA E SHIFFER, 2003).

Porém, neutralidade térmica difere do conforto térmico. De acordo com Lamberts (2008), a pessoa pode encontrar-se em neutralidade térmica e estar sujeito a algum tipo de desconforto térmico localizado, isto é, sujeita à uma assimetria de radiação significativa, ou a alguma corrente de ar localizada, ou ainda estar sobre algum tipo de piso frio ou aquecido, e assim sendo, não estar em condição de conforto térmico. A atividade desempenhada no ambiente também tem papel relevante, as condições ideais de conforto térmico devem ser proporcionadas de acordo com o tipo de atividade que irá se desenvolver no ambiente. Uma academia, por exemplo, deve apresentar mais dispositivos de refrigeração do ar do que uma casa.

Considerando que as pessoas utilizam roupas para adaptar-se à zona de conforto térmico, foi realizado um estudo para determinar as temperaturas que determinam zonas de conforto, do corpo humano em si e considerando o uso das vestimentas normais de trabalho. Lamberts (2008), relata que para pessoas nuas, a zona de conforto para que se mantenha o equilíbrio térmico situa-se entre 29°C e



31°C; e para pessoas vestidas com vestimenta normal de trabalho a zona de conforto para que se mantenha o equilíbrio térmico situa-se entre 23°C e 27°C.

As normas de conforto térmico são ferramentas essenciais para regulamentar a obtenção de ambientes agradáveis aos seus usuários. “Inicialmente estas normas tinham como principal preocupação definir as condições de conforto térmico, sem levar em conta os consumos energéticos necessários para atingir o conforto. Mas devido aos problemas ambientais que são cada vez mais evidentes e à necessidade do desenvolvimento sustentável, estas normas de conforto térmico têm de considerar formas de o atingir com o menor consumo energético possível” (NICOL E HUMPHREYS, 2002 *apud* SILVA, 2006).

### 3.2.2 Conforto Acústico

O conforto acústico de uma edificação é garantido quando as condições ambientais proporcionadas são adequadas para o desenvolvimento das atividades nela projetada. Segundo Akkerman *apud* Afran (2017), o bem-estar auditivo influencia a capacidade de concentração, contribuindo muito para a produtividade e aprendizado do ouvinte. Quando o nosso organismo realiza esforços mínimos para entender um som, podemos ter conforto acústico. Isso não acontece quando ouvimos o barulho de uma serra elétrica em funcionamento, por exemplo, causando irritabilidade e dificuldade de concentração em alguma outra tarefa.

Para se proteger de sons como vozes, trânsito ou música, uma das maneiras é criar barreiras sonoras como paredes ou divisórias que impeçam a propagação destes sons a ambientes envoltórios. A norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013) traz o isolamento acústico de vedações externas de edificações habitacionais como ferramenta para análise do conforto acústico, de forma a barrar a transmissão de ruídos aéreos externos à edificação, e também entre áreas comuns e privativas. Para a definição do isolamento acústico como método avaliativo do desempenho de sistemas construtivos, faz-se necessário o esclarecimento de conceitos físicos relacionados à acústica.

### 3.2.2.1 Influência do conforto acústico no organismo

O som tem a capacidade de nos afetar de diversas maneiras, sendo por sensações confortáveis ao ouvido ou fontes de perturbações. A percepção do som é a interpretação e associação feita pelo cérebro para reconhecer o ambiente inserido (ISOVER SAINT GOBAIN, 2017). Esta compreensão pelo sistema auditivo só é possível devido a três fatores: a sonoridade, tonalidade e timbre. A primeira variável indica a intensidade do som, podendo ser forte ou fraco. A tonalidade é o que difere um som agudo de um som grave, regulado pela frequência do som emitido. Por fim, o timbre possibilita a diferenciação de cada voz, instrumento musical, ou som percebido, isto porque qualquer emissor sonoro possui um timbre próprio.

Destas variáveis surge o ruído, em casos onde a intensidade é muito forte ou o som é muito agudo, por exemplo, sendo caracterizada pelo desconforto exigido do organismo para compreender o som. Estas perturbações colocam em risco a nossa saúde até mesmo enquanto dormimos, como aponta estudo publicado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 2011. Nestas condições, o organismo aumenta a produção de hormônios que elevam o ritmo cardíaco, contraindo vasos sanguíneos (NAKAMURA, 2016).

De modo a mitigar estes efeitos, o ambiente torna-se objeto de estudo de modo que proporcione condições saudáveis e propícias para a realização de funções específicas (trabalho, lazer, estudo, etc). Esta análise do espaço envolvido caracteriza o conforto acústico do ambiente.

### 3.2.2.2 Variáveis que influenciam o conforto acústico

Em uma abordagem técnica, o som, segundo Halliday et al. (2003), é a energia transmitida por ondas longitudinais, em uma faixa de frequência compreensível pelo ouvido humano, que é propagada no meio sólido, líquido, ou gasoso. Já o ruído é uma onda sonora desordenada, que produz uma sensação desagradável. Nota-se que fica subjetivo a percepção do ruído.

A frequência, medida em Hertz, determina o número de oscilações de uma onda sonora em um determinado período de tempo (segundo). Para ser perceptível ao ouvido humano, a frequência de um som deve estar entre 20 a 20.000 hertz. A

amplitude é a medida da oscilação de uma onda, o que influencia na vibração, já que este é causado pela diferença de níveis de pressão em relação ao tempo ou espaço (HALLIDAY ET AL, 2003).

A pressão do som ocorre a partir das oscilações da onda e pode ser quantificada como parâmetro sonoro utilizado para medir a intensidade do som, conhecido como decibel (dB), ou podendo ser medida em Pascal ou bar. Franzen (2015) explica que 1 dB é a variação mínima detectável pelo sistema auditivo de potência sonora. Segundo Gerges (2000), o decibel quantifica a pressão sonora ( $N/m^2$ ), que é a variação da pressão de um som emitido, percebido por um observador, tomando de base a pressão atmosférica. Também pode ser medido em intensidade sonora ( $W/m^2$ ), que é a amplitude percebida por um humano ou não (popularmente conhecido como volume). E além destes, pode medir também a potência sonora (Watt), que é a energia de som emitida durante um segundo.

Gerges (2000) explica que o som é propagado pelo ar e pelos materiais, dividindo-se em ruídos aéreos e ruídos de impacto, respectivamente. O som aéreo consiste na propagação das ondas sonoras pelo ar, como as geradas por vozes. Quando a onda atinge elementos construtivos, essa energia é parte refletida para o ambiente emissor com o mesmo ângulo de incidência; parte é absorvida pela barreira física e dissipada em forma de calor; e a parte restante é a energia transmitida ao ambiente receptor. Estas parcelas de energias podem ser expressas em parâmetros acústicos avaliáveis e são caracterizados pela diferença de nível de pressão sonora (NPS) entre o ambiente emissor e o ambiente receptor, e podem classificar o isolamento acústico de ambientes e/ou edificações.

### 3.2.2.3 Condições ideais para proporcionar conforto acústico

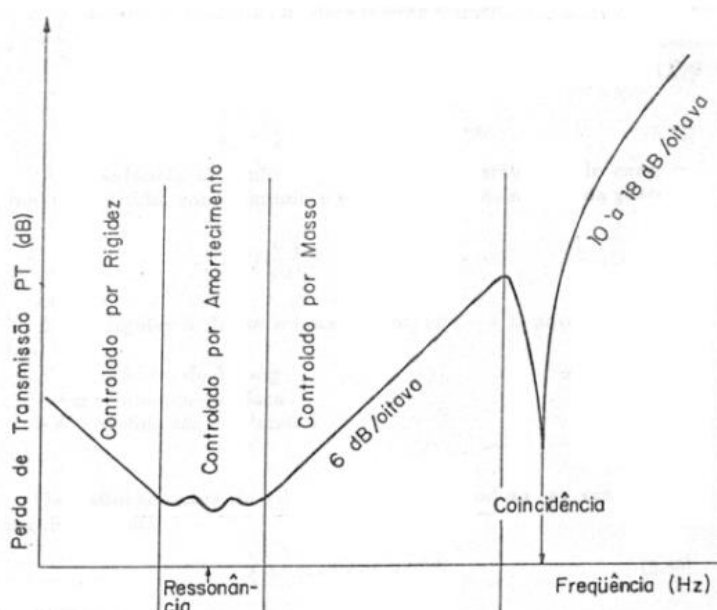
Sabendo que as vedações verticais de uma edificação constituem barreiras físicas entre o ambiente interno e externo, e que parte da energia sonora é absorvida pelos materiais por onde o som é propagado, fica nítido o interesse do estudo dos materiais constituintes destas vedações para conseguir um bom conforto acústico.

Luca (2015) aponta duas propriedades dos materiais como fatores significativos no desempenho acústico: absorção sonora e isolamento sonora. A primeira diz respeito à capacidade do material em absorver e posteriormente dissipar o som, desta forma

reduzindo as reflexões e tornando o som inteligível no ambiente emitido. Simões (2011) explica que os materiais que apresentam boa absorção acústica são materiais fibrosos ou porosos, pois eles permitem que a energia sonora possa vibrar com o ar e se dissipar por reflexões múltiplas e atrito caracterizados pelo amortecimento interno e rigidez destes materiais. O coeficiente de absorção acústica ( $\alpha$ ) é um parâmetro que varia de acordo com as características físicas do material e frequência do som emitida, e expressam valores entre 0 (material totalmente reflexivo) e 1 (material totalmente absorvente).

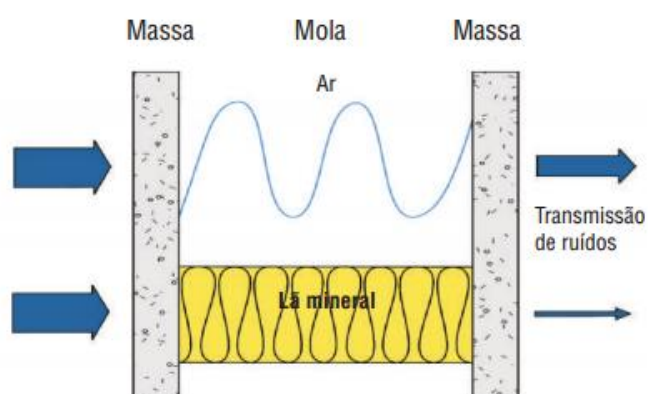
Já a isolamento sonora de um material é a capacidade deste em barrar a transmissão do som de um determinado ambiente a outro, sendo este valor quantificado em dB perdidos na passagem do som em uma barreira sonora. Laranja e Tamagna (2002) *apud* Polli (2007) mostram que a determinação do isolamento acústico é função da massa superficial, rigidez à flexão, amortecimento, condições de montagem, tamanho, frequências de ressonância, etc, desta forma tornando sua análise quantitativa muito complexa. Gerges (2000) esclarece esta análise estudando o comportamento da isolamento sonora em paredes simples e paredes duplas, descritas a seguir.

As paredes simples são paredes homogêneas de espessuras constantes, e nelas regem a lei das massas, como pode ser visto na figura 7, onde mostra que a massa do elemento e a frequência do som emitido são os fatores principais para a isolamento sonora.



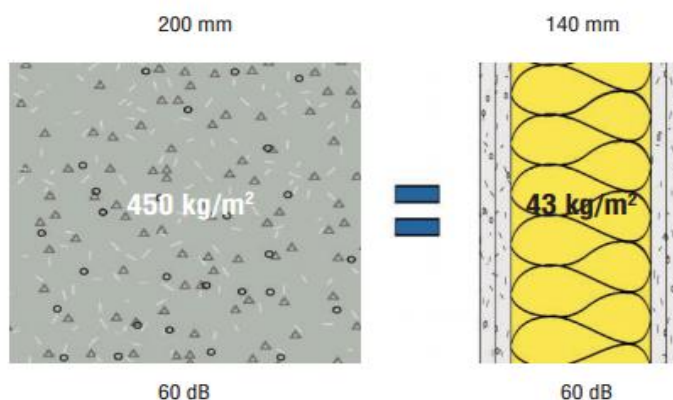
**Figura 7 - Curva da perda de transmissão sonora para paredes simples**  
**Fonte: Gerges (1992).**

As paredes duplas são alternativa para um bom desempenho acústico em paredes leves, onde são utilizados o sistema massa-mola-massa como barreira do som. Este desempenho é garantido pela utilização de materiais de massa e rigidez diferentes, dificultando que as paredes possuam frequências naturais similares e assim evitando a vibração por ressonância. Luca (2015) explica o princípio massa-mola-massa na figura 8. O sistema é constituído de um componente *massa* como o gesso para isolar o som (quanto mais espesso melhor), um colchão de ar ou material absorvente como a lã de vidro para quebrar a intensidade (*mola*) e outro painel de vedação (*massa*). Ocorre uma fricção entre o som e o novo meio fazendo que a energia se converta em calor, perdendo intensidade e aumentando a isolação do ambiente.

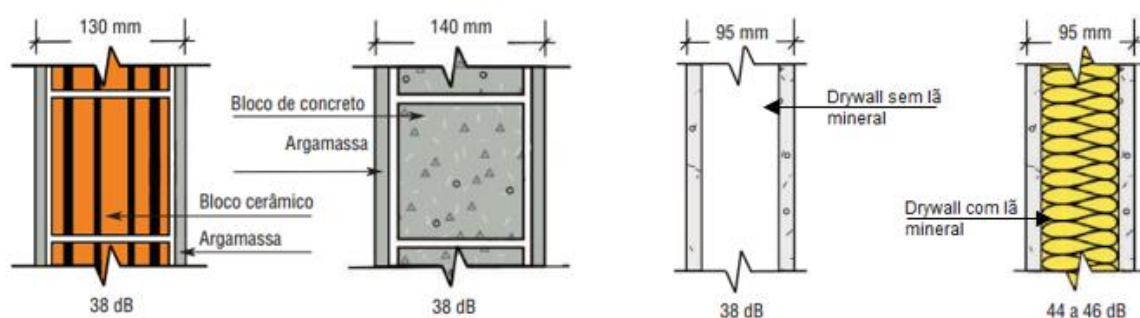


**Figura 8 - Sistema massa-mola-massa**  
Fonte: Luca (2015).

O manual de desempenho acústico em sistemas de *drywall* faz uma comparação entre o sistema de transmissão acústica de paredes simples e dupla, para um nível sonoro estabelecido em 60 dB, sendo ilustrado na figura 9. Nota-se, que é possível uma grande redução de espessura (60 cm) para um mesmo nível de redução sonora. A figura 10, na sequência, compara diferentes configurações de paredes e seu desempenho acústico.



**Figura 9 - Comparativo entre parede de concreto maciço e uma parede em LSF para mesmo nível de redução sonora**  
**Fonte: Luca (2015).**

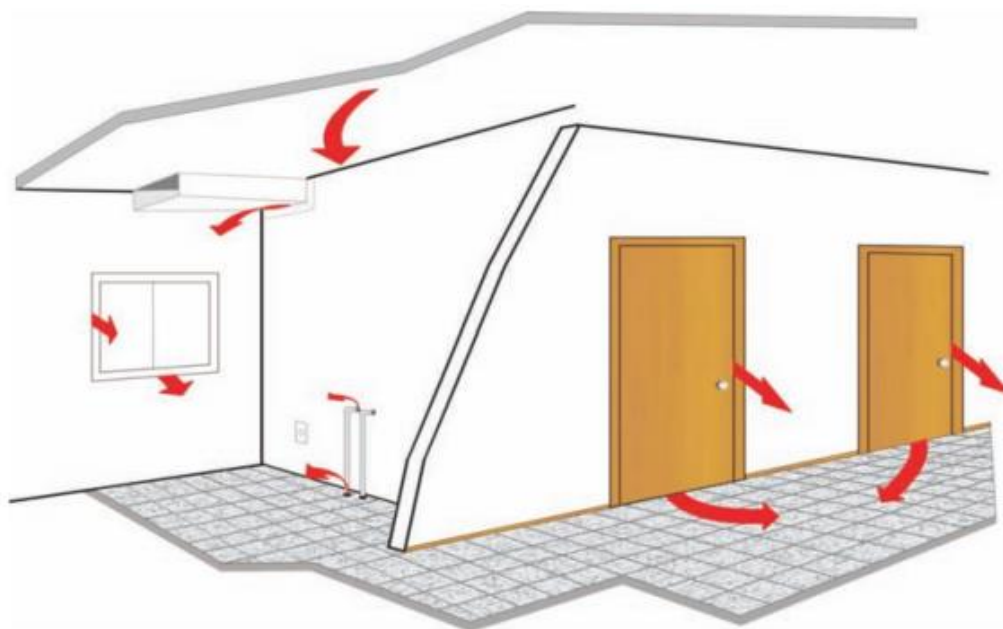


**Figura 10 - Comparativo acústico entre diferentes tipos de paredes**  
**Fonte: Luca (2015).**

Um outro fator necessário além da absorção e isolação sonora para um bom conforto acústico é complementado por Silva e Silva (2004): ausência de pontes acústicas. Esta condição é importante para sistemas massa-mola-massa e depende das características de montagem, sendo garantida quando é possível criar uma descontinuidade entre as faces de vedação, não permitindo que a onda sonora encontre meios físicos para se propagarem através da estrutura de enrijecimento, ocasionando a vibração da face oposta. Desta forma, atenta-se para divisórias com estrutura única, em que os montantes acabam fazendo a ligação entre as faces dos painéis de vedação.

Muitos autores também concordam que portas e janelas são elementos que reduzem significativamente o isolamento acústico de paredes. Sales (2001) e Polli (2007) justificam este baixo desempenho acústico devido à massa superficial destes materiais, que é baixa, e principalmente pelo aparecimento de frestas e flancos no entorno das esquadrias, abrindo caminhos para a transmissão do som a ambientes

anexos. Alguns outros pontos críticos devem ser focos de cautela estão apresentados na figura 11.



**Figura 11 - Transmissão do som em ambiente receptor**  
Fonte: Simões (2011).

Oliveira Filho (2014) realizou experimentos em diferentes fachadas testando a influência de frestas e folgas intencionais. O estudo concluiu que existem perdas de ordem 2 e 3 dB em relação a frestas de 5 mm deixadas em portas de alumínio de correr no conjunto fachada. Carvalho, Maciel e Calixto (2006) concluíram medições em portas inseridas em paredes de alvenaria. Ao revisar as frestas destas paredes, com a inserção de borrachas esponjosas nas vedações, foi possível um aumento aproximado de 20% no índice de redução sonora do conjunto.

No comportamento de janelas, Spina e Moraes em entrevista ao site AECweb (2017) explicam que os caixilhos são responsáveis por 50 a 60% da transmissão do ruído em janelas, por apresentarem problemas na vedação. Os caixilhos permitem o encaixe de peças, e em janelas que possuem folhas móveis, como as janelas de correr, a formação de frestas é mais propícia devido a problemas comuns na vedação do trilho superior. Em contrapartida, os autores destacam o bom desempenho acústico de janelas de giro, que permitem a abertura de dentro para fora, como as janelas maxim-ar, além das janelas de quadros fixos.

Em relação ao vidro das esquadrias, GLASSEC (2013) *apud* Medeiros et al (2014) explica que para uma simples chapa de vidro a espessura é o fator condicionante a garantir isolamento acústico (como explicado pela lei da massa). Desta forma, por possuir baixo peso, vidros com qualidade acústica superior, como os vidros laminados ou insulados (além dos duplos), possuem película de PVB (polivinil butiral) e câmara de ar ou gás argônio, respectivamente, em sua composição para funcionar como materiais absorventes, podendo combinar ainda vidros especiais atingindo reduções de até 50 dB.

### 3.3 NORMAS DE DESEMPENHO AMBIENTAL

#### 3.3.1 NBR 15575

A norma brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013), em vigor desde 2013, trata sobre o desempenho de edificações habitacionais de até cinco pavimentos. A estrutura da norma é composta de 6 partes, sendo elas: Requisitos Gerais (parte 1); Requisitos para os sistemas estruturais (parte 2); Requisitos para os sistemas de pisos (parte 3); Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE (parte 4); Requisitos para os sistemas de coberturas e requisitos para os sistemas Hidrossanitários (parte 5).

##### 3.3.1.1 Desempenho térmico

Para fazer a análise do conforto térmico são apresentados três possíveis métodos. O primeiro procedimento consiste em avaliar propriedades térmicas dos materiais constituintes das fachadas e coberturas. Os outros dois métodos apresentados pela NBR 15575 (ABNT, 2013) consistem na comparação de dados resultantes de simulação computacional ou medição *in loco*, com os requisitos gerais estabelecidos pela norma.

Para a avaliação do desempenho térmico via medições *in loco*, os dados são obtidos a partir da medida da temperatura de bulbo seco do ar, a 1,20 m do piso. Os recintos a serem utilizados para a obtenção dos dados de temperatura são escolhidos



a partir das seguintes situações: medições em unidade habitacional única, conjunto habitacional de unidades térreas e edifícios multipiso e protótipos.

O requisito mínimo de desempenho térmico de edificações no verão, segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), é apresentar condições térmicas no interior do edifício habitacional, em recintos de permanência prolongada, como por exemplo, salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas e outros equipamentos em geral), melhores ou iguais às do ambiente externo, para o dia típico de verão, estabelecido com base na temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar incidente no dia mais quente do ano. E nos dias típicos de inverno, o requisito mínimo é apresentar temperatura mínima, nos ambientes descritos anteriormente, maior do que a temperatura mínima externa acrescida de 3°.

Os dias típicos de verão e inverno foram definidos de acordo com as seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar incidente em superfície horizontal para o dia mais quente/frio do ano, segundo a média do período dos últimos 10 anos. A norma apresenta tabelas com os dados relativos a algumas cidades do Brasil.

O método de avaliação proposto pela NBR 15575 (ABNT, 2013), consiste em caracterizar o desempenho da edificação em mínimo, intermediário e superior, de acordo as temperaturas internas obtidas nos dias típicos de verão e inverno; o nível exigido para qualquer edificação é o mínimo. Os níveis de desempenho para dias típicos de verão e inverno, são apresentados nas tabelas 4 e 5.

**Tabela 4 - Níveis de desempenho para dias típicos de verão**

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e, max}$	$T_{i,max} \leq T_{e, max}$
I	$T_{i,max} \leq (T_{e, max} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e, max} - 1^{\circ}\text{C})$
S	$T_{i,max} \leq (T_{e, max} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e, max} - 2^{\circ}\text{C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e, min} + 1^{\circ}\text{C})$

$T_{i, max}$  é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

$T_{e, max}$  é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior a edificação, em graus Celsius;

$T_{i, min}$  é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

$T_{e, min}$  é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior a edificação, em graus Celsius;

NOTA: Zonas Bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3

Fonte: NBR 15575, (ABNT, 2013).

**Tabela 5 - Níveis de desempenho para dias típicos de inverno**

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \geq (T_{e, min} + 3^{\circ}C)$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	$T_{i,min} \geq (T_{e, min} + 5^{\circ}C)$	
S	$T_{i,min} \geq (T_{e, min} + 7^{\circ}C)$	

$T_{i, min}$  é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

$T_{e, min}$  é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior a edificação, em graus Celsius;

NOTA: Zonas Bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013).

### 3.3.1.2 Desempenho acústico

O item 12 da NBR 15575 – parte 4 (ABNT, 2013) traz os requisitos e critérios necessários para garantir um nível satisfatório de isolamento sonoro entre o meio externo e interno, entre unidades autônomas e entre dependências de uma unidade e áreas comuns. Para isso, a norma apresenta também três possíveis métodos para verificar este desempenho: o método de precisão, o método de engenharia e o método simplificado de campo.

O primeiro método mencionado é realizado apenas em laboratórios em componentes e elementos construtivos (parede, janela, porta) e fornece valores de referência de cálculo para projetos. Para avaliar um conjunto global por este método, como uma parede com janela por exemplo, se faz necessário avaliá-los individualmente para depois calcular o conjunto como um todo. O método da engenharia, por sua vez, é realizado em campo e realiza a verificação do isolamento acústico tanto para a vedação externa, em relação à fachada da edificação, quanto para a interna, podendo ser estudado o isolamento entre unidades autônomas ou entre uma unidade e áreas comuns. Por fim, o método simplificado de campo é utilizado para estimar o isolamento global da edificação em situações onde não há a instrumentação necessária para a realização segundo o método da engenharia, ou ainda quando as condições de ruído de fundo não permitem a obtenção do parâmetro de reverberação.

A norma ainda destaca que o método da engenharia é o mais preciso entre os disponíveis. Além disso, assim como no desempenho térmico, é complementada por

normas internacionais que especificam como devem ser obtidos os parâmetros de verificação do isolamento acústico. Estes parâmetros diferem quanto à sua aplicação e têm valores mínimos aceitáveis especificados nestas normas. A tabela 6 a seguir apresenta os parâmetros e suas respectivas normas.

**Tabela 6 – Parâmetros acústicos de verificação**

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
$R_w$	Índice de Redução Sonora Ponderado	ISO 10140-2	Componentes, em laboratório
		ISO 717-1	
$D_{nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada	ISO 140-4	Vedações verticais e horizontais internas, em edificações (paredes etc.)
		ISO 717-1	
$D_{2m,nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 m de distância da fachada	ISO 140-5	Fachadas, em edificações
		ISO 717-1	Fachadas e coberturas em casas térreas e sobrados

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013)

Complementarmente, o anexo F da norma traz além dos valores mínimos de desempenho acústico (M), valores que classificam os SVVIE em níveis de desempenho mais exigentes, sendo estes o nível intermediário (I) e o nível superior (S) conforme a sua classe de ruído. Deste modo, apresenta-se a seguir a tabela que classifica os níveis de desempenho acústico para a diferença padronizada de nível ponderada da vedação a 2 metros da fachada ( $D_{2m,nT,w}$ ), parâmetro referente ao método de engenharia, para ensaios *in loco*.

**Tabela 7 – Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa,  $D_{2m,nT,w}$ , para ensaios de campo**

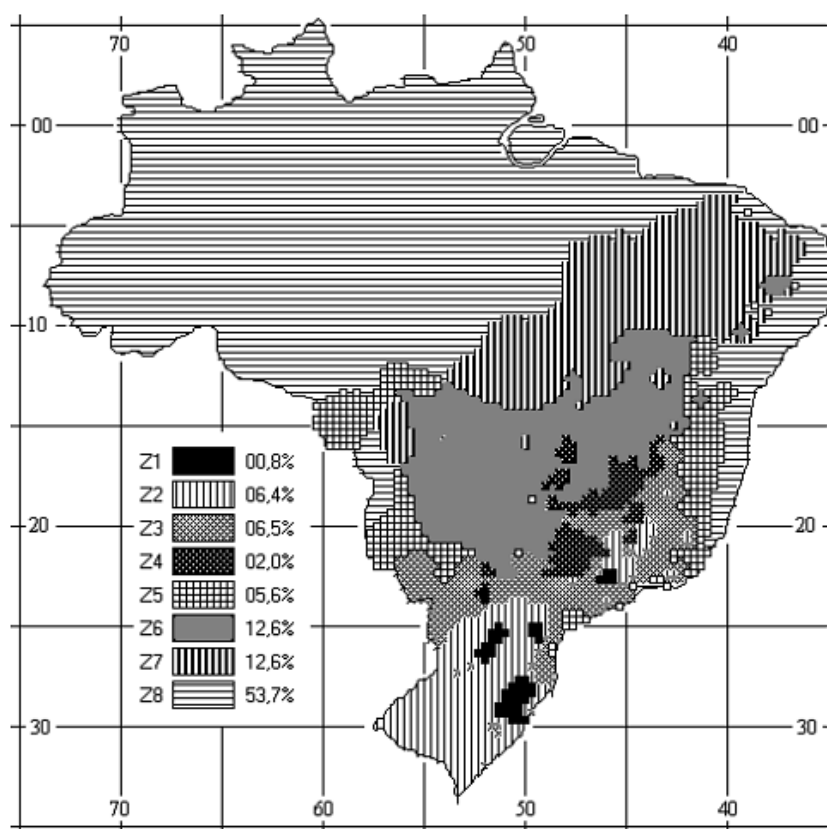
Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ [dB]	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥20	M
		≥25	I
		≥30	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III.	≥25	M
		≥30	I
		≥35	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação.	≥30	M
		≥35	I
		≥40	S

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013)

### 3.3.2 NBR 15220

A NBR 15220 (ABNT, 2003), composta de cinco partes, apresenta, em sua primeira parte, definições, símbolos e unidades relacionados ao conforto térmico; na segunda parte, métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações são discutidos; na terceira parte o zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social; e as duas últimas partes da norma apresentam métodos para medição da resistência térmica e da condutividade térmica, sendo estes o princípio da placa quente protegida e o método fluximétrico, respectivamente.

De acordo com a norma, o zoneamento bioclimático brasileiro é dividido em 8 zonas, conforme indica figura 12. Para a classificação dessas zonas foram utilizadas as médias mensais das temperaturas máximas, mínimas, e as médias de umidade relativa do ar.



**Figura 12 - Zoneamento bioclimático brasileiro**  
**Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2003).**

São previstas recomendações e diretrizes construtivas para proporcionar a adequação da edificação ao clima correspondente a cada zona bioclimática. Essas diretrizes relacionam a porcentagem de área de aberturas para ventilação em relação a área de piso, e também recomendam valores mínimos para a transmitância térmica, atraso térmico e fator solar para diferentes tipos de vedação externa. Também são propostas estratégias construtivas para proporcionar o condicionamento térmico passivo das edificações.

A cidade de Pato Branco, Paraná, está localizada na zona bioclimática 2, e segundo a NBR 15220 (ABNT, 2003), algumas recomendações devem ser seguidas para melhorar o condicionamento térmico destas habitações, como as que seguem:

- Utilizar aberturas médias para ventilação, com o sombreamento que permita a incidência de sol nas mesmas durante o inverno;
- As vedações externas devem ser compostas de paredes leves e cobertura leve isolada;
- Quando possível, deve ser adotado o sistema de ventilação cruzada para condicionamento térmico passivo no verão;
- Para proporcionar um melhor condicionamento no inverno recomenda-se o uso de vedações internas pesadas, com alta inércia térmica. Porém, é previsto que o condicionamento térmico passivo não é suficiente para os períodos mais frios do ano.

### 3.3.3 Normas Internacionais: ISO 10140, ISO 16283 e ISO 717

Como visto na tabela 6, os parâmetros para verificação do desempenho acústico dos elementos de uma edificação ou da edificação como um todo seguem regulamentações internacionais. As ISO 140-4 e ISO 140-5 foram recentemente revisadas e substituídas pelas ISO 16283-1 e ISO 16283-3 (ISO, 2014), e indicam os procedimentos necessários para as medições de isolamento acústico entre os cômodos da edificação (parte 1) e em fachadas (parte 3). A ISO 717-1, existente desde 1996, está presente na definição de todos os parâmetros acústicos da NBR 15575 (ABNT, 2013) e orienta os cálculos necessários para a determinação de um número único ( $D_{nT,w}$ ,  $D_{2m,nT,w}$  ou  $R_w$ , conforme tabela 6) que representará o desempenho acústico do edifício ou dos elementos do edifício (ISO, 2013).

As medições *in loco*, escopo deste estudo, consistem em colocar a fonte sonora emitindo um ruído no ambiente emissor, e por meio de um microfone, anexado ao decibelímetro, obter a leitura do nível de pressão sonora (NPS) nos ambientes emissor e receptor. Para isto, é preciso primeiramente definir uma faixa de frequência constante a ser emitida pela fonte sonora, e esta pode ser para bandas de um terço de oitava ou para bandas de oitava. Também, deve-se atentar para que o ambiente receptor consiga captar um NPS de pelo menos 10 dB a mais que o nível de ruído de fundo, garantindo que ruídos externos ao da fonte sonora não interfiram no ensaio. Caso contrário, necessita-se fazer a correção do ruído de fundo para a análise dos cálculos (item 5.5.3, ISO 140-5, 1998).

Segundo as normas internacionais ISO 16283-1 e ISO 16283-3 (ISO, 2014), em relação as condições e exigências das medições em campo, os microfones devem estar a pelo menos 50 centímetros de distância do perímetro do ambiente ou de algum difusor e a um metro de distância da fonte sonora. O número de pontos analisados para a coleta do NPS na sala receptora é em função das dimensões desta, e nunca inferior a três, com distância mínima de 50 cm entre eles. Para medir o isolamento sonoro da fachada, a distância do microfone deve ser de 2 m da fachada da casa.

A ISO 16283-3, que especifica as medições de isolamento acústico apenas para fachadas de edifícios, caracteriza dois métodos para a avaliação: método dos elementos e métodos globais, onde o primeiro categoriza o índice de isolamento sonoro de elementos de fachadas, podendo ser comparados com dados obtidos em laboratórios, e o segundo determina a redução sonora da fachada como um todo, não podendo ser comparado a dados obtidos em laboratórios.

O NPS médio da sala receptora será definido como a média das leituras dos microfones posicionados neste ambiente. Os parâmetros para cada faixa de frequência serão encontrados pela subtração do NPS da fonte sonora pelo NPS médio da sala receptora. Além disso, para a definição da diferença padronizada de nível ponderada, parâmetro avaliado em norma ( $D_{nT}$ , ou  $D_{2m,nT}$ ), faz-se necessário a consideração do tempo de reverberação na sala receptora, e é expressado pela seguinte fórmula (ISO 140-5, 1998):

$$D_{nT}/D_{2m,nT} = D + 10 \cdot \log \frac{T}{T_0} \quad (1)$$

Onde:

D = diferença entre o NPS médio do ambiente emissor e receptor (dB);

$T$  = tempo de reverberação, calculado pela fórmula de Sabine (s);

$T_0$  = tempo de reverberação de referência, adotado em 0,5 s para residências.

O cálculo do tempo de reverberação do ambiente receptor pode ser calculado pela seguinte relação:

$$T = \frac{0,16.V}{A} \quad (2)$$

Onde:

$V$  = volume da sala receptora ( $m^3$ );

$A$  = área de absorção equivalente da sala receptora ( $m^2$ );

$T$  = tempo de reverberação (s).

Em fachadas onde há mais de uma parede externa, a ISO 140-5 (ISO, 1998) recomenda utilizar mais de uma posição para a fonte sonora, sendo este número de posições em função da área da fachada e das características do alto-falante utilizado. O cálculo para mais de uma posição da fonte sonora é dado pela equação a seguir:

$$D_{ls,2m} = -10. \lg \left( \frac{1}{n} \sum 10^{-\frac{D_i}{10}} \right) \quad (3)$$

Onde:

$n$  = número de posições da fonte sonora;

$D_i$  = diferença entre o NPS médio do ambiente emissor e receptor (dB) da combinação.

Por sua vez, o índice de redução sonora ponderado,  $R_w$ , é padronizado pela fórmula abaixo:

$$R_w = D + 10. \log \frac{S}{A} \quad (4)$$

Onde:

$S$  = área do elemento entre os ambientes, de teste ( $m^2$ ).

$A$  = área de absorção equivalente da sala receptora ( $m^2$ );

$D$  = diferença entre o NPS médio do ambiente emissor e receptor (dB);

$R_w$  = índice de redução sonora ponderado.

O isolamento do som varia em função da frequência em que ele foi emitido, e por isso a ISO 717-1 traz duas bandas de frequência possíveis para medições a campo (bandas de um terço de oitava ou bandas de oitava). Os valores de referência de cada banda são apresentados na tabela 8, e quando plotados em um gráfico frequência x valor de referência, formam uma curva padrão que deve ser comparada

com a curva do espectro de frequências do ambiente analisado, que será obtida através do ensaio.

**Tabela 8 – Valores de referência para medições de isolamento sonoro aéreo**

Frequência (Hz)	Valor de referência (dB)	
	Bandas de um terço de oitava	Bandas de oitava
100	33	36
125	36	
160	39	
200	42	45
250	45	
315	48	
400	51	52
500	52	
630	53	
800	54	55
1000	55	
1250	56	
1600	56	56
2000	56	
2500	56	
3150	56	

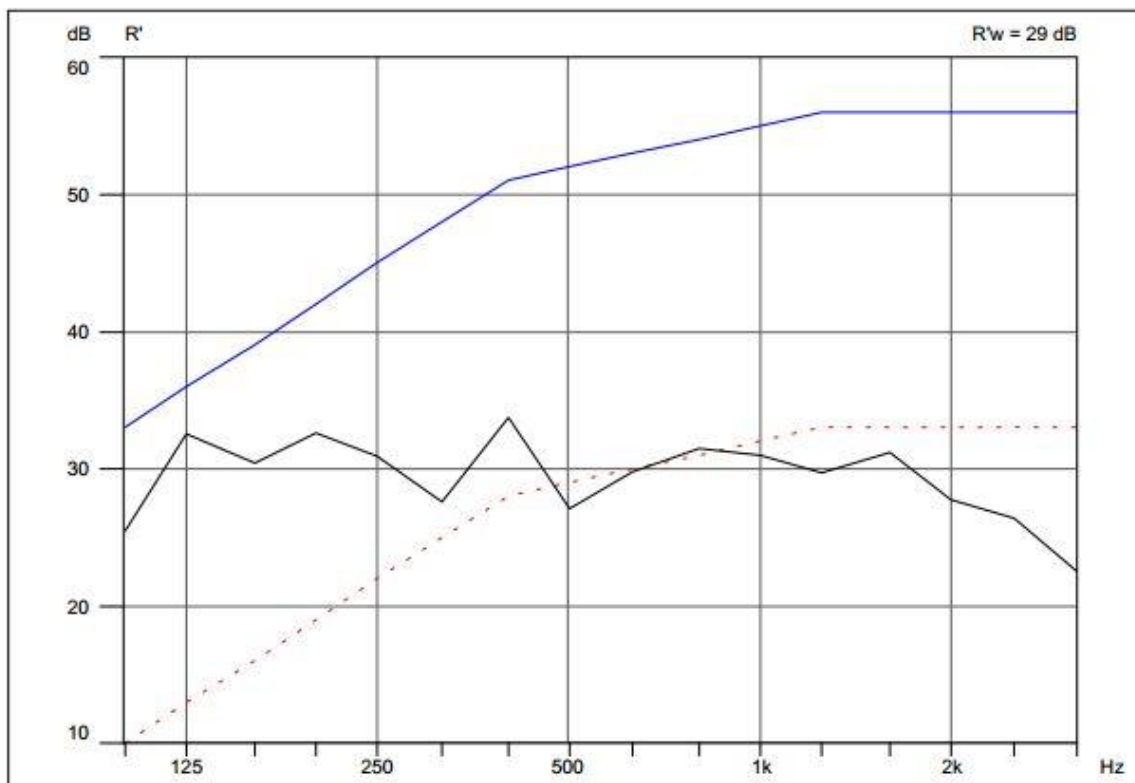
Fonte: ISO 717-1 (2013).

Após realizar as medições no local de estudo, plota-se estes resultados juntamente com os valores de referência de uma das duas bandas apresentadas na tabela 8, analisando-as simultaneamente. Para comparar as curvas, ISO 717-1 (ISO, 2013) orienta que se desloque a curva padrão de 1 em 1 dB no sentido da curva obtida pelas medições, até que o somatório dos desvios desfavoráveis seja o maior possível, não excedendo 32 dB para bandas de um terço de oitava, e 10 dB para bandas de oitava. Finalmente, com as curvas sobrepostas no mesmo gráfico, é possível encontrar os parâmetros para cada caso estudado, que será o valor da curva de referência deslocada para a banda de 500 Hz de frequência.

A figura 13 exemplifica a obtenção de um parâmetro acústico, sendo a curva de cor preta os resultados das medições in loco, a cor azul sendo a curva padrão, para bandas de um terço de oitava e a curva em pontilhado é a curva padrão deslocada



(FERREIRA, 2004). O valor do parâmetro acústico verificado neste gráfico é o de 29 dB, tomado da curva padrão deslocada (pontilhada) na frequência de 500 Hz.



**Figura 13 - Exemplo para obtenção do número único segundo ISO 717-1**  
Fonte: FERREIRA, 2004.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

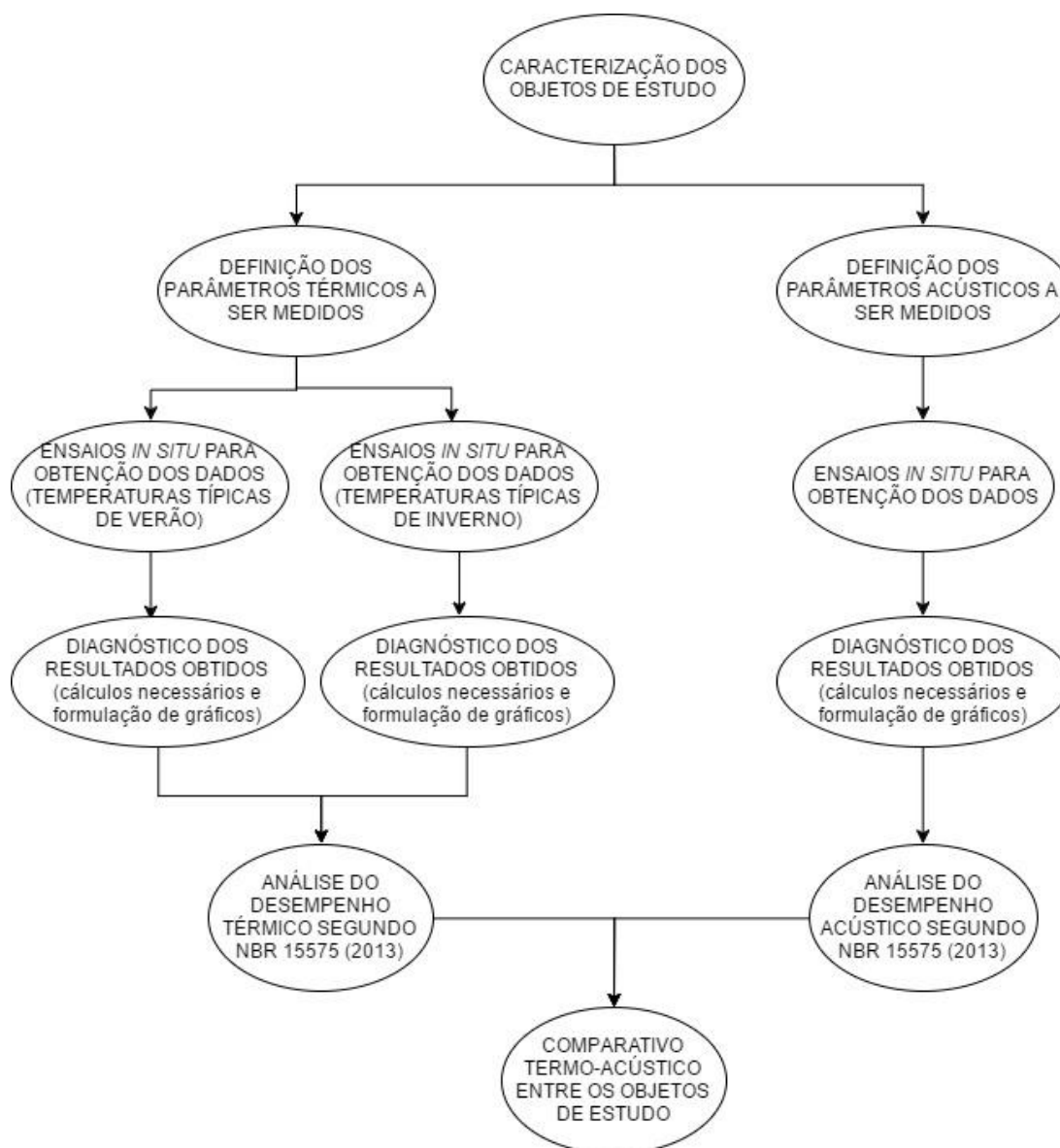
Segundo Silva e Menezes (2005), uma pesquisa pode ser classificada de diversas formas. Neste estudo, do ponto de vista da sua natureza, pode-se classificar como uma pesquisa aplicada, onde os conhecimentos gerados são dirigidos à solução de problemas específicos e locais. Classifica-se também a forma de abordagem do problema como quantitativa, explicado pela análise que será quantificada por meio dos ensaios de campo, e a verificação destes. Pode-se afirmar também que a pesquisa é de caráter qualitativo, pelo fato de que a interpretação dos fenômenos não depende apenas dos métodos ensaiados.

Do ponto de vista dos objetivos deste trabalho, para Gil (2002) é possível classificar como uma pesquisa exploratória, pois proporciona maior familiaridade com o problema com foco em torná-lo explícito.

Dentro dos procedimentos técnicos, pode ser visto como uma pesquisa experimental e como um estudo de caso, o primeiro em virtude da utilização de variáveis específicas que influenciam os parâmetros deste trabalho e o segundo por permitir conhecimento mais específico e detalhado do objeto em estudo.

De maneira sucinta, um diagrama contendo uma sequência lógica da realização deste estudo está mostrado na figura 14 a seguir, reunindo de forma clara os objetivos e metodologia a ser seguida.

Os resultados obtidos neste trabalho foram por meio de medições *in loco* descritas pela norma brasileira de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013). Foram realizadas medições para obtenção de dados relativos ao desempenho térmico e acústico em duas residências distintas em seu sistema construtivo, *light steel frame* e alvenaria convencional, buscando a comparação entre elas.



**Figura 14 – Diagrama das atividades**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

A seleção das casas avaliadas priorizou por uma localização próxima entre elas, em virtude da temperatura e orientação solar serem variáveis influentes na determinação do desempenho térmico, além da proximidade entre as casas permitir uma maior conformidade entre as mesmas em relação a temperatura externa. Também buscou-se residências não habitadas, para que as medições locais pudessem sofrer o mínimo de interferência possível, uma vez que para medições acústicas, cada elemento físico, como os móveis de uma casa, por exemplo, possui um índice individual de absorção sonora, e a presença de mobília poderia influenciar

no resultado do conjunto global. Nas medições térmicas, a abertura de janelas e portas durante o período de medições compromete a análise, já que a temperatura interna sofre variação devido ao contato com a temperatura externa. Desta forma, as medições realizadas poderão transmitir o desempenho exclusivamente das residências construídas nos sistemas construtivos escolhidos.

A figura 15 mostra a localização das duas residências selecionadas, o círculo esquerdo aponta a casa construída em LSF e o círculo direito a casa em alvenaria. Ambas estão localizadas em Pato Branco - Paraná, no mesmo bairro e rua, com a mesma orientação solar e altitude, além de estarem à venda durante o período de estudo deste trabalho.



**Figura 15 - Localização das residências selecionadas**  
Fonte: Adaptado de Google Earth (2017).

A respeito da cidade, Pato Branco possui clima subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes com tendência de concentração das chuvas (temperatura média superior a 22° C), e invernos com geadas pouco frequentes (temperatura média inferior a 18° C), sem estação seca definida (PMPB, 2016).

As duas residências possuem entornos similares. Ambas são geminadas em sua lateral direita por casas idênticas e espelhadas, e pela lateral esquerda estão a menos de um metro da casa vizinha. Além disso, o terreno possui declividade acentuada nos fundos de ambas as casas, e na frente de suas fachadas a inclinação difere. A residência em LSF tem um desnível considerável na frente, como mostra a

figura 16, e em frente à fachada da casa em alvenaria o terreno é plano, como mostra a figura 17.



**Figura 16 - Fachada da residência em LSF**  
Fonte: Autoria própria (2017).



**Figura 17 - Fachada da residência em Alvenaria Convencional**  
Fonte: Autoria própria (2017).

Assim como as fachadas, as plantas baixas das casas também são distintas, como mostram as figuras 18 e 19. As dimensões cotadas estão em centímetros.

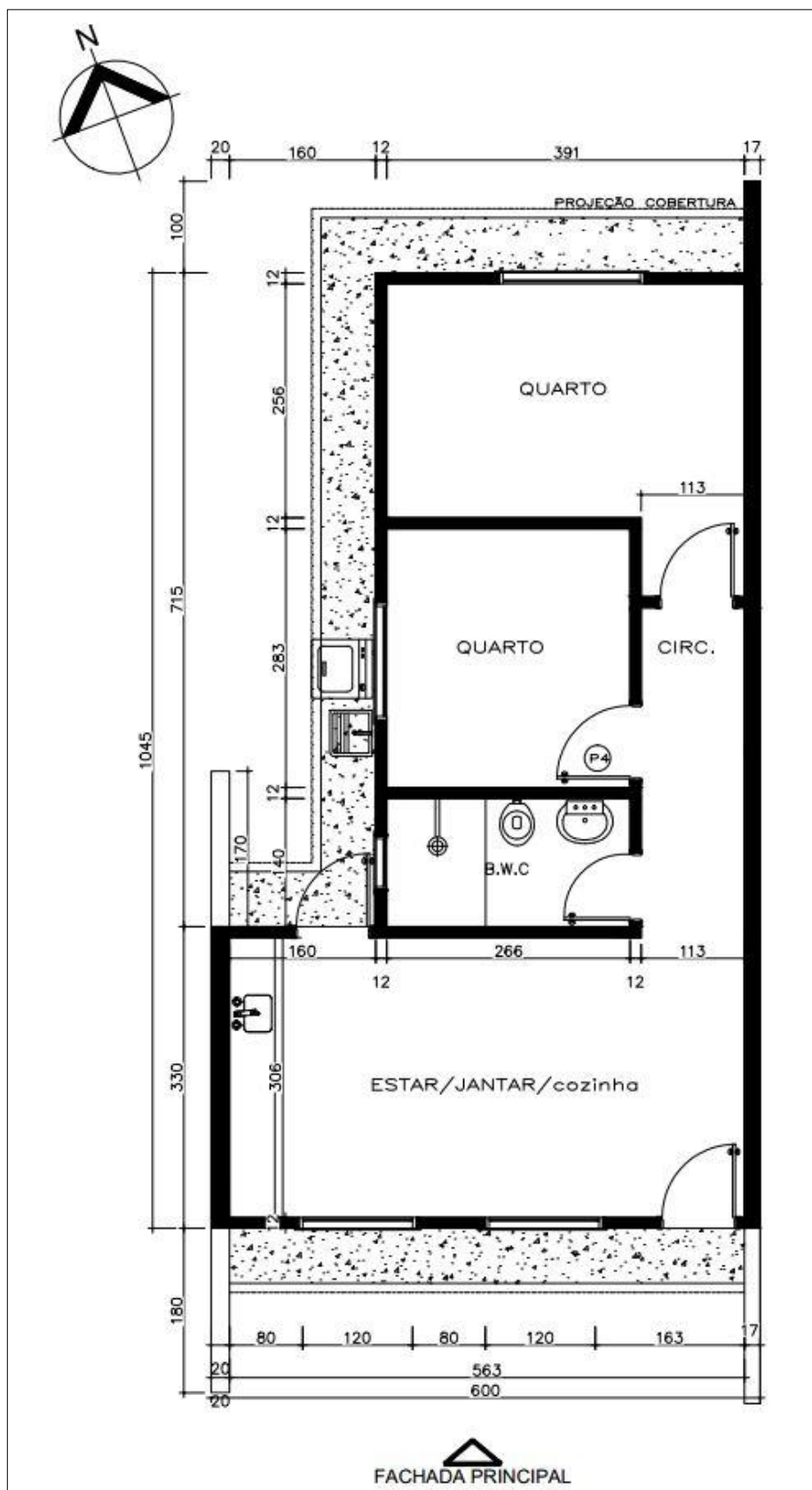
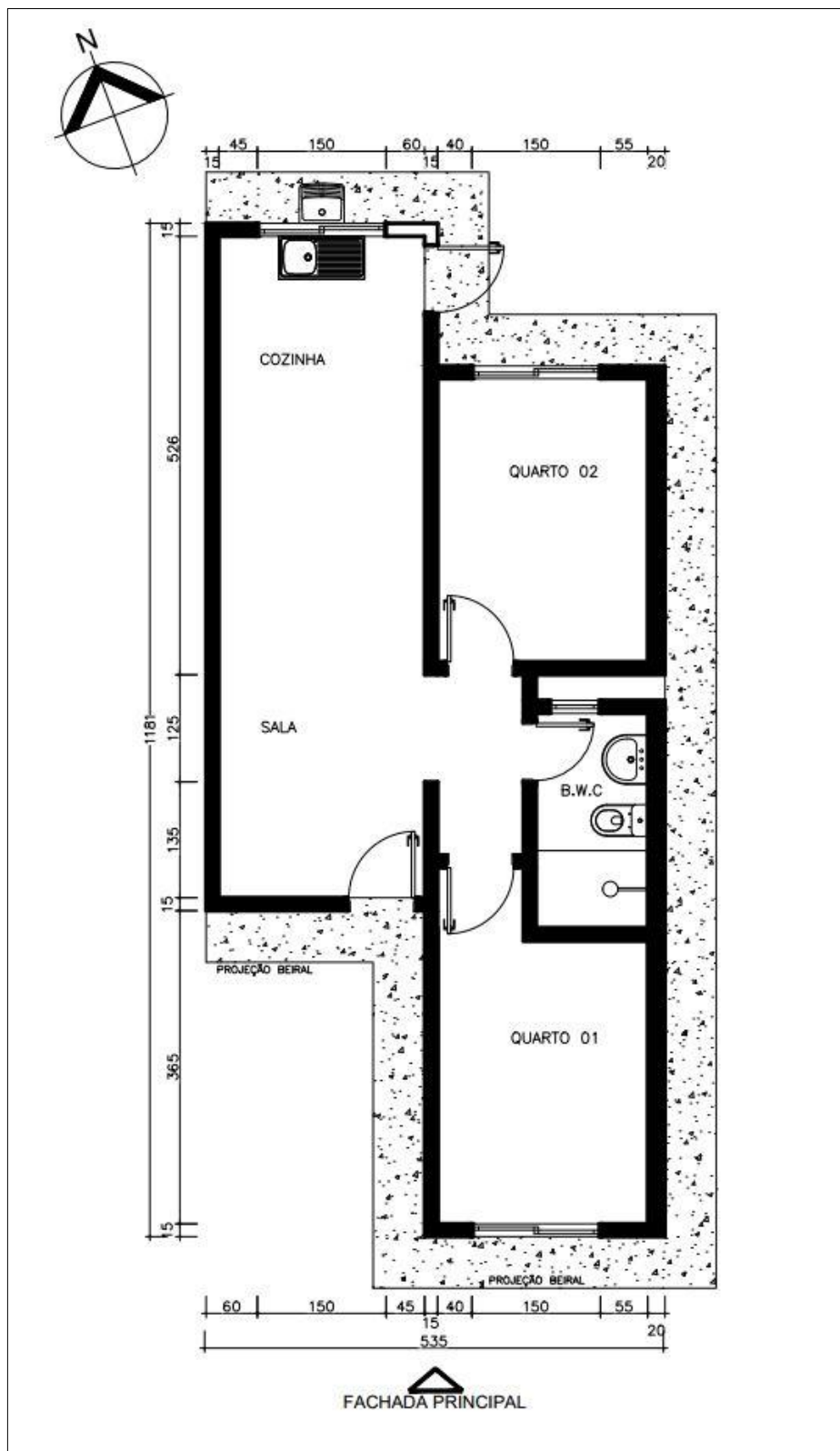


Figura 18 - Planta baixa da Residência em LSF  
 Fonte: Adaptado de FRONTER (2017).



**Figura 19 - Planta baixa da residência de alvenaria convencional**  
**Fonte: Adaptado de BK Empreendimentos (2017).**

As principais características técnicas de cada residência foram reunidas na tabela 9, destacando os materiais e dimensões que influenciam no comportamento acústico e térmico das edificações.

Tabela 9 - Características técnicas das residências selecionadas

CARACTERÍSTICAS	RESIDÊNCIA EM <i>LIGHT STEEL FRAME</i>	RESIDÊNCIA EM ALVENARIA CONVENCIONAL
Área (m <sup>2</sup> )	49,82	48,68
Espessura da parede (cm)	12	15
Pé direito (m)	2,60	2,70
Estrutura da parede	Aço galvanizado (espessura 8 e 12,5 mm)	Blocos cerâmicos 6 furos
Material de vedação interna	Gesso acartonado <i>drywall</i> (placa cim. no banheiro, OSB e cerâmica na cozinha)	Revestimento argamassado (cerâmica na cozinha e banheiro)
Material de vedação externa	Placas cimentícias (espessura 12,5 mm)	Revestimento argamassado (cerâmica na lavanderia externa)
Portas externas	Madeira maciça (cedrinho)	Madeira maciça mista (canela e açoita)
Janelas/nº de folhas/tipologia	Alumínio e vidro temperado/4 f./de correr	Alumínio e vidro temperado/4 f./de correr
Cobertura	Telhas de fibrocimento	Telhas de concreto
Forro	Placas cimentícias	PVC laminado
Material isolante para parede	Lã de vidro	Não há
Material isolante para cobertura	Não há	Manta térmica dupla

Fonte: Autoria própria (2017).

Os dois últimos itens da tabela são mostrados na figura 20 a seguir. É possível ver no canto inferior esquerdo a lã de vidro, ainda em rolos, que foi inserida entre os materiais de vedação e os perfis metálicos. As telhas em segundo plano no canto superior direito mostram que não foi colocado manta térmica entre a estrutura do telhado e as telhas. Também é possível ver que a estrutura do telhado é também em LSF, e possui forro em PVC para revestir internamente. A casa em alvenaria convencional não tem laje de cobertura em concreto armado, e também possui forro em PVC.





**Figura 20 - Detalhes construtivos da residência em LSF**  
**Fonte: FRONTER (2017).**

Como consta no memorial descritivo da casa em LSF, nos encontros entre as placas cimentícias é usado uma fita de tela de fibra de vidro resistente a alcalinidade do cimento, juntamente com o rejunte para este tipo de vedação, garantindo desta forma a estanqueidade do sistema.

As janelas descritas na tabela 10 são idênticas nas duas residências, com vidros espessos de espessuras 6 mm e vedados com silicone, e peitoril em granito, como ilustrado na figura 21. As portas descritas no memorial da residência em alvenaria foram vedadas com espuma expansível em sua caixa, evitando formações de pontes termo-acústicas.



Figura 21 - Janelas em vidro temperado de correr em detalhe  
Fonte: Autoria própria (2017).

Assim como as janelas e portas, possíveis frestas e folgas deixadas entre os materiais de vedação são fatores críticos para o comportamento termo-acústico global de uma residência, como visto na revisão bibliográfica. Desta forma, buscou-se encontrar pontos críticos nas unidades que pudessem ocasionar estas perdas no desempenho. Observando com cautela as fachadas, é possível notar que a porta de entrada de ambas casas apresenta frestas na parte inferior, de magnitudes diferentes, e sem nenhuma banda ou borracha para vedação. A porta da casa em alvenaria possui uma fresta por todo seu perímetro inferior (figura 22), enquanto que na casa em LSF, a fresta aumenta gradativamente, sendo maior no canto direito (aproximadamente 8 mm), como mostra a figura 23. Além da fresta, a porta da casa em *light steel frame* apresenta flancos significativos na parte superior da porta (figura 24). As portas que dão acesso aos fundos possuem pequenas frestas na parte inferior nas duas residências.



**Figura 22 - Fresta na porta de entrada**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**



**Figura 23 - Fresta na porta de entrada**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**



**Figura 24 - Flancos na porta de entrada**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**

Outro detalhe crítico visto na fachada em LSF é uma abertura no canto inferior esquerdo da fachada, destinado a receber as águas pluviais advindas da cobertura. Esta abertura acaba ocasionando contato do exterior da casa com a estrutura da mesma, e conseqüentemente abrindo espaço para pontes termo-acústicas, como mostra a figura 25.



**Figura 25 - Abertura para escoamento de água da chuva**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**

### 4.3 ANÁLISE DO DESEMPENHO AMBIENTAL

#### 4.3.1 Análise do conforto térmico

As medições foram realizadas nos dias 08/03/2017 e 28/04/2017, respeitando-se a recomendação da NBR 15575 (ABNT, 2013) de que o dia tomado para análises deve corresponder a um dia típico de verão ou de inverno, precedido por pelo menos um dia com características semelhantes. As tabelas que a NBR 15575 (ABNT, 2013) apresentam, com dados de dias típicos de verão e inverno das cidades brasileiras, contam com as temperaturas de pelo menos uma cidade de cada estado do Brasil, porém nenhuma cidade é próxima da região de estudo, com altitude de mesma ordem de grandeza e dentro da mesma região bioclimática. Devido a isso, foram utilizados como parâmetros de temperatura dados coletados no site do IAPAR; (a recomendação da norma é de que se utilize os dados climáticos da cidade mais

próxima, dentro da mesma região climática, com altitude de mesma ordem e grandeza).

Para a determinação da temperatura dos dias típicos de Pato Branco, foi adotado o valor máximo de temperatura entre os meses dezembro de 2014, janeiro e fevereiro de 2015 para o dia típico de verão; e o valor mínimo de temperatura entre os meses junho, julho e agosto de 2015 para o dia típico de inverno. A tabela 10 apresenta um comparativo entre as temperaturas de Curitiba – PR e Pato Branco – PR, sendo os dados de Curitiba apresentados pela NBR 15575 (ABNT, 2013) – cidade mais próxima de Pato Branco dentre as listas na norma – e os de Pato Branco coletados no site do IAPAR.

**Tabela 10 - Temperaturas típicas de Pato Branco e Curitiba**

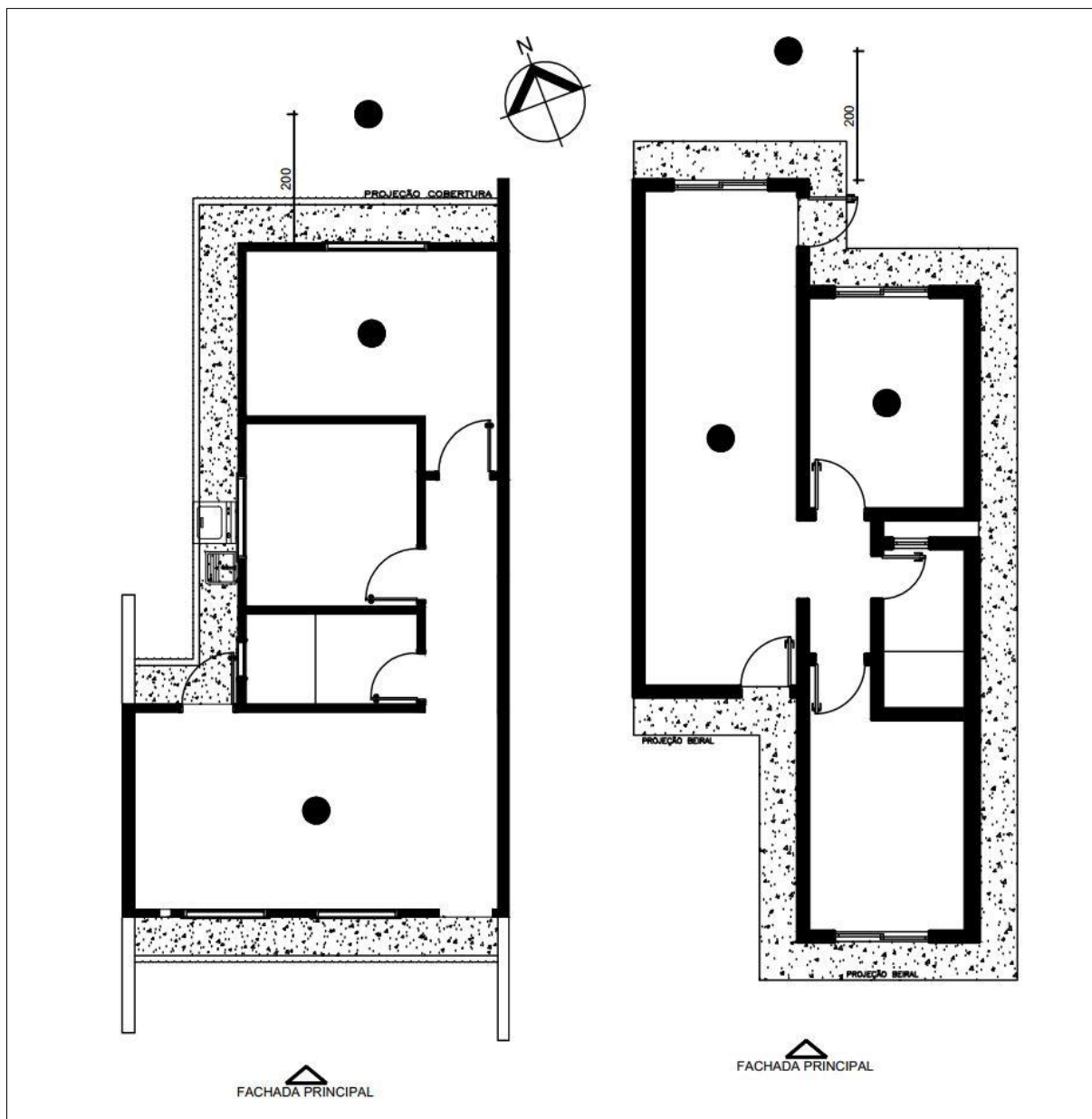
	Temperatura máxima diária	Amplitude Diária no verão	Temperatura mínima diária	Amplitude diária no inverno
Curitiba	31,4°C	10,2°C	0,7°C	11,6°C
Pato Branco	32°C	13,8 °C	5 °C	12,8 °C

Fonte: Autoria própria (2017).

Dos procedimentos para medições descritos pela NBR 15575 (ABNT, 2013), quando as medições são realizadas em uma única unidade habitacional, a temperatura de bulbo seco do ar deve ser medida no interior de dormitórios e salas, a 1,20 m de altura do piso, livre de interferências (como abertura de janelas e portas durante o período de medições) e fontes internas de calor (como lâmpadas, eletrodomésticos e pessoas). Tal condição foi garantida nas medições realizadas, já que ambas as casas estavam desocupadas e todas as aberturas se mantiveram fechadas durante o período de medições.

Os cômodos sala e quarto das duas residências se encontram em posicionamento semelhante, já que ambos os quartos têm fachada voltada para o norte, e ambas as salas tem uma das fachadas voltada para o sul. As interferências devido a edificações próximas e vegetações que possam obstruir a incidência de raios solares, também puderam ser consideradas iguais nas duas edificações em estudo já que as duas casas têm uma residência geminada ao lado esquerdo e uma residência muito próxima no lado direito, proporcionando condições semelhantes de exposição aos raios solares, conforme mostram as figuras 16 e 17 (página 52). A figura 26 representa a locação dos medidores nas duas casas, ilustradas pelos círculos

hachurados em preto nas plantas. Os medidores externos foram posicionados a 2 metros do fundo das casas, livres de interferência de vegetação ou edificações próximas.



**Figura 26 - Localização dos pontos para medição térmica**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**

O aparelho utilizado para a coleta das medições é o *Datalogger* de temperatura e umidade à prova d'água – AK 174 – da AKSO, como mostra a figura 27. A exatidão dos dados é de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  de temperatura e  $\pm 3\%$  para a umidade relativa. As medições vão de  $-30$  a  $85^{\circ}\text{C}$ , 0 a 100%UR, com resolução de  $0.1^{\circ}\text{C}$  e 0.1%UR, respectivamente.

Nas medições realizadas, foram medidos os valores de temperatura a cada 5 minutos, durante 24 horas.



**Figura 27 – Datalogger AK 174**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**

Para posicioná-los a 1,20 m do chão, os aparelhos externos foram posicionados através da utilização de protótipos confeccionados seguindo o modelo proposto por Fialho (2009), figura 28. Esse modelo permite maior precisão na medição da temperatura externa que registraria valores superiores ao real caso os *dataloggers* recebessem incidência direta de raios solares.



**Figura 28 – Protótipo para medição de temperatura externa**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**

#### 4.3.2 Análise do conforto acústico

Para a análise do conforto acústico das unidades habitacionais foram feitas medições *in loco* limitado a apenas sua influência em relação a área externa, para quantificar o parâmetro  $D_{2m,nT,w}$ , que mede a diferença padronizada de nível ponderada à 2 metros da fachada.

Para a leitura dos parâmetros necessários foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Decibelímetro da marca *DeltaOhm*® (Impac), modelo HD2010 UC, cuja especificações atendem os requisitos da ISO;
- Fonte sonora omnidirecional marca *Cespa* e modelo AP601;
- Calibrador da marca *DeltaOhm*® (Impac), modelo HD9101 *Class 1*;
- Software gerador de ruídos *NCH Tone Generator*.



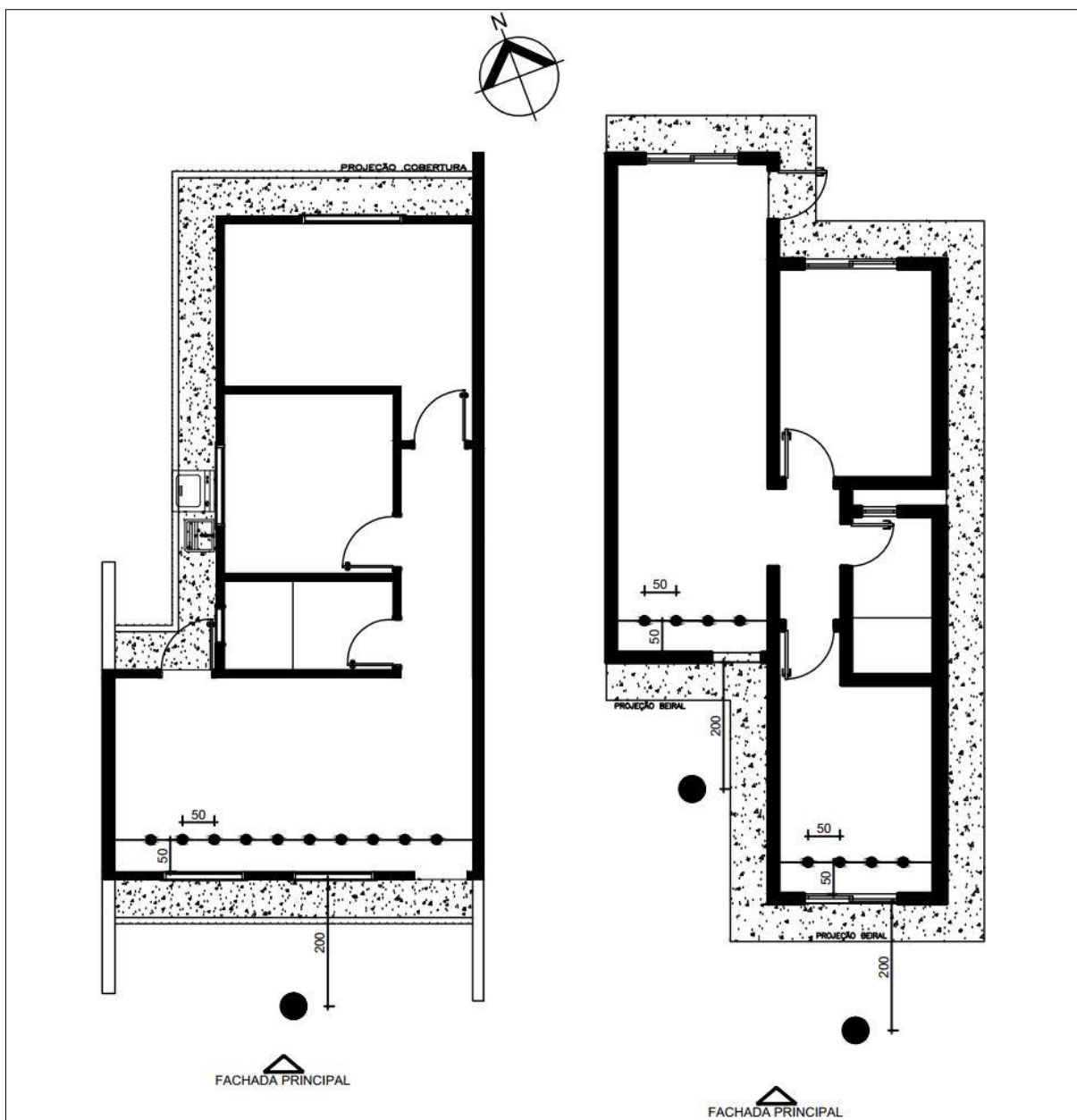
**Figura 29 - Equipamentos utilizados para medição acústica**  
Fonte: Autoria própria (2017).

Na figura 29, é possível ver os equipamentos instalados para medição na residência em LSF. A mesa de som é conectada ao software gerador de ruídos que emite um som que é transmitido através da fonte sonora também conectada à mesa de som. O decibelímetro, que pode ser visto no canto inferior esquerdo da figura, coleta os níveis de pressão sonora medidos através do microfone acoplado a este.

Os pontos onde foram locados o microfone para o ensaio a campo seguiram os prescritos pela norma ISO 16283-3 (ISO, 2014), espaçados internamente a cada 50



cm e também a 50 cm da fachada e paredes laterais. Na figura 30, as linhas pretas representam o eixo considerado para os pontos de aferição dos NPS internos das casas, e os círculos seus respectivos pontos locados, assim como o ponto tomado para medição da fonte emissora, a 2 metros da fachada, no centro de sua projeção.



**Figura 30 - Localização dos pontos coletados para medição acústica**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**

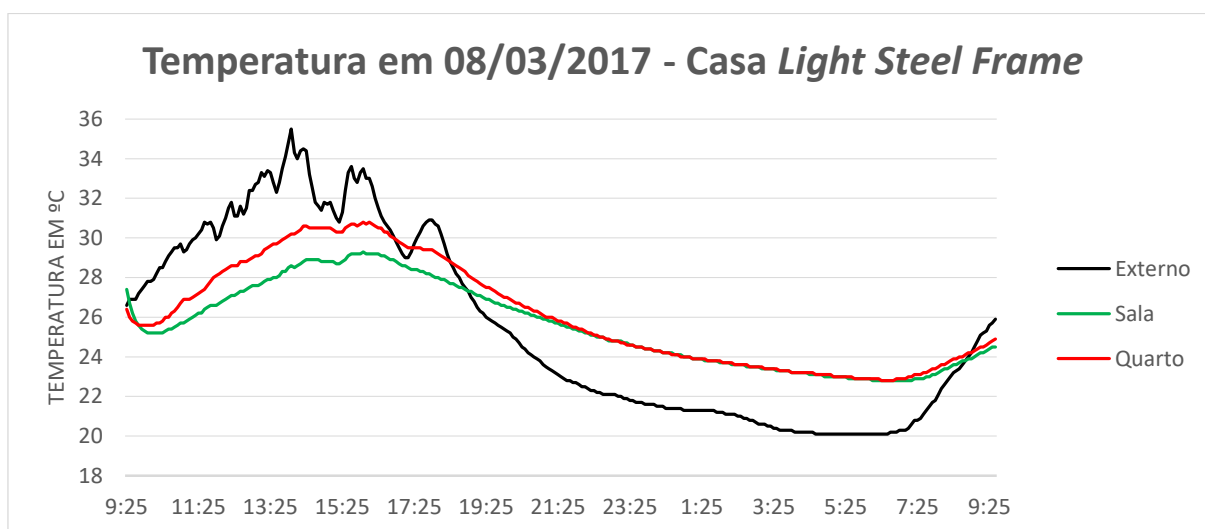
Conforme mostra a figura, para a casa em LSF foram distribuídos 10 pontos ao longo do comprimento da fachada, e para a casa de alvenaria foi necessário a divisão da fachada em 2 paredes externas, seguindo orientação da ISO 140-5 (ISO, 1998).

Atenta-se também para a área de absorção da fachada diferente (pé-direito menor), observado na figura 17 (página 52), que influenciará para o cálculo do tempo de reverberação. Para a obtenção do parâmetro  $D_{2m,nT,w}$  utilizam-se as fórmulas 1, 2 e 3 descritas no referencial do trabalho (páginas 45 e 46).

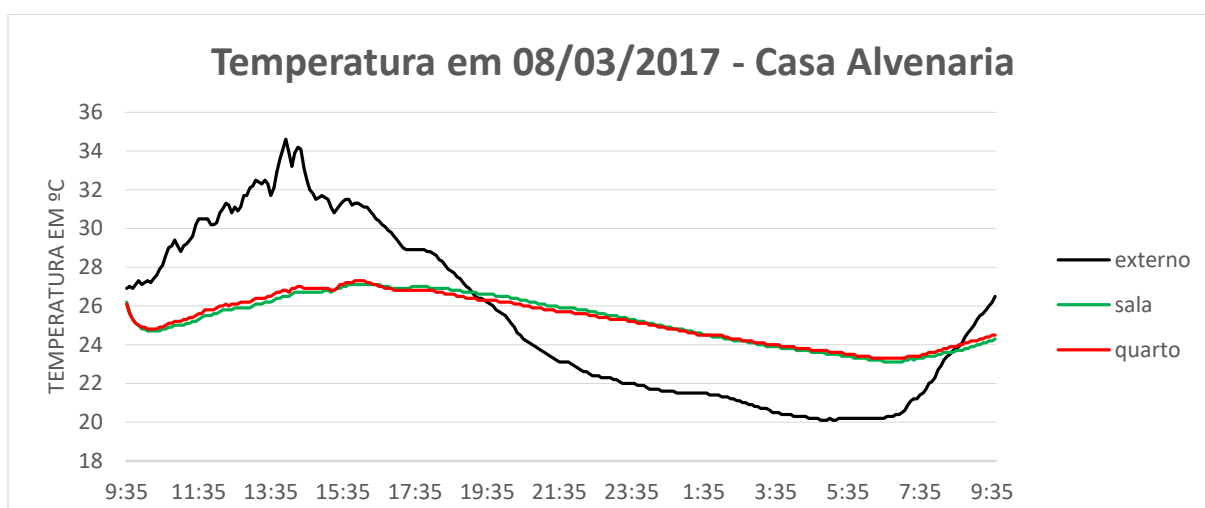
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 DESEMPENHO TÉRMICO

As medições de temperatura realizadas no dia 08/03/2017, na edificação construída em *Light Steel Frame* e alvenaria, tiveram como resultados os valores mostrados nos gráficos das figuras 31 e 32.



**Figura 31- Variações da temperatura (verão) - Casa em LSF**  
Fonte: Autoria própria (2017).



**Figura 32 - Variações da temperatura (verão) - Casa em alvenaria**  
Fonte: Autoria própria (2017).

Percebe-se que a sala e o quarto da edificação em *light steel frame* tiveram comportamento semelhante a partir das 7:25 P.M., quando os valores de temperatura externa começaram a decair. No período entre 9:25 A.M. e 7:25 P.M., a sala teve

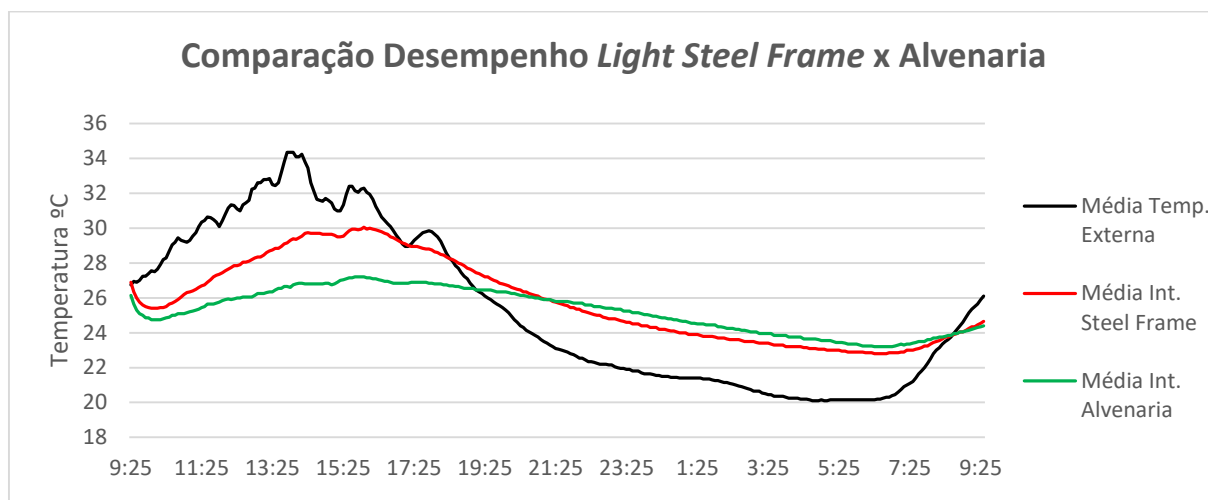
temperaturas internas inferiores ao quarto, fato que se justifica pela mesma estar voltada para o sul - em que a incidência de raios solares é menor que no quarto, que tem fachada norte e conseqüentemente uma exposição maior ao sol. Destaca-se que na sala há uma fresta abaixo da porta de entrada de aproximadamente 1,5 cm, e uma outra de aproximadamente 1 cm na porta de acesso aos fundos do lote. Tal fator possibilita um aumento da temperatura na sala. No quarto não houve interferência de fatores externos nas medições de temperatura.

No período mais quente do dia, próximo às 13:30 PM, a temperatura externa foi de 35,5°C, no quarto 30,2°C e na sala 28,6°C, a diferença entre a temperatura externa e interna foi de 5,3°C no quarto e 6,9°C na sala. Apesar de a temperatura externa ter variado bastante ao longo do dia, apresentando amplitude de 15,4°C, a temperatura interna manteve-se uniforme, com amplitude máxima de 8°C no quarto.

Na edificação em alvenaria, percebe-se uma menor variação na temperatura interna ao longo do dia, quando se comparando ao comportamento da edificação de *light steel frame*. A amplitude dos dados de temperatura externa é de 14,5°C, semelhante a edificação anterior, e da temperatura interna é de 4°C. Às 13:59 PM a temperatura externa foi de 34,6°C, sendo esta a mais alta do dia e aproximadamente 1°C inferior a temperatura registrada na edificação anterior; na sala a temperatura foi de 26,5°C e no quarto 26,8°C, sendo as diferenças de temperatura 8,1°C para o quarto e 7,8°C para a sala. A semelhança de desempenho entre o quarto e a sala pode ser explicada através da análise da planta da casa, em que o ambiente da sala tem uma das fachadas voltada para o sul e outra para o norte, enquanto o quarto tem fachada norte. Houve diferenças mais significativas em relação a temperatura externa e interna na edificação de alvenaria, e as temperaturas mantidas internamente à edificação estão dentro da faixa de temperaturas ideais para proporcionar conforto térmico considerando o uso de vestimentas normais de trabalho (23°C e 27°C), conforme Lamberts (2008). Na edificação em *light steel frame*, as temperaturas estão fora dessa faixa.

No gráfico comparativo entre a alvenaria e o LSF, ilustrado na figura 33, percebe-se que a alvenaria apresenta melhor desempenho nos horários em que a temperatura externa é mais elevada, chegando a apresentar uma temperatura 2,8°C mais baixa que a casa em LSF, às 4:15 PM, por exemplo. Isso deve-se ao fato de que a alvenaria, por ser um material mais pesado que o *light steel frame*, tem maior resistência à passagem de calor, gerando uma amplitude térmica menor ao longo do

dia, e temperaturas inferiores às do LSF, que é mais leve e permite a passagem do calor mais facilmente.



**Figura 33 - Comparação da variação térmica (verão) entre as residências**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**

Além disso, a utilização de manta térmica dupla na cobertura também justifica o desempenho superior da casa em alvenaria nos horários de maior temperatura externa, pois inibe a transmissão térmica devido à baixa emissividade de radiação e alta refletividade do material. Segundo a fabricante de telhas Tégula *apud* Voitille (2012), a utilização da manta térmica pode reduzir a temperatura em até 5°C no interior dos ambientes.

Após a diminuição da temperatura externa, ambas tiveram desempenho semelhante, mantendo a temperatura interna aproximadamente 5°C acima da externa, entre 23°C e 26°C.

De acordo com os níveis estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013), as duas edificações analisadas têm nível superior de desempenho, para temperaturas típicas de verão, conforme mostrado na tabela 11. Para verificar esses níveis de desempenho deve-se comparar a temperatura interna máxima com a temperatura externa máxima, e aquela deve ser menor que esta para atender ao nível mínimo de desempenho, exigido por norma. Para atender ao nível superior, a temperatura interna máxima deve ser menor que a temperatura externa máxima subtraindo-se 4°C.

Tabela 11 - Temperaturas típicas de Pato Branco e Curitiba (verão)

Nível de desempenho	Critério	Análise segundo a NBR 15.575	
	Zonas 1 a 7	Alvenaria	Steel frame
M	$T_{i,max} \leq T_{e, max}$	27,3<34,6	30,8<35,5
I	$T_{i,max} \leq (T_{e, max} - 2^{\circ}\text{C})$	27,3<32,6	30,8<33,5
S	$T_{i,max} \leq (T_{e, max} - 4^{\circ}\text{C})$	<b>27,3&lt;30,6</b>	<b>30,8&lt;31,5</b>

$T_{i, max}$  é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

$T_{e, max}$  é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior a edificação, em graus Celsius;

$T_{i, min}$  é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

Fonte: Autoria própria (2017).

Nas medições do dia 28/04/2017, adotadas como de inverno pelos padrões da norma, a temperatura mais baixa registrada foi de 6.9°C, entre as 6:40 e 7:10 A.M. Os gráficos das figuras 34 e 35 apresentam os resultados de medições de temperatura nas edificações de alvenaria e *light steel frame*, em um dia típico de inverno.

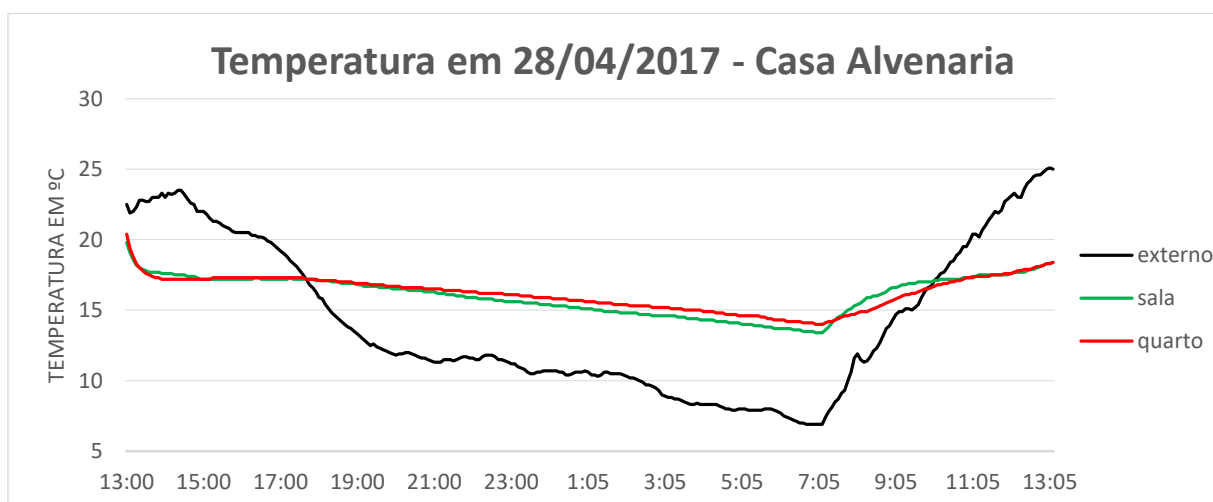


Figura 34 - Variações da temperatura (inverno) - Casa em alvenaria  
Fonte: Autoria própria (2017).

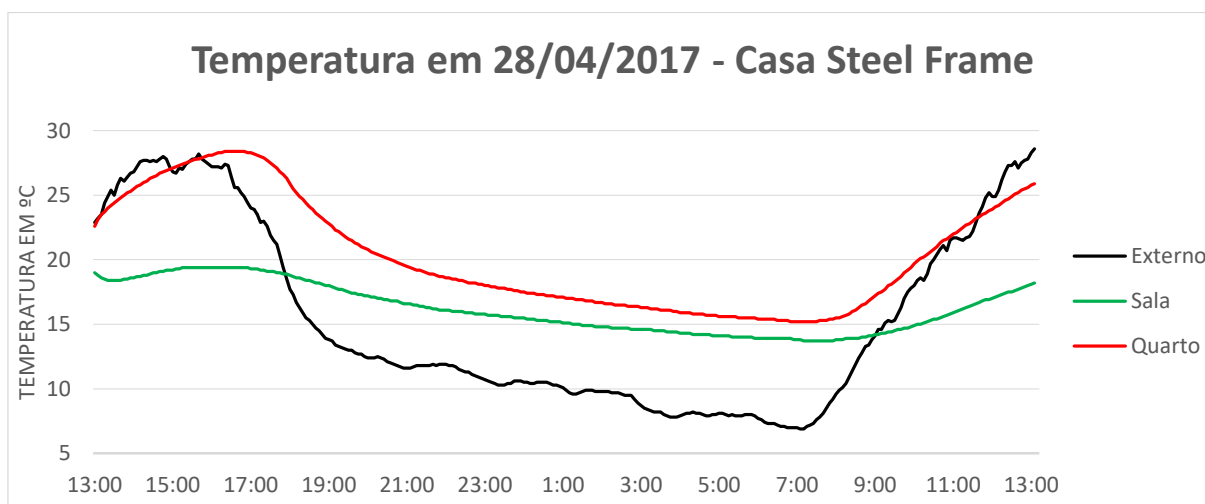


Figura 35 - Variações da temperatura (inverno) - Casa em LSF  
Fonte: Autoria própria (2017).

O quarto da edificação em *light steel frame* tem desempenho significativamente melhor, mantendo a temperatura com mais de 5°C do que a sala durante entre os horários de 1:00 PM às 5:35 PM, horário de maior incidência solar na face norte da edificação. A expressiva diferença de temperatura, que pode ser determinante no uso de ar condicionado, demonstra a importância de se posicionar cômodos de permanência prolongada com orientação favorável as características locais do clima. Às 7:05 AM a temperatura externa registrada foi de 6,9°C, a mínima do dia; e a temperatura no quarto foi de 15,2°C e na sala de 13,8°C, apresentando de diferença de 8,3°C no quarto e 6,9°C na sala.

Na construção de alvenaria, das 9:15 A.M. às 5:35 P.M., o desempenho no interior da edificação não atende ao critério de desempenho mínimo. Às 12:55 P.M. a temperatura externa é 6.2°C maior que a temperatura interna. Neste caso pode-se entender pelo mesmo motivo citado anteriormente, de que a alvenaria por ser um material mais pesado, dificulta a passagem de calor, mantendo temperatura constante ao longo do dia. A temperatura mínima registrada foi de 6,9°C às 7:02AM, no quarto, nesse horário, a temperatura foi de 14°C e na sala 13,4°C, as diferenças são de 7,1°C e 6,4°C.

O gráfico comparativo de temperaturas entre os dois sistemas construtivos, nesse caso, não é representativo, pois a temperatura utilizada para comparação é uma média entre as temperaturas da sala e do quarto, e na residência de *light steel frame* houve variação significativa entre tais dados.

A tabela 12 traz a comparação entre os valores de desempenho impostos pela norma e os valores medidos. Conclui-se que ambas edificações têm desempenho intermediário.

**Tabela 12 - Temperaturas típicas de Pato Branco e Curitiba (inverno)**

Nível de desempenho	Critério	Análise segundo a NBR 15.575	
	Zonas 1 a 7	Alvenaria	Steel frame
<b>M</b>	$T_{i,min} \geq (T_{e, min} + 3^{\circ}\text{C})$	13,4>9,9	13,7>9,9
<b>I</b>	$T_{i,min} \geq (T_{e, min} + 5^{\circ}\text{C})$	<b>13,4&gt;11,9</b>	<b>13,7&gt;11,9</b>
<b>S</b>	$T_{i,min} \geq (T_{e, min} + 7^{\circ}\text{C})$	13,4>13,9	13,7>13,9

$T_{i, min}$  é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

$T_{e, min}$  é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior a edificação, em graus Celsius;

NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3

**Fonte: A autoria própria (2017).**

Verifica-se assim no decorrer do trabalho que a NBR 15575 (ABNT, 2013), por ser uma norma recente, tem algumas melhorias a serem feitas. A recomendação de se utilizar dados de cidades próximas, dentro da mesma região climática e com altitude da mesma ordem e grandeza, é impossível de ser seguida já que nas tabelas não consta nenhuma cidade dentro das zonas bioclimáticas 2 e 5. Também percebe-se que o nível de desempenho atingido nem sempre é representativo, pois considera somente a temperatura mínima interna e externa, e não analisa o comportamento térmico ao longo do dia; na casa de alvenaria a temperatura interna manteve-se menor que a externa ao longo do dia, e mesmo assim atingiu nível intermediário de desempenho.

Soluções simples como a vedação das frestas das portas e janelas podem ser adotadas nas duas edificações para a melhoria do desempenho. O uso de manta térmica e de materiais leves na cobertura permite que os raios solares não percam o calor produzido internamente no inverno, e da mesma forma, evitam no verão o aumento da temperatura interna da incidência dos raios solares. O uso de ventilação cruzada e o adequado sobreamento das aberturas permite uma melhoria no desempenho térmico no verão. Ainda segundo Medeiros et al (2014), soluções como a utilização de cores claras nas fachadas, criação de áreas de paisagismo, prever a proteção solar das fachadas e caixilhos de grandes vãos aliando ao uso de perfis com barreiras de fluxo térmico (no caso das edificações de *light steel frame*) e vidros especiais, podem gerar ambientes livres do uso de condicionamento artificial. Na escolha do uso dos vidros, segundo Medeiros et al (2014), tem-se o interesse em poder controlar a incidência de luz visível diminuindo o uso de luz artificial e barrando a parcela de luz infravermelha irradiada do sol; para tanto, algumas soluções são possíveis com o uso de vidros de controles solar como os refletivos e de baixa-emissividade, sendo que os de baixa emissividade tem a vantagem de permitir maior transmissão luminosa.

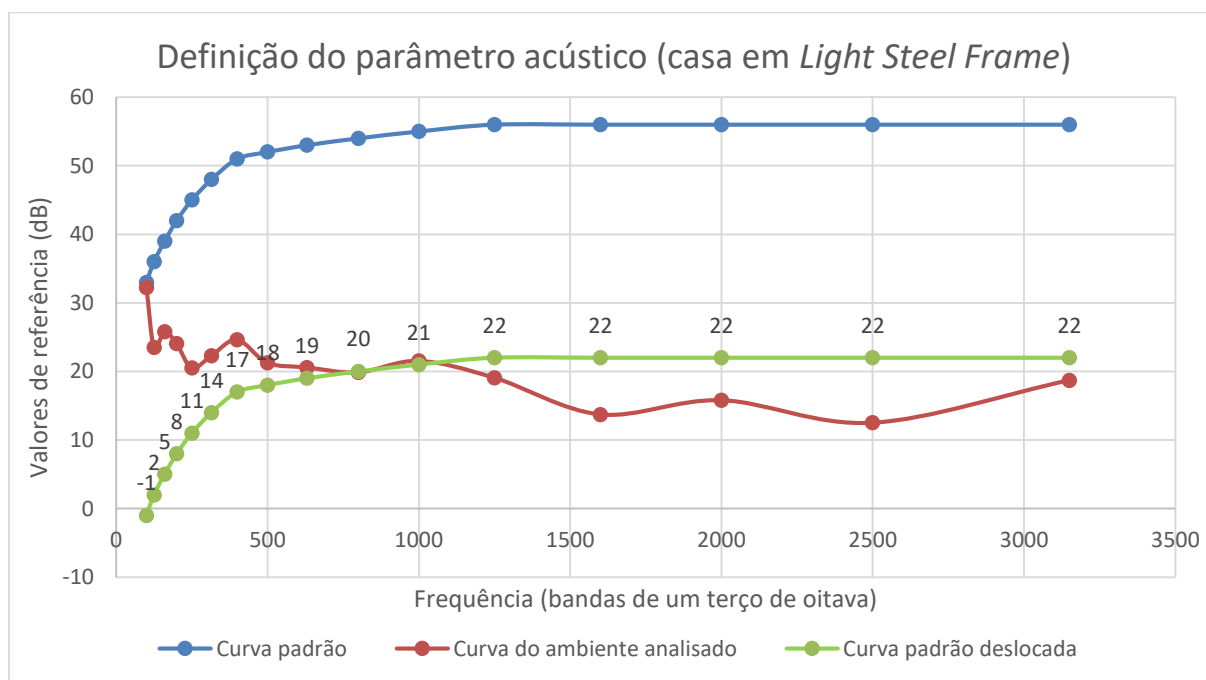
Apesar de tradicionalmente se pensar que materiais de grande massa e densidade são os melhores isolantes, isso não se verifica no *light steel frame*, que apesar de ser leve apresenta condições satisfatórias de desempenho. Os princípios de isolamento termo-acústico no *light steel frame* baseiam-se em conceitos mais atuais de isolamento multicamada, que consiste em combinar placas leves de fechamento afastadas, formando um espaço entre os mesmos, preenchido por material isolante (lã mineral). Nesse aspecto, diversas combinações podem ser feitas



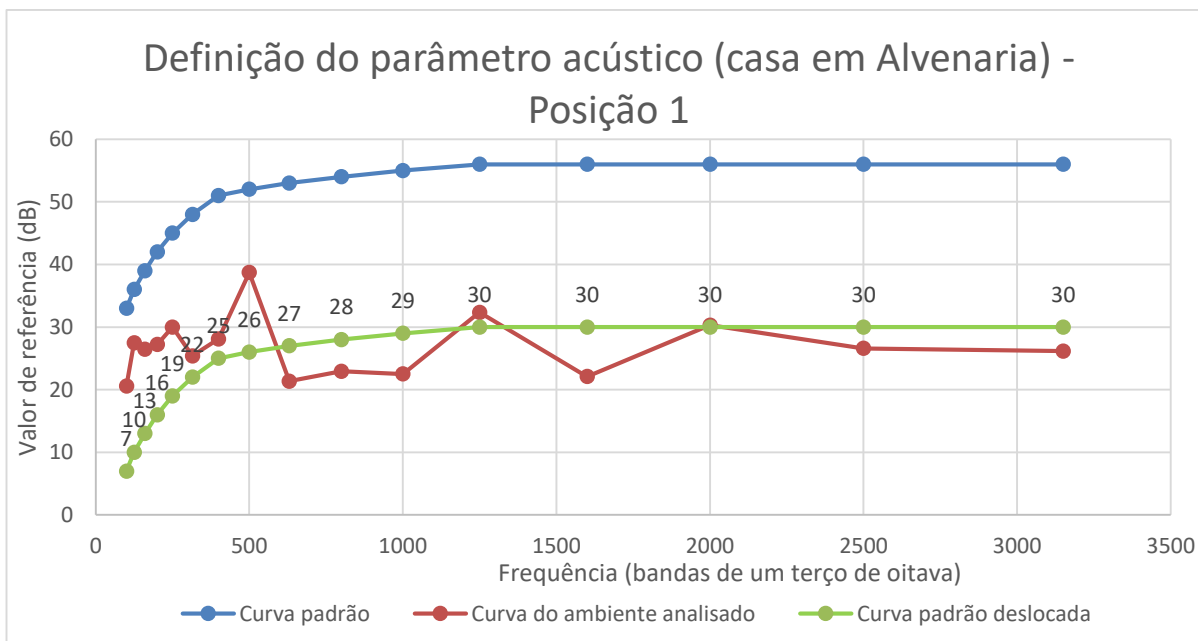
a fim de aumentar o desempenho do sistema, através da colocação de mais camadas de placas ou aumentando a espessura da lã mineral.

## 5.2 DESEMPENHO ACÚSTICO

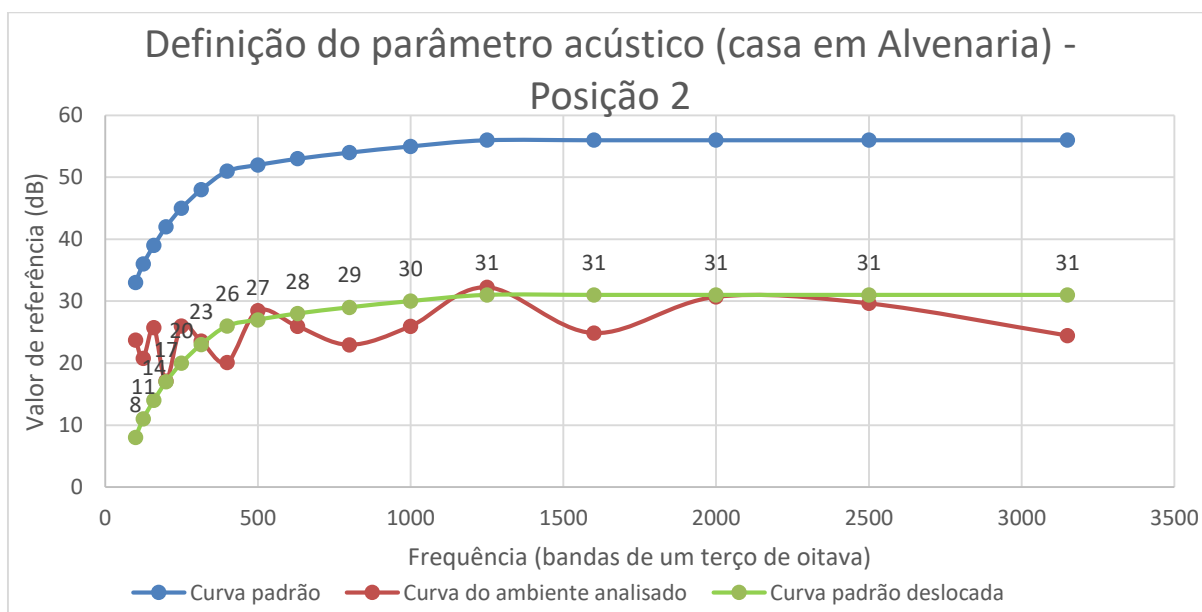
Para compreender melhor os resultados, as cadernetas de anotação das medições *in situ*, onde constam os níveis de pressão sonora medidos, estão apresentados no Anexo A. Estes expressam os níveis de pressão sonora (NPS) específicos de cada ponto alocado, e são utilizados para o cálculo do parâmetro avaliativo da NBR 15575 (ABNT, 2013),  $D_{2m,nT}$ , obtido após a realização dos cálculos regulamentados pelas normas internacionais discutidas. As figuras 36, 37 e 38 apresentam os gráficos gerados a partir das medições a campo, e o valor de  $D_{2m,nT}$  é o valor da curva padrão deslocada (cor verde) na frequência de 500 Hz, apresentados na tabela 13.



**Figura 36 - Definição do  $D_{2m,nT}$  (casa em LSF)**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**



**Figura 37 - Definição do  $D_{2m,nT}$  (casa em alvenaria) – Posição 1**  
Fonte: Autoria própria (2017).



**Figura 38 - Definição do  $D_{2m,nT}$  (casa em alvenaria) – Posição 2**  
Fonte: Autoria própria (2017).

**Tabela 13 - Parâmetros acústicos dos sistemas construtivos analisados**

	$D_{2m,nT}$ (isolado) [dB]	$D_{2m,nT}$ (global) [dB]
LIGHT STEEL FRAME	-	<b>18</b>
ALVENARIA	<b>26 (Posição 1)</b>	<b>26</b>
	<b>27 (Posição 2)</b>	

Fonte: Autoria própria (2017).

Os valores expressos na tabela 13 foram tomados a partir das especificações da norma ISO 717-1 (ISO, 2013), que orienta comparar os resultados obtidos através das medições in loco com os valores de referência para bandas de um terço de oitava, pré-definidos na norma. Esta comparação é feita deslocando a curva padrão de 1 em 1 dB, de forma que a soma dos desvios desfavoráveis, ou seja, a área compreendida entre a curva vermelha e a curva verde dos gráficos, for a maior possível, mas que não ultrapasse a 32 dB. As somas dos desvios foram 30 dB, para a casa em LSF, e 32 dB, para a casa em alvenaria (ambas posições). Atendido este critério, adota-se como a Diferença Padronizada de Nível Ponderada à 2 m de distância da fachada,  $D_{2m,nT}$ , como o valor desta curva deslocada na banda de frequência de 500 Hz, sendo estas mostradas na tabela 13.

Nota-se uma grande diferença dos parâmetros acústicos dos dois sistemas. Os resultados definidos na tabela podem ser comparados com os parâmetros de avaliação da norma de desempenho, definidos na tabela 9 (página 55) e resumidos na tabela 14, para classificá-los.

**Tabela 14 - Resumo dos parâmetros acústicos medidos**

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT}$ [dB]	Nível de desempenho	Alvenaria convencional	Light Steel Frame
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	$\geq 20$	M		não atende (17 dB)
		$\geq 25$	I	26 dB	
		$\geq 30$	S		

Fonte: Autoria própria (2017).

Os dois sistemas encontram-se em local classificado como classe de ruído I, definido por ter habitações localizadas distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas. Para a casa construída em alvenaria, o desempenho acústico alcançou nível intermediário. Já para o sistema construído em *light steel frame*, a diferença padronizada de nível ponderado não foi o suficiente para satisfazer o nível mínimo regulamentado por norma, que é de 20 dB.

Esta disparidade entre o desempenho das edificações revela importantes pontos a respeito dos métodos construtivos utilizados. Inicialmente, acreditava que ambos os sistemas iriam atingir níveis adequados de desempenho, uma vez que o valor do nível mínimo exigido pela NBR 15575 (ABNT, 2013) é significativamente inferior ao nível mínimo exigido por normas internacionais, tendo como exemplo o

RRAE (*Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios*), sob vigência em Portugal, que utiliza o mesmo parâmetro avaliado na norma nacional,  $D_{2m,nT,w}$ , e estabelece como desempenho mínimo 33 dB para fachadas de residências em zonas habitacionais (OLIVEIRA FILHO, 2014) – contrapondo o nível mínimo de 20 dB exigido pela NBR 15575 (ABNT, 2013). Contudo, observa-se que não foi possível atingir o nível mínimo adequado para a construção em LSF.

Como apresentado nas referências, diversos autores destacam a relevância da influência de frestas no desempenho acústico global de uma fachada. Aqui, destacamos as figuras 23, 24 e 25 (página 58) que apresentam as frestas e flancos existentes na porta de entrada e uma grande abertura no canto inferior esquerdo, destinada a escoar as águas pluvias, da fachada em *light steel frame*. Estas falhas construtivas abrem espaço para passagem do som, inviabilizando resultados expressivos do sistema construtivo em si, como os valores apresentados por Luca (2015) na figura 10 (página 37). A abertura existente para o escoamento de água pluvial é talvez o fator mais crítico para o desempenho acústico, uma vez que foi possível constatar a passagem do ar entre o painel de vedação da fachada e seu interior, impedindo total vedação da estrutura interna, o que acarreta em criações de pontes acústicas para o ambiente interno.

Outro fator que ajuda na redução do isolamento acústico encontrado na residência em LSF é a quantidade de área de aberturas sobre a área total da fachada. Comparando as duas edificações, a casa em alvenaria possui uma área de aberturas de 29% da área total da fachada contra 35% na casa em LSF. Tanto a porta quanto as janelas, representam reduções significativas no desempenho acústico de uma fachada, devido as densidades destes materiais, que são muito mais baixas que o sistema construtivo em si e sem nenhum material absorvente. As janelas, por serem do modelo de correr, facilita a entrada do som entre os trilhos inferior e superior de cada janela, e entre as folhas. As janelas são de vidro temperado, não possuindo película ou outro material absorvente para ganho de isolamento.

Ao passo que a residência em *steel frame* obteve desempenho insatisfatório, a casa em alvenaria obteve índice superior ao mínimo, classificando-se no nível intermediário. O primeiro fator que pode explicar a diferença de desempenho entre os sistemas é a porta de entrada, que mesmo possuindo fresta em seu interior, possui material de maior densidade na casa em alvenaria – 650 kg/m<sup>3</sup> (*canela-açoita*) e 520 kg/m<sup>3</sup> (*cedrinho*), valores tomados do banco de dados do IPT (NAHUZ et al., 2013) –

contribuindo para um melhor isolamento. Destaca-se também a utilização de espuma expansível entre o batente e guarnição da porta, uma vedação eficiente para evitar flancos no entorno desta.

O recorte da fachada na residência em alvenaria também auxilia no isolamento acústico, explicado pelo fenômeno da difração (SILVA, 2005), em que expressa a capacidade da onda sonora em contornar obstáculos, perdendo intensidade e mudando de direção em cantos de parede, por exemplo. Além disso, a altura da fachada recortada do lado esquerdo é maior do que a do lado direito (3,90 m), o que explica a posição 2 ter desempenho melhor de 1 dB em relação a posição 1.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo desse trabalho foi verificar o comportamento de duas edificações localizadas em um mesmo local, com aproximadamente o mesmo valor de venda, utilizando o mesmo padrão de aberturas, ambas com cores claras e construídas em dois sistemas construtivos diferentes (alvenaria convencional e *light steel frame*), quanto ao seu conforto termo-acústico e determinar seu desempenho em conformidade com as exigências impostas pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

Considerando as temperaturas típicas de verão, ambos sistemas atenderam o nível superior estabelecido em norma, e de inverno, ambos atenderam o nível intermediário. Mais especificamente, para a análise do desempenho térmico no inverno, o *light steel frame* demonstrou ser um sistema construtivo mais vantajoso que a alvenaria para o estudo de caso, na zona bioclimática 2. Isso deve-se ao fato que nessa região as temperaturas de inverno são mais críticas que as de verão, e o *light steel frame* tem desempenho consideravelmente melhor que a alvenaria no inverno, e semelhante no verão, demonstrado na figura 35 (página 68) pela variação da temperatura registrada ao longo do dia. Desta forma, é possível afirmar que o sistema LSF possui melhor desempenho em manter a temperatura interna constante do que a casa em alvenaria.

Na zona bioclimática 2, em que Pato Branco é localizado, as estratégias construtivas de condicionamento passivo para o verão permitem desempenho superior nas duas residências, e isso verifica-se ao longo do dia nos dados analisados. Já para o inverno, a norma prevê que as soluções passivas não são suficientes e que há necessidade de climatização artificial, essa necessidade evidencia-se na edificação de alvenaria, que mantém a temperatura interna consideravelmente mais baixa que a externa durante o dia.

Por meio da análise do desempenho térmico das residências, foi possível perceber que a orientação solar da fachada é um fator essencial para a distribuição dos cômodos da casa, tendo maior influência em residências construídas em LSF, como foi possível evidenciar no quarto da unidade em LSF, que para temperaturas de inverno, conseguiu manter a temperatura 5°C maior que na sala, por conta da incidência do sol no período da tarde.

Nas observações acústicas, porém, não foi possível obter um nível satisfatório para a residência em LSF, enquanto a casa em alvenaria obteve nível intermediário,

ressaltando a importância da qualidade da mão de obra e dos materiais em sua execução, uma vez que a fachada têm detalhes construtivos que comprometem a barreira do som. Atenta-se ainda para o fato de que normas internacionais apresentam níveis mínimos superiores ao mesmo parâmetro da norma brasileira de desempenho. Infelizmente, para habitações populares, não é comum da parte dos construtores dar atenção a um projeto detalhado de conforto acústico, prevendo materiais de abertura de melhor desempenho ou até mesmo reparações que interferem no isolamento acústico no interior de uma residência, mesmo com a grande gama de materiais disponíveis no mercado que ajudam a atender níveis melhores de desempenho.

Ressalta-se também a importância no tratamento de juntas, frestas e sistemas de vedações nas esquadrias, que influenciam e podem reduzir significativamente o isolamento acústico entre ambientes. A utilização de borrachas ou rebaixos no perímetro inferior das portas para garantir a estanqueidade do som, bem como a utilização de bandas acústicas, e de materiais absorventes nos caixilhos e perfis ociosos, garantem a eficiência do conforto acústico dos sistemas construtivos, práticas não observadas em residências de baixo padrão.

Em uma análise global dos sistemas, a construção em *Light Steel Frame* mostrou superioridade no conforto térmico para temperaturas baixas em relação a construção em alvenaria. Em contrapartida, esta disparidade não é a mesma quando comparado o desempenho acústico, que expressa valores insatisfatórios para a residência em LSF, ocasionadas pelas imperfeições construtivas, uma vez que a casa em alvenaria convencional apresentou melhores condições de vedação e da qualidade dos materiais utilizados.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No decorrer desta pesquisa observaram-se possíveis temas a serem desenvolvidos em trabalhos futuros, que podem colaborar com o entendimento dos resultados já encontrados e coletar novas informações considerando outras variáveis; são eles:

- Avaliação do desempenho térmico de protótipos ou de cômodos construídos em *light steel frame* sem a interferência de janelas e/ou portas;
- Análise do desempenho acústico em cômodos construídos em alvenaria e *light steel frame* e sem a interferência de janelas e/ou portas;
- Análise do conforto acústico entre residências geminadas;
- Avaliação do ganho do conforto termo-acústico com a adição de bandas termo-acústicas nos perfis em *light steel frame*;
- Análise da recuperação do conforto acústico em residências com a adição de materiais de vedação em frestas e folgas em esquadrias;
- Análise da perda do desempenho termo-acústico pela influência de falhas construtivas.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220:** Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270:** Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575:** Edifícios habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

AECWEB. **Caixilhos acústicos, barreira cara e eficiente.** Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/caixilhos-acusticos-barreira-cara-e-eficiente\\_2041\\_10\\_0](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/caixilhos-acusticos-barreira-cara-e-eficiente_2041_10_0)>. Acesso em: 02 maio 2017.

AFRAN, Silvana. **Muito além da audição.** Boletim do Vidro. GlassecViracon, ed. 45, abr. 2017. Disponível em: <[http://www.proacustica.org.br/assets/files/Clipping/Muito-alem-da-audicao\\_BoletimdoVidro\\_abr.17.pdf](http://www.proacustica.org.br/assets/files/Clipping/Muito-alem-da-audicao_BoletimdoVidro_abr.17.pdf)>. Acesso em: 02 mai. 2017.

ALFONSI CONSTRUÇÕES. **Flickr: Alfonsi Construções.** Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/alfonsiconstrucoes/albums/with/7215766766403204>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

ASHRAE. **Handbook of fundamentals.** American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Atlanta, 1997.

BEZERRA, Bruna Ravanna Gomes. **Estudo de caso: utilização do “light steel framing” nas construções mossoroenses.** 2013. 41 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2013. Disponível em: <[http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/232/TCC\\_Bruna\\_2.pdf](http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/232/TCC_Bruna_2.pdf)>. Acesso em: 01 jun. 2017.

BRASIL. **Direito à moradia adequada.** Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.sdh.gov.br/assuntos/bibliotecavirtual/promocao-e-defesa/publicacoes-2013/pdfs/direito-a-moradia-adequada>>. Acesso em: 01 jun. 2017.

BORGES, Raphael M. **Análise do desempenho térmico e acústico de unidades habitacionais construídas no conjunto habitacional Benjamin José Cardoso em Viçosa – MG.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2013.

CARASEK, H. **Argamassas.** In: Geraldo C. Isaia (Org./ Ed.). Livro Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 1ed. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 2. Cap. 26.

CARVALHO, Maria Luiza de Ulhôa; MACIEL, Cândida de Almeida; CALIXTO, Junqueira. **Avaliação do isolamento acústico de portas de alta densidade com**

**melhorias na vedação das frestas.** ENTAC 2006: A construção do futuro. Florianópolis, p. 3142-3151. ago. 2006.

CARVALHO, R.C.; FIGUEIREDO FILHO, J.R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado.** 4. Ed. São Carlos: EdUFSCar, 2015.

FERREIRA, José Augusto Coelho. **Avaliação Acústica de residências: Resultados medidos e simulados.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte:** Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira. 2009. 248 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2009.

FRANZEN, Fabiani Pereira. **Análise do desempenho térmico e acústico de vedações verticais externas executadas em *light steel framing*.** 2015. 148 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

FRONTER (Pato Branco). **Residência FT 02 - LSF (*Light Steel Frame*).** 2016. Disponível em: <[http://www.fronter.eng.br/det\\_obras.php?obras=79](http://www.fronter.eng.br/det_obras.php?obras=79)>. Acesso em: 22 nov. 2016.

FROTA, Anésia B.; SCHIFFER, Sueli R. **Manual de Conforto térmico.** 6 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit Habitacional no Brasil: 2013 – 2014.** Belo Horizonte, 2016.

GERGES, Samir N. Y. **Ruído: fundamentos e controle.** 2 ed. Florianópolis: NR Editora, 2000.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HALLIDAY, David; WALKER, Jearl; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica.** 2. v. 3. ed. São Paulo: LTC, 2003.

INTERNATIONAL STANDARTIZATION ORGANIZATION – ISO. **ISO 10140: Acoustics – Laboratory Measurement of sound insulation of building elements.** Geneva, 2010.

INTERNATIONAL STANDARTIZATION ORGANIZATION – ISO. **ISO 140: Acoustic – Measurement of sound insulation in building and of building elements.** Geneva, 1998.

INTERNATIONAL STANDARTIZATION ORGANIZATION – ISO. **ISO 16283: Acoustics – Field Measurement of sound insulation in buildings and of buildings elements.** Geneva, 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **ISO 6241: Performance Standards in building – Principles for Their Preparation and Factors to Be Considered**. Geneva, 1984.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **ISO 717-1: Acoustics -- Rating of sound insulation in buildings and of building elements**. Geneva, 2013.

ISOVER SAINT GOBAIN. **Como o som age sobre o corpo humano**. Disponível em: <<http://confortoacustico.com.br/tudo-sobre-som-e-acustica/som-sobre-o-corpo-humano/>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

LAMBERTS, Roberto. **Conforto e Stress Térmico**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

LAMBERTS, Roberto, *et al.* **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. PW Editores, São Paulo, 1997.

LAPA, César; SAIDEL, Marco Antonio; DI SANTO, Katia Gregio. **Importância da medição de energia para a eficiência energética**. São Paulo, Lumière, n. 149, p. 64-72, 2010.

LUCA, Carlos R. de. **Desempenho acústico em sistemas *drywall***. 2. ed. São Paulo, SP, 23 p., 2015.

MEDEIROS, Jonas Silvestre et al. **Tecnologias de vedação e revestimento para fachadas**. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil / CBCA, 2014.

NAHUZ, Marcio Augusto Rabelo et al. **Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil**. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2013.

NAKAMURA, Juliana. **Debate: conforto termoacústico em residências**. Revista Arquitetura e Urbanismo (aU). [on-line]. Edição 263, fevereiro 2016. Disponível em: <<http://www.au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/263/artigo367982-4.aspx>>. Acesso em 02 mai. 2017.

OLIVEIRA FILHO, Marcus Vinícius Manfrin de. **Ruído ambiental: avaliação acústica de edificações em Curitiba – PR**. 2014. 151 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

PALATNIK, Sidnei. **Steel Framing - Versatilidade na Construção Industrializada**. Belo Horizonte: Encontro Nacional da Indústria da Construção, 2012. Color. Disponível em: <[http://www.cbic.org.br/sites/default/files/4Steel\\_Frame\\_Sidnei\\_Palatnik\\_Comat\\_84ENIC.pdf](http://www.cbic.org.br/sites/default/files/4Steel_Frame_Sidnei_Palatnik_Comat_84ENIC.pdf)>. Acesso em: 22 nov. 2016.

POLLI, Taiana. **O isolamento acústico comparado aos investimentos financeiros em edifícios multifamiliares de Florianópolis**. 2007. 94 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

PORTAL PLANALTO. **Setor da construção civil aposta em crescimento e geração de empregos com mudanças no MCMV**. Disponível em: < <http://www2.planalto.gov.br/acompanhe-planalto/noticias/2017/02/setor-da-construcao-civil-aposta-em-crescimento-e-geracao-de-empregos-com-mudancas-no-mcmv>>. Acesso em: 30 mai. 2017.

PMPB, Prefeitura Municipal de Pato Branco. **Informações Gerais**. Disponível em: <<http://www.patobranco.pr.gov.br/o-municipio/informacoes-gerais/>>. Acesso em: 28 nov. 2016.

RUAS, Álvaro C. Conforto Térmico em Ambientes de Trabalho, 1999. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br/biblioteca/bibliotecadigital/publicacao/detalhe/2011/6/conforto-termico-nos-ambientes-de-trabalho>>. Acesso em: out. 2016.

SALES, Urânia Costa. **Mapeamento dos problemas gerados na associação entre sistemas de vedação e estrutura metálica e caracterização acústica e vibratória de painéis de vedação**. 2001. 249 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001.

SANTIAGO, Alexandre Kokke; FREITAS, Arlene Maria Sarmanho; CASTRO, Renata Cristina Moraes. **Manual de construção em aço Steel Framing: Arquitetura**. 2. ed. 2012.

SANTIAGO, Alexandre Kokke. **O uso do sistema *Light Steel Framing* associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não-estrutural**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2008. 153p.

SANTOS, Altair. **Saiba por que Minha Casa Minha Vida não pode acabar**. 2016. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/minha-casa-minha-vida-nao-pode-acabar/>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVA, M. G.; SILVA, V. G. **Painéis de Vedação**. Série Manuais da Construção em aço. 2. ed. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2004.

SILVA, P. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar**. 5 ed. Belo Horizonte: EDTAL, 2005.

SILVA, Pedro C. **Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em VisualDOE**. Minho, Universidade do Minho, 2006. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/18-22/6258/8/8%20%20Capitulo3.pd>>. Acesso em out. 2016.

SILVA, Tais L.; ALMEIDA, Vitor C. **Influência do calor sobre a saúde e desempenho dos trabalhadores.** 2010. Disponível em: <<http://www.dep.uem.br/simepro/4/files/artigos/1283095871.pdf>>. Acesso em: out. 2016.

SIMÕES, Flávio Maia. **Acústica Arquitetônica.** Rio de Janeiro: Procel Edifica, 2011.

THOMAZ, Ercio et al. **Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2009.

VOITILLE, Nadine. **Manta Térmica para Telhados.** 2012. Disponível em: <<http://www.cliquearquitetura.com.br/artigo/manta-termica-para-telhados.html>>. Acesso em: 25 maio 2017.

## ANEXO A

São apresentados a seguir, as cadernetas de anotação dos pontos locados nas residências ensaiadas para o desempenho acústico conforme norma, bem como a diferença de nível sonoro ponderado de cada frequência.

- Residência em *Light Steel Frame*

FREQUÊNCIA (Hz)	Fonte emissora a 2 m da fachada (dB) - EXTERNO	Pontos receptores da casa em <i>Light Steel Frame</i> (dB) - INTERNO										Média dos pontos receptores (dB)	D2m,Nt
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		
100	91	54	55	58	56	58	49	62	68	66	65	59	32
125	99	78	75	80	65	79	77	69	80	78	75	75	23
160	99	75	60	71	76	72	74	79	76	77	79	74	26
200	96	73	77	79	76	64	69	76	71	72	66	72	24
250	90	67	65	64	76	70	71	74	66	77	69	70	21
315	91	64	73	70	68	78	76	65	71	69	59	69	22
400	91	64	66	68	59	60	70	74	68	73	68	67	25
500	90	68	71	67	69	67	66	75	69	67	67	69	21
630	90	69	74	64	65	72	58	76	73	70	71	69	21
800	90	67	70	73	73	72	68	70	77	75	59	70	20
1000	84	65	60	69	63	59	61	64	54	66	67	63	22
1250	85	70	68	66	61	68	65	67	67	67	62	66	19
1600	83	73	65	77	66	69	72	62	69	70	71	69	14
2000	85	69	62	75	64	74	67	72	75	68	71	70	16
2500	78	59	69	59	71	64	66	66	64	67	68	65	13
3150	85	69	69	71	64	69	66	71	63	61	59	66	19

- Residência em Alvenaria Convencional – Posição 1 (P1)

FREQUÊNCIA (Hz)	Fonte emissora a 2 m da fachada (dB) - EXTERNO (P1)	Pontos receptores da casa em alvenaria (dB) - INTERNO (P1)				Média dos pontos receptores (dB)	D2m,Nt
		P1	P2	P3	P4		
100	91	71	68	68	72	70	25
125	99	71	80	83	83	81	22
160	104	78	82	80	82	81	27
200	94	79	80	82	75	80	19
250	98	70	76	80	73	74	28
315	92	64	78	65	76	71	25
400	95	67	79	76	79	77	22
500	96	59	71	68	74	69	30

630	90	68	65	69	61	66	28
800	81	61	61	68	57	61	25
1000	83	59	56	60	64	60	28
1250	92	60	64	63	61	62	34
1600	91	67	59	70	70	69	26
2000	92	64	63	60	71	63	32
2500	88	70	63	58	59	61	31
3150	84	61	60	63	68	62	26

- Residência em Alvenaria Convencional – Posição 2 (P2)

FREQUÊNCIA (Hz)	Fonte emissora a 2 m da fachada (dB) - EXTERNO (P2)	Pontos receptores da casa em alvenaria (dB) - INTERNO (P2)				Média dos pontos receptores (dB)	D2m,Nt
		P5	P6	P7	P8		
100	91	70	72	70	73	71	21
125	99	73	72	72	73	72	28
160	104	79	79	73	77	78	26
200	94	75	60	59	78	68	27
250	98	67	70	68	69	69	30
315	92	61	67	67	69	67	25
400	95	66	69	70	59	67	28
500	96	61	53	56	59	57	39
630	90	72	69	69	66	69	21
800	81	65	58	59	50	59	23
1000	83	64	57	60	63	61	23
1250	92	60	65	59	55	60	32
1600	91	69	70	70	55	69	22
2000	92	70	59	64	60	62	30
2500	88	59	60	65	64	62	27
3150	84	67	56	54	61	59	26