

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO DE  
FACHADAS VENTILADAS DE PORCELANATO À LUZ DA NORMA  
DE DESEMPENHO. ESTUDO DE CASO EM BRASÍLIA-DF**

**VAMBERTO MACHADO DOS SANTOS FILHO**

**ORIENTADORA: ROSA MARIA SPOSTO, DSc**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM  
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL**

**PUBLICAÇÃO: E.DM-016/15  
BRASÍLIA/DF: JUNHO – 2015**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO DE  
FACHADAS VENTILADAS DE PORCELANATO À LUZ DA NORMA  
DE DESEMPENHO. ESTUDO DE CASO EM BRASÍLIA-DF**

**VAMBERTO MACHADO DOS SANTOS FILHO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ESTRUTURAS E  
CONSTRUÇÃO CIVIL.**

**APROVADA POR:**

---

**Profa. Rosa Maria Sposto, D.Sc. (UnB)  
(Orientador)**

---

**Profa. Michele Tereza Marques Carvalho, D.Sc. (UnB)  
(Examinador Interno)**

---

**Prof. Aloísio Leoni Schmid, D.Sc. (UFPR)  
(Examinador Externo)**

---

**Prof. Claudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira, D.Sc. (UnB)  
(Suplente)**

**BRASÍLIA/DF, 19 DE JUNHO DE 2015**

## FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS FILHO, VAMBERTO MACHADO DOS	
Análise de desempenho térmico e acústico de fachadas ventiladas de porcelanato à luz da norma de desempenho. Estudo de caso em Brasília-DF.	
xvii, 140p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2015).	
Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.	
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.	
1.Norma de Desempenho	2.Acústica
3.Térmica	4. Fachadas Ventiladas
I. ENC/FT/UnB	II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SANTOS FILHO, V. M.. (2015). Análise de desempenho de fachadas ventiladas de porcelanato à luz da norma de desempenho. Estudo de caso em Brasília-DF. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-016A/15 , Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 140p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Vamberto Machado dos Santos Filho

TÍTULO: Análise de desempenho térmico e acústico de fachadas ventiladas de porcelanato à luz da norma de desempenho. Estudo de caso em Brasília-DF.

GRAU: Mestre

ANO: 2015

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Vamberto Machado dos Santos Filho  
SQN 312 Bloco C apto. 506, Asa Norte.  
CEP: 70765-030 – Brasília – DF – Brasil.  
vambertomfilho@gmail.com

*Ao meu pai, Vamberto, pelo exemplo, dedicação e por ser sempre minha fonte inspiradora,  
A minha mãe, Vânia, pelo carinho, paciência e amor incondicional,  
A minha irmã Thalita, pelo apoio e companheirismo.*

## AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, professora Rosa Maria Sposto, pelo conhecimento compartilhado, apoio, dedicação, companheirismo e pela confiança depositada.

Aos professores Aloísio Leoni Schmid e Michele Tereza Marques Carvalho por aceitar a participação na banca examinadora.

Ao Programa de Pós Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília pela oportunidade. À CAPES pelo apoio financeiro que viabilizou a realização dessa pesquisa

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília pelos conhecimentos transmitidos.

Aos meus queridos pais, Vamberto e Vânia, que foram os grandes responsáveis por minha formação como pessoa. Um especial agradecimento ao meu pai, pelas sábias palavras sobre a vida, inúmeros conselhos e por ser minha fonte inspiradora e a minha mãe pelo seu amor incondicional.

À minha irmã, Thalita, por ser minha companheira durante todos esses anos.

Aos meus amigos, Guilherme, Renata, Vitor, Igor, Érica, Priscilla, Eduarda, Luciana, Daniella, Ricardo, Manuela, Sófia e Gabriel, pelos conselhos, constante motivação e momentos de descontração. Aos meus amigos do PECC, em especial ao Pablo, pelas conversas, horas compartilhadas e suporte durante esses dois anos.

À Eva Veloso, secretária do PECC pelo apoio diário e disponibilidade.

Ao Filipe Martins pela disponibilização do *software* de acústica e ao DER e DETRAN pela disponibilização dos dados de fluxo de tráfego.

E a todos que direta ou indiretamente colaboraram na realização desse trabalho.

## RESUMO

### ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO DE FACHADAS VENTILADAS DE PORCELANATO À LUZ DA NORMA DE DESEMPENHO. ESTUDO DE CASO EM BRASÍLIA-DF

**Autor: Vamberto Machado dos Santos Filho**

**Orientador: Rosa Maria Sposto**

**Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil  
Brasília, Junho de 2015.**

A entrada de novos sistemas construtivos no mercado brasileiro tem sido acompanhada de diversos questionamentos sobre o seu desempenho. Entre estes novos sistemas estão as Fachadas Ventiladas, que surgem com o apelo de um sistema com o potencial de melhorar os aspectos de habitabilidade da edificação. Esse sistema é caracterizado por uma camada de ventilação entre os painéis externos modulares e o substrato, prevendo um espaço vazio que permite, por efeito chaminé, uma ventilação contínua. Neste trabalho foi realizado um estudo de desempenho de fachadas ventiladas com porcelanato (FVPo), comparativamente às fachadas de porcelanato aderido (FPoA). Para isto, foi utilizado um projeto de uma edificação habitacional modelo (EHM) para reproduzir as edificações típicas do Plano Piloto de Brasília-DF. Suas características, materiais e elementos de contorno permaneceram constantes, sendo a variável apenas o tipo da fachada. Para o auxílio dos cálculos do desempenho foram utilizados dois diferentes *softwares*, o *Design Builder*, para o desempenho térmico, e o *Insul*, para o desempenho acústico. Os critérios de análise foram estabelecidos pela norma de desempenho. Em cada critério da norma, os dois sistemas foram comparados e analisados com base nos resultados obtidos da simulação. As fachadas ventiladas de porcelanatos obtiveram melhores resultados de desempenho térmico, em todas as metodologias utilizadas, quando comparados à fachada de porcelanato aderido. Essa melhoria de desempenho pode ser explicada pelo fato de sua camada de ar ventilada renovar o ar aquecido diminuindo a transmissão de calor para o interior da edificação no período de verão, e evitar a transmissão de calor para o exterior da edificação nos períodos de inverno. Nas simulações de acústica os dois sistemas apresentaram o mesmo índice de isolamento sonoro, com um nível mínimo de desempenho, segundo critério da norma. Foi possível verificar a importância da esquadria no isolamento do sistema de fachada, pois ao aumentar a área da esquadria, o índice de isolamento diminuiu.

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF THERMAL AND ACOUSTIC PERFORMANCE OF PORCELAIN VENTILATED FACADES IN ACCORDANCE WITH THE PERFORMANCE STANDARD. CASE STUDY IN BRASILIA-DF**

**Author: Vamberto Machado dos Santos Filho**

**Supervisor: Rosa Maria Spoto**

**Post-Graduate Program on Structures and Construction**

**Department of Civil and Environmental Engineering, University of Brasília, Brazil**

**Brasília, June of 2015**

The insertion of new construction systems in the Brazilian market has been accompanied by many questions about its performance. Among these new systems are the Ventilated Facades, which come with the appeal of a system with the potential to improve aspects of habitability of the building. In this article, were compared two types of facades, a conventional, adhered facade of porcelain (FPoA), and an innovative one, the ventilated facade of porcelain (FVPo). To achieve the objectives, it was constructed a residential building model (EHM) which has the objective to reproduce the typical buildings of the Plano Piloto in Brasilia-DF. It's features, materials and boundary element remained constant, changing only the type of the facade. The thermal and acoustic performance of these two systems was verified with the performance standard, using software to aid in the calculations, the Design Builder for thermal and the Insul for acoustics. In each criterion of the standard, the two systems were compared and analyzed based on the results of the simulation. The ventilated facades of porcelain performed better thermal performance in all methodologies used, compared to the facade of joined porcelain. This performance improvement can be explained by the fact that its air layer ventilated renew the heated air reducing heat transfer into the building during the summer and prevents heat transfer to the outside of the building in the winter periods. In acoustic simulations the two systems had the same sound insulation index, with a minimum performance standard. It was possible to verify the importance of squarely in insulation façade system, because by increasing the area of the miter, the isolation index decreases.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
<b>1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO</b> .....	<b>18</b>
<b>1.2 PROBLEMATIZAÇÃO DO TEMA</b> .....	<b>22</b>
<b>1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA</b> .....	<b>22</b>
<b>1.3.1 Objetivo geral</b> .....	<b>22</b>
<b>1.3.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>22</b>
<b>1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO</b> .....	<b>23</b>
<b>2. DESEMPENHO</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1 HISTÓRICO</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2 DESEMPENHO NO BRASIL</b> .....	<b>28</b>
<b>2.3 NORMA DE DESEMPENHO</b> .....	<b>29</b>
<b>2.3.1. Estrutura da norma</b> .....	<b>31</b>
<b>2.4 DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO</b> .....	<b>33</b>
<b>2.4.1. Desempenho térmico</b> .....	<b>34</b>
2.4.1.1. Trocas térmicas .....	34
2.4.1.2. Propriedades Térmicas dos Materiais .....	40
<b>2.4.2. Desempenho acústico</b> .....	<b>42</b>
2.4.2.1. O Som e ruído .....	43
2.4.2.2. Isolamento sonoro de fachadas .....	48
2.4.2.3. Modelo simplificado de predição do isolamento sonoro .....	52
<b>3. FACHADA</b> .....	<b>55</b>
<b>3.1. RESQUISITOS E CRITÉRIOS DE DESEMPENHO</b> .....	<b>56</b>
<b>3.1.1. Desempenho térmico das fachadas</b> .....	<b>56</b>
<b>3.1.1.1. Zona bioclimática</b> .....	<b>56</b>
<b>3.1.1.2. Requisitos e critérios</b> .....	<b>57</b>
<b>3.1.2. Desempenho acústico das fachadas</b> .....	<b>60</b>
<b>3.2. FACHADAS VENTILADAS</b> .....	<b>61</b>
<b>3.2.1. Fachadas ventiladas de porcelanato (FVPo)</b> .....	<b>65</b>
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>67</b>
<b>4.1. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA</b> .....	<b>69</b>
<b>4.1.1. Tipologia arquitetônica</b> .....	<b>69</b>



4.1.2.	Localização e orientação.....	70
4.1.3.	Fluxo de carros e nível de predição sonora.....	72
4.1.4.	Caracterização do Sistema de Vedação Vertical Externa (SVVE).....	76
4.2.	<b>SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO.....</b>	<b>77</b>
4.2.1.	<b><i>Design Builder</i>.....</b>	<b>78</b>
4.2.1.1.	Localização.....	79
4.2.1.2.	Atividade/ocupação.....	81
4.2.1.3.	Materiais e Componentes.....	81
4.2.1.4.	Modelos estudados.....	82
4.2.1.5.	Métodos para a análise.....	84
4.2.2.	<b><i>Insul</i>.....</b>	<b>84</b>
4.2.2.1.	Ruído incidente.....	85
4.2.2.2.	Materiais utilizados.....	86
4.2.2.3.	Modelos estudados.....	87
5.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>89</b>
5.1.	<b>ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO.....</b>	<b>89</b>
5.1.1.	Procedimento simplificado.....	89
5.1.2.	Simulação Computacional.....	90
5.1.2.1.	Procedimento da ABNT NBR 15575:2013.....	90
5.1.2.2.	Método de Santo <i>et al</i> (2013).....	92
5.1.2.3.	Análise durante todo o período de verão e inverno.....	94
5.1.3.	Atendimento à norma e níveis de desempenho.....	96
5.2.	<b>ANÁLISE DE DESEMPENHO ACÚSTICO.....</b>	<b>97</b>
5.2.1.	Nível de predição sonora e classe de ruído.....	97
5.2.2.	Simulação do Nível de Isolamento Sonoro.....	99
6.	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>104</b>
6.1.	CONCLUSÕES GERAIS.....	104
6.2.	CONCLUSÕES DE DESEMPENHO TÉRMICO.....	104
6.3.	CONCLUSÕES DE DESEMPENHO ACÚSTICO.....	106
6.4.	RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	107
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>108</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>117</b>

APÊNDICE A – TABELA DE EXEGIGÊNCIAS DO USUÁRIO.....	118
APÊNDICE B – MUDANÇAS DA NORMA DE DESEMPENHO EM RELAÇÃO À VERSÃO ANTERIOR .....	120
APÊNDICE C – CÁLCULO DA DECLIVIDADE MAGNÉTICA E DA ORIENTAÇÃO DO EDIFÍCIO .....	123
APÊNDICE D – CÁLCULO DA TRANSMITÂNCIA E CAPACIDADE TÉRMICA .	125
APÊNDICE E – DADOS DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MEDIDOS <i>IN LOCO</i> 127	
APÊNDICE F – CÁLCULO DO ISOLAMENTO SONORO.....	128
APÊNDICE G – TEMPERATURAS EXTERNAS E INTERNAS NOS PERÍODOS DE VERÃO E INVERNO .....	132
APÊNDICE H – DADOS DE ENTRADA DO <i>SOFTWARE DESIGN BUILDER</i> .....	137
ANEXOS.....	139
ANEXO 1 – DADOS DO FLUXO VEICULAR .....	140

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Exigências dos usuários - ISO 6241:1984.....	27
Tabela 2.2 - Exigências do Usuário (ABNT NBR 15575:2013) .....	32
Tabela 2.3 - Características térmicas dos materiais (ABNT NBR 15220:2005) .....	40
Tabela 2.4 - Comparação da pressão sonora com o nível de pressão sonora (Autor).....	45
Tabela 2.5 - Comparação da intensidade com o nível de intensidade sonora (Autor).....	45
Tabela 2.6 - Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A) (ABNT NBR 10151:2000) .....	48
Tabela 2.7 - Fator K de correção em função da frequência (COSTA, 2003) .....	49
Tabela 2.8 - Principais parâmetros para determinação do índice de redução sonora (adaptado de QUEIROZ, 2007) .....	50
Tabela 2.9 - Valores de isolamento mínimo exigidos pela legislação de diferentes países (AKDAG,2004 <i>apud</i> Queiroz, 2007) .....	51
Tabela 3.1 - Dados climáticos de Brasília (Adaptado de ABNT NBR 15575:2013).....	57
Tabela 3.2 - Transmitância térmica de paredes (ABNT NBR 15575:2013) .....	58
Tabela 3.3 - Capacidade térmica de paredes externas (ABNT NBR 15575:2013).....	58
Tabela 3.4 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão (ABNT NBR 15575:2013) .....	59
Tabela 3.5 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno (ABNT NBR 15575:2013) .....	59
Tabela 3.6 - Índice de redução sonora ponderado, $R_w$ , de fachadas (ABNT NBR 15575:2013) .....	60
Tabela 4.1 - Equações de predição do nível de pressão sonora .....	73
Tabela 4.2 - Dados de entrada do <i>software</i> .....	80
Tabela 4.3 - Temperaturas Médias Máximas e Mínimas por mês .....	80
Tabela 4.4 – Especificação da Atividade / Ocupação do EHM.....	81
Tabela 4.5 – Especificação dos materiais constituintes do EHM .....	82
Tabela 4.6 - Características físicas dos materiais utilizados inseridas no <i>software</i> .....	86
Tabela 4.7 - Características dos ambientes estudados.....	88
Tabela 5.1 - Resultados de U e CT para os sistemas estudados.....	89
Tabela 5.2 - Atendimento aos critérios das diferentes fachadas no verão .....	92
Tabela 5.3 - Atendimento aos critérios das diferentes fachadas no inverno.....	93

Tabela 5.4 - Valores obtidos das equações de predição e medição <i>in loco</i> (dB).....	99
Tabela 5.5 - Isolamento sonora do sistema de FPoA nos diferentes ambientes .....	101
Tabela 5.6 - Isolamento sonora do sistema de FVPo nos diferentes ambientes .....	102

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Exemplo de sistemas inovadores na Europa pós-guerra (NGI, 2014).....	25
Figura 2.2 - Matriz de partes e atributos (ABNT NBR 15575:2013 - Adaptado) .....	26
Figura 2.3 - Cronologia da Norma de Desempenho (Autor) .....	31
Figura 2.4 - Tipos de radiação solar (LAMBERTS;DUTRA;PEREIRA,2004) .....	38
Figura 2.5 - Troca de calor em fechamentos transparente e em fechamentos opacos (Adaptado de Frota; Schiffer, 2003).....	39
Figura 2.6 - Transmissão de calor por um fechamento opaco (BORGES, 2013).....	41
Figura 2.7 - Evolução da frota de veículos em Brasília-DF (DETRAN, 2013).....	43
Figura 2.8 - Difração de onda em uma abertura de pequena dimensão (Braun e Braun 1994 – Adaptado).....	47
Figura 2.9 – Esquema de montagem da curva de isolamento sonoro do modelo proposto por Sharp. (MATEUS, 2008).....	53
Figura 3.1 - Condições de exposição das fachadas (ABCP, 2012) .....	55
Figura 3.2 - Mapa das zonas bioclimáticas brasileira (ABNT NBR 15575:2013) .....	57
Figura 3.3 - Funcionamento de uma fachada ventilada (MACIEL, 2013) .....	62
Figura 3.4 - Aquecimento e passagem do ar entre as juntas (ELIANE, 2013).....	62
Figura 3.5 - Classificação das fachadas ventiladas (CUNHA, 2006 – adaptado).....	63
Figura 3.6 - Exemplo da utilização da FVPo (PORTOBELLO, 2013).....	65
Figura 3.7 - Componentes da subestrutura da FVPo (UTIFRIVE, 2012 <i>apud</i> MACIEL, 2013) .....	66
Figura 4.1 - Metodologia proposta .....	68
Figura 4.2 - Apresentação das variáveis independentes e variáveis dependentes desse estudo .....	68
Figura 4.3 - Planta baixa do edifício e do bloco germinado (MACIEL, 2013) .....	69
Figura 4.4 - Localização considerada para EHM (Google <i>Maps</i> , 2014).....	71
Figura 4.5 - Leq - horário de pico vespertino (IBRAM,2013).....	74
Figura 4.6 - Indicação dos níveis de pressão sonora equivalentes (Google Earth, 2014) .....	74
Figura 4.7 - Montagem e posicionamento do equipamento de medição .....	75
Figura 4.8 - Montagem do sistema de FVPo (adaptado de ELIANE,2014).....	77
Figura 4.9 - Zoneamento do modelo .....	83
Figura 4.10 – Modelagem da EHM.....	83
Figura 4.11 - Faixas de frequências do ruído de tráfego estudado.....	85

Figura 4.12 - Modelo estudado para FVPo.....	86
Figura 4.13 - Modelo Estudado da FPoA.....	87
Figura 4.14 - Ambientes estudados nas simulações acústicas .....	87
Figura 5.1 - Temperaturas do sistema de FVPo durante o dia típico de verão .....	90
Figura 5.2 – Temperaturas do sistema de FPoA durante o dia típico de verão .....	90
Figura 5.3 - Temperaturas do sistema de FVPo durante o dia típico de inverno.....	91
Figura 5.4 - Temperaturas do sistema de FPoA durante o dia típico de inverno.....	91
Figura 5.5 - Curvas de temperatura da FVPo no verão .....	94
Figura 5.6 - Curvas de temperatura da FPoA no verão .....	94
Figura 5.7 - Curvas de temperatura da FVPo no inverno .....	95
Figura 5.8 - Curvas de temperatura da FPoA no inverno .....	95
Figura 5.9 - Comportamento das equações de predição sonora.....	98
Figura 5.10 - Curva de isolamento sonora da esquadria.....	100
Figura 5.11 - Curva de isolamento sonoro da vedação do sistema de FPoA.....	100
Figura 5.12 - Curva de isolamento sonoro do porcelanato no sistema de FVPo .....	101
Figura 5.13 - Curva de isolamento sonoro do substrato no sistema de FVPo .....	102

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Condition Engineers</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BNH	Banco Nacional da Habitação
CB 2	Comitê Brasileiro de Construção Civil
CEF	Caixa Econômica Federal
CEV	Controladores Eletrônicos de Velocidade
CIB	<i>Internacional Council for Research and Innovation and Construction</i>
CLDF	Câmara Legislativa do Distrito Federal
CONAMA	Conselho Regional de Meio Ambiente
DER	Departamento de Estradas e Rodagem
DETRAN	Departamento de Trânsito
EHM	Edificação Habitacional Modelo
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FPoA	Fachada de porcelanato aderido
FV	Fachada Ventilada
FVPo	Fachada ventilada de porcelanato
IBRAM	Instituto Brasília Ambiental
IGRF	<i>Internacional Geomagnetic Reference Field</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPT	Instituto de Pesquisa e Tecnologia do estado de São Paulo
ISO	<i>Internacional Organization for Standardization</i>
LABEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

MCT	Observatório Nacional
NCA	Nível de critério de avaliação
NIS	Nível de Intensidade sonora
NPS	Nível de pressão sonora
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
RILEM	<i>Reunión Internationale de Laboratoires d'Essais et de recherches sur les Materiaux et construction</i>
SVVE	Sistema de Vedações Verticais Externas
SVVI	Sistema de Vedações Verticais Internas
SVVIE	Sistema de Vedações Verticais Internas e Externas
CT	Capacidade Térmica
U	Transmitância Térmica
$f_c$	Frequência crítica
k	Condutividade térmica do material
H	Taxa de transferência de calor
$\lambda$	Comprimento de onda
T	Temperatura do corpo
R	Resistência Térmica
$\varepsilon$	Emissividade térmica
$h_r$	Coefficiente de trocas térmicas por radiação
c	Calor específico
$\alpha$	Absortância Térmica
$\rho$	Refletância Térmica/Massa específica do material
$\nu$	Coefficiente de <i>Poisson</i>
$R_{se}$	Resistência térmica superficial externa
$R_{si}$	Resistência térmica superficial interna
Hz	Hertz



dB	Decibel
f	Frequência da onda sonora
$L_{a_{eq}}$	Nível de pressão sonora equivalente ponderado em A
$R_w$	Índice de redução sonora

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O aumento do investimento na construção civil na última década trouxe para o Brasil novos sistemas construtivos, com o intuito de diminuir o déficit habitacional existente. Esses sistemas vieram com as promessas de acelerar a construção de habitações unifamiliares e a diminuição da mão de obra, se comparados aos sistemas convencionais de construção. A partir dessa promessa surgiram no Brasil os conceitos de racionalização e industrialização da construção civil.

Paralelamente ao surgimento dos sistemas racionalizados e industrializados criou-se as formas de verificação e controle da execução, já que grande parte desses sistemas ditos inovadores apresentavam problemas de segurança estrutural, chegando até ao seu colapso (KELLETT, 1990). A falta de confiança na segurança dos novos sistemas construtivos impulsionou o início dos estudos sobre desempenho.

Os estudos a respeito de desempenho em edificações surgiram no início da década de 70 com renomadas instituições tais como CIB (*Internacional Council for Research and Innovation in Building and Construction*), RILEM (*Reunión Internationale de Laboratoires d'Essais et de recherches sur les Materiaux et construction*) e ASTM (*American Society for Testing and Materials*), estudando o comportamento em uso das edificações e o seu impacto com o habitante. Finalmente, no ano de 1984 surgiu a primeira norma de desempenho do mundo, a ISO 6240:1984.

O déficit habitacional também foi um dos impulsores dos estudos sobre o desempenho no Brasil. Entidades como a Caixa Econômica Federal, Banco Nacional da Habitação e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, que foram os principais responsáveis por trazer esses conceitos para as habitações brasileiras. Estudos sobre esse tema como o de Rosso (1980), Souza (1983) e Mitidieri Filho (1988), contribuíram com a disseminação do conhecimento sobre desempenho.

A avaliação do desempenho de uma edificação extrapola as verificações de qualidade dos materiais e técnicas construtivas. A sua amplitude se dá pelo fato de serem consideradas exigências dos usuários, assim como o impacto da edificação sobre os habitantes.

O surgimento de novos sistemas construtivos visa muito além do ganho de agilidade na construção, questões como o desperdício de material, a sustentabilidade e os aspectos econômicos tornaram-se de extrema relevância. Em 2012, na Feira de Revestimentos – ExpoRevestir, em São Paulo, vários fabricantes apresentaram sistemas construtivos para fachadas com revestimentos não-aderidos (MACIEL, 2013). Nesse cenário surge um novo sistema construtivo para fachada: As Fachadas Ventiladas.

Derivado de um sistema disseminado no mercado brasileiro, as fachadas ventiladas diferem substancialmente das fachadas cortinas, pela presença de uma camada de ar renovado constantemente, entre o revestimento externo e o substrato. Kiss (1999) define fachada ventilada como um sistema de revestimento externo caracterizado pela existência de uma camada isolante sobre a parede de vedação e uma camada externa de revestimento, estanque a água, composta de painéis modulares, fixada ao edifício por uma estrutura metálica.

De acordo com Sanjuan (2011), o sistema de fachadas ventiladas está se tornando muito popular entre os arquitetos devido a sua versatilidade. Esse aspecto se deve ao fato do sistema permitir quase qualquer cor ou forma, em virtude de receber diversos tipos de revestimento. Adicionalmente às razões estéticas, a rapidez da instalação e a promessa do aumento do desempenho térmico e acústico das edificações o tornam um sistema competitivo no mercado.

O desempenho térmico e acústico de uma edificação é requisito importante para os usuários, pois participam da melhoria da habitabilidade do edifício. Frequentemente, o usuário se sente desconfortável térmica ou acusticamente em um ambiente no interior do edifício, e o mesmo não relaciona a sua falta de conforto a uma possível falta de desempenho da edificação. Por isso a importância de uma análise dos requisitos de desempenho.

Com o intuito de verificar a promessa dos fabricantes de fachadas ventiladas quanto a suas vantagens sobre os sistemas convencionais, esse trabalho propõe realizar a análise de desempenho das fachadas ventiladas de porcelanato de acordo com os requisitos de desempenho térmico e acústico, à luz da norma de desempenho.

Estudos como o de Wong *et al* (2008), Hasse *et al* (2009), Stazi *et al* (2011), Lopéz *et al* (2012), Suárez *et al* (2012), Matins (2013) e Lopéz *et al* (2015) mostram que ao acrescentar uma camada ventilada no sistema de fachada é possível controlar a temperatura interna das edificações, melhorando o conforto térmico dos usuários. Na pesquisa de Matins (2013) também foi verificado que soluções de reabilitação de fachadas de edificações (mudanças dos elementos constituintes da fachada) não possuem grande efeito no desempenho acústico das edificações.

Essa dissertação de mestrado faz parte da linha de pesquisa de Sistemas Construtivos e Desempenho de Materiais/Componentes do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília. Essa linha de pesquisa trata do estudo de tecnologia de edificações, industrialização das construções, desempenho de sistemas construtivos, gestão da qualidade na construção civil e desempenho de materiais e componentes de construções.

O primeiro trabalho publicado nessa linha de pesquisa teve como objeto a avaliação de desempenho de sistemas construtivo inovadores. Porto (2001) em sua pesquisa avaliou o desempenho estrutural e térmico de painéis de concreto com argila expandida. Essa avaliação foi realizada utilizando os requisitos e critérios da norma ISO 6241, onde foram identificadas as exigências dos usuários, as condições de exposição e os requisitos de desempenho. Como meio de comparação, os ensaios de desempenho foram realizados em um sistema convencional de alvenaria com blocos cerâmicos de oito furos. Os resultados mostram que sistema inovador atendeu plenamente os critérios considerados para desempenho estrutural, sendo classificado assim como satisfatório a tais ações. O desempenho térmico também foi considerado satisfatório levando em consideração algumas ressalvas como, por exemplo, o sombreamento das esquadrias e ventilação.

Posteriormente, Komeno (2005) avaliou o desempenho sobre os aspectos de inércia térmica e pinturas externas de blocos de concreto com entulho nos furos. Foram construídos três protótipos (*test-cells*), o primeiro de bloco de concreto, o segundo com blocos de concreto de entulhos nos furos e o terceiro com blocos de concreto com entulho nos furos e revestimento externo. A avaliação foi realizada a partir de duas metodologias, medição *in loco* e simulações de habitações com esses componentes. O resultado mostrou que a inserção de entulhos no interior dos blocos de concreto proporciona melhor desempenho térmico para os usuários, além de representar uma proposta para a destinação do resíduo da construção.

Palacio (2013) analisou a energia incorporada de vedações para habitações de interesse social considerando aspectos de desempenho térmico. O dimensionamento dos componentes de *light steel frame* utilizados nesse estudo foi dimensionado levando em consideração os requisitos e critérios de desempenho térmico da norma de desempenho.

Recentemente, Maciel (2013) utilizou o *software Design Builder* para verificar as horas de desconforto térmico dos usuários com o intuito de calcular a Energia Incorporada Operacional. O trabalho de Maciel (2013) teve como objetivo calcular a energia incorporada no sistema de Fachada Ventilada a partir da construção de um edifício habitacional modelo, utilizado no estudo dessa dissertação. Para isso, foram pesquisados os métodos construtivos desse tipo de sistemas, além de verificados três tipos de revestimentos, o de placas pétreas, o de porcelanato e o de ACM.

## **1.2 PROBLEMATIZAÇÃO DO TEMA**

O seguinte trabalho visa responder algumas perguntas a respeito do desempenho térmico e acústico dos sistemas de fachadas ventilada:

- O sistema de fachada ventilada de porcelanato atende aos requisitos da norma de desempenho para os parâmetros de Brasília-DF?
- O sistema de fachada ventilada de porcelanato possui desempenho térmico e acústico superior ao sistema convencional de fachada de porcelanato aderido?
- Os critérios sugeridos pela norma de desempenho são suficientes para definir o desempenho de um sistema?

## **1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA**

### **1.3.1 Objetivo geral**

Esse trabalho tem como objetivo geral descrever o desempenho térmico e acústico de um Edifício Habitacional Modelo (EHM) com um sistema de fachada ventilada de porcelanato, em Brasília-DF, à luz dos requisitos e critérios da ABNT NBR 15575:2013.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Comparar o desempenho dos sistemas de fachadas ventiladas de porcelanato com um sistema convencional de fachada com porcelanato aderido;
- Obter resultados de desempenho térmico e acústico dos sistemas estudados a partir de dados de saída de simulações computacionais;
- Verificar a representatividade dos procedimentos simplificado e o método computacional, proposto pela ABNT NBR 15575:2013, para desempenho térmico;
- Classificar o nível de desempenho dos sistemas utilizados.
- Levantar discussão se os critérios sugeridos pela norma de desempenho são suficientes para definir o desempenho térmico e acústico.

## 1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está dividido nas seguintes etapas:

- No primeiro capítulo são apresentados as justificativas, os objetivos e a estruturação do trabalho;
- No segundo capítulo é apresentado um breve histórico do desempenho no Brasil, assim como uma revisão bibliográfica sobre desempenho térmico e acústico, apontando conceitos importantes para o seu entendimento;
- No terceiro capítulo são apresentados os requisitos e critérios de desempenho térmico e acústico aplicados às fachadas e também uma explicação sobre o sistema construtivo alvo desse trabalho, as fachadas ventilada;
- No quarto capítulo é apresentado o método utilizado para o alcance do objetivo. Primeiro, a caracterização do ambiente de estudo, onde são mostrados quais materiais e condição de exposição foram adotados no trabalho e em segundo, as simulação térmica e acústica do modelo;
- O quinto capítulo apresenta os resultados e discussões a respeito dos dados obtidos com as simulações utilizadas nesse estudo;
- Por fim, no último capítulo, são apresentadas as conclusões desse trabalho.

## 2. DESEMPENHO

Este capítulo tem o intuito de fornecer o histórico da implantação da norma de desempenho no Brasil, mostrando como essa norma influencia no modo de se construir e de se projetar uma edificação, além de apresentar conceitos de desempenho térmico e acústico.

### 2.1. HISTÓRICO

O conceito de desempenho vem sendo utilizado em setores produtivos como o de automobilismo e tecnológico, para descrever o potencial dos componentes ou sistemas produzidos por esses fabricantes. A palavra desempenho também é bastante utilizada pelos consumidores para expressar o atendimento ou não de suas expectativas ao comprar certo produto. Muitas vezes o grupo de consumidores compara o desempenho desejado por eles na hora da compra, com o desempenho entregue, onde o produto é julgado e classificado como aceitável (quando o desempenho entregue é igual ou superior ao desejável) ou recusável (quando o desempenho entregue é menor que o desejado).

Esse conceito vem sendo usado há muito tempo. Segundo Gross (1996), o primeiro registro da preocupação com o desempenho de uma edificação foi um dos artigos do Código de Hamurabi, no século XX A.C, onde é dito que se um construtor edificasse uma casa para um Awilum<sup>1</sup>, mas não reforçasse seu trabalho, e a casa construída caísse e causasse a morte do dono da casa, esse construtor seria morto. Apesar de o código ser bastante rigoroso, esse artigo não traz nenhuma especificação de materiais ou técnicas construtivas que devem ser utilizadas para a construção da casa, e sim, determina, apenas, qual deve ser o seu comportamento, em outras palavras, o desempenho desejado.

Com o término da Segunda Guerra Mundial, esse conceito também começou a se disseminar pelos países europeus. As edificações naquela época não podiam ser reconstruídas pelos métodos convencionais por duas razões: a primeira, o tempo, já que era necessário construir cidades inteiras destruídas pela Guerra, abrigando famílias sem moradias e reconstruindo infraestruturas básicas, e segundo, a escassez de mão de obra, já que a grande maioria da força trabalhadora dos países afetados foi morta. Fez-se necessário introduzir novos sistemas

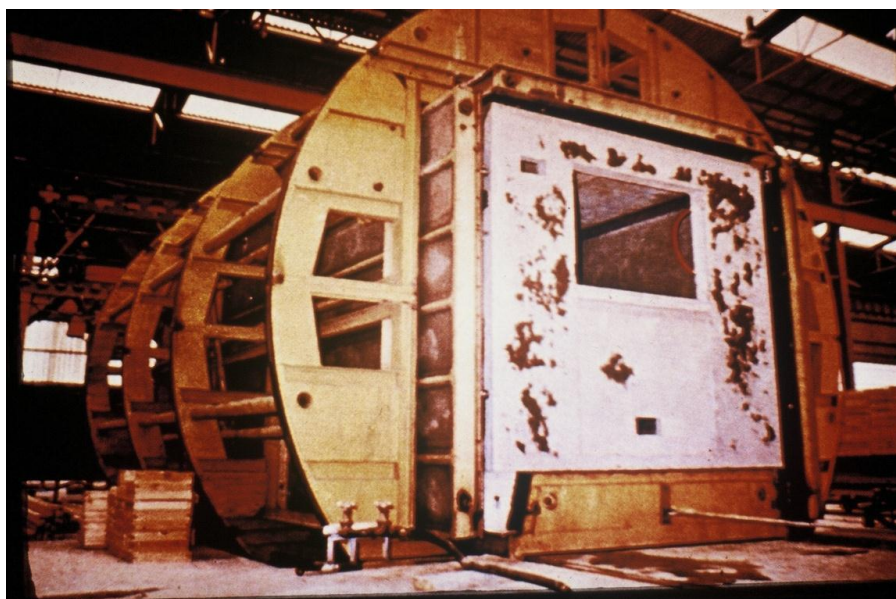
---

<sup>1</sup> Awilum eram os cidadãos livres, mesopotâmicos, que possuíam terras em seu próprio direito e que não dependiam nem no palácio, nem no templo.



construtivos sobre os quais não era conhecido o comportamento ao uso<sup>2</sup>, tornando a avaliação prévia desses novos sistemas necessária (Figura 2.1). Esses sistemas obtiveram alguns insucessos, como aponta Kellet (1990), pois países como a Grã-Bretanha buscaram a rápida construção de habitações (pré-fabricação) visando suprir o *déficit* de habitações e que devido a problemas de ordem tecnológicas, foram demolidas. O conceito de desempenho finalmente surgiu e teve origem nas exigências de segurança estrutural dos produtos de uma empresa Bélica e Aeroespacial.

Figura 2.1 – Exemplo de sistemas inovadores na Europa pós-guerra (NGI, 2014)



Entidades internacionais importantes no âmbito da construção civil começaram a estudar o tema desempenho a partir da década de 70. Entre elas podemos destacar o CIB (*Internacional Council for Research and Innovation in Building and Construction*), a RILEM (*Reunión Internationale de Laboratoires d'Essais et de recherches sur les Matériaux et construction*) e a ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Segundo Mitidieri Filho (1998), foi com a junção dessas três entidades que aconteceu o primeiro simpósio sobre o conceito de desempenho aplicado a edifícios.

Os trabalhos desenvolvidos pelo CIB levaram à criação de comissões de estudos do tema. Em 1982, foi criado pela primeira vez o conceito de desempenho, que pode ser definido como a prática de se pensar em termos de fins e não de meios. A preocupação é com os requisitos que

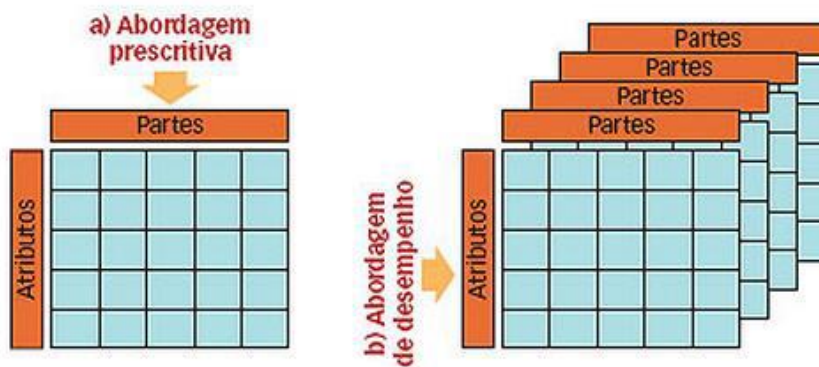
---

<sup>2</sup> Os sistemas construtivos introduzidos na Europa pós-guerra, eram basicamente, constituídos de aço e madeira, materiais com grande produção nessa época.

a construção deve atender e não com a prescrição de como essa deve ser construída. A definição mostra a importância de pensar como o usuário da edificação, visando à relação do habitante com a edificação construída.

Na Figura 2.2 são ilustradas as diferentes abordagens normativas. Na primeira (abordagem prescritiva) o foco são os meios, enquanto na segunda (abordagem por desempenho) é dada importância para os fins, independentemente dos meios adotados.

Figura 2.2 - Matriz de partes e atributos (ABNT NBR 15575:2013 - Adaptado)



As três instituições (CIB, RILEM e ASTM), conjuntamente, realizaram mais dois simpósios para a discussão do tema, o segundo em Portugal, em 1982 e o terceiro, mais recentemente, em Israel, que contou com a presença de mais uma instituição, a ISO (*Internacional Organization for Standardization*).

A presença da ISO nos estudos sobre desempenho foi de extrema importância, já que em 1980 foi publicada a primeira norma de desempenho, a ISO 6240, que apresenta os conteúdos a serem observados, e em 1984, foi publicada a ISO 6241, que apresenta os princípios de projetos, os fatores que devem ser considerados para o desempenho da edificação e as exigências do usuário (Tabela 2.1)

Tabela 2.1- Exigências dos usuários - ISO 6241:1984

REQUISITOS	EXEMPLOS DE VERIFICAÇÕES
Estabilidade estrutural	Resistência mecânica e ações estáticas e dinâmicas; Efeitos climáticos (fadiga)
Segurança ao fogo	Risco de propagação de chamas; Efeitos fisiológicos (controle de fumaça e ventilação); Tempo de alarme, tempo de evacuação e tempo de sobrevivência
Segurança ao uso	Proteção contra explosões e queimaduras; Proteção contra movimentos mecânicos; Proteção contra choques elétricos; Proteção contra radioatividade; Segurança durante movimentos e circulação; Segurança contra intrusão humana ou animal
Estanqueidade	Estanqueidade à água; Estanqueidade ao ar; controle de intrusão de poeira
Conforto higrotérmico	Controle da temperatura do ar e radiação térmica; Controle da velocidade e umidade do ar; Controle da condensação
Pureza do ar	Ventilação; Controle de odores; Controle de gases tóxicos
Conforto acústico	Controle de ruídos (contínuos e intermitentes); Inteligibilidade do som; Tempo de reverberação
Conforto visual	Controle da iluminação natural e artificial; Insolação; Nível de iluminância contraste de luminância; Possibilidade de escurecimento; Aspectos de acabamento (cor, textura, regularidade); Contato visual (internamente e com o mundo exterior)
Conforto tátil	Aspereza e flexibilidade das superfícies; Umidade e temperatura nas superfícies; Ausência de descargas de eletricidade estática
Conforto antropodinâmico	Limitações de acelerações e vibrações; Conforto do pedestre em áreas ventuosas; Aspecto de resistência e manobrabilidade humana
Higiene	Instalações para o cuidado do corpo humano; Suprimento de água limpa; Evacuação das águas servidas; Materiais e fumaça
Adequabilidade à usos específicos	Número; Tamanho; geometria e inter-relações dos espaços; Provisão de serviços e equipamentos; Flexibilidade
Durabilidade	Conservação do desempenho durante toda vida útil; Possibilidade de manutenção e reposição
Economia	Custos de implantação; Custos financeiros; Custos de operação e manutenção

Para Borges (2008), a criação da ISO 6241, em 1984, teve uma grande importância já que definiu uma lista mestra de requisitos funcionais dos usuários das edificações, apresentando quatorze categorias de requisitos, entre eles: estabilidade, segurança, higiene, acústicos, térmicos, econômicos e outros. Muitos desses requisitos são utilizados pela ABNT NBR 15575:2013.

## 2.2. DESEMPENHO NO BRASIL

Na década de 50, o conceito de desempenho foi introduzido no Brasil, com a chegada dos novos sistemas construtivos que surgiram, assim como na Europa, para suprir o déficit de habitações. Esses novos sistemas construtivos foram utilizados principalmente na construção dos grandes conjuntos habitacionais na Bahia e em São Paulo, que serviram de grande laboratório para novas tecnologias, na década de 70.

Os produtos empregados nesses conjuntos habitacionais nem sempre tiveram sua tecnologia devidamente desenvolvida e avaliada, assim muito deles apresentaram problemas patológicos, comprometendo aspectos de segurança e habitabilidade (MITIDIERI FILHO, 1998), trazendo certo descrédito para as construções industrializadas.

Com o estímulo à racionalização e à industrialização, pesquisas relacionadas à criação de novos sistemas construtivos foram surgindo e, juntamente, os seus métodos de avaliação, a fim de estudar o comportamento durante a sua vida útil.

Rosso (1980) publicou, na década de 70, um dos primeiros trabalhos que tinham como tema a racionalização da construção com base no desempenho das edificações. Após essa publicação surgiram outros pesquisadores da área, com trabalhos baseados em desempenho de construções como, por exemplo, Souza (1983), Flauzino (1983) e Mitidieri Filho (1988).

Na década de 80, o tema se consolidou no país, principalmente devido ao trabalho desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa e Tecnologia do Estado de São Paulo (IPT), que realizou pesquisas para a elaboração de critérios voltados à avaliação dessas soluções inovadoras para o Banco Nacional da Habitação (BNH)<sup>3</sup>. O instituto sistematizou os requisitos e critérios para avaliação de desempenho de habitações térreas unifamiliares, contemplando as exigências de segurança estrutural, segurança ao fogo, estanqueidade, conforto higrotérmico e acústico e durabilidade. Esses trabalhos geraram a primeira versão dos critérios de desempenho desenvolvidos em conjunto com o BNH.

Diversos sistemas construtivos foram criados nessa época como, por exemplo: o sistema de fechamento lateral com painéis cerâmicos e painéis de argamassa armada.

---

<sup>3</sup> O Banco nacional da Habitação (BNH) era um dos maiores financiadores de habitações populares na década de 70.

No ano de 1997 a Caixa Econômica Federal contratou o IPT para atualizar os trabalhos desenvolvidos na década de 80 com o foco nas edificações habitacionais de interesse social. Tendo em vista a exigência de outros trabalhos desenvolvidos, a CEF, o Comitê Brasileiro de Construção Civil (CB 2) da ABNT e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) tomaram a iniciativa de unificar os trabalhos por meio da elaboração de normas técnicas para a avaliação de edifícios habitacionais, utilizando como princípio fundamental o conceito de desempenho (BORGES,2008).

No final da década de 90, a Caixa Econômica Federal, juntamente com o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBPQH), apresentaram os “Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social” e em 2000 a CEF financiou o projeto de pesquisa “Normas Técnicas para Avaliação de Sistemas Construtivos Inovadores para Habitações”, que foi o precursor para o desenvolvimento da atual Norma de Desempenho de Edificações. Nesse ano foi constituída a Comissão de Estudos do CB 2, com o objetivo de coordenar a discussão sobre o assunto no meio técnico, buscando transformar todas as ideias em uma Norma Brasileira, no âmbito da ABNT.

### **2.3. NORMA DE DESEMPENHO**

A Norma Brasileira de Desempenho de Edificações busca atender às necessidades dos usuários de edificações habitacionais, independentemente dos seus materiais constituintes e do sistema construtivo utilizado. Seu foco está em garantir o atendimento aos requisitos do usuário da edificação e seus elementos ou subsistemas, quanto ao seu comportamento em uso, e não na prescrição de como aqueles são construídos (SANTOS FILHO *et al*, 2014). Essas exigências, antes subjetivas, se tornaram requisitos técnicos, com parâmetros determinados.

Essa norma foi publicada pela primeira vez em 12 de maio de 2008, e foi precursora, no Brasil, ao estabelecer parâmetros técnicos de avaliação do desempenho mínimo das edificações e da definição de uma vida útil mínima obrigatória para sistemas que compõe a o edifício.

Tal norma, sob o título Desempenho de Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos<sup>4</sup> teve o objetivo inicial de dar suporte para a criação e desenvolvimento de uma metodologia

---

<sup>4</sup> As diferenças entre a versão da norma de desempenho de 2008 e a atual podem ser encontradas no Apêndice B

para a avaliação de sistemas construtivos inovadores. Contudo, de acordo com Lima (2005), ela poderia ser aplicada também para as tecnologias convencionais<sup>5</sup> de construção, com base em requisitos e critérios de desempenho expressos em normas técnicas brasileiras. Carlos Borges, coordenador da Comissão de Estudos da norma, afirmou que com a entrada em vigor da ABNT NBR 15575:2013 os projetos e sistemas construtivos passam a ser concebidos em função de uma vida útil e os elementos e componentes especificados devem ter durabilidade compatível com a vida útil especificada.

Embora inicialmente o cerne da norma tenha sido em edificações residenciais de até cinco pavimentos, isto permitiu uma reflexão sobre a sistematização das necessidades ou exigências dos usuários e as formas de incorporação desses conceitos às várias etapas dos projetos. A elaboração da norma ajudou ainda a diminuir a subjetividade da avaliação da qualidade das construções e a balizar o judiciário nas demandas entre consumidores e construtores, sendo um instrumento a mais para dar amparo e proteção ao consumidor.

O texto da norma de desempenho trata a edificação como um produto que, como tal, deve ter um desempenho global mínimo determinado, independentemente dos sistemas construtivos que forem utilizados. Assim, a norma considera as exigências do usuário em tópicos como segurança, estanqueidade, higiene, conforto e durabilidade. Com o cruzamento de exigências e respostas da edificação fica claro o conceito muito conhecido, mas pouco aplicado na relação entre construtor/incorporador e usuário de uma edificação: a relação custo/benefício.

Além disso, Lima (2005) afirma que os usuários procuram cada vez mais por produtos de qualidade e que apresentem um desempenho equivalente, e a norma vem ao encontro à atual necessidade da sociedade que aliada à alta competitividade do mercado faz com que as empresas procurem por soluções tecnológicas e econômicas que reflitam estas expectativas e que acaba por se tornar objetivo do empreendimento.

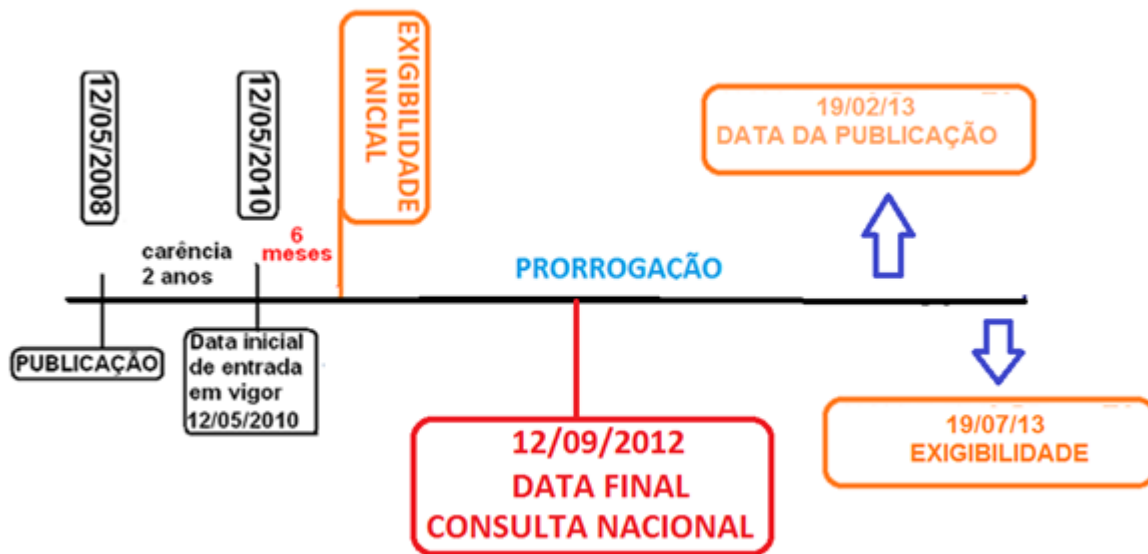
A ABNT NBR 15575:2013 entrou em vigor no ano de 2010, passando por etapa de revisão pública para reavaliar padrões realmente exequíveis pelo mercado, e no mesmo ano foi reaberta a comissão de estudos, com consulta pública para prorrogação da data de vigência plena original. No ano de 2011, foram iniciados os trabalhos de revisão com a coordenação do engenheiro Fábio Villas Boas. Houve a formação de novos grupos de trabalhos temáticos para

---

<sup>5</sup> Tecnologias convencionais entendidos aqui como: Estrutura independente de concreto armado e Vedação de blocos cerâmicos

analisar os itens mais polêmicos da norma (LORENZI, 2013). Em setembro de 2012 começou a contar mais um período de seis meses para as empresas adaptarem os novos projetos habitacionais ao novo texto normativo. A norma se tornou exigível em julho de 2013, agora sob novo título: Edificações Habitacionais- Desempenho. Na Figura 2.3 a seguir, é apresentada a cronologia da Norma.

Figura 2.3 - Cronologia da Norma de Desempenho (Autor)



### 2.3.1. Estrutura da norma

A estrutura básica da norma propõe a avaliação de desempenho através da previsão do comportamento potencial do edifício, dos seus elementos e componentes, quando submetidos às condições de exposição específicas do local de implantação (temperatura do ar, temperatura radiante, umidade do ar, ventos, pluviometria e etc), avaliando se este comportamento satisfaz as exigências dos usuários, do ponto de vista qualitativo e quantitativo, as quais a habitação deve atender, ou seja, respectivamente, os requisitos e critérios de desempenho.

Na norma de desempenho são apresentados os requisitos gerais, aplicáveis às edificações como um todo, e requisitos particularmente aplicáveis a determinados sistemas. Essa norma é dividida em seis partes:

Parte 1: Requisitos gerais;

Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;

Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;

Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE;

Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas;

Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários;

Na norma também é apresentada uma divisão de três áreas de exigência dos usuários: Segurança, Habitabilidade e Sustentabilidade (Tabela 2.2). Cada área é subdividida em responsabilidades, onde se atribui desempenho mínimo que deve ser atendido pelo edifício quando em uso, durante a vida útil, e desempenhando sua função no meio onde está inserido (LORENZI, 2013). A partir do momento que todos os requisitos e critérios são atendidos, e as responsabilidades tiverem desempenho comprovado à função que foi projetado, diz-se que a edificação está com desempenho adequado. No apêndice A é possível verificar os requisitos e critérios relacionados a cada exigência do usuário.

Tabela 2.2 - Exigências do Usuário (ABNT NBR 15575:2013)

<b>Segurança</b>	<b>Habitabilidade</b>	<b>Sustentabilidade</b>
	Estanqueidade	
	Desempenho térmico	
Segurança estrutural	Desempenho acústico	Durabilidade
Segurança contra o fogo	Desempenho lumínico	Manutenibilidade
Segurança no uso e operação	Saúde, higiene e qualidade do ar	Impacto ambiental
	Funcionalidade e acessibilidade	
	Conforto tátil e antropodinâmico	

O texto proposto pela norma prevê três níveis de desempenho estabelecidos para os diferentes sistemas da edificação em função das necessidades básicas do usuário. O desempenho considerado mínimo (M) é expresso em função das necessidades básicas e deve ser obrigatoriamente atendido. Já os níveis intermediário (I) e superior (S) consideram a



possibilidade de maior agregação de qualidade dos sistemas, sendo que a cada nível está relacionado um prazo de garantia e vida útil correspondente.

A avaliação do desempenho exigido pela Norma de Desempenho busca analisar a adequação ao uso de um sistema que deve atender uma função, independentemente da solução técnica adotada. Portanto, essa avaliação requer o domínio de uma ampla base de conhecimentos científicos sobre cada aspecto funcional da edificação, sobre materiais e técnicas de construção, bem como sobre os diferentes requisitos dos usuários nas mais diversas condições de uso. Sendo assim, é recomendado que a avaliação do desempenho seja realizada por instituições de ensino ou pesquisa, laboratórios especializados, empresas de tecnologia, equipes multiprofissionais ou profissionais de reconhecida capacidade técnica.

A Norma especifica diferentes métodos de avaliação para análise de atendimento aos requisitos e critérios apresentados, podendo ser realizados ensaios laboratoriais, ensaios de tipo, ensaios em campo, inspeções em protótipos ou em campo, simulações e análise de projetos.

#### **2.4. DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO**

Os conceitos de desempenho e conforto nas edificações são muitas vezes confundidos quanto ao seu significado e abrangência. O desempenho das edificações, como dito anteriormente é o comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas, ou seja, existem requisitos e critérios aplicados a edificação, que devem ser respeitados, pelos responsáveis, onde há a necessidade de garantir o mínimo de segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Basicamente, o desempenho visa verificar a influência da edificação em seus usuários. O conceito de conforto é muito mais amplo que o conceito de desempenho. A verificação do conforto tem como objetivo a satisfação do usuário da habitação, levando em consideração aspectos ambientais, fisiológicos, psicológicos e outros.

Pode-se citar como exemplo o estudo de Ferreira Neto e Bertoli (2010) que comparou o desempenho acústico com o conforto acústico de paredes do Brasil e Portugal. Nesse trabalho, chegou-se à conclusão que existiam diferenças entre o desempenho e o conforto acústico das paredes, já que o desempenho levava em consideração valores prefixados em requisitos e critérios e o conforto acústico é complementado por parâmetros psicoacústicos.

Outro exemplo que pode ser citado é a diferença entre o desempenho térmico e o conforto térmico, onde, para a ASHRAE (2009), o Conforto Térmico pode ser caracterizado como o estado da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico e que esse processo é cognitivo e influenciado por processos físicos, fisiológicos, psicológicos e outros. Corbella; Yannas (2003) afirmam que uma pessoa está confortável termicamente quando se encontra em um ambiente físico e sente neutralidade<sup>6</sup> com relação a ele. Enquanto Akutsu (1988) afirma que a avaliação do desempenho térmico de uma edificação consiste basicamente em verificar se o ambiente interno atende ou não a um conjunto de requisitos prefixados em função das exigências do usuário quanto ao seu conforto térmico.

Nesse trabalho foi considerado apenas o desempenho térmico e acústico para fachada ventilada.

### **2.4.1. Desempenho térmico**

Akutsu e Lopes (1988) definem desempenho térmico como o resultado da interação entre a edificação e o ambiente térmico a que a mesma está inserida ou suas condições de exposição. Essa interação depende de algumas variáveis de condição de exposição da edificação, como por exemplo, as condições climáticas, onde é possível citar a temperatura e umidade do ar, a velocidade e direção dos ventos e a radiação solar, as condições de implantação, como a latitude e a longitude, a topografia, a orientação solar e as interferências com o ambiente adjacente à edificação, além dos materiais e componentes constituintes, que dão forma e dimensões a edificação.

De acordo com Peralta (2006) para melhor compreensão da influência do clima é fundamental conhecer, sobretudo, o processo de trocas térmicas, as quais são responsáveis pelo desempenho térmico de edificações.

#### **2.4.1.1. Trocas térmicas**

As trocas térmicas entre dois sistemas acontecem quando existe a mudança de estado físico desse sistema ou uma diferença de temperatura entre dois sistemas no mesmo espaço, gerando assim um fluxo de calor de um sistema para o outro. De acordo com Acioli (1994), esse fluxo

---

<sup>6</sup> Estado físico no qual a densidade do fluxo de calor entre o corpo humano e o ambiente é igual à taxa metabólica do corpo, sendo mantida constante a temperatura do corpo (ABNT NBR 15220:2005).

acontece devido à energia cinética presente em cada molécula<sup>7</sup> do sistema, onde, quanto maior for à movimentação dessas moléculas, maior será a temperatura do sistema. As moléculas tendem a uniformizar a temperatura do sistema, cedendo ou recebendo energia cinética de outras moléculas, buscando o seu equilíbrio energético. Esse balanço energético pode ser explicado pelo princípio da conservação da energia.

Os mecanismos de trocas térmicas podem ser divididos em dois grupos: As que envolvem variação de temperatura, denominados de trocas secas, e as que não envolvem a variação de temperatura, mas sim, a mudança de estado de agregação, denominados por trocas úmidas.

Existem três maneiras distintas de trocas térmicas secas: por condução, por convecção e por radiação.

#### a) Condução

O conceito de condução pode ser explicado como a troca de calor entre dois corpos que se tocam ou mesmo partes do corpo que estejam a temperaturas diferentes (FROTA; SCHIFFER, 2001). Já Costa (2000) define a condução como sendo a passagem de calor de uma zona para outra de um mesmo corpo ou de corpos diversos em íntimo contato devido ao movimento molecular dos mesmos, sem que se verifiquem deslocamentos materiais no corpo ou sistema considerado. Ou seja, é um processo vibratório no qual a energia térmica é transmitida diretamente de molécula a molécula, através do sistema. Esse fenômeno transmite a energia térmica de camada em camada de moléculas dentro de um sistema.

A taxa de transferência de calor ( $\frac{dQ}{dt}$ ) é diretamente proporcional à condutividade térmica do material ( $k$ )<sup>8</sup>, como é possível observar na lei fundamental da condução do calor (Equação 2.1). Uma substância com grande condutividade térmica é boa condutora de calor, outra cuja condutividade térmica seja pequena, é um mal condutor ou bom isolante térmico (HALLIDAY; RESNICK, 1984).

$$\frac{dQ}{dt} = H = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

---

<sup>7</sup> Dentro do sistema existem ainda os elétrons livres que se movimentam ao acaso com uma velocidade média que depende da temperatura. Quanto maior essa temperatura, maior a movimentação dos elétrons livres, influenciando o movimento dos átomos e elétrons vizinhos.

<sup>8</sup> A condutividade térmica pode ser definida com a quantidade de calor que passa, por unidade de tempo, através de uma área no qual existe um gradiente de temperatura uniforme.

## b) Convecção

A convecção acontece por meio de um processo de transporte de energia que combina a condução de calor, armazenamento de energia e movimento de massa (BORGES, 2013). Já Acioli (1994) define convecção como o calor transmitido de um lugar para outro pelo deslocamento do próprio material fluido.

A convecção se dá quando uma massa de fluido entra em contato com uma superfície com temperatura mais alta, absorvendo energia dessa superfície, e tornando-se menos denso, e quando essa mesma massa de fluido entra em contato com uma superfície com temperatura mais baixa e doa energia para essa superfície, tornando-se mais denso, é chamado de processo de convecção natural. Já quando o fluido é forçado a se deslocar por meio de uma bomba ou outro dispositivo qualquer, a convecção é chamada de forçada.

Quando se trata de superfícies verticais, as trocas térmicas por convecção são intensificadas pela movimentação do ar. Nesse caso, mesmo que o movimento do ar seja por causas naturais, como o vento, o mecanismo de troca é considerada convecção forçada (FROTA; SCHIFFER, 2001)

Nos materiais de construção a convecção pode acontecer tanto dentro dos poros de materiais como na interface material-ar atmosférico.

## c) Radiação

Para Frota e Schiffer (2001) a radiação térmica pode ser definida como o mecanismo de troca de calor entre dois corpos, que aguardam entre si uma distância qualquer, através de sua capacidade de emitir e de absorver energia térmica. Esse processo é pelo qual os sistemas absorvem ou emitem energia térmica sob forma de ondas eletromagnéticas, desse modo à transmissão não precisa possuir um meio de propagação para acontecer, podendo ocorrer até mesmo no vácuo.

Todos os corpos emitem continuamente radiação térmica de suas superfícies para o meio que o cercam. Quando essa energia atinge um corpo, acontece uma interação entre as ondas e os átomos do corpo, acontecendo um aumento na energia cinética e conseqüentemente o aumento de sua temperatura. Um corpo aquecido não emite apenas uma onda de um determinado comprimento de onda (ou frequência), mas uma mistura de ondas de vários

comprimentos; esse fenômeno é definido como a taxa de emissão de um corpo ( $R$ ), que é função do comprimento de onda ( $\lambda$ ) e da temperatura do corpo ( $T$ ) (ACIOLI, 1994).

Considerando a emissão de energia de um corpo por radiação com taxa de radiação igual a  $R(\lambda)$  e com temperatura constante, podemos dizer que a taxa de emissão por comprimento de onda é de  $\frac{dR}{d\lambda}$ . Para calcular a radiação total de um corpo emissor utilizamos a Equação 2.2.

$$R = \int \frac{dR}{d\lambda} d\lambda \quad (2.2)$$

Ao incidir sobre uma superfície essa radiação pode sofrer algumas interferências do meio onde está acontecendo a troca térmica e das características físicas do material incidido. Podem-se citar como interferência no processo de troca térmica por radiação a temperatura da superfície do material, os aspectos geométricos e físicos da superfície e principalmente da emissividade térmica ( $\epsilon$ ) da superfície, que pode ser definida como a capacidade de uma superfície emitir calor. A combinação desses fatores gera um coeficiente simplificador chamado de coeficiente de trocas térmicas por radiação ( $h_r$ ).

A principal radiação incidente nas edificações é a radiação solar. Essa radiação é a principal fonte de luz natural e um dos principais contribuintes para o ganho térmico na superfície terrestre e nas edificações. De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2004), a variação da temperatura na superfície da Terra resulta principalmente das grandes massas de ar e da diferente recepção da radiação solar de local para local.

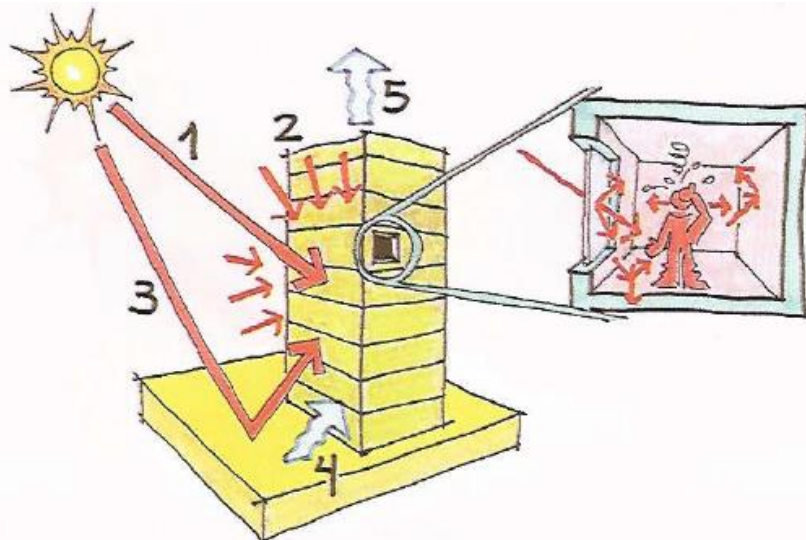
O espectro da radiação solar possui uma variação de comprimento de ondas que vão de 280nm até 3000nm, abrangendo três regiões: ultravioleta (de 100 a 400nm), visível (de 380 a 780nm) e infravermelho (de 780nm a 1 $\mu$ m). Boa parte da radiação ultravioleta é filtrada pela camada de ozônio, mas a parcela que incide na superfície da Terra é responsável de modificar a estrutura atômica de alguns materiais, causando efeitos como a descoloração e degradações (PERALTA, 2006). A região visível é a causadora da sensação de visão e definição de cores, já que a luz branca possui todos os comprimentos visíveis pelo ser humano. Toda radiação pode ser absorvida e transformada em calor, porém a região de infravermelho tem efeito mais forte de aquecimento entre todos os tipos da radiação (PHILIPS, 1976 *apud* MORAES, 1999).

A radiação solar incidida nas edificações pode ser dividida em cinco tipos: A radiação solar direta (1), que é a radiação solar recebida diretamente da abóboda celeste sem nenhuma interferência da atmosfera, a radiação difusa (2), que é constituída pela radiação solar que é espalhada ou refletida de volta para Terra, a radiação solar refletida pelo solo e pelo entorno (3), que depende da superfície refletora, a radiação emitida pelo solo aquecido e pelo céu (4), que após de recebido radiação solar o solo se aquecerá, emitindo radiação térmica, e a radiação térmica (5) emitida pelo edifício (Figura 2.4).

A incidência de radiação solar sobre a edificação gera um aumento de temperatura no interior da edificação. A intensidade desse aumento<sup>9</sup> é função da intensidade da radiação e das características térmicas dos materiais constituintes. Os diferentes elementos construtivos possuem respostas diferentes dependendo de suas características físicas.

Podemos dividir os fechamentos da edificação em dois: os opacos, representados pelas vedações verticais externas não transparentes, e os Translúcidos ou Transparentes, representados pelas janelas ou elementos transparentes. A principal diferença entre os fechamentos é a capacidade ou incapacidade de transmitir a radiação solar para o ambiente interno.

Figura 2.4 - Tipos de radiação solar (LAMBERTS;DUTRA;PEREIRA,2004)



As trocas de energia entre os meios exterior e interior da edificação tem como cerne o envelope construtivo (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004). Segundo Labaki (1995 *apud* MORAES,1999) a radiação solar, ao encontrar uma superfície, tem parte dela refletida, outra

<sup>9</sup> Quando há incidência da radiação solar há sempre um ganho de calor

absorvida e transmitida pela vedação, sendo que esses valores dependem da refletividade ( $\rho$ ) e absortividade ( $\alpha$ ) do material (Figura 2.5). A parcela absorvida é a responsável pelo o aumento da temperatura interna da edificação.

O fluxo de calor que atravessa um fechamento opaco e penetra no interior de uma edificação é definido pela Equação 2.3.

$$q = \alpha \cdot \frac{U}{h_e} \cdot I + U \cdot \Delta T \quad (2.3)$$

Onde:

$q$  – ganho de calor solar ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$\alpha$  – absorptância da radiação solar (adimensional)

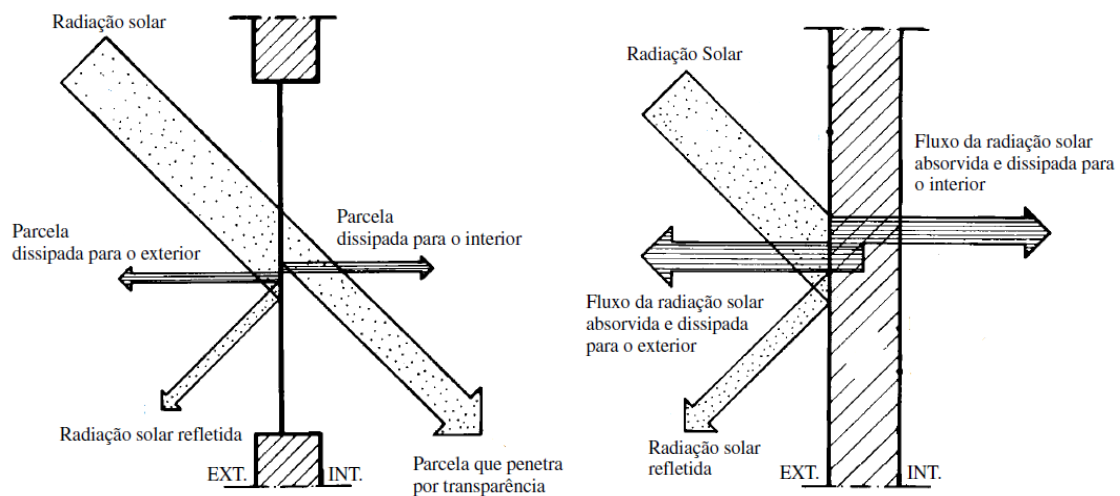
$h_e$  – coeficiente de condutância térmica superficial externa ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )

$U$  – coeficiente global de transmitância térmica ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )

$I$  – intensidade da radiação solar global ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$\Delta T$  – diferença de temperatura interna e externa.

Figura 2.5 - Troca de calor em fechamentos transparente e em fechamentos opacos (Adaptado de Frota; Schiffer, 2003)



#### 2.4.1.2. Propriedades Térmicas dos Materiais

A escolha dos materiais na hora do projeto é de extrema importância para garantir o desempenho térmico das edificações. As diferentes propriedades trazem respostas distintas em vista às inúmeras solicitações térmicas sofridas pelo edifício. O conhecimento dessas propriedades é fundamental para aproveitar as qualidades que cada material pode oferecer.

As propriedades dos materiais construtivos que interferem nas formas de transmissão de calor são: Absortância à radiação solar, refletância e emissividade, condutividade térmica, calor específico, transmitância térmica e resistência térmica. Na Tabela 2.3 são mostradas as propriedades e suas definições de acordo com a ABNT NBR 15220:2005.

Tabela 2.3 - Características térmicas dos materiais (ABNT NBR 15220:2005)

Absortância ( $\alpha$ )	Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre essa mesma superfície
Refletância ( $\rho$ )	Quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície
Emissividade ( $\epsilon$ )	Quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura
Condutividade térmica ( $\lambda$ )	Propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m <sup>2</sup> , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro
Calor específico (c)	Quociente da capacidade térmica pela massa
Resistência térmica (R)	Quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário.
Transmitância térmica (U)	Inverso da resistência térmica total



As características da superfície em relação à radiação térmica são a absorvância, a refletância e a emissividade. Em superfícies opacas uma parte da radiação incidente é refletida e outra absorvida, onde o somatório das duas parcelas deve ser igual a um. A absorvância de um material é determinada principalmente pela sua cor. Se a absorvância for igual a 0,7, significa que 70% da radiação incidida será absorvida e 30% será refletida. Da mesma forma para a refletância, onde o índice indica a porcentagem de radiação refletida. De acordo com a ABNT NBR 15575:2013, as cores claras possuem absorvância de 0,3, as cores médias de 0,5 e as cores escuras de 0,7.

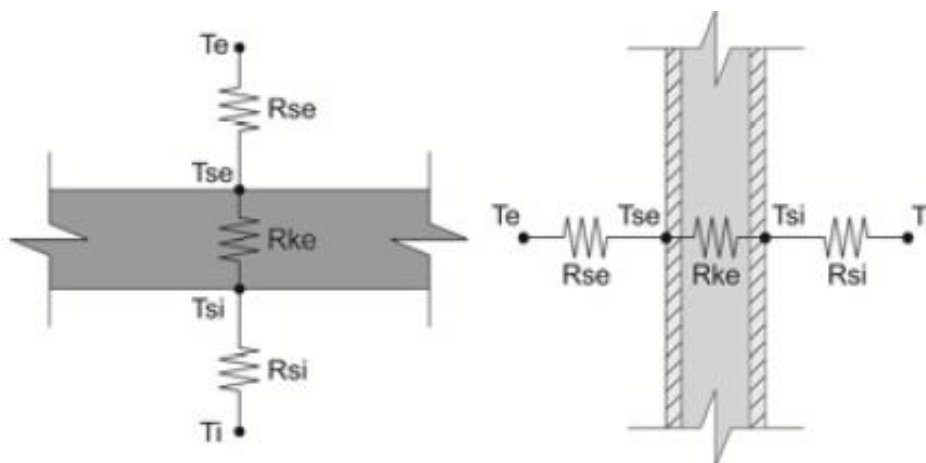
A Resistencia térmica ( $R$ ) de cada componente está relacionada à espessura ( $e$ ) e condutividade térmica ( $\lambda$ ) dos materiais constituintes, e representam a sua capacidade de conduzir maior ou menor quantidade de energia por unidade de área e de diferença de temperatura (PALACIO, 2013). A superfície do componente também possui uma resistência térmica, tanto para a parte externa ( $R_{se}$ ) quanto para a parte interna ( $R_{si}$ ). O cálculo<sup>10</sup> da resistência térmica total do sistema ( $R_T$ ) depende tanto da resistência térmica do material, quanto das resistências térmicas da superfície como é possível observar pela Equação 2.4 e 2.5 e pela Figura 2.6.

$$R_T = R_{se} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{si} \quad (2.4)$$

Onde,

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (2.5)$$

Figura 2.6 - Transmissão de calor por um fechamento opaco (BORGES, 2013)



<sup>10</sup> A resistência térmica pode ser calculada de duas formas que dependem do sistema avaliada: O cálculo quando o sistema é homogêneo e o cálculo quando o sistema é heterogêneo

O inverso da resistência térmica total ( $R_t$ ) do componente é definido como Transmitância térmica ( $U$ ), medida em  $W/m^2K$ .

A capacidade térmica ( $CT$ ) é outra propriedade do material muito importante para o desempenho térmico nas edificações, e é conhecida como a capacidade de perder ou absorver calor em determinado corpo, em razão da variação da temperatura. Essa propriedade é função da espessura do componente ( $e$ ), do calor específico ( $c$ ) e de sua densidade de massa aparente ( $\rho$ ) e pode ser calculada de acordo com a Equação 2.6.

$$CT = \sum_{i=1}^n e_i c_i \rho_i \quad (2.6)$$

De acordo com Gemelli (2009) a grande função das paredes externas de uma edificação é de atrasar a transferência de calor do exterior para o interior, e amenizar as temperaturas internas das amplitudes térmicas que ocorrem externamente. Quanto maior a capacidade térmica do material, maior a sua capacidade de atrasar e amortecer a transferência de calor.

#### **2.4.2. Desempenho acústico**

A evolução do crescimento urbano e da densidade demográfica na última década trouxe uma série de prejuízos acústicos aos moradores de grandes centros urbanos mundiais. A pressão sofrida pela construção civil para suprir o déficit habitacional e tornar a habitação mais acessível à população fez com que o tempo de obra e os custos diminuíssem. Gerretsen (2003) afirma que os materiais de construção civil estão se tornando cada vez mais leves para facilitar a pré-fabricação. As paredes, fachadas, divisórias de ambientes e lajes de cobertura ficaram cada vez menos espessos, acarretando maior transmissão sonora (QUEIROZ, 2007).

Pimentel (1997) afirma que o ruído é um dos principais causadores de distúrbios de sono, estresse e perturbação do ritmo biológico. Ainda aponta que a exposição ao ruído provoca, direta ou indiretamente, aumento do risco de enfarte, derrame cerebral, infecções, fadiga mental, além da falta de privacidade da habitação, que gera insatisfação, irritação e a violência no convívio social.

Em Brasília-DF a frota de veículos automotores cresceu 154 % do ano 2000 até 2013 como é possível observar na Figura 2.7. O aumento dos veículos circulando nas cidades acarreta

aumento da poluição sonora, visto que o tráfego de veículos é o maior emissor de ruído urbano (QUEIROZ, 2007).

Figura 2.7 - Evolução da frota de veículos em Brasília-DF (DETRAN, 2013)



A preocupação com o desempenho acústico nas edificações foi negligenciada durante muito tempo no Brasil. De acordo com Hammad (1983) em países de clima quente, fatores como a proteção térmica, insolação e ventilação são mais consideradas que os parâmetros acústicos. Esse panorama das construções brasileiras é preocupante, já que o ruído urbano aumentou enquanto o isolamento sonoro perdeu eficiência (DUARTE, 2005). Por isso a grande importância do estudo de desempenho acústico nas edificações.

O desempenho acústico dos ambientes é resultado da combinação de vários fatores determinantes

#### 2.4.2.1. O Som e ruído

O conceito de som vem sendo estudado há muito tempo. Parkin (1958) define som como a sensação produzida pelo ouvido resultado das flutuações de pressão no ar. Já Silva (1962) divide o som em duas definições: a primeira de som vibração, ou sensação física, que percorre um meio qualquer de propagação, e o som enquanto sensação sonora, que é uma sensação

psico-fisiológica captada pelo nosso ouvido. Para as questões de acústica arquitetônica, a segunda definição é a mais interessante.

O som é percebido pelo nosso ouvido através de ondas sonoras, que podem ser definidas como a variação de pressão (compressões e distensões) que se propaga no ar ou em qualquer outro meio físico (elástico) (ACIOLI, 1994). Por ser uma onda mecânica, necessita de meios físicos para se propagar, como por exemplo, o ar.

Costa (2003) afirma que é possível caracterizar uma onda sonora através de três qualidades: a sua altura, que se relaciona com a sequência das vibrações sonoras, isto é, com a frequência do som, o timbre, que se relaciona diretamente com a composição harmônica da onda sonora, e a intensidade, que diz a respeito à amplitude da onda sonora.

A frequência é um parâmetro indicador para medir o número de vibrações completas executadas por uma onda sonora em um segundo e sua unidade de medida é o hertz (Hz). Alguns autores, como Acioli (1994) afirmam que o ouvido humano é sensível a ondas sonoras com faixa de frequência de 20 Hz a 20000 Hz (20 kHz), outros autores como Costa (2003), já colocam como frequências audíveis pelo ser humano a faixa de 16 Hz a 30000 Hz (30kHz).

A intensidade sonora pode ser definida como a quantidade de energia sonora (em watts) que atravessa um centímetro quadrado de área, perpendicular à direção em que o som se propaga (SILVA, 1962). A intensidade sonora é expressa em Watt/cm<sup>2</sup> e pode ser calculada de acordo com a Equação 2.7

$$I = \frac{W}{S} \quad (2.7)$$

A potência necessária para que uma fonte produza um som é muito pequena, cerca de 10<sup>-12</sup> W, ou seja, para que o ouvido perceba a flutuação da pressão do ar é também muito pequena, cerca de 2.10<sup>-9</sup> N/m<sup>2</sup>. Porém, como a faixa de pressão sonora audível pelo humano é muito larga, o limiar da audição (P<sub>0</sub>) corresponde a 0,00002 N/m<sup>2</sup> e o limiar da dor corresponde a 200 N/m<sup>2</sup> (SOUZA; ALMEIDA; BRAGAÇA, 2003), tendo sido, desta forma, criada um escala logarítmica, denominada de escala de decibel<sup>11</sup>, substituindo a escala por pressão.

---

<sup>11</sup> A escala em decibel foi uma homenagem dado ao inventor do telefone, Alexander Graham Bell, onde 1 decibel=10bel.

Assim, em vez de trabalhar com intensidade sonora ou pressão sonora, utiliza-se o decibel para medir o nível de intensidade sonora (NIS) e o nível de pressão sonora (NPS). A escala possui o seu valor 0 dB, correspondente ao valor de referência de intensidade ( $I_0$ ) de  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup> e frequência pura de 1000 Hz e pressão sonora de 20  $\mu$ Pa como é possível observar na Tabela 2.4 onde é mostrada a comparação dos níveis sonoros em  $\mu$ Pa e em dB, e na Tabela 2.5 onde é mostrada a comparação da intensidade sonora com o nível de intensidade sonora.

Tabela 2.4 - Comparação da pressão sonora com o nível de pressão sonora (Autor)

Pressão sonora ( $\mu$ Pa)	Nível de pressão sonora (dB)
20	0
200	20
2000	40
20000	60
200000	80

Tabela 2.5 - Comparação da intensidade com o nível de intensidade sonora (Autor)

Intensidade sonora (W/m <sup>2</sup> )	Nível de intensidade sonora (dB)
$10^{-12}$	0
$10^{-11}$	10
$10^{-10}$	20
$10^{-9}$	30
...	...
$10^0$	120

Para calcular<sup>12</sup> os níveis de intensidade sonora e os níveis de pressão sonora são utilizadas as Equações 2.8 e 2.9, respectivamente.

$$NIS = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (2.8)$$

$$NPS = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad (2.9)$$

O som possui diversas propriedades a serem estudadas, como por exemplo, o fenômeno de reflexão, da absorção e da transmissão do som, onde analogamente ao mesmo fenômeno da reflexão da radiação solar, o som encontra uma superfície, onde parte da intensidade energética incidente é refletida, parte dela é absorvida (transformada em calor) e parte transmitida. A parte absorvida e transmitida do som é a responsável por transmitir as vibrações sonoras para o interior da edificação. Teoricamente o coeficiente de absorção sonora dos materiais ( $a$ ) pode ser expresso de acordo com as seguintes Equações 2.10 e 2.11, onde:  $R$  é o raio do poro do material,  $\mu$  é a viscosidade do meio,  $f$  é a frequência em Hz e  $\rho$  é a massa específica do material.

$$a = 1 - \frac{2M^2 - 2M + 1}{2M^2 + 2M + 1} \quad (2.10)$$

$$M = \frac{2}{R} \sqrt{\frac{\mu}{2\pi f \rho}} \quad (2.11)$$

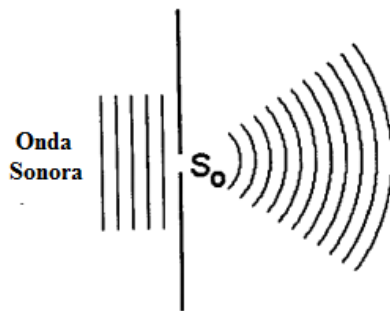
O som também é influenciado pelo ambiente onde se encontra. Schmid (2011) explica que é um fenômeno físico que um dado recinto, como por exemplo, parte de uma edificação, possui à respostas acústicas particulares. Essas respostas dependem da volumetria do espaço, das características superficiais e da característica da própria onda sonora.

---

<sup>12</sup> O equipamento mais utilizado para medir níveis de pressão sonora é o decibelímetro. O nome decibelímetro foi erroneamente designado, já que o equipamento não mensura decibéis e sim níveis de pressão sonora, devendo portanto, ser chamado de medidor de pressão sonora ou sonômetro.

Outra propriedade de extrema importância para o estudo de impacto sonoro nas fachadas ventiladas é o fenômeno de difração. Considerando, por exemplo, a passagem do som por uma abertura de pequena dimensão (juntas da fachada ventilada) (Figura 2.8), a pequena porção da superfície da onda, que passa pela abertura, se comporta como se fosse uma nova fonte de menor intensidade (COSTA, 2003),

Figura 2.8 - Difração de onda em uma abertura de pequena dimensão (Braum e Braum 1994 – Adaptado)



Quando os movimentos oscilatórios das ondas sonoras se combinam e produzem uma onda sonora resultante, cuja oscilação não se dá de forma harmônica, tem-se o que é chamado de ruído (CALIXTO, 2002).

O ruído é o som que causa incômodo e não é desejado. Knudsen e Harris (1959) definem ruído como som indesejável. Assim o ruído se caracteriza pela existência de muitas amplitudes e frequências ocorrendo simultaneamente de maneira não harmônica.

O ruído é associado a uma sensação não prazerosa. A fronteira entre o som e o ruído não pode ser definida com precisão, pois cada indivíduo apresenta uma reação diferente ao som e ao ruído, que depende dentre outros fatores, de seu estado emocional e de sua personalidade (CALIXTO, 2002).

No país existem normas e legislação específicas para o controle do ruído urbano. A resolução do CONAMA N°002 de 1990 instituiu o Programa Nacional de Educação e Controle de Poluição – intitulado Silêncio, que considera problemática a poluição sonora nas áreas urbanas, e que o ruído em excesso é uma séria ameaça à saúde, ao bem-estar público e qualidade de vida. Além de instituir o programa Silêncio, a resolução respeita os padrões estabelecidos pela ABNT NBR 10151:2000. Essa norma fixa valores máximos de comparação do nível de pressão sonora equivalente medido na banda A ( $LA_{eq}$ ) com os valores de nível de critério de avaliação NCA por tipos de áreas e por períodos do dia (Tabela 2.6).

Tabela 2.6 - Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A) (ABNT NBR 10151:2000)

Tipos de áreas	Diurno (dB)	Noturno (dB)
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Áreas estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	60
Área predominantemente industrial	70	65

No Distrito Federal, a poluição sonora e seus problemas são abordados na Lei Distrital Nº 4.092 de Janeiro de 2008 (CLDF, 2008).

Existem dois tipos de ruído que são continuamente avaliados nas edificações: o ruído aéreo, que é aquele que se propaga pelo ar e o ruído de impacto, aquele que apresenta picos de energia acústica de duração inferior a um segundo. Nesse estudo serão considerados apenas os ruídos aéreos.

#### 2.4.2.2. Isolamento sonoro de fachadas

Como dito anteriormente o som se propaga em ondas através de qualquer meio elástico. As ondas incidem sobre uma superfície (fachadas, paredes, coberturas...) fazendo com que vibrem. Nesse processo parte dessa energia é refletida, parte é absorvida e parte é transmitida. Evitar a propagação das ondas sonoras, através das partições é imprescindível no âmbito da arquitetura (QUEIROZ, 2007).

Para a proteção sonora dos habitantes da edificação é de extrema importância isolar acusticamente a envoltória do edifício, projetando dentre os diversos elementos da fachada (janelas, paredes, revestimento) redutores sonoros. É possível estimar o desempenho do isolamento do edifício através do desempenho de cada elemento, de acordo com a norma ISO 15712-3:2005.



A redução sonora pode ser definida como um índice capaz de determinar a capacidade de um elemento de isolar a passagem do som e pode ser calculada de acordo com a Equação 2.12.

$$R = 10 \log \frac{W_i}{W_t} \quad (2.12)$$

Onde,

$W_i$  é a energia sonora incidente

$W_t$  é a energia sonora transmitida

Como visto anteriormente, a absorção e a transmissão do som dependem de diversos fatores, entre eles a frequência. A redução sonora é dada em função da frequência que aquele elemento pode isolar. Costa (2003) demonstra que o índice de redução sonora pode ser calculado de acordo com a Equação 2.13.

$$R = 20 \log(m) + K \quad (2.13)$$

Onde,

$m$  é a massa do elemento analisado, e  $K$  (Tabela 2.7) é um fator de correção que depende da frequência da onda sonora.

Tabela 2.7 - Fator K de correção em função da frequência (COSTA, 2003)

Frequência em Hz	K
125	-5.5
250	0.5
500	6.6
1000	12.6
2000	18.6
4000	24.6
8000	30.7

Na Tabela 2.6 é mostrado que a o índice de redução sonora aumenta com a frequência, cerca de 6 dB, quando se dobra a frequência. Na Equação 2.12 pode ser verificado que o R aumenta com o incremento da massa do elemento analisado, o que vai de encontro com a Lei das massas. Segundo EGAN (1998), quanto maior a massa do material, maior é a resistência ao movimento do elemento e, então, menor é a quantidade de energia transmitida. Por essa razão, a expressão que descreve a perda de transmissão nessa região é comumente conhecida como “Lei da Massa”. A perda de energia por transmissão (TL) por um elemento é regido pela equação 2.13, onde m é a densidade do componente e f a frequência.

$$TL = 20 \cdot \log_{10}(f \cdot m) - 48 \quad (2.14)$$

Foram criados diversos índices de redução sonora de acordo com a sua utilização (particularidades). Na Tabela 2.8 é possível verificar as principais variações dessa grandeza.

Tabela 2.8 - Principais parâmetros para determinação do índice de redução sonora (adaptado de QUEIROZ, 2007)

R	Índice de redução sonora de um elemento conforme a ISO 140-3
R'	Índice de redução sonora aparente da fachada para campo sonora incidente difuso
R <sub>G</sub>	Índice de redução sonora global da fachada para campo sonora incidente difuso
R' <sub>tr,s</sub>	Índice de redução sonora aparente da fachada para ruído de tráfego
R <sub>i</sub>	Índice de redução sonora para um elemento i da fachada
R <sub>j</sub>	Índice de redução sonora para a parte composta j de um elemento da fachada
R <sub>w</sub>	Número único para índice de redução sonora conforme ISO 717

Assim como Queiroz (2007) esse estudo não depende da geometria da fachada, por isso resolveu-se avaliar nessa pesquisa o índice R<sub>w</sub>, que também é utilizado diretamente pelo *software Insul*, que será apresentado no item 4.2.2.

Na Tabela 2.9 é mostrado são apresentados os valores mínimos exigidos de R<sub>w</sub> pela legislação internacional.

Tabela 2.9 - Valores de isolamento mínimo exigidos pela legislação de diferentes países  
(AKDAG,2004 *apud* Queiroz, 2007)

<b>País/Norma</b>	<b>Condições</b>	<b>Isolamento mínimo exigido (<math>R_w</math>)</b>
Áustria (Onorm B8115)	$L_{Aeq} \leq 55$	33
	$56 \leq L_{Aeq} \leq 60$	38
	$61 \leq L_{Aeq} \leq 65$	43
	$66 \leq L_{Aeq} \leq 70$	48
	$L_{Aeq} > 70$	52
Bulgária (BDC 8998)	$L_{Aeq} \leq 55$	25
	$L_{Aeq} :60$	30
	$L_{Aeq} :65$	35
	$L_{Aeq} :70$	40
Alemanha (DIM 4109)	$L_{Aeq} \leq 55$	30
	$56 \leq L_{Aeq} \leq 60$	30
	$61 \leq L_{Aeq} \leq 65$	35
	$66 \leq L_{Aeq} \leq 70$	40
	$71 \leq L_{Aeq} \leq 75$	45
	$76 \leq L_{Aeq} \leq 80$	50
	$L_{Aeq} > 80$	Necessita de estudo específico

De acordo com a ISO 15712:2005, a transmissão sonora em fachadas acontece pela transmissão sonora de cada elemento constituinte da fachada, podendo assim ser calculado o índice de redução sonora da fachada ( $R_G$ ), ponderando as reduções sonoras de cada um de seus elementos.

Essa ponderação acontece através do valor das reduções sonoras ( $R_w$ ) e de suas respectivas áreas no plano da fachada observada, conforme a equação 2.15.

$$R_G = -10 \log \frac{\sum_i (S_i 10^{-\frac{R_i}{10}})}{\sum S} \quad (2.15)$$

Onde  $R_G$  é o índice de redução sonora aparente da fachada,  $R_i$  é o índice de redução sonora do elemento,  $S_i$  é a área do elemento da fachada e  $S$  é a área total da fachada.

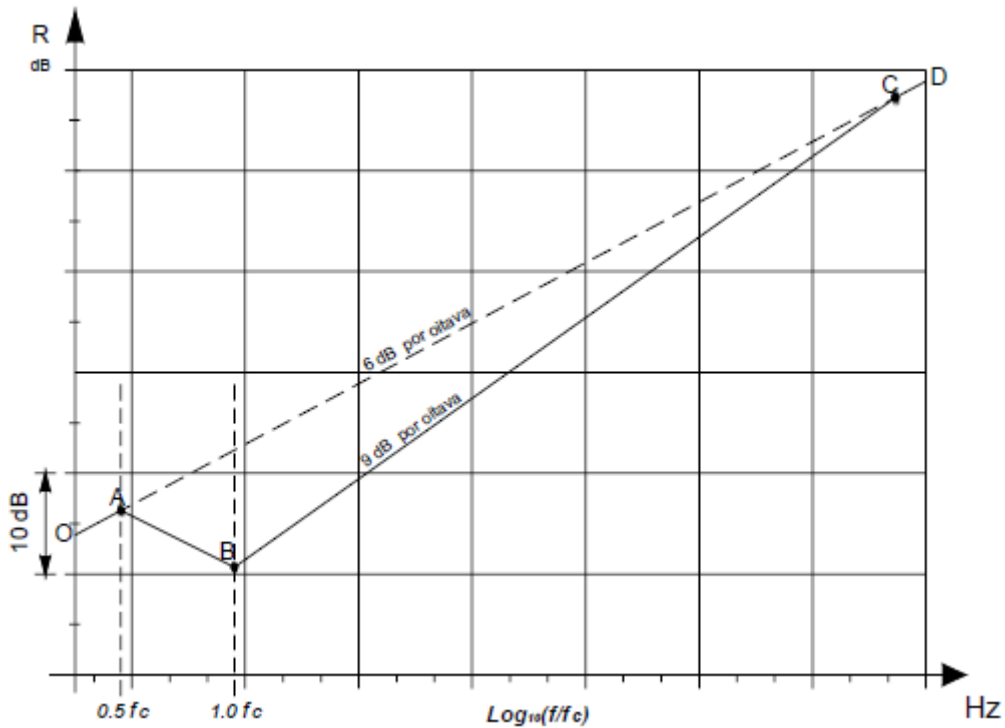
#### 2.4.2.3. Modelo simplificado de predição do isolamento sonoro

A modelagem matemática envolvida no isolamento acústico é complexa devido à grande quantidade de variáveis existentes. Meisser (1973), Beranek (1992) e Bies (2003) citam como variáveis fundamentais a massa dos elementos, a frequência do som, o ângulo de incidência das ondas, a existência de pontos fracos no isolamento, a rigidez e o amortecimento do elemento.

A solução adotada para a modelagem matemática é a seleção de algumas variáveis mais importantes para o estudo desse fenômeno. Quando desprezado o módulo de elasticidade do elemento e os fenômenos de amortecimento, é possível calcular o isolamento sonoro do elemento de acordo com a Lei das Massas (Equação 2.13). A lei das massas pode levar a certas imprecisões na predição do isolamento sonoro, pois os elementos de construção vibram em função da sua frequência fundamental, tornando possível a transmissão de uma grande quantidade de energia sonora em determinadas frequências de onda.

Com base nos modelos inerciais (lei das massas), diversos autores propuseram alguns modelos de predição do isolamento sonoro. Meisser (1973) considera como base uma lei experimental da frequência com inclinação de 4dB por oitava e outra lei experimental da massa que acontece o acréscimo de 4dB a cada duplicação da massa. Já o modelo proposto por Sharp (1978), considera para elementos simples e isotrópicos, a sua massa e a frequência da onda, além da frequência crítica do elemento ( $f_c$ ) e o fator de perdas do elemento ( $\eta$ ). Na Figura 2.9 é possível verificar o esquema de traçado da curva de isolamento proposto por Sharp (1978).

Figura 2.9 – Esquema de montagem da curva de isolamento sonoro do modelo proposto por Sharp. (MATEUS, 2008)



A reta tracejada corresponde ao modelo inercial obtido através da equação da Lei das massas. O ponto B é função da frequência crítica (Equação 2.16), da massa e do fator de perda do elemento, podendo ser obtido pela Equação 2.17.

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{ph}{D}} \approx 0,55 \sqrt{\frac{\rho(1 - \nu^2)}{E}} \quad (2.16)$$

$$R_B = 20\text{Log}(f_c \cdot m) + 10\text{Log}(\eta) - 45 \quad (2.17)$$

Onde,

c – Velocidade do som no ar (m/s)

E – Módulo de elasticidade (N/m<sup>2</sup>)

ρ - Densidade superficial (Kg/m<sup>2</sup>)

h – Espessura do elemento (m)

ν - Coeficiente de Poisson.

De acordo com Pinto (2011), os projetos de isolamento procuram dimensionar os elementos de vedação para que a frequência crítica se encontre em faixas de frequências não audíveis, ou pouco sensíveis pelo ser humano.

O ponto C é determinado pelo cruzamento da curva de 6 dB por oitava e 9 dB por oitava. Com essas informações é possível determinar as equações correspondentes ao traçado completo da curva de isolamento sonoro, de onde resultam as seguintes equações proposta por Sharp (1976):

$$R = 20 \text{ Log}(f \cdot m) - 47 \quad \text{para } f \leq 0,5f_c \quad (2.18)$$

$$R = 20 \text{ Log}(f_c \cdot m) - 53 + [26,58 + 33,22 \text{ Log}(\eta)] \text{ Log} \frac{2f}{f_c}, \text{ para } 0,5f_c \leq f \leq f_c \quad (2.19)$$

$$R = 20 \text{ Log}(f_c \cdot m) - 44,4 + 10 \text{ Log} \left( \frac{\eta \cdot f}{f_c} \right) \quad \text{para } f_c < f < f(C), \quad (2.20)$$

$$\text{com } f(C) = 0,443 \frac{f_c}{\eta}$$

$$R = 20 \text{ Log}(f \cdot m) - 47 \quad \text{para } f > f(C) \quad (2.21)$$

Traçada a curva de predição do isolamento é calculado então o índice de isolamento sonoro  $R_w$  de acordo com a norma ISO 717-1:1997.

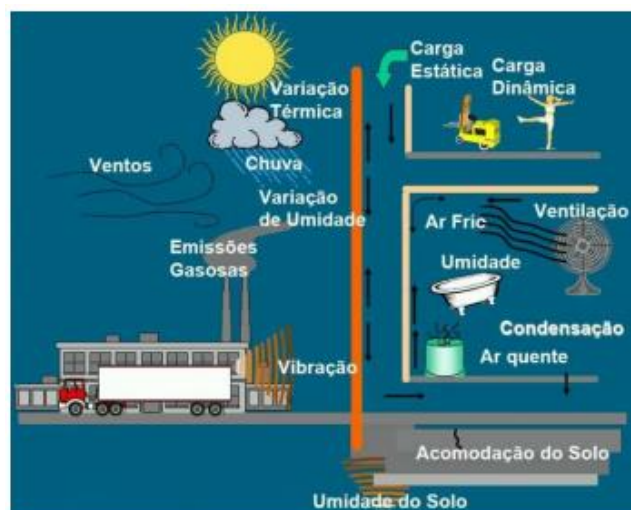
### 3. FACHADA

A fachada de um edifício contribui para a sua valorização, principalmente pelo valor agregado que impõe, dependendo do material empregado, aspectos estéticos, simbólicos e culturais. Mas a fachada de um edifício vai muito além dos aspectos visuais; a sua função engloba garantir a habitabilidade da edificação, pois serve como mediador entre o meio externo e o meio interno, podendo ainda apresentar um papel importante com relação a sustentabilidade do edifício (OLIVEIRA, 2009).

De acordo com Lemeieux e Totten (2010) a fachada é um dos sistemas responsáveis por propiciar e manter o conforto ambiental interno: acústico, térmico, higroscópico, de segurança e privacidade dos usuários. Os autores explicam que a fachada do edifício deve suportar diferentes solicitações sejam elas físicas, químicas ou mecânicas (Figura 3.1). Essas solicitações podem ser exemplificadas como:

- Ser capaz de suportar todas as forças internas e externas aplicadas sobre ela, sendo em sua maioria deformações estruturais;
- Ser capaz de controlar massa, energia, e fluxo de partículas dentro e através do sistema. Nisso está incluso calor, ar, umidade, odores, fogo, pássaros e insetos, entre outros;
- Atender a função estética nos quesitos visuais, de textura e outros aspectos que o projetista desejar, sendo essa função um dos princípios projetuais (MACIEL, 2013);
- Manterem-se limpos ou que, pelo menos, tornem fácil a sua limpeza;

Figura 3.1 - Condições de exposição das fachadas (ABCP, 2012)



De acordo com a ABNT NBR 15575-4:2013, além da volumetria e da compartimentação dos espaços da edificação, as fachadas integram-se de forma muito estreita aos demais elementos da construção, recebendo influências e influenciando o desempenho da edificação habitacional.

Segundo Oliveira (2009) as fachadas podem ser classificadas sob diversos aspectos: quanto à densidade, leves e pesadas, quanto ao revestimento, incorporado, posteriormente aderido ou sem revestimento. É possível acrescentar a essa classificação a função estrutural, autoportante ou estruturada, e quanto à sua continuidade superficial, visibilidade das juntas, monolítica e modular. De acordo com essa classificação as fachadas ventiladas podem ser classificadas como: Leves, com revestimento incorporado, estruturada e modular.

### **3.1. RESQUISITOS E CRITÉRIOS DE DESEMPENHO**

A ABNT NBR 15575:2013 apresenta requisitos e critérios de desempenho que devem ser obedecidos em todos os sistemas da edificação. O estabelecimento de exigências funcionais para os edifícios e seus componentes decorre do fato que os edifícios devem possuir características que permitam a satisfação das necessidades dos seus usuários. Segundo Mendes (2009) as fachadas são um elemento de transição entre o exterior e o interior, e têm, por si só, que garantir as suas diversas funções e ainda manter o seu desempenho dentro de grandes oscilações de parâmetros ambientais.

#### **3.1.1. Desempenho térmico das fachadas**

##### **3.1.1.1. Zona bioclimática**

De acordo com a ABNT NBR 15575:2013, o território brasileiro está dividido em 8 zonas bioclimáticas, onde cada zona representa uma região geográfica homogênea com características climáticas semelhantes que interferem nas relações entre o ambiente construído e o conforto humano<sup>13</sup>. A cidade de Brasília está inserida na Zona Bioclimática 04 (Figura 3.2). Na Tabela 3.1 são apresentados seus dados climáticos, como a latitude, longitude,

---

<sup>13</sup> Existem discussões sobre o número de zonas bioclimáticas existentes no Brasil. Durante o último ENCAC (Encontro Latino-Americano de Conforto do Ambiente Construído) foram debatidos a possibilidade de aumentar a quantidade de zonas, já que as existentes, não representam adequadamente as localidades brasileiras.



altitude, temperatura máxima diária, Amplitude diária de temperatura, temperatura do bulbo úmido, radiação solar e nebulosidade.

Figura 3.2 - Mapa das zonas bioclimáticas brasileira (ABNT NBR 15575:2013)

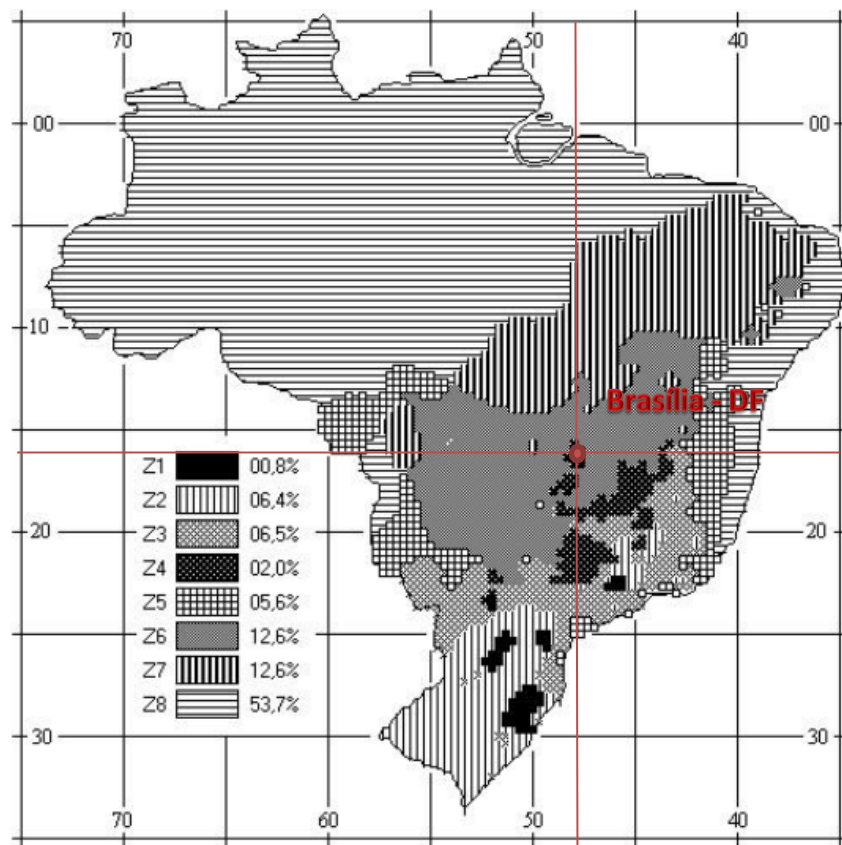


Tabela 3.1 - Dados climáticos de Brasília (Adaptado de ABNT NBR 15575:2013)

UF	Zona bioclimática	Cidade	Latitude	Longitude	Altitude
DF	4	Brasília	15.78 S	47.93 W	1160
<b>Temperatura máxima diária °C (Verão/Inverno)</b>	<b>Amplitude diária de temperatura °C (Verão/Inverno)</b>	<b>Temperatura de bulbo úmido °C (Verão/inverno)</b>	<b>Radiação solar Wh/m<sup>2</sup> (Verão/inverno)</b>	<b>Nebulosidade décimos (Verão /inverno)</b>	
31,2/10	12,5/12,2	20,9/14,8	4625/4246	4/3	

### 3.1.1.2. Requisitos e critérios

A ABNT NBR 15575-4:2013 fixa valores máximos de Transmitância Térmica (U) e de Capacidade Térmica (CT) que garantem um desempenho mínimo da vedação vertical. Os

valores variam de acordo com a zona bioclimática que se encontra a edificação. De acordo com a ABNT NBR 15220-3:2005, a cidade de Brasília-DF se encontra na zona bioclimática 4. Os critérios de valores máximos admissíveis para U e CT são apresentados na Tabela 3.2 e 3.3, sendo que os revestimentos dos tipos de fachadas adotadas nesse trabalho possuem absorvância ( $\alpha$ ) de 0,3.

Tabela 3.2 - Transmitância térmica de paredes (ABNT NBR 15575:2013)

<b>Transmitância Térmica U – W/m<sup>2</sup>.K</b>		
<b>Zonas 1 e 2</b>	<b>Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8</b>	
U ≤ 2,5	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

<sup>a</sup>  $\alpha$  é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede

Tabela 3.3 - Capacidade térmica de paredes externas (ABNT NBR 15575:2013)

<b>Capacidade Térmica (CT) – KJ/m<sup>2</sup>.K</b>	
<b>Zona 8</b>	<b>Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7</b>
Sem exigência	≥ 130

Os sistemas de vedações verticais externas podem ser avaliados, primeiramente, considerando o procedimento simplificado de análise. Caso o SVVE não atenda aos critérios analisados conforme o procedimento simplificado, é necessário aplicar o procedimento de análise considerando o procedimento de simulação do desempenho térmico.

Para a simulação de desempenho da edificação a ABNT NBR 15575:2013 fixa alguns parâmetros de dados de entrada no *software*.

- As informações sobre a localização geográfica e os dados climáticos correspondentes devem ser retiradas da Tabela 3.1;
- A geometria do modelo de simulação deve representar a situação real da edificação;

- Na composição de materiais para a simulação, devem-se utilizar dados das propriedades térmicas dos materiais e/ou componentes, obtidos em laboratório, ou constante na ABNT NBR 15220:2005;
- Simulação de todos os recintos da edificação, considerando as trocas térmicas entre eles;
- A orientação deve ser definida conforme a implantação;
- Adoção de uma taxa de ventilação dos ambientes de 1ren/h.

No caso das simulações, a ABNT NBR 15575:2013 define critérios de valores máximos de temperatura na condição de verão e de valores de temperatura mínima para as condições de inverno, conforma as Tabelas 3.4 e 3.5.

Tabela 3.4 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão (ABNT NBR 15575:2013)

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i, \text{máx}} < T_{e, \text{máx}}$	$T_{i, \text{máx}} < T_{e, \text{máx}}$

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

$T_{e, \text{máx}}$  é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius

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

Tabela 3.5 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno (ABNT NBR 15575:2013)

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 5	Zonas 6, 7 e 8
M	$T_{i, \text{mín}} < (T_{e, \text{mín}} + 3^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas, este critério não deve ser verificado

Nesse trabalho os tipos de fachadas foram analisadas seguindo o procedimento simplificado e o de simulação, cuja metodologia pode ser verificada no Capítulo 4.

### 3.1.2. Desempenho acústico das fachadas

Para o desempenho acústico do edifício, a ABNT NBR 15575:2013 possui dois critérios para as fachadas, a diferença padronizada de nível ponderado, promovida pela vedação externa ( $D_{2m,nT,w}$ ), que é verificada em campo, e o critério de índice de redução sonora ponderado ( $R_w$ ) para ensaios em laboratório. Nesse trabalho será utilizado apenas o índice  $R_w$ , já que é o índice utilizado pelo *software Insul*. Os níveis de desempenho Mínimos, Intermediários e Superiores para o índice  $R_w$  de acordo com a classe de ruído do meio, podem ser verificados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Índice de redução sonora ponderado,  $R_w$ , de fachadas (ABNT NBR 15575:2013)

Classe de ruído	Localização da habitação	$R_w$ (dB)	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	$\geq 25$	M
		$\geq 30$	I
		$\geq 35$	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	$\geq 30$	M
		$\geq 35$	I
		$\geq 40$	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação	$\geq 35$	M
		$\geq 40$	I
		$\geq 45$	S

### 3.2. FACHADAS VENTILADAS

Nos últimos anos, no Brasil, o sistema de vedações verticais foi um dos principais sistemas a receber novas tecnologias, principalmente devido à baixa produtividade e qualidade das alvenarias convencionais; hoje se vê um crescimento no emprego de fachadas pré-fabricadas em edifícios habitacionais de múltiplos pavimentos, com diversas características, como de porcelanato, de alumínio composto e de placas pétreas.

Mazzarotto (2011) afirma que uma fachada inovadora deve permitir o conforto ambiental interno, proteção acústica e uma boa iluminação, ao mesmo tempo em que reduz a demanda por energia extra.

Segundo Campos (2011) as fachadas ventiladas são largamente utilizadas na Europa, por apresentarem características de eficiência energética, beleza estética, resistência, potencial criativo e conforto ambiental, o que faz um sistema competitivo, especialmente em restaurações de edificações.

Cunha (2006) define fachada ventilada como um sistema formado por placas ou painéis fixados diretamente a uma sub estrutura auxiliar, dimensionada de forma a permitir a remoção do ar. Já Kiss (1999) apresenta um conceito muito mais completo onde a fachada ventilada é o sistema de revestimento externo caracterizado pela existência de uma camada isolante sobre a parede de vedação e uma camada externa de revestimento, estanque a água, composta de painéis modulares, fixada ao edifício por uma estrutura metálica. E ainda acrescenta que o sistema deve prever um espaço vazio que permita, por efeito chaminé<sup>14</sup>, uma ventilação contínua.

Existe uma grande confusão no entendimento dos termos fachada ventilada e fachada cortina. A fachada ventilada é uma vertente da fachada cortina, que é caracterizada por ser um sistema não aderido, instalado através de *inserts* metálicos, ou subestrutura metálica com uma câmara de ar, sendo que, no caso da fachada ventilada, o ar é renovado (MACIEL, 2013). Resumindo, toda fachada ventilada é uma fachada cortina, mas nem toda fachada cortina é uma fachada ventilada.

---

<sup>14</sup> Esse efeito tem sua origem na diferença de temperatura e, por conseguinte, de densidade, entre o ar externo e o ar interno a edificação. A diferença de densidade produz gradientes de pressão. Quando a temperatura interna é maior que a externa, o ar externo, mais frio, ingressa na edificação através das aberturas mais baixas e o ar interno, mais quente, sai pelas aberturas mais elevadas (CHIARELLO, 2006).

Na Figura 3.3 e 3.4 é possível verificar o funcionamento de uma fachada ventilada.

Figura 3.3 - Funcionamento de uma fachada ventilada (MACIEL, 2013)

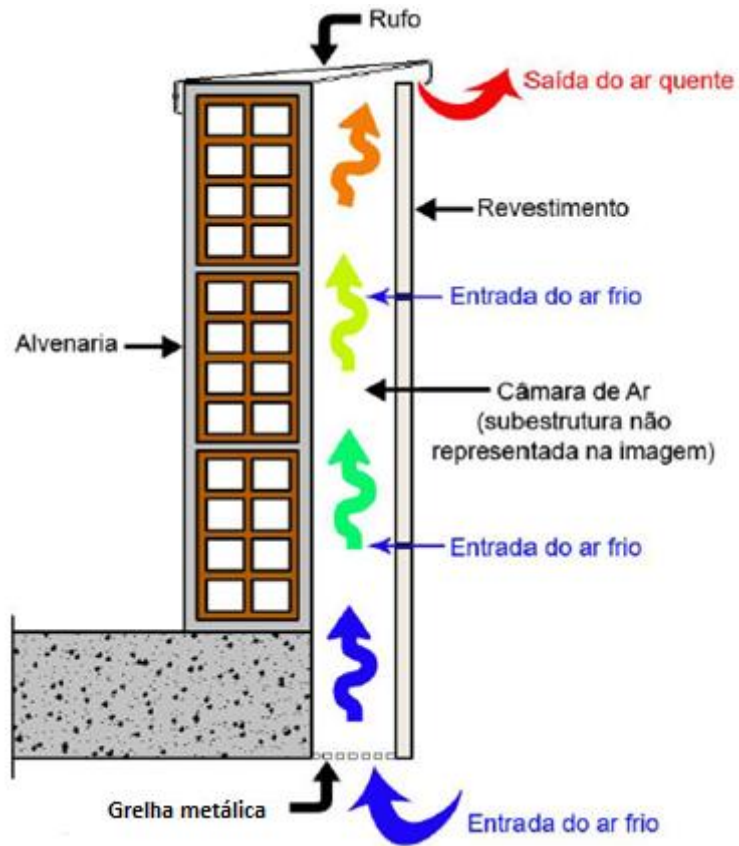
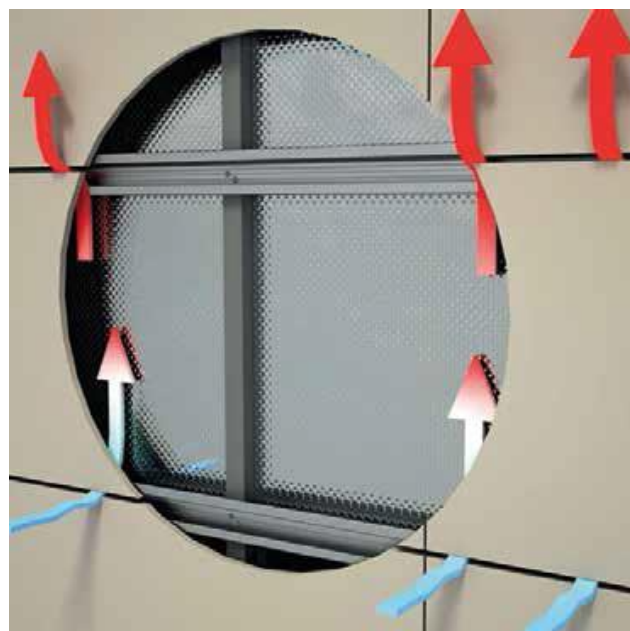
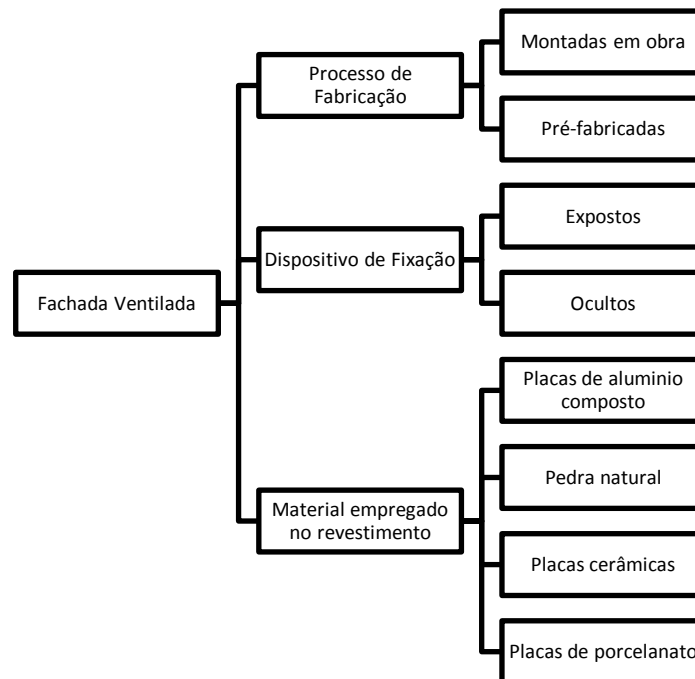


Figura 3.4 - Aquecimento e passagem do ar entre as juntas (ELIANE, 2013)



As fachadas ventiladas (FV) podem ser classificadas (Figura 3.5) de acordo com o seu processo de fabricação e montagem, segundo os seus dispositivos de fixação e segundo o material empregado no revestimento (CUNHA, 2006).

Figura 3.5 - Classificação das fachadas ventiladas (CUNHA, 2006 – adaptado)



O desempenho das FVs se dá devido a sua camada ventilada de ar, onde é possível reduzir o consumo energético no interior da edificação. Em países de clima tropical, e no verão dos países de clima temperado, a carga térmica recebida pela radiação solar eleva a temperatura da camada de ar que se renova à medida que esquenta, tornando possível a diminuição da potência dos equipamentos de condicionamento de ar. A eficiência energética das FV também é possível no inverno. A montagem da fachada pode permitir a circulação e aquecimento do ar interno, diminuindo o consumo energético com aquecedores de ar. O ar frio entra pela parte inferior da câmara de ar, e sobe devido também ao efeito chaminé. A radiação solar eleva a temperatura do ar, que adentra de volta a edificação aquecido.

Outra vantagem técnica das FV é a fixação em estruturas metálicas. No revestimento de fachada convencional as camadas são heterogêneas, e, portanto, com diferentes coeficientes de dilatação térmica (CUNHA, 2006). Quando solicitado termicamente, as diferentes camadas dilatam de forma distinta, criando tensão de cisalhamento na interface das camadas, podendo originar patologias. Essas patologias podem ser fissuras, infiltrações e deslocamentos/descolamentos entre outros, perdendo assim o desempenho de toda a vedação vertical externa.

Com a possibilidade do afastamento entre o substrato e a camada de revestimento, os problemas oriundos de tensões adicionais devido a ligação aderida são diminuídos drasticamente. O material de revestimento é fixado em estruturas metálicas, que resistem aos esforços provenientes do aquecimento e resfriamento e os provenientes do peso próprio de todo sistema de FV.

Além das vantagens energéticas e construtivas a FV, Cunha (2006) e Mateus (2004) listam outras vantagens em relação ao sistema convencional:

- Na câmara de ar, o fluxo de ar por convecção atua como isolante térmico entre o exterior e as paredes internas do edifício;
- Diminuição dos efeitos de dilatação térmica na estrutura, diminuindo eventuais patologias;
- Eliminação de condensação ou de alguma umidade que tenha atravessado o revestimento devido ao efeito chaminé;
- Potencial melhoria dos problemas de condensação interior;
- Melhoria no isolamento acústico devido à criação de uma câmara de ar;
- Facilidade na manutenção e substituição;
- Montagem industrializada (racionalização);
- Alta produtividade.

Apesar das vantagens, o sistema possui algumas limitações de uso. O sistema de FV depende muito do grau de industrialização da construtora e pode se tornar menos competitivo, tanto do ponto de vista técnico, quanto do ponto de vista econômico. A ausência de normas específicas, a necessidade de mão de obra qualificada e com experiência, a exigência de projetos detalhados (paginação e montagem), o alto preço relativo, e as dependências do avançado sistema de gestão do empreendimento e da produção, são barreiras encontradas para a aplicação desse sistema.

No Brasil, as FV são comercializadas, na maioria das vezes, como forma de sistema. As empresas que comercializam esse sistema vendem toda a concepção da FV, desde a análise do empreendimento, a elaboração do projeto de fachadas, a consultoria, a quantificação e o fornecimento dos materiais que serão utilizados, e até mesmo a montagem. Atualmente as empresas que comercializam o sistema aqui no Brasil são: Eliane, Portobello, Alucobond e Gail.



Nesse trabalho, as fachadas ventiladas analisadas foram com revestimento externo de porcelanato (FVPo).

### 3.2.1. Fachadas ventiladas de porcelanato (FVPo)

A utilização de placas de porcelanato para fachada ventilada teve início na Europa, com o esforço da substituição das placas pétreas.

No Brasil, atualmente a indústria fornece peças de porcelanato de vários tipos, como formatos, cores e espessuras (Figura 3.6).

Figura 3.6 - Exemplo da utilização da FVPo (PORTOBELLO, 2013)

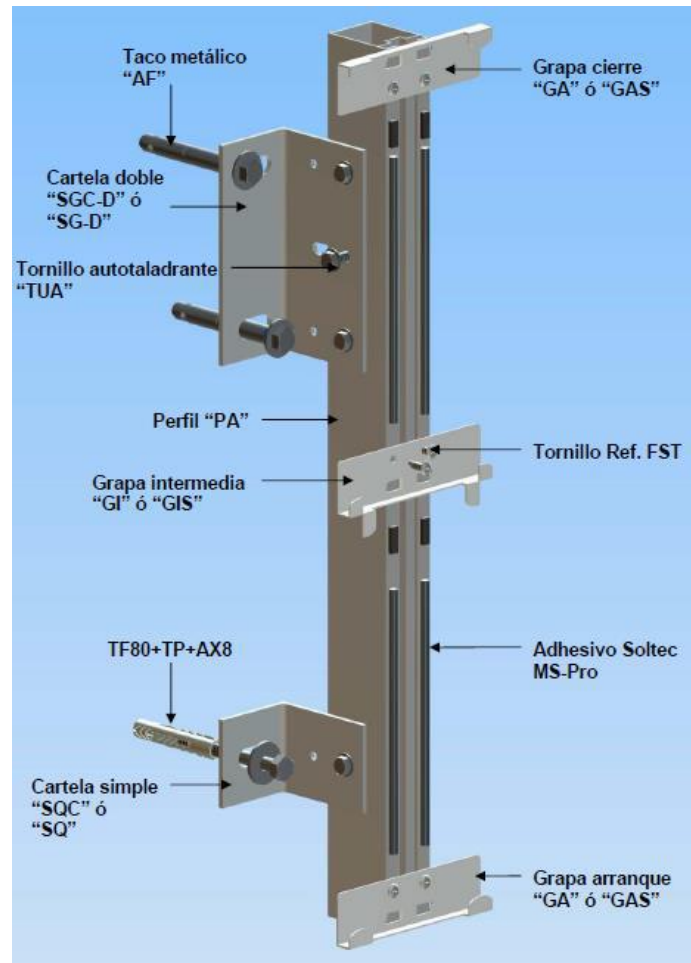


PINI (2008) define as FVPo como sistemas revestidas com placas cerâmicas aplicadas sobre paredes externas e a estrutura do edifício por meio de dispositivos denominados de *inserts*. É importante que todos os componentes sejam do mesmo material, a fim de evitar a criação de pilhas eletroquímicas.

A variação da espessura do porcelanato para FV pode variar entre 8 e 12 mm (SIQUEIRA JUNIOR, 2003), e as dimensões podem ir até 1000mm X 3000mm. Para esse estudo foi adotada a espessura de 12mm.

A instalação se inicia com a impermeabilização do substrato com cimentos-poliméricos ou mantas especiais de poliéster, então se inicia o processo de demarcação dos locais dos perfis de sustentação, depois são fixadas as cantoneiras de fixação na base ou substrato, para depois serem fixados os perfis nestas cantoneiras. Por fim são parafusado os dispositivos de fixação das placas, os encaixes, e as placas de porcelanato. O esquema da subestrutura pode ser visualizado na Figura 3.7.

Figura 3.7 - Componentes da subestrutura da FVPo (UTIFRIVE, 2012 *apud* MACIEL, 2013)



A revisão bibliográfica serviu como balizadora dos critérios que foram utilizados para o desenvolvimento desse trabalho. No próximo capítulo será descrita a metodologia utilizada.

## 4. METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia para o alcance do objetivo proposto no trabalho. Utilizou-se um projeto de sistema de vedação vertical externo (SVVE) de fachada ventilada típica do plano piloto. As variáveis adotadas são: o porcelanato com *insert* metálico (FVPo) e o porcelanato aderido ao substrato (FPoA), utilizada como referência.

Os aspectos considerados para a análise de desempenho da SVVE da edificação modelo são: Térmico e o Acústico. Os tipos de fachada foram aplicadas em um projeto hipotético de uma Edificação Habitacional Modelo (EHM), localizada no Plano Piloto em Brasília-DF.

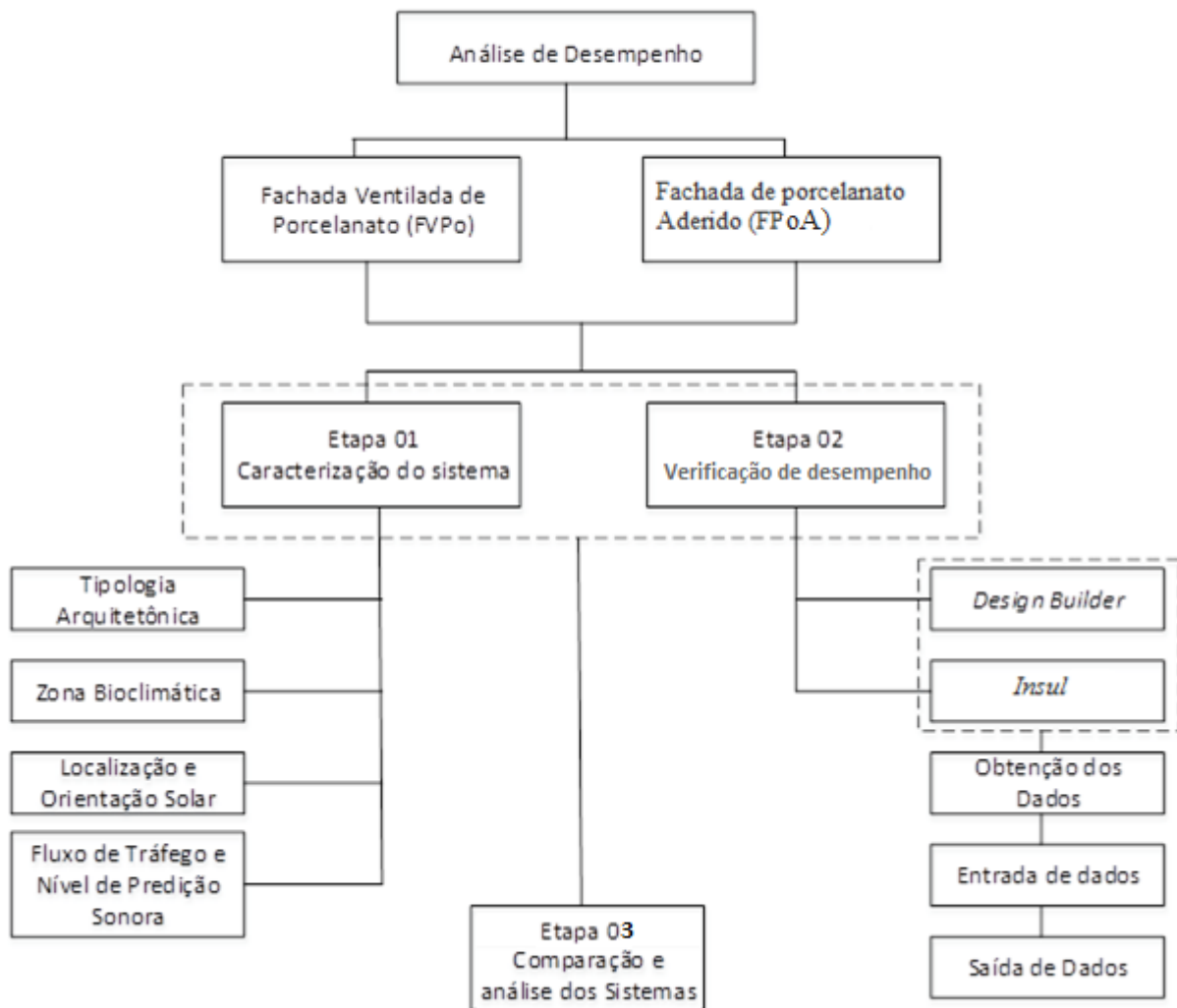
A localização da EHM teve como objetivo maximizar os efeitos sonoros, considerando assim, o pior cenário adotado pelos critérios da norma de desempenho. Da mesma forma, os aspectos térmicos foram analisados juntamente as fachadas Leste-Oeste, onde é possível verificar as maiores cargas térmicas.

Esse estudo foi dividido em três etapas:

- Caracterização do sistema: definição das variáveis que influenciam na análise do sistema proposto, levando em consideração características físicas e geográficas da edificação;
- Verificação de desempenho: análise simplificada e computacional utilizando *softwares* de desempenho térmico e acústico;
- Resultados: comparação dos resultados obtidos com as simulações.

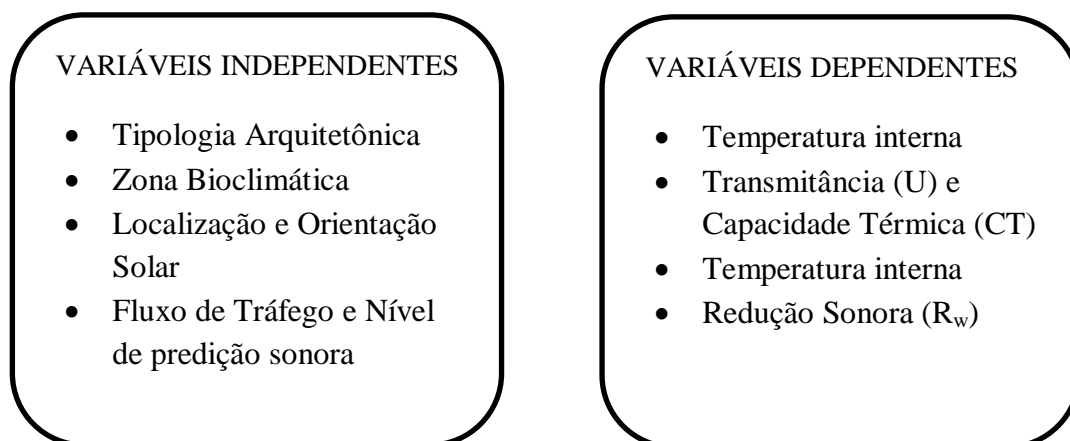
Na Figura 4.1 é apresentada a proposta de metodologia da análise de desempenho dos sistemas de fachadas escolhidos.

Figura 4.1 - Metodologia proposta



Foram também definidas as variáveis dependentes e as variáveis independentes desse estudo e que são apresentadas na Figura 4.2.

Figura 4.2 - Apresentação das variáveis independentes e variáveis dependentes desse estudo



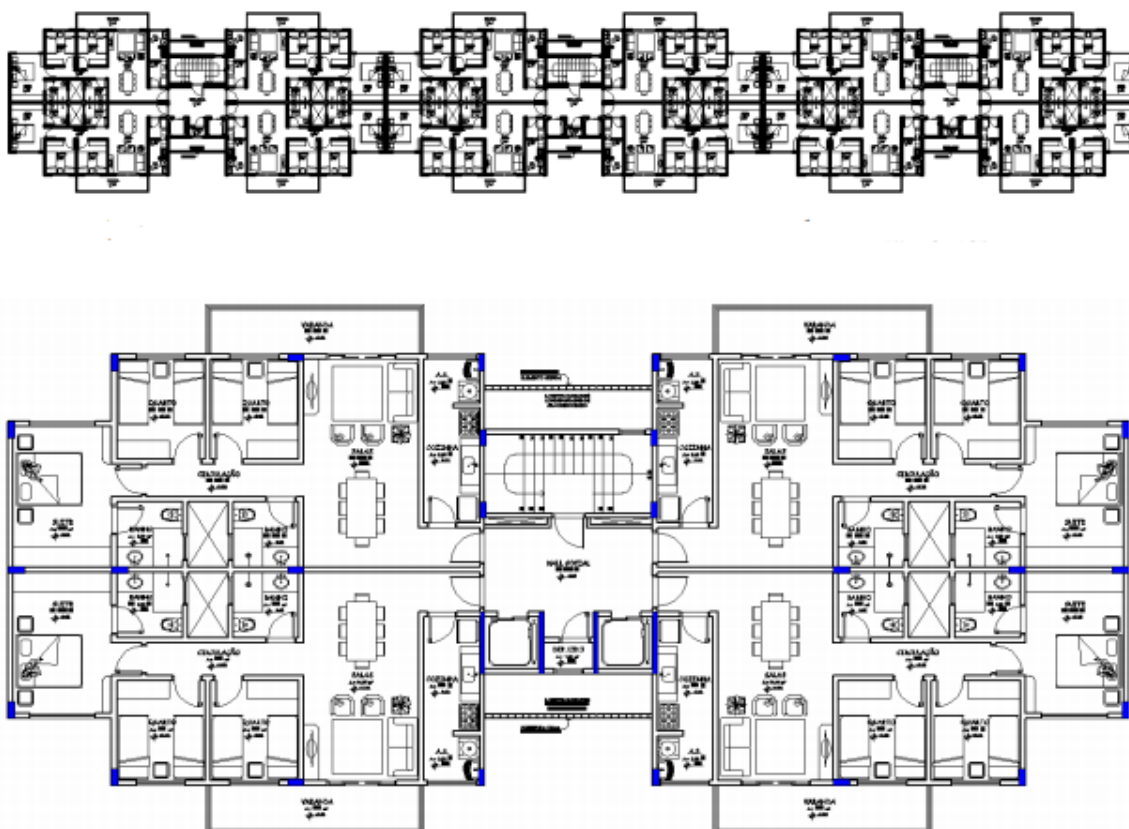
## 4.1. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA

### 4.1.1. Tipologia arquitetônica

O projeto utilizado para a realização desse trabalho foi elaborado por Maciel (2013). Para a elaboração desse projeto hipotético, foram observadas as principais tipologias arquitetônicas do Plano Piloto de Brasília dentro da quantidade máxima de pavimentos (Pilotis, 6 pavimentos e cobertura).

O Edifício Habitacional Modelo (EHM) é constituída por 03 (três) blocos geminados simétricos e idênticos, com pilotis, 6 pavimentos e cobertura. Cada bloco possui 04 (quatro) apartamentos por andar com 02 (dois) elevadores, escada de incêndio, hall social e depósito de lixo (Figura 4.3). Os apartamentos possuem 03 (três) quartos sendo uma suíte, banho social, sala de estar, cozinha, área de serviço e varanda.

Figura 4.3 - Planta baixa do edifício e do bloco germinado (MACIEL, 2013)



Para a escolha do tipo da cobertura, optou-se por fazer um levantamento das coberturas dos edifícios residenciais de 6 pavimentos encontrados nas quadras 100, 200 e 300's localizados

na Asa Norte e Asa Sul de Brasília-DF. As tipologias foram divididas em quatro padrões principais: Cobertura de Telhado Convencional (telha de fibrocimento) com calhas impermeabilizadas, Lajes impermeabilizadas sem área de lazer, Coberturas com Área de Lazer comum ao edifício e Coberturas com Apartamentos do tipo Duplex. O levantamento foi realizado utilizando o as imagens de satélites do Google *Maps*. A atualização das imagens do Gogle *Maps* é realizada periodicamente, mas as informações da data das atualizações não são informadas. É sabido que a última atualização das imagens de Brasília-DF aconteceu em 2014. Nas caixas de elevadores, foi considerado o uso de laje impermeabilizada, assim como nas caixas de escada.

A edificação é constituída de estrutura de concreto armado, com lajes de 10 cm de espessura (incluindo a laje de cobertura), com pé direito de 2,90 metros, contra piso de 2 cm, vedações verticais de bloco de concreto com agregado de pedra e dimensões de 14cmx19cmx39cm com juntas verticais e horizontais com argamassa de cimento, areia e cal, de 1 cm, o revestimento com reboco paulista com argamassa de cimento, areia e cal, na face interna de 1,5 cm. No caso do sistema de FVPo não se utiliza reboco externo.

#### **4.1.2. Localização e orientação**

A localização e orientação da edificação são de extrema importância para esse estudo, já que a sua locação influencia na classe de ruído e a orientação, nas cargas térmicas. A fim de maximizar esses efeitos, a edificação foi locada o mais próximo e paralelo ao eixo rodoviário W- norte (avenida de grande fluxo de carros conforme indicado na Figura 4.4). De acordo com a ABNT NBR 15575:2013, edifícios habitacionais sujeitos a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, devem ser classificados como classe de ruído III. Essa definição de classe de ruído, porém, não é suficiente para definir qual classe de ruído essa edificação pertence. Para determinar a classe de ruído que será classificada à edificação, foram utilizadas equações de predição no nível de pressão sonora e medições *in loco* que serão melhores abordados em 4.1.3.

Figura 4.4 - Localização considerada para EHM (Google Maps, 2014)



Para a definição da orientação do EHM, foram realizadas medições de angulação dos edifícios mais próximos e paralelos ao eixo W das quadras 102 a 116. Essa medição foi realizada com o auxílio de bússola, resultando em angulações com o norte magnético. Os cálculos térmicos utilizam o norte verdadeiro (norte geográfico) como referência, então foi necessária uma conversão utilizando valores da declinação magnética e os valores encontrados na medição *in loco*. O valor da declividade magnética foi obtido utilizando o modelo IGRF-11 (*Internacional Geomagnetic Reference Field*), onde são levados em consideração, os dados de latitude e longitude, além da altitude e das datas de referência (Equação 4.1). Esse modelo alcança uma precisão menor que um grau em locais em áreas densamente observados (CORDEIRO, 2007). Os cálculos e valores de orientação das edificações podem ser encontrados no Apêndice C.

$$D = C_{ig} + [(A + Fa) \cdot C_{ip}] \quad (4.22)$$

Onde, D é a declinação magnética do local analisado,  $C_{ig}$  corresponde a interpolação dos valores das curvas Isogônas para o local desejado, A corresponde a diferença entre o ano observado com o ano de referência (ano de construção das curvas Isogônas e Isopóricas), Fa é a constante correspondente a fração do ano analisado e  $C_{ip}$  a interpolação dos valores das curvas Isopóricas para o local desejado.

### 4.1.3. Fluxo de carros e nível de predição sonora

Para a obtenção dos valores de ruído de tráfego que serão considerados nas fachadas estudadas, foram necessárias 5 etapas: 1) Caracterização espacial do ambiente de estudo; 2) Obtenção dos dados de fluxo de tráfego das vias; 3) Cálculo dos níveis de predição sonora; 4) Localização dos locais de medição e 5) Medição *in loco* dos níveis de pressão sonora equivalentes com ponderação A ( $L_{Aeq}$ ).

Na primeira etapa, foram identificadas as principais fontes de ruídos que afetam as edificações no local escolhido para a análise. No caso, o eixo rodoviário oeste (eixo W) e o eixo rodoviário de Brasília (DF 002) são os principais produtores de ruídos sonoros, o que vai ao encontro das ideias de Mardones (2009) que aponta o fluxo de veículos como umas das principais fontes de ruído. Os efeitos da atenuação do ruído de tráfego pela vegetação foram desconsiderados, já que como afirma Hendricks (1995) a faixa de vegetação (20 metros) não é suficiente para causar significativaas reduções sonoras.

Posteriormente, foram obtidos os dados de fluxo veicular, analisando os relatórios cedidos pelos Departamentos de Estrada e Rodagem (DER-DF) e o Departamento de Trânsito do Distrito Federal (DETRAN-DF). Os relatórios são realizados com o auxílio dos CEVs (Controlados eletrônicos de velocidade) que além de fotografar os veículos que ultrapassam o limite de velocidade da via, registram ao longo das 24 horas do dia, por hora, o número total de veículos que passam naquela via. Os relatórios fornecidos contêm informações do fluxo de veículos, por porte veicular, por hora, durante os meses de Abril e Maio de 2014 (Anexo 1),

Em posse dos relatórios de fluxo veicular nas vias a serem analisadas, foram identificados os horários de maior fluxo veicular. A identificação dos picos de fluxo veicular foi necessária para a escolha dos horários de medição, que no caso foi de 7 as 9 horas e das 17 a 19 horas.

Foram realizados os cálculos de predição do nível de pressão sonora de acordo com os modelos propostos por diversos autores (Tabela 4.1) e posteriormente comparados com os resultados medidos. As equações de predição de nível de pressão sonora de tráfego utilizam de diversas variáveis como, por exemplo, o fluxo veicular ( $q$ ), fluxo de veículos leves (VL) e pesados (VP), velocidade médias ( $V$ ) entres outros. Esses valores serão de grande importância para a classificação da edificação nas classes de ruído da norma de desempenho.



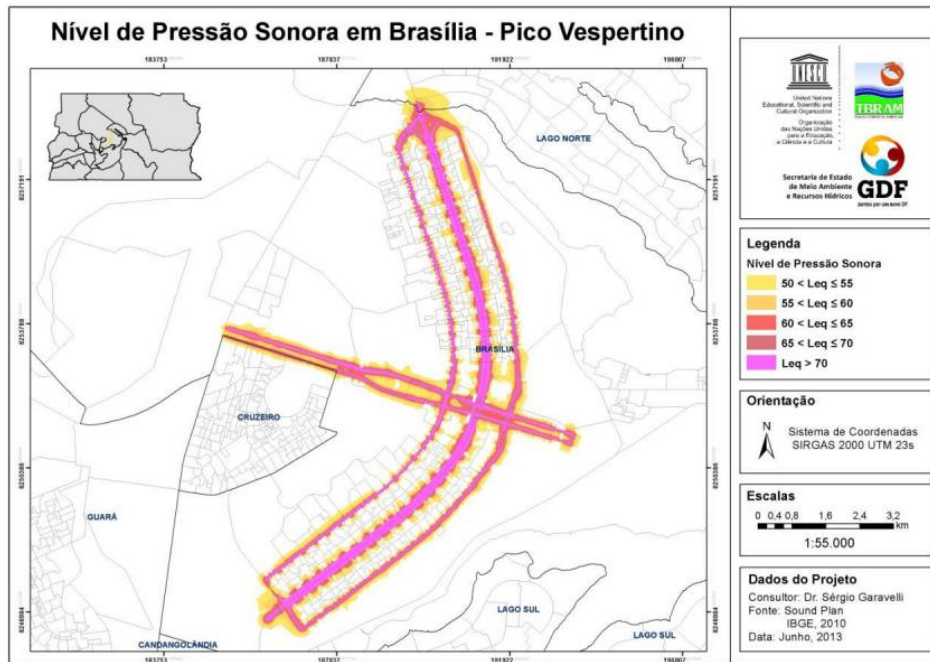
Tabela 4.1 - Equações de predição do nível de pressão sonora

Autor	Equação de predição do nível de pressão sonora
HMSO (1988)	$L_{10} = 10\log_{10}q + 33\log_{10}\left(v + 40 + \frac{500}{v}\right) + 10\log_{10}\left(1 + \frac{5p}{v}\right) - 26,6, \text{ onde } L_{10} = L_{eq} + 3$
Garcia & Faus (1991)	$L_{eq} = 48,6 + 8,1\log(q)$
Sattler (1996)	$L_{Aeq} = 65,4 + 4,67 \cdot 10^{-3} \cdot (q)$
Sattler (1996)	$L_{Aeq} = 38,6 + 10,97 \cdot \log(q)$
Chakrabarty (1997)	$L_{eq} + 20\log d = 53,8 + 17,2 \log q$
Nunes <i>et al</i> (1999)	$L_{Aeq} = 8,0176 \log(q) + 51$

Na quarta etapa, analisaram-se os dados apresentados pelo mapa de ruído elaborado pelo Instituto Brasília Ambiental (IBRAM, 2013), a fim de escolher os locais de medição. No relatório desenvolvido pelo IBRAM são apresentados os mapas de ruído das principais vias de Brasília, entre elas o eixo w e a DF-002. Para a confecção desse mapa, foram realizadas simulações e medições *in loco* a fim de validar o modelo em estudo. Na Figura 4.5 é possível verificar os níveis de pressão sonora equivalentes ( $L_{eq}$ )<sup>15</sup> para o período vespertino (maior pico de fluxo veicular).

<sup>15</sup> O mapa de ruído informa locais com  $L_{Aeq}$  maiores que 70 dB, mas não informa quais são esses valores, por isso a necessidade de realizar uma medição *in loco* para obter maior precisão nos dados.

Figura 4.5 - Leq - horário de pico vespertino (IBRAM,2013)



É possível observar na Figura 4.6 o quanto os edifícios localizados paralelos e próximos aos eixos rodoviários são expostos ao maior nível de ruído. Suas estruturas servem como barreiras acústicas, absorvendo grande parte do ruído produzido pelo fluxo de veículos, criando sombras acústicas para os edifícios no interior das quadras.

Figura 4.6 - Indicação dos níveis de pressão sonora equivalentes (Google Earth, 2014)



Por fim, procedeu-se à realização das medições *in loco* dos níveis de pressão sonora relativos ao fluxo de veículos. Para essa medição, foi utilizado o equipamento Minipa MSL-1352C,

ponderado na curva de calibração A<sup>16</sup>, seguindo as diretrizes da ABNT NBR 10151:2000, que especifica o método de medição de ruído aéreo externo. O equipamento foi montado a 1,2 metros do chão e distante no mínimo de 2 metros de qualquer superfície refletora, conforme mostrado na Figura 4.7. As medições aconteceram durante 20 minutos no período compreendido entre às 7-9 horas e das 17-19 horas, de segunda a sexta do mês de novembro, sendo definidos intervalos de registro de dados de 5 segundos, no nível de resposta rápida (*fast*) do equipamento, durante o período de medição.

Figura 4.7 - Montagem e posicionamento do equipamento de medição



Após as leituras, calculou-se o nível de pressão sonora equivalente ponderado em A utilizando a equação da ABNT NBR 10151:2000 (Equação 4.3), onde  $L_i$  é o nível de pressão

---

<sup>16</sup> A curva de ponderação A é a mais utilizada nas medições acústicas por correlacionar os valores medidos com a incomodidade ou risco de trauma obtido. Essa curva atenua os sons graves, dando maior expressividade para a banda entre 2 a 5 KHz, voltando a atenuar sons mais agudos, aproximando assim, da percepção do som do ouvido humano.

sonora lido em resposta rápida (*fast*) a cada 5 segundos, durante o período de medição do ruído e  $n$  é o número total de leitura.

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (4.3)$$

Finalmente, os dados obtidos pelos cálculos dos níveis de pressão sonora utilizando as equações da literatura, a verificação do mapa de ruídos de Brasília e a quantificação *in loco*, foram comparados e analisados quanto a sua representatividade.

#### 4.1.4. Caracterização do Sistema de Vedação Vertical Externa

Os sistemas de vedação vertical externa que serão analisados nesse trabalho são: Fachada Ventilada de Porcelanato (FVPo) e a Fachada Porcelanato Aderido (FPoA). A simulação das duas situações será realizada utilizando as mesmas características construtivas do edifício, substituindo apenas os elementos da fachada.

A construção do modelo da FVPo levou em consideração os métodos utilizados pelas principais fornecedoras no Brasil dessa técnica construtiva (Eliane, Gail e Portobello)<sup>17</sup>. As dimensões do porcelanato variam entre 60x60 cm até 1x3 m (PORTOBELLO, 2013). Nesse estudo a dimensão dos porcelanatos utilizados foi de 45x90 cm e peças especiais para a construção de pingadeiras, requadros, frisos, rufos e etc, com dimensões de acordo com o necessário, e cores claras, com absorvância à radiação solar ( $\alpha$ ) de 0,3, como recomendado pela ABNT NBR 15575:2013.

A espessura da camada de ar (colchão de ar) foi escolhida também de acordo com o praticado pelas empresas brasileiras. A camada de ar varia entre 10 a 15 cm de espessura, dependendo da posição da viga de bordo. Foi considerado a espessura de 8mm para as juntas entre placas do sistema FVPo. A impermeabilização da alvenaria é constituída por mantas especiais de poliéster e não serão consideradas no cálculo térmico e sonoro. A espessura dos porcelanatos para fachadas ventiladas podem variar de 3,5 mm, para porcelanatos reforçados com fibras de vidro (ELIANE,2013), até espessuras de 12 mm para porcelanatos de grandes dimensões, sendo que nesse trabalho será utilizado a espessura de 12 mm.

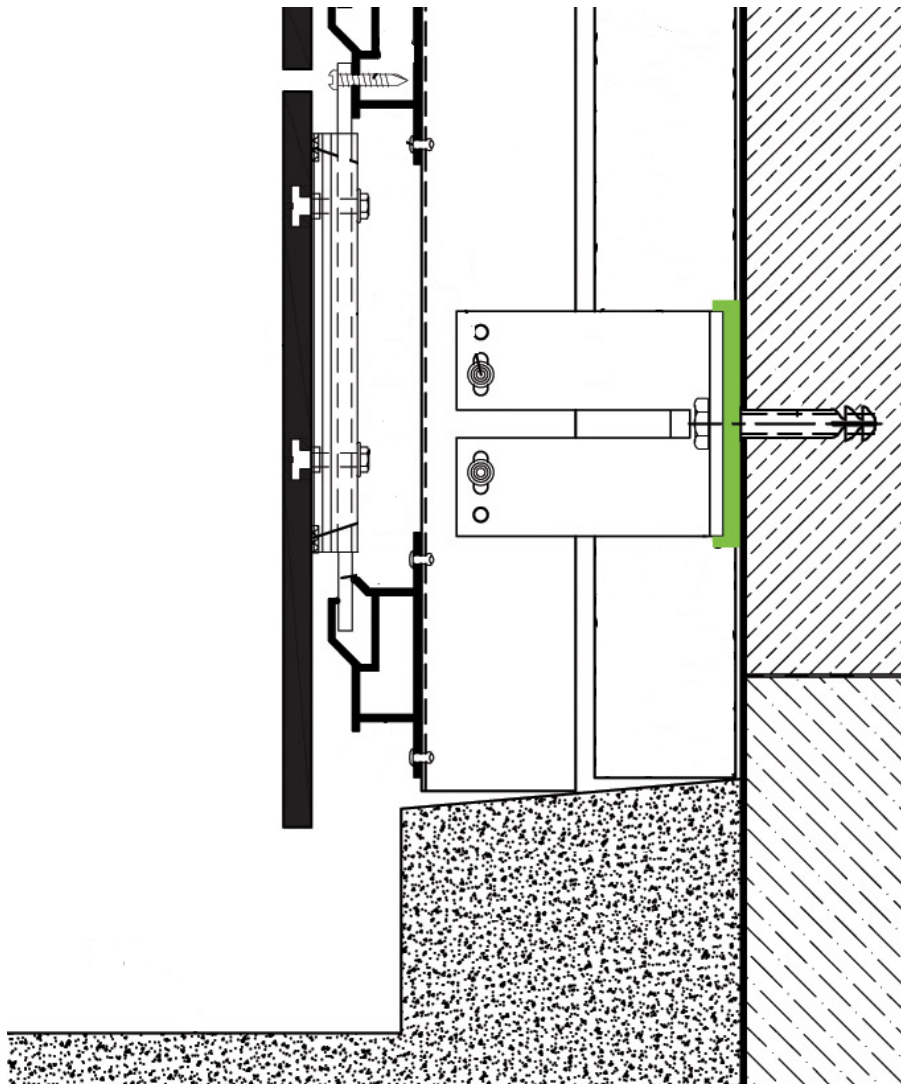
---

<sup>17</sup> Os perfis metálicos (estrutura de fixação) da FVPo não foram considerados nos cálculos térmicos

A FPoA é constituída de placas cerâmicas de dimensões 20x20 cm com cores claras (absortância à radiação solar de 0,3), juntas de 0,8 cm, reboco externo e interno de argamassa de cimento areia e cal com dimensões de 1,5 cm assentadas com argamassa colante ACIII (não considerada nos cálculos).

O esquema de montagem da FVPo considerado no trabalho pode ser visualizado na Figura 4.8.

Figura 4.8 - Montagem do sistema de FVPo (adaptado de ELIANE,2014)



#### 4.2. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO

Para a simulação computacional do SVVE foram utilizados dois *softwares*, um para a análise térmica da edificação, o *Design Builder*, e um para a análise acústica, o *Insul*. Nesse estudo

foram comparados os resultados das análises dos dois sistemas estudados, a Fachada Ventilada de Porcelanato (FVPo) e o sistema convencional de Fachada com Porcelanato Aderido (FPoA), a luz dos requisitos e critérios da norma de desempenho.

#### **4.2.1. Design Builder**

No mercado existe uma variedade de *softwares* para a avaliação do desempenho térmico de uma edificação tais como o *DOE 2*, *ENERGY PLUS*, *Design Bulder* e *SPARK*. O uso do *Design builder* é justificado por possuir uma integração com o *software* desenvolvido pelo Departamento de Energia do EUA, o *ENERGY PLUS*. Essa ferramenta pode quantificar o consumo energético dos sistemas de aquecimento e resfriamento da edificação, além de calcular a temperatura interna da edificação, levando em consideração diversos fatores importantes do ponto de vista térmico como, por exemplo: a transmitância e capacidade térmica dos materiais, os elementos de contorno da edificação, a interação entre ambientes e a ventilação dos ambientes.

O *ENERGY PLUS* modela o desempenho de uma edificação para que o usuário possa melhorar o design de forma a gastar menos água e energia, permitindo modelar sistemas de aquecimento, refrigeração, ventilação e outros fluxos de energia. Esse *software* não possui uma interface “amigável”, mas atua em conjunto com outros *softwares*. O *ENERGYPLUS* é o *software* recomendado pela ABNT NBR 15575:2013 para as simulações térmicas, sendo ainda utilizado pelo Procel Edifica<sup>18</sup> e por diversos laboratórios credenciados no Brasil.

O *Design Builder* fornece ferramentas avançadas de modelagem em uma interface fácil de usar (DESIGNBUILDER, 2014). De acordo com o seu fabricante, é a primeira interface de modelagem “amigável” a ser combinada com as ferramentas de simulação térmica do *ENERGYPLUS*. A modelagem é facilitada devido as diversas ferramentas de modelagem oferecidas, além de uma ampla base de dados climatológicos, de materiais e outros. A seguir serão mostrados os dados de entrada do *software*.

---

<sup>18</sup> Programa Nacional de Eficiência Energética

#### 4.2.1.1. Localização

A modelagem do edifício se inicia com a caracterização do meio onde o mesmo está inserido. Para isso é necessário “alimentar” o *software* com dados referentes ao sítio. Os dados referentes a Brasília foram retirados da ABNT NBR 15575:2013 como recomenda a própria norma. Para os dados de orientação solar, utilizou-se uma média das orientações dos edifícios mais próximos ao eixo W das quadras 100 do plano piloto e esse valor foi corrigido, como descrito em 4.1.2 e apresentado no Apêndice C. O valor final das médias dos valores corrigidos de orientação do edifício é de 333,39°; por não fazer muita diferença nos resultados, optou-se por utilizar o valor mais próximo múltiplo de 10, resultado no valor da orientação da edificação em 330°.

Para os dados meteorológicos de simulação optou-se por utilizar os dados fornecidos pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade de Santa Catarina, que juntamente com o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e o Prof. Mauricio Roriz, compilaram dados climáticos de 411 estações meteorológicas entre os anos 2000 e 2010. Esses dados são registrados de 3 em 3 horas e os valores correspondentes ao resto do dia foram obtidos por interpolação linear (LABEEE, 2014). As variáveis climatológicas contidas nos arquivos gerados são: Temperatura do Ar, Umidade Relativa, Temperatura do Ponto de Orvalho, Pressão Atmosférica, Velocidade e Direção do Vento, Pluviosidade e Irradiância Global sobre o Plano Horizontal.

Foram testados dois formatos de arquivos, o TRY, onde foi possível obter valor maiores de radiação solar, e os arquivos EPW, que foram atualizados mais recentemente. Optou-se pela utilização dos dados climáticos no formato EPW, pois o banco de dados desse arquivo é maior e mais recente.

Na Tabela 4.2 é apresentado o resumo dos dados de entrada.

Tabela 4.2 - Dados de entrada do *software*

REQUISITO	DADOS DE ENTRADA
Latitude	-15,78°
Longitude	-47,93°
Nível do mar	1061 m
Exposição ao vento	Normal
Orientação solar	330°
Dados metrológicos de simulação	BRA_BRASÍLIA_EPW
Time Zone	(GMT-03:00) Brasília

Como dados de entrada de temperatura, consideraram-se as temperaturas médias máximas e mínimas de cada mês. Esses dados foram obtidos do banco de dados do INMET e são referentes ao ano de 2013 (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Temperaturas Médias Máximas e Mínimas por mês

Mês	Temperatura Média Máxima (°C)	Temperatura Média Mínima (°C)	Mês	Temperatura Média Máxima (°C)	Temperatura Média Mínima (°C)
Janeiro	26,1	17,9	Julho	26,5	14,1
Fevereiro	28,6	18,1	Agosto	27,8	14,6
Março	27,7	18,3	Setembro	29,1	17,2
Abril	26,2	17,2	Outubro	28,4	17,6
Maiο	26,7	15,4	Novembro	27,3	18,0
Junho	25,6	15,5	Dezembro	26,7	18,2



#### 4.2.1.2. Atividade/ocupação

Os dados utilizados para a ocupação e atividades podem ser verificados na Tabela 4.4. Os valores de ocupação, são resultados da divisão da metragem da edificação pela quantidade de habitantes, considerada nesse estudo de 4 habitantes por apartamento.

Tabela 4.4 – Especificação da Atividade / Ocupação do EHM

<b>Requisito</b>	<b>Padrão adotado</b>
Categoria	Espaço residencial
Região	Brasil
Carga de Calor (W /m <sup>2</sup> )	3,58 (padrão do <i>software</i> )
Densidade (Hab/m <sup>2</sup> )	0,0478
Fator metabólico	0,90 (padrão do <i>software</i> )
Ventilação	5 ren/h

#### 4.2.1.3. Materiais e Componentes

A modelagem do edifício levou em consideração as técnicas construtivas e materiais comumente utilizados no mercado brasileiro. As SVVI são de blocos de concreto com agregado de pedra com dimensões de 9cmx19cmx39cm, já as SVVE são constituídas de bloco de concreto com agregado de pedra com dimensões de 14cmx19cmx39cm e revestimento interno de argamassa de cimento, cal e areia de 1,5 cm.

No interior da edificação foi considerada a laje de 10cm com contrapiso de argamassa de cimento e areia de 2cm e revestimento cerâmico de 6mm. As portas internas são de madeira comum e as janelas possuem esquadria de alumínio e vidros com espessuras de 6mm transparentes.

Na Tabela 4.5 encontram-se as especificações dos materiais que compõe o EHM. Os valores de condutividade térmica ( $\lambda$ ), calor específico (c) e densidade foram obtidos pela norma ABNT NBR 15220:2005 e dos padrões do *software Design Builder*.

Tabela 4.5 – Especificação dos materiais constituintes do EHM

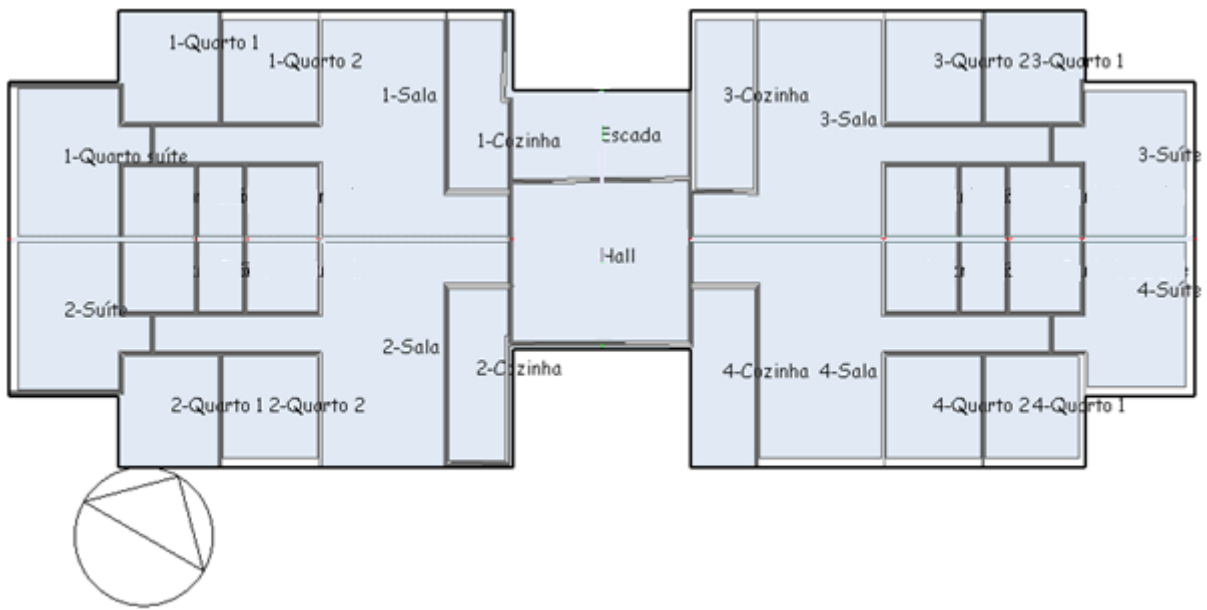
<b>Local</b>	<b>Material</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b><math>\lambda</math> (W/m.k)</b>	<b>c (kJ/kg.K)</b>	<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Vedações internas e externas	Blocos de concreto, sem revestimento externo.	140	0,51	1,0	1400
Vedações internas	Reboco de camada única	15	1,15	1,0	2000
Lajes	Concreto Armado	100	1,75	1,0	2200
Piso interno	Cerâmica porcelanato	6	1,30	0,84	2300
	Contrapiso	20	1,15	1,0	2000
Terreno	Terra comum		1,28	0,88	1460
Esquadria Externa	Requadro em alumínio anodizado	5	160	0,88	2800
	Vidro comum incolor	6	0,90	1,0	2500
Fachada ventilada	Revestimento externo de porcelanato	12	1,30	0,84	2300
Fachada aderida	Revestimento externo de porcelanato	6	1,30	0,84	2300

#### 4.2.1.4. Modelos estudados

Para as simulações foram criados dois modelos distintos representando os dois tipos de fachadas estudadas (FVPo e FPoA). Os modelos tiveram as mesmas especificações descritas nos itens anteriores, com o zoneamento mostrado na Figura 4.9. Para as simulações, foram consideradas todas as trocas térmicas entre os recintos, mas a verificação do atendimento aos requisitos da norma foi realizada somente nos ambientes de permanência prolongada.

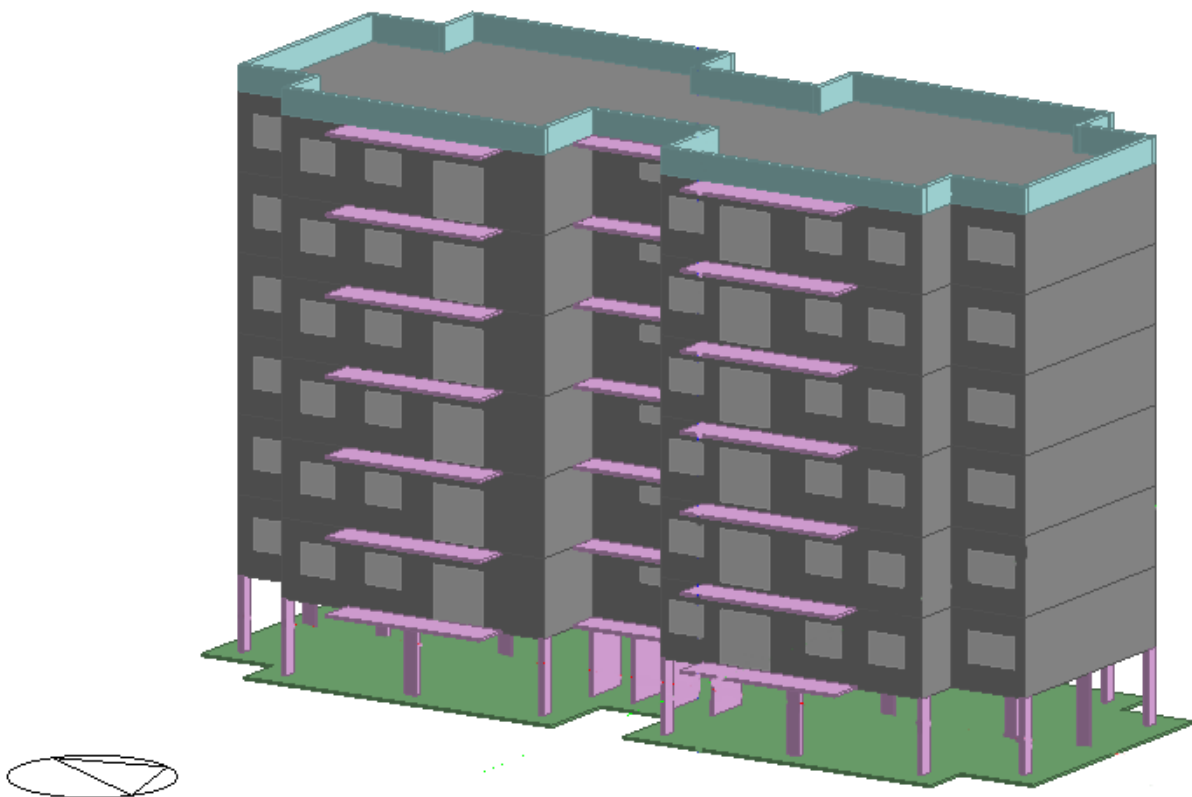
Outros dados referentes a modelagem do EHM podem ser encontrados no Apêndice H.

Figura 4.9 - Zoneamento do modelo



Na Figura 4.10 é mostrada a modelagem da EHM.

Figura 4.10 – Modelagem da EHM



#### 4.2.1.5. Métodos para a análise

Para a análise de desempenho térmico dos sistemas estudados foram levados em consideração 4 métodos, divididas em verificações simplificada e simulações, descritas a seguir:

- No procedimento simplificado foram calculados a U e CT dos dois sistemas e comparados com os critérios estabelecidos pela norma de desempenho;
- Avaliação de desempenho seguindo a ABNT NBR 15575:2013, onde a edificação é simulada e seus resultados comparados com um dia típico de verão e outro de inverno.
- Seguindo a método de Santo *et al* (2013) que propõe simular todo o período de verão e inverno, e selecionar uma certa quantidade de dados (9 dias no período de verão e 9 dias no período de inverno), estatisticamente, com o intuito de comparar com os critérios da norma;
- E por último, simular todo o período de verão e inverno, e verificar durante todo o período, qual a porcentagem do tempo à edificação atende aos requisitos da norma.

#### 4.2.2. *Insul*

O *Insul* é um *software* criado pela *Marshall day acoutic* e tem como finalidade o cálculo de predição do isolamento sonoro de uma vedação. Esse cálculo é baseado em equações teóricas (teoria das massas, frequência crítica e outros) com o fim de auxiliar projetistas na escolha dos melhores materiais para projetos de acústica. Outros *softwares* que podem ser citados para esse mesmo fim são, o *Acoubat Sound* e o *Mestre*.

De acordo com *Insul* (2014) o *software* disponibiliza diversos materiais utilizados na Europa com suas propriedades pré-definidas. É possível criar um material de acordo com as propriedades exigidas pelo programa, mas no Brasil, existem poucos dados dos materiais na área de acústica, complicando o processo de preenchimento de todas as características necessárias para o funcionamento do *software*. Devido a essa limitação, foi necessária a utilização dos materiais pré-definidos pelo *software*, escolhendo aqueles que mais se assemelham aos materiais brasileiros.

Esse *software* possui outras limitações, como por exemplo, a impossibilidade de cálculo de isolamento sonoro de todo o sistema de fachada, considerando todos os elementos. Para contornar essa limitação, foi necessário simular os sistema propostos para esse trabalho (FVPo e FPoA) separados das esquadrias, e posteriormente, calcular o índice de redução

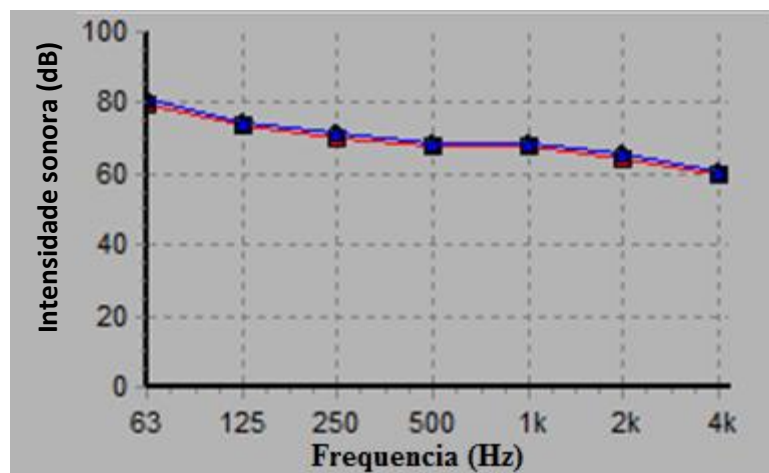
sonora aparente ( $R_G$ ) conforme a Equação 2.14. O índice  $R_G$  foi comparado com os requisitos de desempenho apresentados na Tabela 3.5, a fim de verificar a sua adequação. Essa limitação não prejudicou o andamento desse estudo, assim como, os resultados das simulações.

Outra limitação é que o *software* não substitui os ensaios *in loco*. De acordo com Insul (2014), por ser um *software* de predição do nível sonoro, algumas diferenças podem acontecer perante aos ensaios nos elementos construídos. Essas diferenças são provenientes da falta de isotropia dos materiais de construção, técnicas construtivas diferenciadas e qualidade dos materiais utilizados que podem acumular um erro de até 3dB entre a predição e o isolamento real. A seguir serão mostrados os dados de entrada do *software*.

#### 4.2.2.1. Ruído incidente

O início da simulação se dá pela inserção dos dados referentes ao tipo de ruído que o elemento, a ser simulado, está solicitado. É possível escolher entre diversos tipos de ruídos como, por exemplo, ruídos de tráfego (calculado de acordo com a ISO 717:2013), ruídos de aeronaves, ruídos de conversa entre outros. Como explicado em 4.1.4, o ruído predominante no local de estudo é o de tráfego, e sua intensidade foi obtida conforme a Equação 4.3. Ao entrar com a intensidade sonora o *software* gera um gráfico com as faixas de frequência e intensidade típica de ruídos de tráfego (Figura 4.11).

Figura 4.11 - Faixas de frequências do ruído de tráfego estudado



#### 4.2.2.2. Materiais utilizados

Os materiais utilizados seguiram as especificações dos sistemas estudados (FVPo e FPoA) e as suas características e esquemas de simulação estão descritos na Tabela 4.6 e nas Figuras 4.12 e 4.13. Para o cálculo do isolamento sonoro, adotou-se a contribuição da camada de ar e das juntas entre as placas de porcelanato, do sistema de FVPo, como zero.

Tabela 4.6 - Características físicas dos materiais utilizados inseridas no *software*

Material	Módulo de elasticidade (GPa)	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	Coefficiente de poisson	Fonte
Argamassa	4,1	1850,0	0,1	Bastos <i>et al</i> (2010)
Bloco de concreto	6,22	1880,0	0,3	Juste (2001)
Porcelanato	69	2600,0	0,26	Stubna <i>et al</i> (1992)
Vidro	52,2	2430,0	0,3	Makishima <i>et al</i> (1975)

Figura 4.12 - Modelo estudado para FVPo

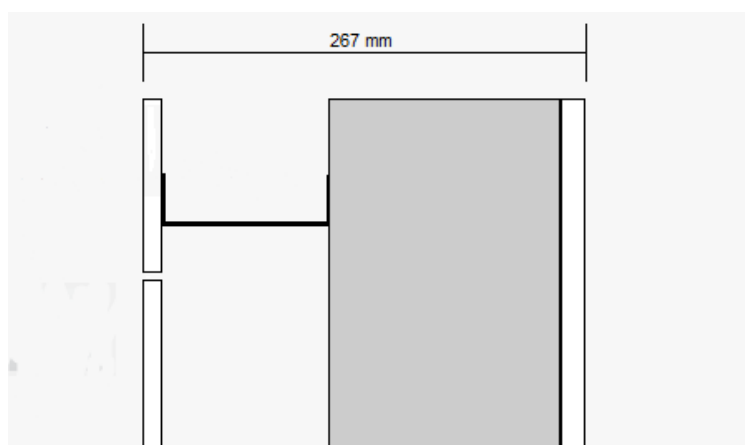
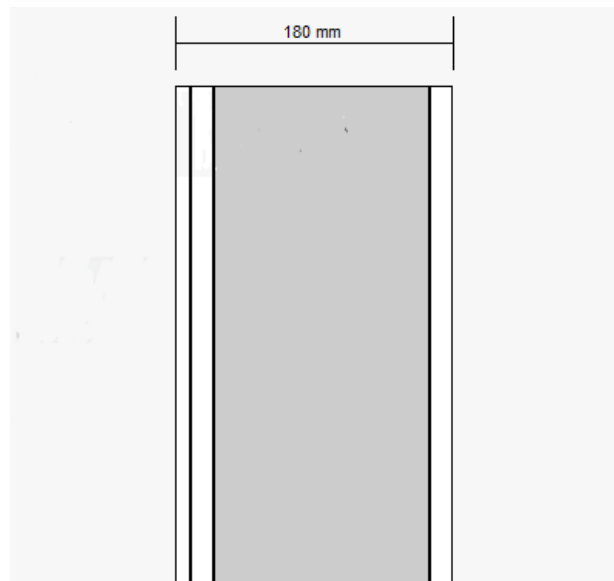


Figura 4.13 - Modelo Estudado da FPoA



#### 4.2.2.3. Modelos estudados

No estudo do isolamento sonora da fachada foram considerados 3 ambientes na edificação: O quarto 1, a suíte e a sala (ambientes com permanência prolongada) e verificada a sua adequação conforme a norma. Os ambientes estudados podem ser conferidos na Figura 4.14 e suas especificações na Tabela 4.7.

Figura 4.14 - Ambientes estudados nas simulações acústicas

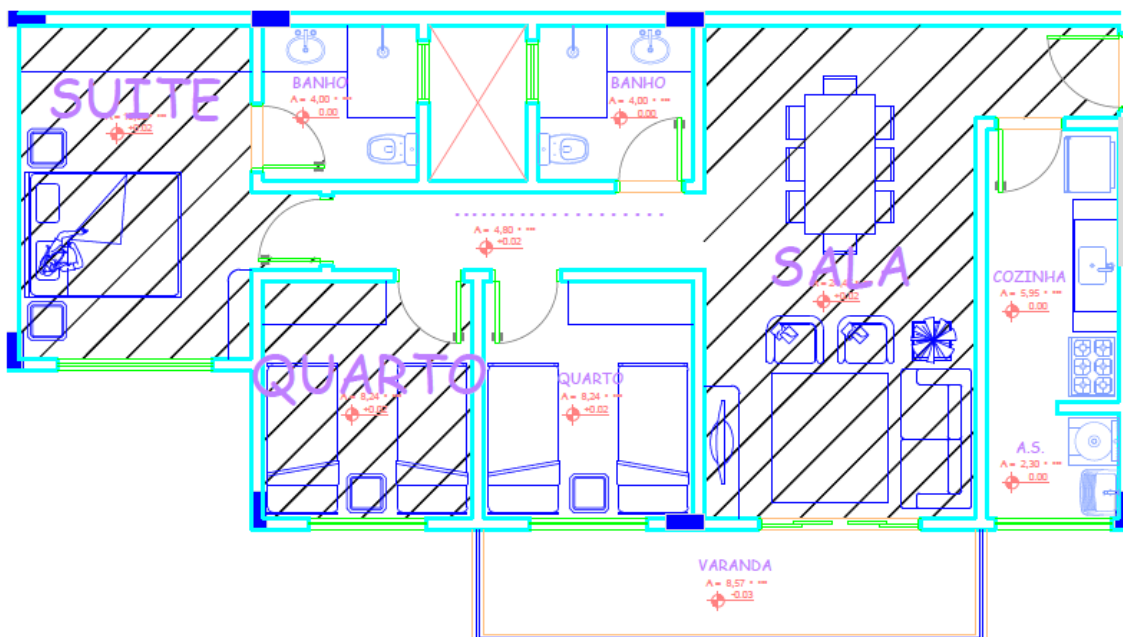


Tabela 4.7 - Características dos ambientes estudados

<b>Ambiente</b>	<b>Área interna (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área da fachada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área da esquadria (m<sup>2</sup>)</b>
Suíte	24,40	9,17	2,40
Quarto	8,24	8,51	1,80
Sala	13,80	10,19	4,41

Na construção dos modelos de simulação utilizou-se a incidência de ondas na superfície da vedação de forma aleatória. O sistema de FPoA foi simulado, primeiramente, a vedação e depois a esquadria. Já para o sistema de FVPo, devido as limitações do *software*, foi necessário a simulação do revestimento de porcelanato acrescido de suas juntas e, posteriormente, a simulação do restante do sistema. A soma entre essas duas etapas foi realizada em escala logarítmica.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados a análise dos resultados obtidos com as simulações térmicas e acústicas de cada tipo de fachada adotado.

### 5.1. ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO

#### 5.1.1. Procedimento simplificado

O cálculo da transmitância térmica e da capacidade térmica dos sistemas estudados teve como diretrizes os procedimentos descritos na ABNT NBR 15220 (2005). Os resultados foram verificados quanto ao atendimento ou não, dos critérios estabelecidos na ABNT NBR 15575 (2013).

Na Tabela 5.1 é possível verificar os valores de U e CT dos sistemas de FVPo e FPoA. Os dois sistemas atendem a norma ABNT NBR 15575:2013 para absorvância à radiação solar  $\alpha=0,3$ .

Tabela 5.1 - Resultados de U e CT para os sistemas estudados

	Transmitância (U) (W/m <sup>2</sup> . K)	Capacidade Térmica (CT) (KJ/m <sup>2</sup> . K)
FVPo	1,53	161,04
FPoA	2,81	176,68

Verifica-se que a FVPo possui menores resultados para U, devido a sua camada de ar ventilada entre o substrato e a placa de porcelanato. O valor de U=1,53 atende a norma de desempenho, tanto para o critério de absorvância maior que 0,6, quanto para a menor. Já a FPoA, atende aos critérios da norma de desempenho para absorvância de 0,3 mas não passaria no critério de transmitância térmica com a absorvância a radiação solar do revestimento maior que 0,6.

Observando a capacidade térmica, verifica-se que o sistema FPoA possui maior CT que do sistema FVPo. Isto se deve ao fato do sistema de FPoA possuir camadas densas, aumentando assim, a massa de todo o sistema. A camada de emboço na parte externa do sistema contribui para o aumento da capacidade térmica do sistema de FPoA, enquanto a camada de ar do sistema de FVPo não acrescenta em nada a propriedade de CT.

## 5.1.2. Simulação Computacional

### 5.1.2.1. Procedimento da ABNT NBR 15575:2013

Nessa avaliação foram analisados os dados de simulação e comparados com os dados de dia típicos da ABNT NBR 15575:2013, a fim de verificar o dia mais próximo aos dados da norma. No verão, o dia encontrado foi 4 de fevereiro, onde a temperatura máxima externa foi de 31,3°C alcançado as 14:00 horas. No caso da simulação com a FVPo, a temperatura interna da edificação ficou em 29,6°C alcançado as 17 horas (Figura 5.1), enquanto as simulações com a FPoA atingiram temperaturas máximas de 31,7°C alcançado as 17:00 horas (Figura 5.2). Nesse cenário apenas a FVPo atendeu a norma.

Figura 5.1 - Temperaturas do sistema de FVPo durante o dia típico de verão

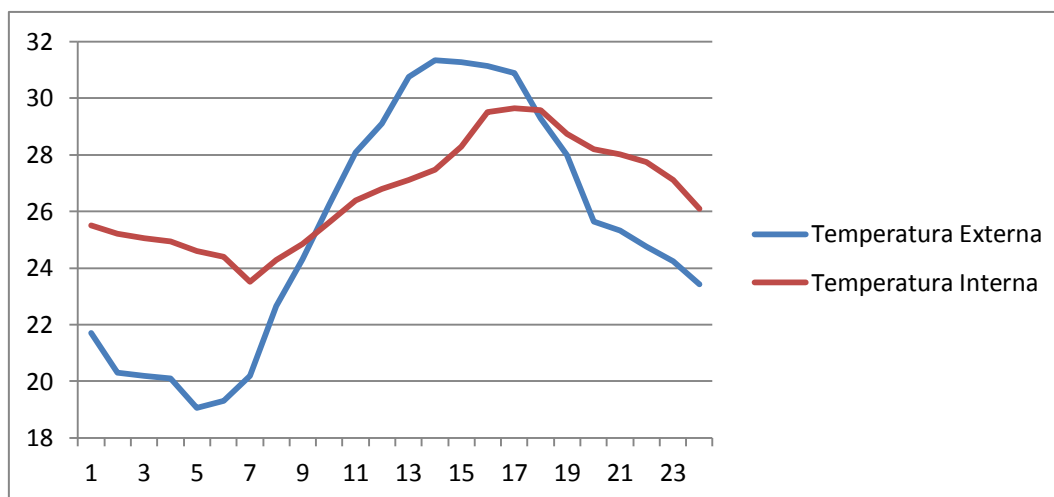
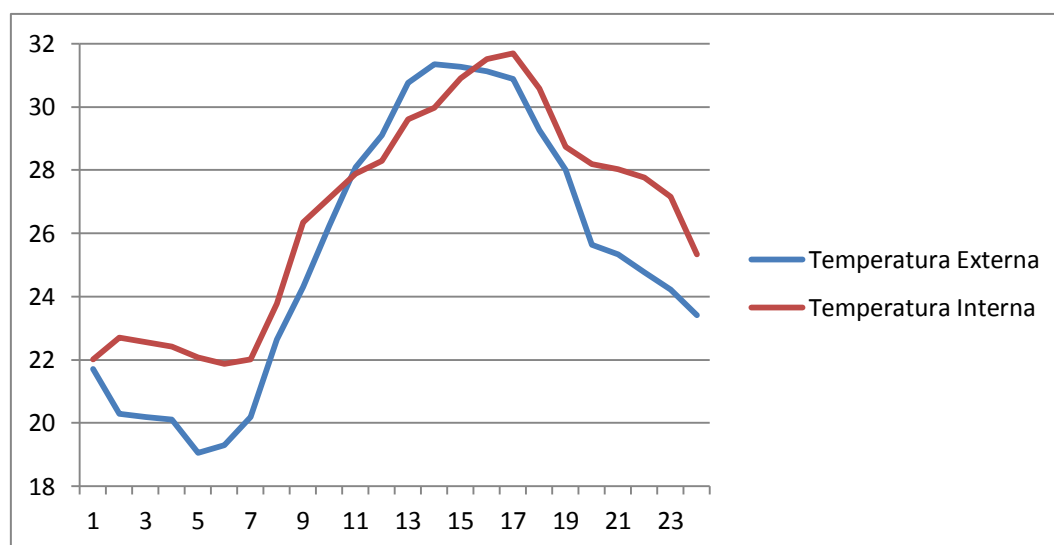


Figura 5.2 – Temperaturas do sistema de FPoA durante o dia típico de verão



Para a simulação dos dias de inverno, foi adotada a mesmo procedimento das simulações de verão. Comparando os dados da simulação com os dados da norma, verificou-se que o dia 30 de agosto como o dia típico de inverno, com temperatura mínima 10,6°C às 6 horas. No caso da simulação com a FVPo, a temperatura interna é de 16,1°C alcançado as 7 horas (Figura 5.3), enquanto na simulação com a FPoA, as temperaturas mínimas internas atingiram 15,5°C alcançado as 6 horas (Figura 5.4). Neste caso os dois sistemas atenderam ao requisito da norma.

Figura 5.3 - Temperaturas do sistema de FVPo durante o dia típico de inverno

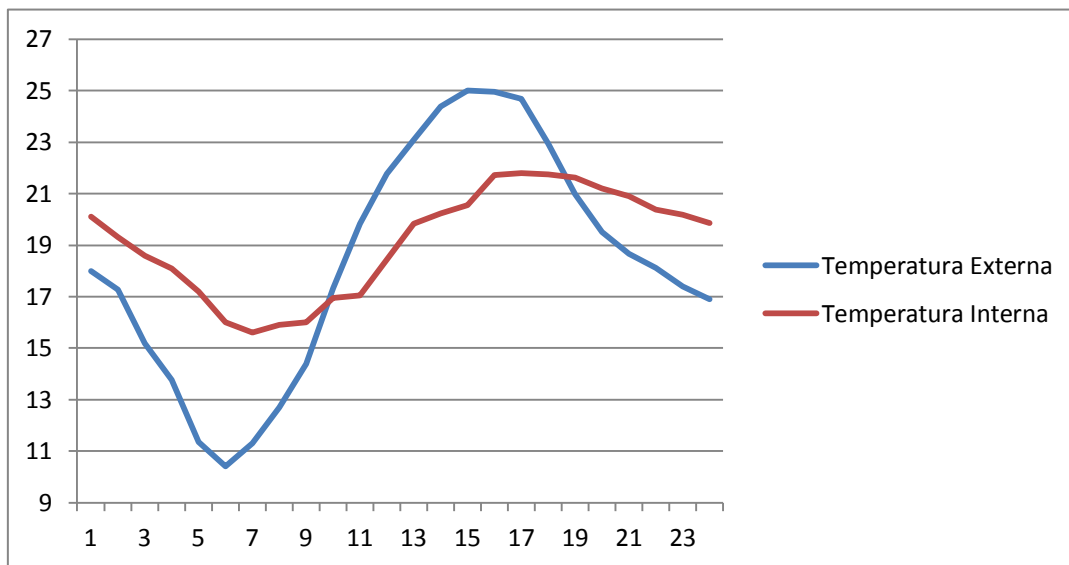
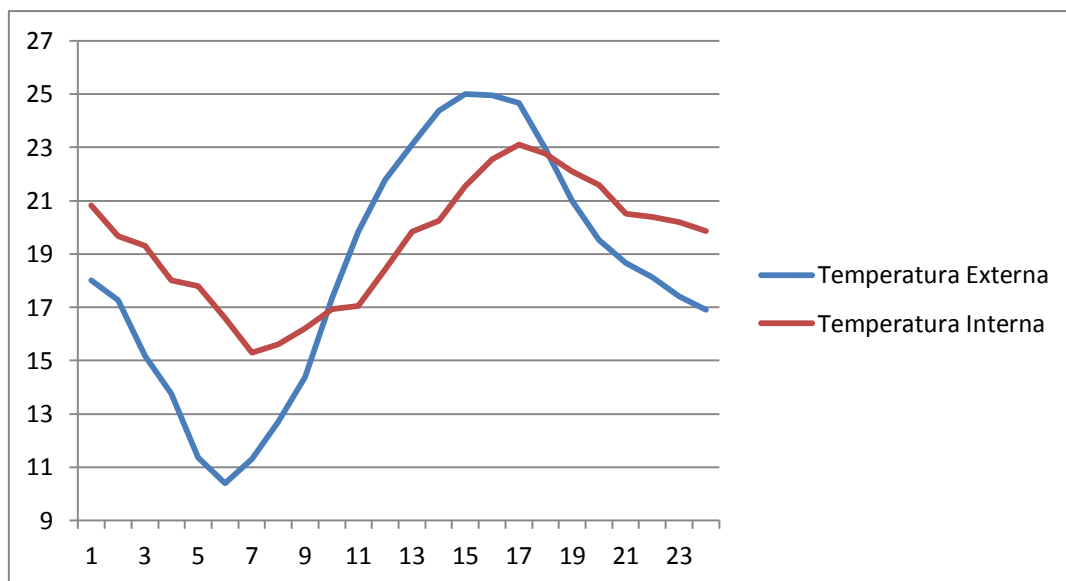


Figura 5.4 - Temperaturas do sistema de FPoA durante o dia típico de inverno



Na análise dos dias típicos é possível verificar também o quanto a diferença entre a transmitância térmica dos dois sistemas influencia no comportamento dos mesmos. A temperatura interna do sistema de FPoA acompanha a curva de temperatura externa mais do que o sistema de FVPo, o que mostra a facilidade desse sistema de ganhar ou perder calor.

#### 5.1.2.2. Método de Santo *et al* (2013)

Na segunda verificação, foram escolhidos os 9 dias mais quentes no verão e os 9 dias mais frios no inverno, e com essas temperaturas, verificou-se o atendimento a norma dos dois sistemas. Na Tabela 5.2 e 5.3 é possível observar o atendimento ou não dos sistemas, respectivamente, no verão e inverno.

Tabela 5.2 - Atendimento aos critérios das diferentes fachadas no verão

Fachada ventilada de porcelanato (FVPo)				Fachada de porcelanato aderido (FPoA)			
Data	Temperatura Máxima Externa	Temperatura Máxima Interna	Atende?	Data	Temperatura Máxima Externa	Temperatura Máxima Interna	Atende?
4/2	31,3	29,6	<b>SIM</b>	4/2	31,3	31,7	<b>NÃO</b>
6/2	30,8	30,3	<b>SIM</b>	6/2	30,8	31,1	<b>NÃO</b>
3/2	30,8	28,9	<b>SIM</b>	3/2	30,8	29,5	<b>SIM</b>
13/2	30,4	29,9	<b>SIM</b>	13/2	30,4	30,8	<b>NÃO</b>
12/2	30,2	29,4	<b>SIM</b>	12/2	30,2	30,3	<b>NÃO</b>
5/2	30,2	30,1	<b>SIM</b>	5/2	30,2	31,0	<b>NÃO</b>
28/1	30,0	29,4	<b>SIM</b>	28/1	30,0	30,3	<b>NÃO</b>
10/2	30,0	28,9	<b>SIM</b>	10/2	30,0	29,5	<b>SIM</b>
27/1	29,8	28,7	<b>SIM</b>	27/1	29,8	29,7	<b>SIM</b>

Tabela 5.3 - Atendimento aos critérios das diferentes fachadas no inverno

<b>Fachada ventilada de porcelanato (FVPo)</b>				<b>Fachada de porcelanato aderido (FPoA)</b>			
Data	Temperatura Mínima Externa	Temperatura Mínima Interna	<b>Atende?</b>	Data	Temperatura Mínima Externa	Temperatura Mínima Interna	<b>Atende?</b>
21/6	10,4	13,4	<b>SIM</b>	21/6	10,4	13,1	<b>NÃO</b>
30/8	10,6	16,1	<b>SIM</b>	30/8	10,6	15,5	<b>SIM</b>
28/6	12,1	15,6	<b>SIM</b>	28/6	12,1	15,3	<b>SIM</b>
16/9	12,1	17,8	<b>SIM</b>	16/9	12,1	17,1	<b>SIM</b>
14/8	12,2	16,0	<b>SIM</b>	14/8	12,2	15,7	<b>SIM</b>
17/9	12,3	16,7	<b>SIM</b>	17/9	12,3	16,0	<b>SIM</b>
15/8	12,3	15,7	<b>SIM</b>	15/8	12,3	15,4	<b>SIM</b>
16/8	12,4	15,6	<b>SIM</b>	16/8	12,4	15,3	<b>NÃO</b>
8/7	12,4	15,6	<b>SIM</b>	8/7	12,4	15,3	<b>NÃO</b>

A partir da análise da comparação entre os dias mais quentes no período de verão e os dias mais frios no período de inverno, é possível verificar o desempenho superior da FVPo sobre o sistema convencional. No período de verão a FVPo obteve temperaturas internas inferiores as externas durante os 9 dias mais quentes atendendo assim aos critérios da norma de desempenho. Já a FPoA apresentou resultados variáveis durante os dias mais quentes do ano. Em 66,6% a FPoA não atendeu aos critérios mínimos exigidos pela norma.

No período de inverno os resultados foram semelhantes ao período de verão. Durante os 9 dias mais frios do inverno, a FVPo apresentou temperaturas superiores a externas mais três graus, atendendo assim ao critério da norma de desempenho. A FPoA apresentou resultado inferior ao da FVPo, ficando em concordância com a norma em 66,6% dos dias mais frios, não atendendo ao requisito da norma.

Por ser baseada em estatística, esse método se torna mais completa do que a analisada anteriormente. A análise da edificação verificando os dias de maiores temperaturas no período de verão e menores temperaturas no período de inverno é mais representativa, pois mostra o desempenho da edificação sobre a condição de maior solicitação térmica.

### 5.1.2.3. Análise durante todo o período de verão e inverno

Na última comparação, foram simulados os períodos de verão e inverno completos e verificada a porcentagem do tempo em que cada tipo de fachada atende aos critérios da norma. Foram traçadas curvas de temperaturas para os dois sistemas no verão e que podem ser observadas nas Figuras 5.5 e 5.6.

Os valores encontrados se encontram no Apêndice G.

Figura 5.5 - Curvas de temperatura da FVPo no verão

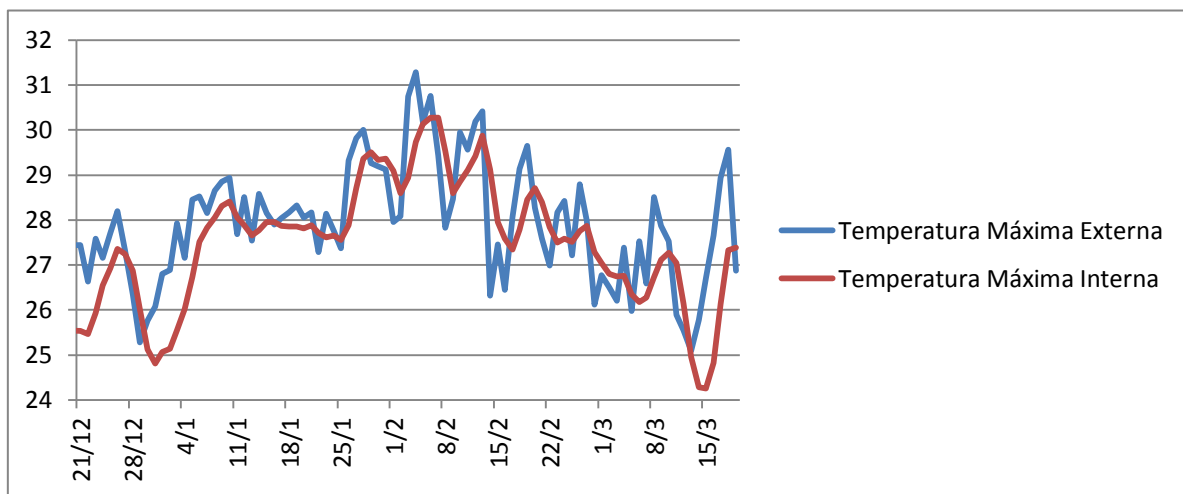
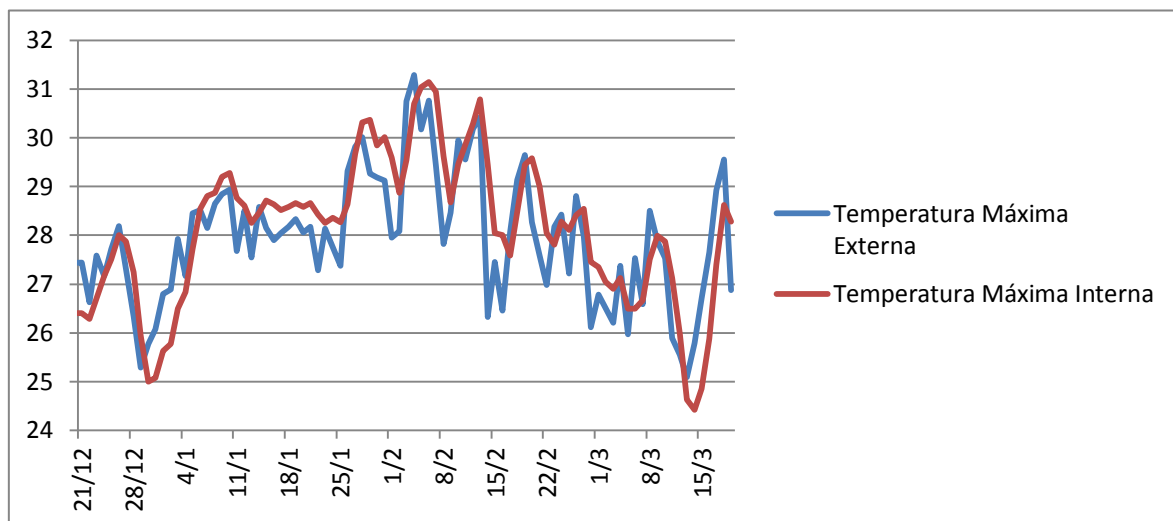


Figura 5.6 - Curvas de temperatura da FPoA no verão



É possível verificar que o sistema de FVPo possui temperaturas internas menores que as do sistema FPoA, gerando um atendimento a norma de 65,6% do tempo no período de verão, enquanto o outro sistema atende apenas em 36,7%. Essa diferença de temperaturas pode ser

explicada, principalmente, pela diferença de transmitância térmica ente os dois sistemas e a existência da camada de ar constantemente renovada dessa tipo. Já no período do inverno, os resultados de atendimento foram menores que no período de verão. Nas FVPo o período de atendimento foi de 53,7% enquanto para as FPoA, apenas 29,5% (Figuras 5.7 e 5.8).

Figura 5.7 - Curvas de temperatura da FVPo no inverno

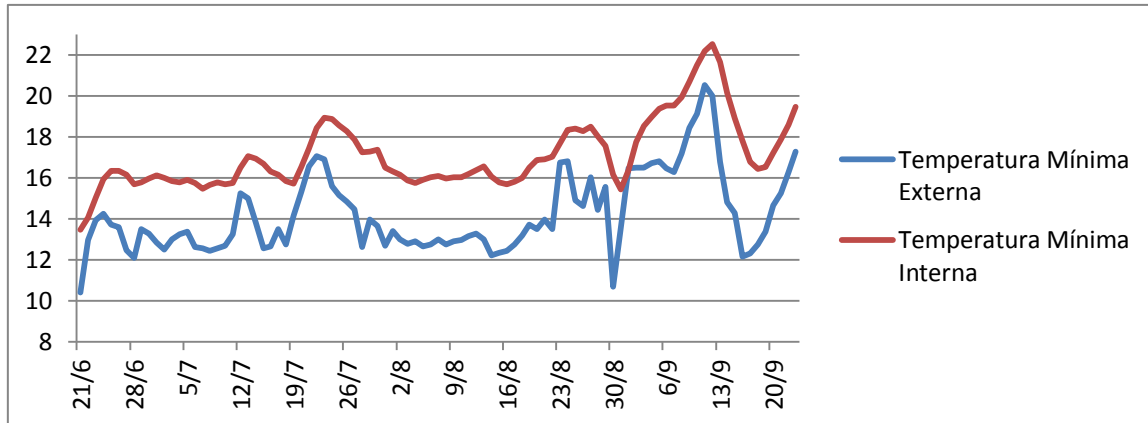
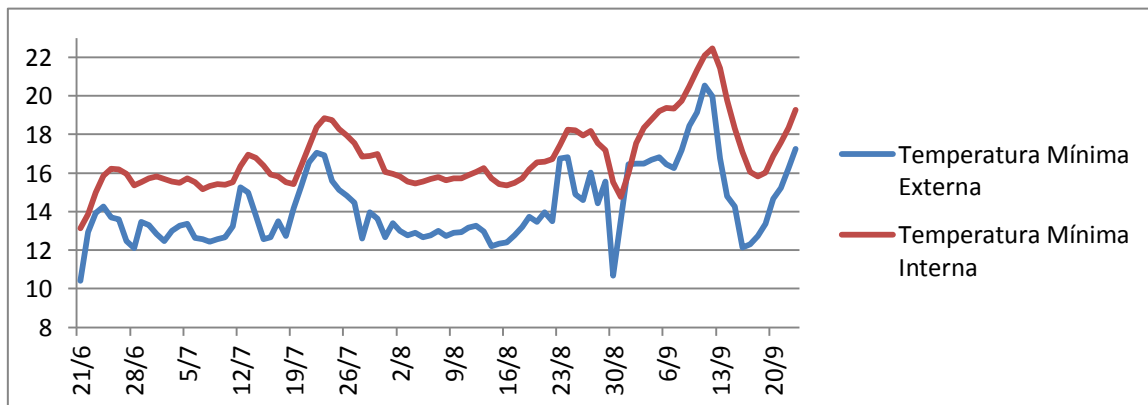


Figura 5.8 - Curvas de temperatura da FPoA no inverno



Observando os resultados é possível concluir que o sistema de FVPo possui um desempenho térmico superior ao sistema de FPoA, tanto para a procedimento adotado pela ABNT NBR 15575 quanto para os outros métodos. Essa melhoria de desempenho se deve ao fato que a FVPo possui uma renovação de ar, devido ao efeito chaminé, inflando ar atmosférico frio e expulsando o ar aquecido pela radiação solar. Essa camada ventilada ser como um controlador de temperatura interna, tanto para períodos de verão, quanto para períodos de inverno.

No verão as temperaturas internas alcançaram máxima de 30,3°C e mínimas de 13,4°C, para as FVPo (Apêndice G). Apesar de estarem em consonância com a norma de desempenho, essas temperaturas são extremas quando avaliado o conforto do usuário.

Outro aspecto que pode ser observado é a discrepância entre os resultados do procedimento simplificado para as simulações. No caso, os dois sistemas ficaram de acordo com os critérios do procedimento simplificado, mas quando procedeu-se à simulação do edifício, levando em consideração os elementos de contorno, o resultado é diferente. Nos três métodos de simulação, o desempenho da FPoA foi inferior ao mínimo de norma, mostrando o quanto é importante considerar o edifício e seus elementos como um todo, e não somente as vedações opacas.

Verifica-se ainda, que o período de inverno em Brasília é atípico e que possui temperaturas mínimas que podem alcançar valores maiores que 20°C. Outros estudos como o de Silva Porto (2001) e Komeno (2005) também mostraram que as solicitações térmicas no período de inverno em Brasília são altas. Essa peculiaridade nos leva a pensar se a norma de desempenho deve requerer os mesmos critérios térmicos para as diferentes zonas bioclimáticas.

Em um cenário ideal, cada zona bioclimática possuiria seus próprios requisitos e critérios, levando em consideração as peculiaridades de cada uma dessas zonas. Essa diferenciação teria como objetivo a busca pelo conforto térmico dos usuários das edificações.

### **5.1.3. Atendimento à norma e níveis de desempenho**

Conforme os resultados apresentados, a Fachada Ventilada possui vantagens sobre o sistema convencional de porcelanato aderido, no que se diz a respeito de desempenho térmico. Essa diferença no desempenho térmico se dá devido ao colchão de ar que se renova por efeito chaminé, eliminando o ar aquecido por radiação térmica diminuindo a transmissão de calor para dentro da edificação. Verificou-se também que suas propriedades isolantes são benéficas para os períodos de inverno, onde o mesmo colchão de ar retém o calor no interior da edificação. No caso das FVPo, mais de cinquenta por cento do período de inverno e verão ficou em concordância com o nível mínimo da norma.

A avaliação de desempenho térmico simplificado, sugerido pela norma, pode ser imprecisa quanto ao efeito do aumento da temperatura no interior da edificação. Essa imprecisão se deve ao fato do procedimento simplificado não levar em consideração aspectos importantes para o desempenho térmico como, por exemplo, os fechamentos transparentes, grandes responsáveis pelo ganho de temperatura e outras condições de contorno como sombreamentos, ventilação e interferência de edifícios vizinhos. É aconselhável a simulação em qualquer análise de



desempenho térmico de edificações, já que a mesma considera diversos fatores negligenciados pelo procedimento simplificado.

Foi verificado ainda que métodos distintos de análise das simulações térmicas podem gerar diferentes resultados. A sugestão da norma de desempenho para simulações térmicas utilizando como meio de comparação os dias típicos de verão e inverno, pode provocar falsa aceitação do objeto de estudo, já que os dias típicos, apesar de baseada em series históricas, podem não ser suficientes para representar o comportamento da edificação durante o ano. Para isso outros métodos de análise foram propostos levando em consideração a simulação de todo o período, mostrando se mais eficaz na avaliação do desempenho térmico das edificações.

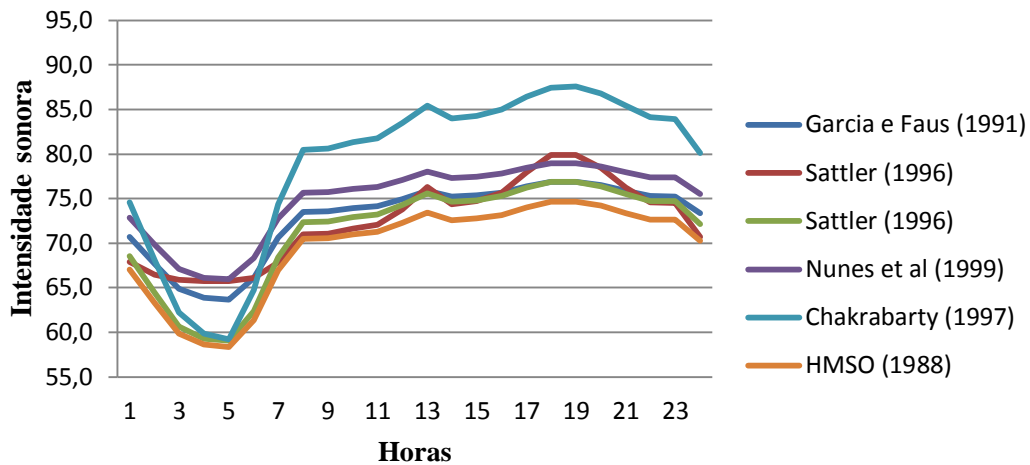
Comparando os dois sistemas é possível classificar as FVPO no nível mínimo de desempenho, enquanto a FPoA, apesar de atender os critérios de transmitância térmica e Capacidade térmica, não é suficiente para atender a norma quando verificado nos critérios de simulação.

## **5.2. ANÁLISE DE DESEMPENHO ACÚSTICO**

### **5.2.1. Nível de predição sonora e classe de ruído**

Como resultado da aplicação dos modelos de predição do nível sonoro é possível verificar a diferença gerada entre cada uma delas. Na Figura 5.9 encontra-se o comportamento de cada equação mediante ao fluxo de veículos das vias estudadas.

Figura 5.9 - Comportamento das equações de predição sonora



Na Figura 5.5 é possível verificar que em alguns momentos as equações convergem para um valor próximo, geralmente em momentos de baixo fluxo de carros (entre 3 e 5 horas), onde o ruído de fundo é predominante na medição. Isso acontece quando o fluxo de tráfego é tão pequeno que, estatisticamente, o ruído produzido pelo tráfego não consegue ser expressivo, preponderando à medição do ruído de fundo.

Já no restante das horas, as equações se distanciam, como por exemplo, a de Charkrabarty (1997), que extrapola as outras equações e mostra um nível sonoro muito maior que os demais. Isso provavelmente acontece devido a peculiaridade dos dados obtidos por este autor, onde as suas medições aconteceram em Calcutá, além de ter sido dado enfoque nos usuários das edificações.

Para o cálculo do nível de pressão sonora medido foi utilizada a equação 4.3 e os intervalos de medição apresentados no Apêndice E para determinar o  $L_{Aeq}$  do período observado. Os resultados encontrados podem ser observados na Tabela 5.4.

Em relação à correlação entre os valores obtidos pelas equações e os valores medidos in loco houve algumas diferenças. Devido ao urbanismo único de Brasília, os edifícios encontram-se afastados das vias de grande fluxo em média por 20 metros, diminuindo assim, a parcela de intensidade sonora refletida pelos mesmos. As equações também não levam em consideração a diminuição do fluxo de veículos e da velocidade, devido a congestionamentos, comuns nessas vias analisadas. Pode-se concluir que Brasília devido a suas peculiaridades necessita de uma equação de predição própria.

Na Tabela 5.4 é possível observar a correlação entre as equações de predição e os níveis medidos.

Tabela 5.4 - Valores obtidos das equações de predição e medição *in loco* (dB)

<b>Hora</b>	Garcia e Faus (1991)	Sattler (1998) L	Sattler (1996) NL	Nunes <i>et al</i> (1999)	Chakrabarty (1997)	HMSO (1988)	<b>Medido</b>
<b>7</b>	73,5	71,0	72,4	75,7	80,4	70,5	<b>69,4</b>
<b>8</b>	73,6	71,1	72,4	75,7	80,6	70,6	<b>70,3</b>
<b>9</b>	73,9	71,7	72,9	76,1	81,3	71,0	<b>72,5</b>
<b>17</b>	76,9	79,9	76,9	79,0	87,4	74,7	<b>72,1</b>
<b>18</b>	76,9	79,9	76,9	79,0	87,6	74,7	<b>73,4</b>
<b>19</b>	76,5	78,5	76,4	78,6	86,8	74,2	<b>73,1</b>

É possível verificar também que os valores medidos ficam acima do máximo estipulados pela ABNT NBR 10151:2000 para o conforto da população residencial, que é de 55 dB para períodos diurnos e 50 dB para períodos noturnos.

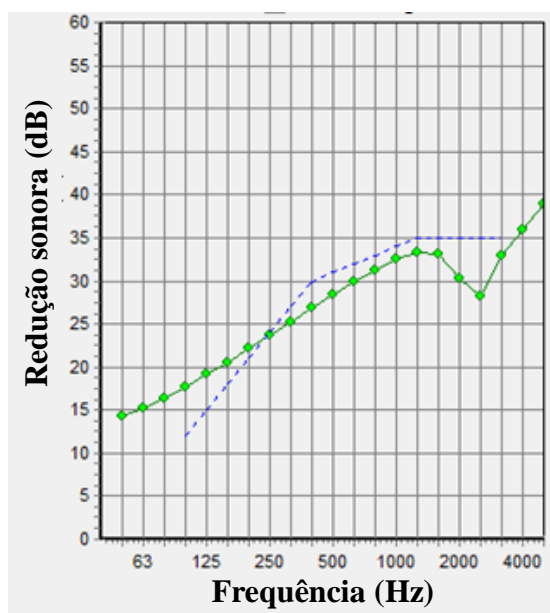
Dessa forma, observando os valores medidos e os valores de predição, chegou-se à conclusão que a edificação se encontra na classe de ruído III.

### **5.2.2. Simulação do Nível de Isolamento Sonoro**

Para o cálculo do índice  $R_w$  da fachada foi necessária a simulação dos diversos elementos constituintes dos sistemas de FVPo e FPoA. A simulação resultou em uma curva de isolamento sonoro (linha cheia) em dBs, as frequências ordenadas em 1/3 de oitava e a curva de referência (linha tracejada).

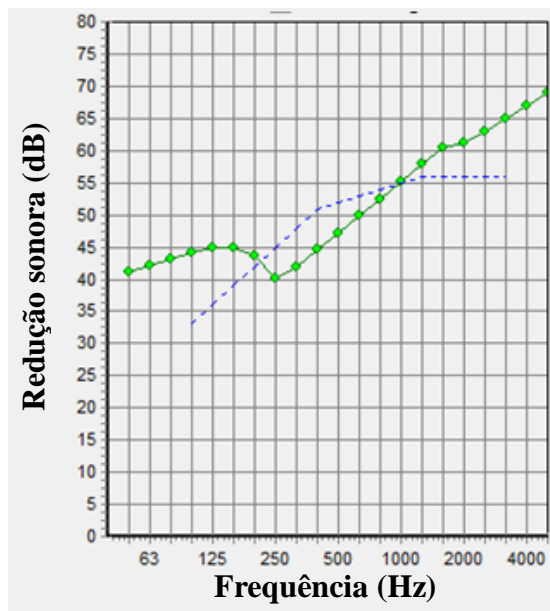
Primeiramente foi avaliada a esquadria da edificação que será comum ao cálculo de isolamento dos dois sistemas. Optou-se pelo vidro de 6 mm que resultou na seguinte curva de isolamento (Figura 5.10), frequência crítica de 2332 Hz e índice de redução sonora ( $R_w$ ) de 31 dB.

Figura 5.10 - Curva de isolamento sonora da esquadria



A vedação do sistema de FPoA foi simulada da mesma forma, resultado em uma curva de isolamento sonora conforme a Figura 5.11, frequência crítica de 253 Hz e índice de redução sonora de 52 dB.

Figura 5.11 - Curva de isolamento sonora da vedação do sistema de FPoA



Utilizando a Equação 4.3 calculou-se o  $R_G$  do sistema de FPoA para os diferentes ambientes da edificação. O resultado<sup>19</sup> pode ser encontrado na Tabela 5.5.

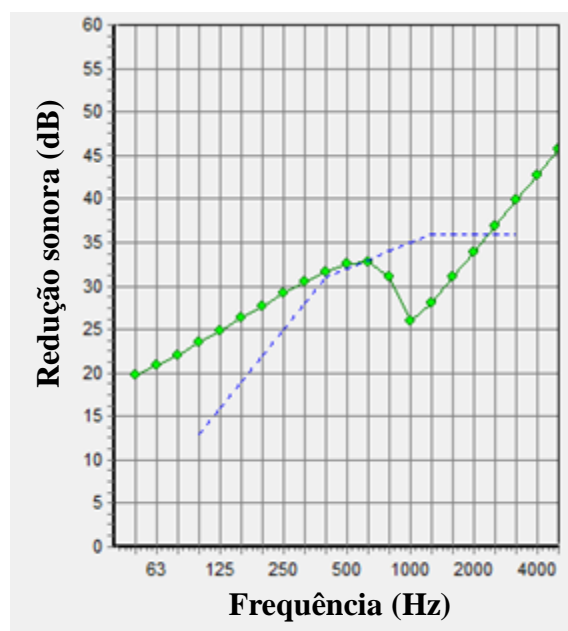
Tabela 5.5 - Isolamento sonora do sistema de FPoA nos diferentes ambientes

Ambiente	Área da vedação (m <sup>2</sup> )	Área Esquadria (m <sup>2</sup> )	$R_G$ (dB)
Quarto	6,71	1,80	38
Suíte	6,77	2,40	37
Sala	5,78	4,41	35

No caso do sistema de FVPo, foi calculado o isolamento sonoro do porcelanato com as juntas (Figura 5.12), do substrato (Figura 5.13) e por último o isolamento do sistema como um todo, levando em consideração as esquadrias. O resultado nos diferentes ambientes pode ser encontrado na Tabela 5.6.

A frequência crítica no porcelanato é de 1015 Hz e seu índice  $R_w$  é de 32 dB. No substrato a frequência crítica é de 232 Hz e o isolamento sonoro 51 dB.

Figura 5.12 - Curva de isolamento sonoro do porcelanato no sistema de FVPo



<sup>19</sup> O cálculo completo do isolamento sonoro dos dois sistemas nos diferentes ambientes pode ser encontrado no Apêndice F.

Figura 5.13 - Curva de isolamento sonoro do substrato no sistema de FVPo

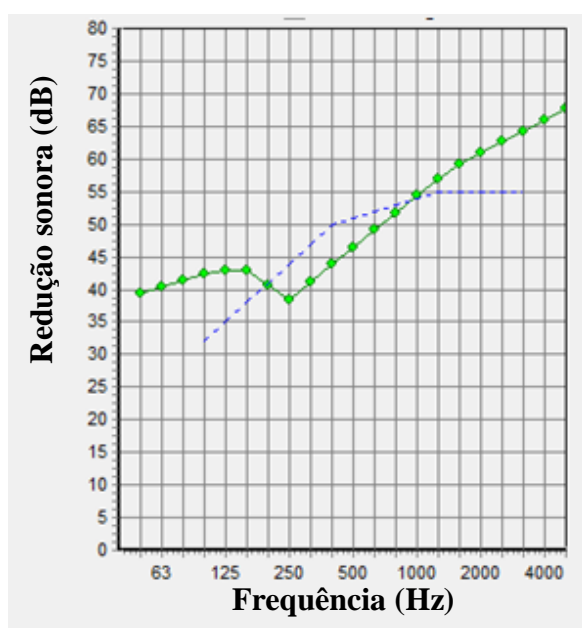


Tabela 5.6 - Isolamento sonora do sistema de FVPo nos diferentes ambientes

<b>Ambiente</b>	<b>Área da vedação (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Esquadria (m<sup>2</sup>)</b>	<b>R<sub>G</sub> (dB)</b>
Quarto	6,71	1,80	38
Suíte	6,77	2,40	37
Sala	5,78	4,41	35

Os resultados entre o isolamento sonoro dos sistemas foram semelhantes, diferindo um do outro por casas decimais, que quando arredondados<sup>20</sup> para números inteiros acabaram ficando iguais. Apesar deste fato, o isolamento sonoro entre os dois sistemas possui mecanismos distintos. Enquanto o sistema de FPoA isola o ruído através de sua massa, o sistema de FVPo isola o ruído devido a diferença de impedância acústica entre seus materiais. Diferentes materiais possuem diferentes frequências críticas, favorecendo o isolamento sonoro em faixas de frequência distintas.

É possível concluir pelos resultados que a esquadria possui um papel muito importante no isolamento sonoro da fachada. Por ser o elemento com menor índice de isolamento sonoro da

<sup>20</sup> O índice de isolamento sonoro geralmente é expresso em números inteiros

fachada, quanto maior for a sua área, maior será a diminuição do isolamento global desse sistema. Isto fica evidenciado quando se observa os resultados nas Tabelas 5.5 e 5.6.

Comparando os resultados das simulações com os requisitos sugeridos pela norma de desempenho, podemos chegar à conclusão que os dois sistemas atendem aos requisitos mínimos para a classe de ruído III.

Apesar do atendimento aos critérios da norma é necessário salientar que as frequências incidentes nesse estudo são em grande parte de baixa frequência (Figura 4.11). Quando analisados os gráficos de isolamento sonoro dos sistemas é possível observar que os dois sistemas possuem grande isolamento sonoro em frequências altas e baixo isolamento em frequências baixas. Esse fato aliado ao baixo valor de frequência críticas dos elementos opacos pode trazer problemas de isolamento sonoro em baixas frequências.

No caso da FPoA, o sistema possui frequência crítica de 253 Hz enquanto o sistema de FVPo possui dois valores, a do porcelanato externo com valor de 1015 Hz e do substrato 232 Hz. Essa diferença nos valores de frequência crítica do sistema de FVPo confere melhor isolamento sonoro em baixas frequências do que o sistema de FPoA.

Uma forma de aprimorar o isolamento acústico do sistema de FVPo é utilizando absorvedores acústicos no interior da camada ventilada.

## **6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **6.1. CONCLUSÕES GERAIS**

A exigibilidade da ABNT NBR 15575:2013 trouxe um grande avanço no setor da construção civil. Seus requisitos e critérios fornecem parâmetros para que projetistas e construtores consigam conceber uma edificação que atenda as exigências mínimas dos usuários.

Nesse cenário, novos sistemas construtivos surgem para suprir a demanda do setor no que diz respeito a sustentabilidade, produtividade e qualidade da construção. A fachada ventilada é um sistema industrializado que promete diversas vantagens sobre o sistema convencional de fachadas com revestimento aderido. Essas vantagens abrangem a produtividade do sistema, a diminuição de perdas e aspectos de desempenho em uso.

O objetivo geral dessa pesquisa foi analisar os aspectos térmicos e acústicos do sistema de fachada ventilada de porcelanato à luz da norma de desempenho. A fim de alcançar esse objetivo, foi realizada uma revisão bibliográfica a respeito da história do desempenho no Brasil e no mundo, os requisitos de desempenho térmicos e acústicos presentes na ABNT NBR 15575:2013 e as especificidades do sistema de fachada ventilada.

Foi utilizado um projeto de um edifício habitacional modelo localizado em Brasília-DF. Esse projeto teve como finalidade representar um edifício típico do Plano Piloto. Com base nesse projeto foi realizado o levantamento das condições de contorno dessa edificação, como por exemplo, os materiais componentes, a sua localização e orientação, o ruído o qual está submetido e as características dos sistemas estudados.

Com o intuito de verificar se o sistema de FVPo se sobressai sobre o sistema de convencional de revestimento aderido nos aspectos de desempenho térmico e acústico, criou-se um sistema de Fachada de Porcelanato Aderido (FPoA) como parâmetro de comparação.

### **6.2. CONCLUSÕES DE DESEMPENHO TÉRMICO**

Para o desempenho térmico, foram adotadas quatro métodos de análise: O procedimento simplificado, a simulação térmica levando em consideração as recomendações da norma de desempenho, a simulação com comparação dos 9 dias com temperaturas mais extremas e por



fim, a comparação dos sistemas levando em consideração todos os dias dos períodos adotados.

A verificação do desempenho térmico teve como suporte a utilização do *software Design Builder* nas etapas de simulação. Com ele foi possível simular trocas térmicas tanto para os ambientes externo-interno, quanto para ambientes interno-interno.

Na primeira análise verificou-se que os dois sistemas atenderam o procedimento simplificado da norma de desempenho, tanto para o critério de transmitância térmica quanto para o de capacidade térmica. O sistema de FVPo obteve menores valores de U ( $1,53 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ) quando comparado com o sistema de FPoA ( $2,81 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ). Esse resultado é explicado pelo motivo do sistema de FVPo possuir uma camada de ar continuamente renovável que remove o ar aquecido por radiação térmica diminuindo a transmissão do calor.

Em contrapartida a CT do sistema de FPoA resultou em um maior valor ( $176,68 \text{ KJ/m}^2\cdot\text{K}$ ) quando comparado ao sistema de FVPo ( $161,04 \text{ KJ/m}^2\cdot\text{K}$ ). Essa diferença se deve ao fato do sistema FPoA possuir maior massa.

A diferença de valores entre a U dos dois sistemas e os de CT são altos e podem ser notados nos gráficos de temperaturas diárias. A curva de temperatura interna do sistema de FPoA se aproxima da curva de temperatura mostrando que uma alta transmitância térmica leva a altos números de ganho e perda de calor.

Analisando os métodos de simulação pode-se verificar que possuem abrangência superior à do procedimento simplificado.

Quando a edificação é simulada levando em consideração os elementos de contorno, caminha-se para resultados mais reais. Quanto maior a quantidade de dias simulados, maior a representatividade. Isso pode ser verificado comparando as três métodos de simulação.

No primeiro método, analisou-se um dia típico de verão e outro de inverno, baseados em series históricas. Esse método é interessante, pois verifica o desempenho durante um grande período de tempo, mas ele não é sensível suficiente para verificar as temperaturas extremas que esses sistemas são submetidos.

No método baseado no trabalho de Santo *et al* (2013) já é possível verificar o desempenho térmico baseado nas maiores solicitações que esses sistemas podem ser submetidos.

No último método, a verificação de todo o período de verão e todo período de inverno mostra o comportamento da edificação sendo o método mais adequada para a análise de desempenho.

Chegou-se à conclusão que a FVPo possui melhor desempenho térmico em todos os métodos. Essa melhoria de desempenho se deve ao fato da sua camada de ar ventilada, entre o revestimento e o substrato, renovar o ar aquecido, diminuindo a transmissão de calor para o interior da edificação. Essa mesma camada de ar é responsável pela manutenção da temperatura no interior da edificação no período de inverno, diminuindo a transmissão de calor do interior da edificação para a parte externa.

Foi possível verificar também que diferentes métodos levam a diferentes resultados. Enquanto no procedimento simplificado os dois sistemas atendem aos requisitos da norma de desempenho, nos métodos de simulação a FPoA não alcança o nível mínimo exigido, enquanto a FVPo pode ser classificada como desempenho mínimo.

### **6.3. CONCLUSÕES DE DESEMPENHO ACÚSTICO**

No âmbito acústico os dois sistemas obtiveram resultados semelhantes, apesar de possuírem mecanismos de isolamento sonoro distintos. O sistema de FVPo, apesar de menor massa, possui um mecanismo de isolamento sonoro baseado nas diferenças de impedâncias acústica do revestimento e do substrato. Essa diferença de impedância leva a um isolamento diferenciado das diversas faixas de frequência estudadas. A frequência crítica do porcelanato e do substrato também são diferentes diminuindo assim a perda de isolamento por ressonância.

O isolamento do sistema de FPoA é baseado em sua massa. Apesar de esperado um maior desempenho desse tipo de fachada, a concordância entre as frequências críticas dos materiais constituintes diminui o isolamento de todo sistema devido à perda de isolamento por ressonância.

Verifica-se também que esses dois sistemas possuem melhores índices de isolamento sonoro para altas frequências. Em projetos onde a solicitação acústica possui maiores valores de intensidade sonora para baixas frequências a FVPo pode proporcionar melhores índices de isolamento devido a diferenças de frequência crítica dos seus materiais.

Ainda foi possível analisar que as esquadrias das edificações são as grandes responsáveis por determinar o índice de isolamento sonoro global da fachada. Quanto maior a área da esquadria menor será o índice  $R_w$  da fachada.

Houve certa dificuldade na classificação da edificação quanto à classe de ruído em que ela se encontra. A metodologia de verificar o nível de ruído por equações de predição e medição *in loco* e comparar os resultados com a legislação existente, mostrou-se eficiente, mas não substitui a necessidade da inserção de parâmetros quantitativos na norma de desempenho.

#### **6.4. RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS**

- Analisar o desempenho térmico de fachadas ventilada de ACM, cerâmica extrudada e placas pétreas;
- Verificação da influência da espessura da camada de ar ventilada para o desempenho térmico;
- Verificação do conforto térmico dos tipos de fachadas estudadas;
- Estudo do desempenho térmico e acústico em habitações reais do Plano Piloto;
- Verificação do atendimento do desempenho acústico com medições *in loco*;
- Comparar o desempenho térmico e acústico de fachadas ventiladas e cortina;
- Criação de uma equação de predição de nível de ruído de tráfego para Brasília;
- Influência do uso de absorvedores acústicos no interior da camada de ar do sistema de fachada ventilada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIOLI, J. L. **Física Básica para Arquitetura**. Editora UnB, Brasília, 1994.

ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Condition Engineers, Inc. **ASHRAE Handbook: Fundamentals**. ASHRAE. Atlanta-GA.2009

AKUTSU, M. Avaliação de desempenho térmico de edificações: a necessidade de revisão normativa. In: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. **Tecnologia de edificações**. São Paulo: PINI, 1988.

AKUTSU, M.; LOPES, D. Simulação do desempenho térmico de edificações. In: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. **Tecnologia de edificações**. São Paulo: PINI, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

\_\_\_\_\_.NBR 5671. **Participação dos intervenientes em serviços e obras de engenharia e arquitetura**. Rio de Janeiro, 1990

\_\_\_\_\_.NBR 5674: **Manutenção de edificações. Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_.NBR 14037: **Manual de operação, uso e manutenção das edificações – Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação**. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_.NBR 10151. **Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2000

\_\_\_\_\_.NBR 15220-1. **Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e Unidades**. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_.NBR 15220-2. **Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_.NBR 15220-3. **Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_.NBR 15575-1: **Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_.NBR 15575-4: **Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Sistema de vedações verticais internas e externas**. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_.NBR 16055: **Parede de concreto moldadas no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro, 2012.

BASTOS, P. K. X.; LEMONGE, A. C. C.; SIGILIANO, V. S.; RESENDE, S. C. **Estudo do módulo de elasticidade de argamassa de revestimento sujeita à sucção de água pela base**. 3º Congresso Portugues de Argamassas de construção, 2010.

BAUER, E.; CASTRO, E. K. ANTUNES, G. R., **Processo de identificação das manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico**. IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2011.

BERANEK, L. L.; VÉR, I. L. **Noise and vibration control engineering**. Wiley, New York, 1992.

BIES, A. D. **Engineering noise control. Theory and practice**. Spon Press, Third Edition, London, 2003.

BORGES, C.A.M. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BORGES, R. M. **Análise de desempenho térmico e acústico de unidades habitacionais construídas no conjunto habitacional Benjamin José Cardoso em Viçosa-MG**. Dissertação de mestrado do programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2013.

BRAUM, L.F.N; BRAUM, T. A montagem de Young no estudo da interferência, difração e coerência de fontes luminosas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. V.11, n-3: p.184-195, dez, 1994.

CALIXTO, A. **O ruído gerado pelo tráfego de veículos em “rodovias-grandes avenidas” situadas dentro de perímetro urbano de Curitiba, analisada sob parâmetros acústicos objetivos e seu impacto ambiental**. Dissertação de Mestrado do Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade do Paraná. Curitiba, 2002.

CÂMARA LEGISLATIVA DO DISTRITO FEDERAL. **Lei nº 4.092 de Janeiro de 2008 – Controle da poluição sonora e limites máximos de intensidade de sons e emissão de ruídos resultantes de atividades urbana e rurais no Distrito Federal**. Brasília, 2008

CAMPOS, K. F. **Desenvolvimento de sistema de fixação de fachada ventilada com porcelanato de fina espessura**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2011.

CHACKRABARTY, D. *et al.* **Status of road traffic noise in Calcutta metropolis, India**. Acoustic society of America. Journal of Acoustical Society of America. 1997

CHIARELLO, J. A. **Ventilação natural por efeito chaminé – Estudo de modelo reduzido de pavilhões industriais**. Dissertação de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006

CONSELHO REGIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução N°002 de 8 de março de 1990 – Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora**. 1990

CORBELLA, O; YANNAS. S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**. Rio de janeiro, Ed. Revan, 2003

CORDEIRO, M.F. **Modelamento Matemático do Campo Geomagnético Principal no Brasil, através de harmônicos esféricos sobre uma calota**. Dissertação de Mestrado em

Geofísica. Pós-graduação do Observatório Nacional do Ministério da Ciência e Tecnologia. Rio de Janeiro-RJ, 2007.

COSTA, E. C. **Acústica técnica**. Editora Edgard Blucher. São Paulo, 2003.

COSTA, E. C. **Arquitetura ecológica – condicionamento térmico natural**. Editora Edgard Blucher, São Paulo, 2000.

CUNHA, M .M. F. **Desenvolvimento de um sistema construtivo para fachadas ventiladas**. Dissertação de mestrado. Universidade do Minho. Porto, 2006

DEPARTAMENT OF TRANSPORT (DOT) – Welsh Office. Calculation of Road Traffic Noise. London: HMSO, 1988.

DESIGNBUILDER. **Site oficial**. Disponível em <<http://www.designbuilder.co.uk>>. Acesso em 20 de novembro de 2013

DETRAN. **Estatística de veículos, 2013**. Disponível em <<http://www.detran.df.gov.br/images/08-Agosto Frota.pdf>>. Acesso em 15 de novembro de 2014.

DUARTE, E. **Estudo do isolamento acústico da paredes de vedação da moradia brasileira ao longo de sua história**. Dissertação de Mestrado do Programa de pós-graduação em Arquitetura da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2005.

EGAN, M. **Architectural Acoustics**. McGraw-Hill Inc. 1998

ELIANE. **Portifólio de apresentação do sistema de fachada ventilada**. 2013

FLAUZINO, W. D. **Durabilidade de materiais e componentes das edificações: metodologia e suas aplicações no caso de pinturas externas e chapas onduladas de plástico**. Dissertação de Mestrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1983.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. 5ª ed. São Paulo, Studio Nobel, 2001.

GARCIA, A.; FAUS, L. J. Statistical analysis of noise levels in urban áreas. **Applied Acoustics**. Vol 34, 1991

GEMELLI, C.B. **Avaliação do conforto térmico, acústico e lumínico de edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas: o caso da escola municipal de ensino fundamental Frei Pacífico**. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009.

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

GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE. **Operation Breakthrough – Lessons Learned About Demonstrating New Technology**. United States of America, 1976. Disponível em < <http://www.gao.gov/assets/120/117465.pdf>>. Acesso 11 de novembro de 2014.

GROOS, J.G **Developments in the Application of the performance concept in buildings**. Internacional Sysposium Application of the Performance Concept In Building. Haifa, 1996.

HASSE, M.; MARQUES DA SILVA, F.; AMATO, A. Simulation of ventilated facades in hot and humid climates. **Energy and buildings**. Volume 41, pag. 361-373, 2009.

HALLIDAY, D; RESNICK, R. **Física 2**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: LCT – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1984

HAMMAD,R.N.S.;GIBBS,B.M. The acoustic performance of building façade in hot climates: Part 1 – Courtyards. **Applied Acoustic**, nº. 16. 1983.

HENDRICKS, R.W. **Traffic Noise Attenuation as a Function Of Ground and Vegetation**. Technical Report of California Department of Transportation. Sacramento, California. 1995

INSUL. **Users Manual**. Sound Insulation Prediction Program. Mashall Day Acoustic version 8. 2014

INTERNACIONAL STANDARTS ORGANIZATION

\_\_\_\_.ISO 6240. **Performance standarts in building – Contents and apresentation**. Geneva, Switzerland, 1980

\_\_\_\_.ISO 6241. **Performance standarts in building – Principles for their preparation and factors to be considered**. Geneva, Switzerland, 1984.

\_\_\_\_.ISO 717-1. **Acoustic: Rating of sound insulation in buildings and buildings elements. Part 1: Airborne sound insulation**. Geneva, Switzerland, 1997.

\_\_\_\_.ISO 15721-3. **Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements**. Part 3: Airbone sound against outdoor sound. Geneva, Switzerland, 2005.

JUSTE, A. E. **Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de bloco de concreto submetida a esforços de compressão**. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, SP, 2001.

KELLET,P. **Tecnologia inapropriada? Experiências de vivenda social em Gran Bretaña**. Informes de la construcción, vol 42, nº 409, outubro,1990.

KISS, P. **Pulmões prediais**. Revista Techne, edição 39, março, 1999.

KNUDSEN, V.O.; HARRIS, C.M. **Acoutical Design in Architeture**. Fifth printing, july, 1959

KOMENO, M. H. **Desempenho Quanto aos Aspectos da Inércia Térmica e Pintura Externa de *Test-Cells* de Blocos de Concreto com Entulhos nos Furos: Estudo de caso Realizado em Brasília.** Dissertação de Mestrado do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília. Brasília, 2005

LABEEE. **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – Dados climatológicos.** Disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>. Acesso em 16 de novembro de 2014.

LABERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na Arquitetura.** 2ª Edição, revisada. São Paulo; Pro Livros, 2004.

LEITE, C. L. A. **Estrutura de um plano de manutenção de edifícios habitacionais.** Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2008/2009 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.

LEMIEUX, D.J.; TOTTEN, P.E. **Building Envelope Design Guide.** WBDG – Whole Building Design Guide. Washington, DC. 2010

LIMA, P.R.B. **Consideração do projeto no desempenho dos sistemas construtivos e qualidade da edificação – proposição de um modelo de banco de dados.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia de Estruturas. Belo Horizonte, 2005.

LOPÉZ, P. F.; JENSEN, R. L.; HEISELBERG, P.; SANTIAGO, M. R. A. Experimental analysis and model validation of a opaque ventilated facade. **Building and Environment.** Volume 56, pág. 265-275, 2012

LOPÉS, P. F.; SANTIAGO, M. R. A. Sensitivity study of a opaque ventilated facade in the winter season in different climate zones in Spain. **Renewable Energy.** Volume 75, pág. 524-533, 2015.

LORENZI, L. S. **Análise crítica e proposições do avanço nas metodologias de ensaios experimentais de desempenho à luz da ABNT NBR 15575 (2013) para edificações habitacionais de interesse sociais térreas.** Tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

MACIEL, A.C.F. **Energia Incorporada de Fachadas Ventiladas nas Fases de Pré-uso, Uso e Manutenção. Estudo de Caso para Edificação Habitacional Modelo Típica do Plano Piloto de Brasília-DF.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 198p. 2013.



MAKISHIMA, A.; MACKENZIE, J. D. Calculation of bulk modulus, shear modulus and Poisson's ratio of glass. **Journal of Non-Crystalline Solids**. Volume 17, nº2, p.147-157, 1975.

MARDONES, M. D. M. **Mapeamento dos níveis de ruído em Copacabana, Rio de Janeiro, através de simulação computacional**. Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia Mecânica. 59f. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio De Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2009.

MARTINS, E. T. R. **Caracterização de sistemas de reabilitação de fachadas: Soluções existentes e inovadoras**. Dissertação de mestrado da Universidade do Minho. Portugal, 2013.

MCT – OBSERVATÓRIO NACIONAL. **Carta de declividade magnética brasileira**. Disponível em <[http://www.on.br/conteudo/servicos/imagens/Mapa\\_dec.jpg](http://www.on.br/conteudo/servicos/imagens/Mapa_dec.jpg)>. Acesso em 17 de outubro de 2014.

MEACHAM, B. J. **Performance-Based Building Regulatory Systems Principles and Experiences**. Reporto of the Inter-Jurisdictional Regulatory Collaboration Committee. 2010.

MATEUS, R. F. M. S. **Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção**. Dissertação de Mestrado da Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Braga, 2004.

MATEUS, D. M. R. **Acústica de edifícios e controle de ruído**. Apostila de acústica, Universidade de Coimbra, 2008.

MAZZAROTTO, A. C. E. K. **Uso do sistema de fachadas dupla ventiladas em edifício de Curitiba. Verificação computacional de desempenho comparativo com soluções convencionais**. Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade do Paraná. Curitiba, 2011.

MEISSER, M. **Acustica de los edificios**. Editores Técnicos Associados, S.A., Barcelona, 1973.

MENDES, F.M.V.P. **Durabilidade das fachadas ventiladas. Aplicação da Norma ISO 15686-1**. Dissertação de Mestrado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2009

MITIDIARI FILHO, C.V. **Avaliação de desempenho de componentes construtivos inovadores destinados a habitações: proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de engenharia e Construção Civil. São Paulo, 1998

MITIDIARI FILHO, C.V. **A contribuição do conceito de desempenho de sistemas construtivos inovadores destinados à habitações térreas unifamiliares – desempenho estrutural**. Dissertação de Mestrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1988.

MORAES, O. **Avaliação de desempenho térmico de uma residência na região central de campinas**. Dissertação de Mestrado da Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. Campinas, 1999

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. **Recommended practice for arrangement of building codes**. Washington D.C, 1925. Disponível em <[http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.\\$b78828;view=1up;seq=1](http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.$b78828;view=1up;seq=1)>. Acesso em 11 de novembro de 2014.

NGI, Núcleo de Gestão e Inovação. **Histórico de desempenho**. Apresentação de curso *in company* sobre desempenho de edificações. Disponível em <<http://www.ngiconsultoria.com.br/artigos/>>. Acesso em 17 de setembro de 2014.

NUNES, M. F. O *et al.* **Medidas de atenuação do ruído de tráfego urbano para o conforto acústico em áreas residenciais**. V ENCAC. Fortaleza, 1999.

OLIVEIRA, L. A. **Metodologia para desenvolvimento de fachadas leves**. Tese de doutorado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de engenharia civil. São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, M. M; SANTOS FILHO, V. M. **Estudo de sistemas racionalizados de vedação vertical: blocos de concreto e placas de gesso acartonado, com foco na ABNT NBR 15575:2012**. Monografia de Projeto Final do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília. Brasília, 2013.

PALACIO, C. D. U. **Análise Térmica e Energia Incorporada de Vedações para Habitações de Interesse Social. Estudo de Caso com Utilização do Steel Frame no Entorno do DF**. Dissertação de Mestrado em Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.

PARKIN, P. H; HUMPHREYS, H. R. **Acoustic, noise and buildings**. Faber and Faber LTD. London, 1958.

PERALTA, G. **Desempenho térmico de telhas: análise de monitoramento e normalização específica**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Universidade de São Paulo. São Carlos-SP, 2006.

PIMENTEL-SOUZA F. (1997). **Efeitos do ruído estressante**. Anais da 49ª Reunião Anual da SBPC, vol. 1.

PINI. **Alternativas tecnológicas para edificações – Volume 1**. São Paulo, 2008

PINTO, R. B. **Determinação experimental e numérica da redução sonora aérea em paredes de alvenaria utilizadas em habitações**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2011.

PORTOBELLO. **Manual técnico do sistema de fachadas ventiladas**. 2013

QUEIROZ, C. S. **Avaliação do isolamento sonoro nas fachadas de edifícios residenciais. Estudo de caso: O processo evolutivo na avenida Beira Mar/Florianópolis.** Dissertação de mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2007

REVERTINO, F.G. **Critérios de evaluación de programas y tecnologías para el habitat popular.** Curso Taller de Pós-Título, Instituto de la Construcción de Edificios, Facultad de Arquitectura de Montevideo. Montevideo, 1994

RESENDE, M. M. **Manutenção preventiva de revestimentos de fachada de edifícios: limpeza de revestimentos cerâmicos.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2004.

ROSSO, T. **Racionalização da Construção.** São Paulo, 1980.

ROTT, J. A. A. **Mapa simplificado de ruído para a cidade de Porto Alegre.** Dissertação de mestrado Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1995.

SANJUAN, C. *et al.* Energy performance of an open-joint ventilated façade compared with a conventional sealed cavity facade. **Solar Energy** **85**, p.1851-1863. Elsevier Science Ltd. 2011.

SANTO A. D.; ALVAREZ C. A.; NICO-RODRIGUES E. A. Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15.575. **Cadernos PROARQ** **20**. 2013

SANTOS FILHO, V. M.; SPOSTO, R. M; MELO, J. S. **Ferramenta para projetos de vedações verticais externas com base nas exigências da norma de desempenho.** REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 8, n. 3, jun. 2014. ISSN 2179-0612. Disponível em: <<http://revistas.ufg.br/index.php/reec/article/view/28169>>. Acesso em: 03 Nov. 2014.

SATTLER, M, A. *et al.* **Avaliação de impacto em ruído ambiental determinado pela introdução de um sistema binário de tráfego.** Anais do Encontro Anual da Sociedade Brasileira de Acústica. Petrópolis, 1996.

SCHMID, A, L. Adequação acústica dos espaços para a música. Seleção de exemplos históricos de música e arquitetura como apoio à aprendizagem. **Arquitextos.** Ano 12, vol. 135, 2011.

SHARP, B. H. Prediction methods for the sound transmission of building elements. **Noise Control Engineering Journal**, Vol 11, 1978.

SIQUEIRA JUNIOR, A. A. **Tecnologia de Fachada-Cortina com placas de Grês Porcelanato.** Dissertação de mestrado de Engenharia Civil e Urbana. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

SILVA, P. **Acústica.** Escola de Arquitetura da Universidade de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1962.

SILVA PORTO, M. **Avaliação de desempenho de sistemas construtivos inovadores. Estudo de caso de painéis construídos com argila expandida.** Dissertação de Mestrado, publicação G.MD-16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 2001.

SOUZA, R. **A contribuição do conceito de desempenho para a avaliação do edifício e suas partes: aplicação às janelas de uso habitacional.** Dissertação de Mestrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1983.

STAZI, F.; TOMASSONI, F.; VEGLIÒ, A.; DI PERNA, C. Experimental evaluation of ventilated walls with external clay cladding. **Renewable Energy**. Volume 36, pág. 3373-3385, 2011.

STEELE, C A. A critical review of some traffic noise prediction models. **Applied Acoustic**. 2001.

STUBNA, I.; KOZÍK, T.; HANIC, F. Young's modulus and mechanical strength of porcelain at the firing in the cooling stage. **Ceramics Interncaional**. Volume 18, nº15 p. 353-354, 1992.

SUÁREZ, M. J.; SANJUAN, C.; GUTIÉRREZ, A. J.; PISTONO, J.; BLANCO, E. Energy evaluation of na horizontal open joint ventilated façade. **Applied Thermal Engineering**. Volume 37, pág 302-313, 2012.

THE CODE OF HAMMURABI. **Article 229**. Disponível em <<http://www.fordham.edu/halsall/ancient/hamcode.asp>>. Acesso em 29 de outubro de 2014

WONG, P. C.; PRASAD, D.; BEHNIA, M. A new type of double-skin façade configuration for the hot humid climate. **Energy and Buildings**. Volume 40, nº10, pág 1941-1945, 2008

## APÊNDICES

## APÊNDICE A – TABELA DE EXEGIGÊNCIAS DO USUÁRIO

<b>Exigência do usuário</b>	<b>Requisitos</b>	<b>Critérios</b>
Segurança Estrutural	Estabilidade e resistência estrutural	Estado-limite último
	Deformações e fissuras decorrentes de outras falhas	Estado-limite de serviço
Segurança contra incêndio	Dificultar o princípio de incêndio	Proteção contra descargas atmosféricas
		Proteção contra risco de ignição nas instalações elétricas
		Proteção contra risco de vazamento nas instalações de gás
	Facilitar a fuga em situação de incêndio	Rotas de Fugas
	Dificultar a inflamação generalizada	Propagação superficial de chamas
	Dificultar a propagação de incêndio	Isolamento de risco à distância
		Isolamento de risco por proteção
	Assegurar a estanqueidade e isolamento	
Segurança estrutural	Minimizar o risco de colapso estrutural	
Sistema de extinção e sinalização de incêndio	Equipamentos de extinção, sinalização e iluminação de emergência	
Segurança no uso e operação	Segurança na utilização do imóvel	Segurança na utilização dos sistemas
	Segurança das instalações	Segurança na utilização das instalações
Estanqueidade	Estanqueidade a fontes de umidade externas à edificação	Estanqueidade à água da chuva e à umidade do solo e do lençol freático
	Estanqueidade a fontes de umidade internas à edificação	Estanqueidade à água utilizada na operação e manutenção do imóvel
Desempenho térmico	Requisitos de desempenho no verão	Valores máximos de temperatura
	Requisitos de desempenho no inverno	Valores mínimos de temperatura
Desempenho acústico	Isolação acústica de vedações externas	Desempenho acústico das vedações externas
	Isolação acústica entre ambientes	Isolação ao ruído aéreo entre pisos e paredes internas
	Ruídos de impacto	Ruídos gerados por impactos
Desempenho lumínico	Iluminação natural	Níveis mínimos de iluminância natural

		Fator de luz diurna (FLD)
	Iluminação artificial	Níveis mínimos de iluminação artificial
Durabilidade e Manutenibilidade	Vida útil de projeto do edifício e dos sistemas que o compõe	Vida útil de projeto (VUP)
	Manutenibilidade do edifício e dos seus sistemas	Durabilidade
Saúde, Higiene e Qualidade do ar	Proliferação de microorganismos	Facilidade ou meios de acesso
	Poluentes na atmosfera interna à habitação	
	Poluentes no ambiente de garagem	
Funcionalidade e Acessibilidade	Altura do pé-direito	Altura mínima do pé-direito
	Disponibilidade mínima de espaços para uso e operação na habitação	Disponibilidade mínima de espaços para uso e operação na habitação
	Adequação para pessoas com deficiência física ou pessoas com mobilidade reduzida	Adequação das áreas comuns e privativas
	Possibilidade de ampliação da unidade habitacional	Ampliação de unidades habitacionais evolutivas
Conforto Tátil e Antropodinâmico	Conforto tátil e adaptação ergonômica	Adequação ergonômica de dispositivos de manobra
	Adaptação antropodinâmica de dispositivo de manobra	Força necessária para o acionamento de dispositivos de manobra
Adequação ambiental	Projeto e implantação de empreendimentos	
	Seleção e consumo de materiais	
	Consumo de água e deposição de esgoto no uso e ocupação da habitação	
	Consumo de energia no uso e ocupação da habitação	

## **APÊNDICE B – MUDANÇAS DA NORMA DE DESEMPENHO EM RELAÇÃO À VERSÃO ANTERIOR**

A publicação da ABNT NBR 15575 em 2008 foi responsável por trazer importantes avanços para o setor da construção, introduzindo no setor a abordagem em desempenho no lugar do caráter prescritivo. Mudando o foco para o conforto e segurança do usuário, a norma gerou ainda um incentivo à inovação e sustentabilidade, apresentou a qualidade como valor agregado e estabeleceu a corresponsabilidade para toda a cadeia da construção, desde incorporadores, projetistas, construtores e fabricantes até os usuários, pelo desempenho da habitação e definição de ensaios para perícia.

Dessa forma a Norma foi responsável por promover a avaliação dos edifícios habitacionais e de sistemas construtivos para habitações com foco no produto final, criando ainda um parâmetro para avaliação de novos sistemas construtivos, incentivou a elaboração de composição de metodologias de desenvolvimento de projetos e controle de qualidade, introduziu a contratação técnica de obras com desempenho assegurado, fomentou o aumento de produtividade e desenvolvimento tecnológico do setor, estimulou a atuação responsável das empresas e gerou o aumento da competitividade setorial. Além disso, sendo a primeira norma brasileira a colocar a obrigação da vida útil em projeto, gerou a necessidade de se pensar não apenas em custo inicial de construção, mas em um custo global, envolvendo operação e manutenção.

O adiamento da entrada em vigor e a revisão da Norma fizeram-se necessárias devido às grandes inseguranças que ela gerou no setor. A mudança de cultura para uma visão sistêmica das edificações, dúvidas quanto aos conceitos de desempenho, o aumento de custos, a falta de dados dos produtos e sistemas fornecidos, a escassez de laboratórios para atender aos ensaios exigidos, as responsabilidades jurídicas atribuídas a cada parte e as cobranças do consumidor estão entre os motivos que levaram a consulta nacional sobre a prorrogação do prazo de exigibilidade à maior votação em toda a história da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com 93% dos 5,5 mil votos a favor da prorrogação do prazo de exigibilidade da Norma.

Apesar da revisão e das mudanças propostas para a nova versão da ABNT NBR 15575, não houve alterações no conceito de desempenho, nos objetivos da Norma, e nem nos requisitos e os critérios definidos anteriormente. De modo geral, o conteúdo passou por ajustes na redação



para maior clareza e redução da subjetividade, para minimizar a possibilidade de má interpretação.

A mudança mais significativa foi título da Norma, passando de “Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho” para “Edificações Habitacionais – Desempenho”. Apesar de já haver previsão na versão anterior de que requisitos que não dependem da altura do empreendimento, como desempenho térmico, acústico e durabilidade, por exemplo, poderiam ser aplicados a qualquer edificação habitacional, essa mudança de título estendeu significativamente a aplicabilidade da Norma.

Com relação às responsabilidades atribuídas, a remoção da subjetividade é um dos fatores de modificação que merece atenção. Ela resultou na melhor definição das incumbências de incorporadores, construtores e projetistas. Além dessa, a inclusão de responsabilidades dos fornecedores de insumos, materiais, componentes e/ou sistemas na Norma foi importante uma vez que o conhecimento das propriedades de cada material e sistemas a serem especificados é indispensável para dar respaldo às decisões de projeto e garantir o desempenho exigido.

Um ponto crítico nas discussões para a revisão da ABNR NBR 15575:2013 envolve a questão de vida útil e prazos de garantia. Foram realizados esclarecimento nos aspectos de durabilidade e manutenção, mostrando a importância da previsão da vida útil de projeto e a necessidade da previsão dos serviços de manutenção ao longo da vida útil da edificação. A VUP para os sistemas estruturais subiu de 40 para 50 anos, passando a estar de acordo com as normas internacionais.

Alguns requisitos e critérios específicos foram alvo de novos acordos entre os agentes da cadeia da construção civil. Entre os principais estão o desempenho acústico, o escorregamento, o impacto e a estanqueidade em pisos, a ventilação em função das zonas bioclimáticas, os forros e os quesitos de instalações.

Desempenho térmico foi um dos itens que sofreram maiores modificações. Os requisitos de desempenho passaram de caráter informativo para normativo e foi incluída na Norma a possibilidade de avaliação da edificação por simulação computacional. O maior avanço com relação ao desempenho térmico foi atrelar os requisitos e critérios às zonas bioclimáticas brasileiras definidas na ABNT NBR 15220-3: 2005, uma vez que as características térmicas de uma cidade para outra são muito variáveis, influenciando diretamente no desempenho das edificações. Cidades que se localizam nas zonas bioclimáticas 6, 7 e 8, por exemplo, não

precisam ser avaliadas para o desempenho térmico para inverno. Houve avanço no esclarecimento quanto aos aspectos a serem considerados, como cor das fachadas e ventilação dos ambientes, considerando ainda a possibilidade de redução da incidência da radiação solar direta nos ambientes em razão de sombreamento de aberturas.

O desempenho acústico também foi alvo de mudanças relevantes, apesar de ainda haver a necessidade de compatibilização da Norma de Desempenho com demais normas brasileiras de acústica, que estão em processo de revisão. De acordo com a nova versão da Norma, não é mais necessário realizar medições antes da execução da obra, porém a Norma ficou mais restritiva, adequando particularmente os critérios de isolamento a ruídos aéreos entre unidades habitacionais. Especificamente na Parte 4, aplicada às vedações, a revisão propôs a classificação das edificações em classes de ruídos e o desempenho mínimo para vedações externas, antes expresso por uma faixa de aceitação, agora é determinado por um valor único, tornado a avaliação mais objetiva. Para o caso de vedações internas, a nova Norma aborda uma maior quantidade de elementos a serem avaliados, atribuindo valores diferenciados para paredes de dormitórios, além de permitir avaliar o desempenho acústico entre duas unidades, mesmo que não haja uma parede de geminação entre elas.

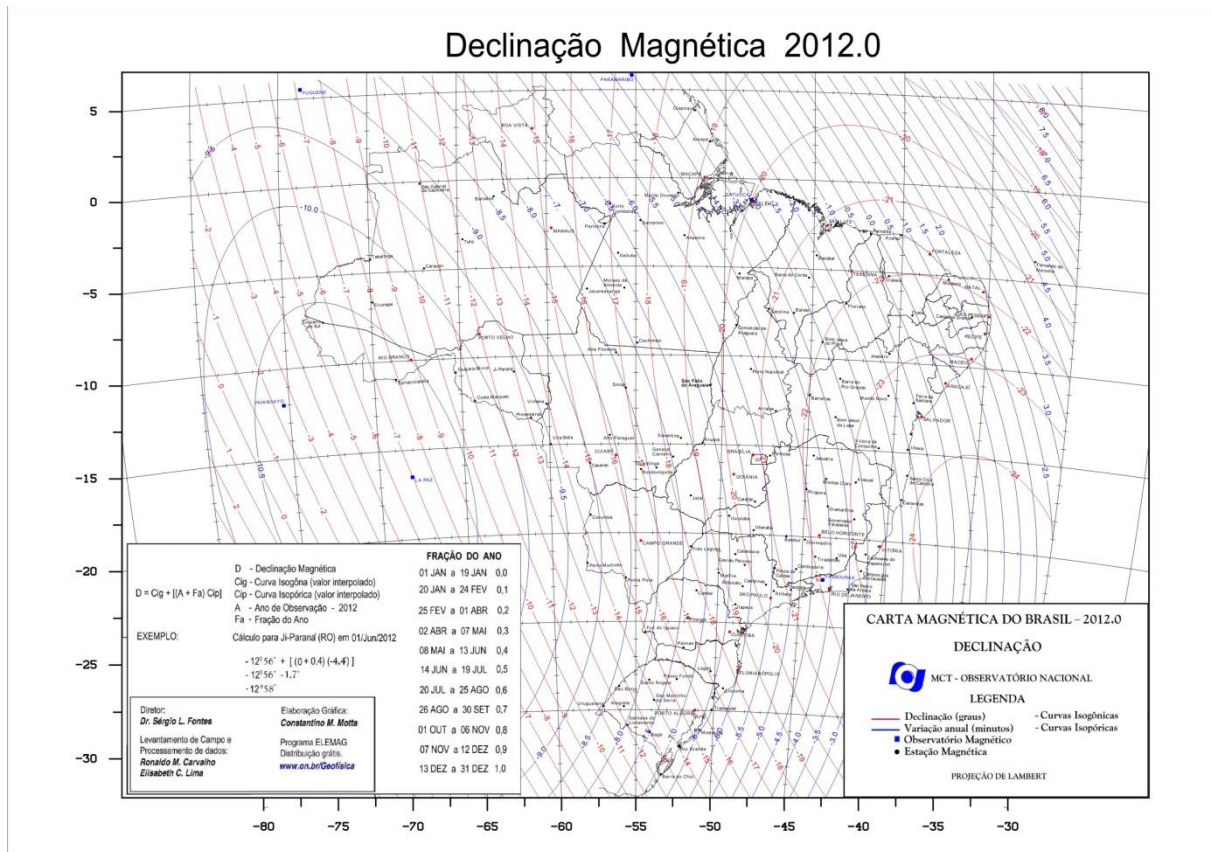
De um modo geral, especificamente no que se refere aos sistemas de vedações verticais externas e internas houve também maior esclarecimento nos aspectos de desempenho estrutural, ficando mais evidentes os critérios referentes ao estado-limite último e ao estado-limite de serviço. O aprimoramento e complementação dos aspectos relativos à segurança ao fogo, também merece destaque. Em particular os critérios relativos à reação ao fogo, considerando propagação de chama e geração de fumaça, incluindo o ensaio SBI<sup>21</sup> (*Single Burning Item*), previsto para painéis tipo sanduíche que incorporam materiais combustíveis. A revisão da Norma trouxe ainda a adequação dos critérios e métodos de estanqueidade à água, considerando a revisão da norma brasileira de esquadrias externas.

---

<sup>21</sup> O ensaio de Unidade de Reação ao fogo, ou *Single Burning Item Test*, é normatizado pela norma europeia EN 13823:2010

# APÊNDICE C – CÁLCULO DA DECLIVIDADE MAGNÉTICA E DA ORIENTAÇÃO DO EDIFÍCIO

Figura C1 - Carta de declinação magnética brasileira (MCT, 2012)



Para o cálculo da declividade magnética em Brasília-DF foi utilizada a Carta de declividade magnética brasileira e a Equação 4.1.

$$D = -21,21^{\circ}$$

A correção dos valores medidos *in loco* das orientações consiste em somar o norte magnético com a declividade magnética encontrada (Tabela C1)

Tabela C1 - Valores corrigidos com a declinação magnética

Edificação	Orientação das edificações medidos com bússola	Declinação magnética calculada	Orientação das edificações com o norte verdadeiro
109 Bloco O	352	-21,21	330,79
110 Bloco I	358	-21,21	336,79
110 Bloco M	352,3	-21,21	331,09
111 Bloco J	351	-21,21	329,79
111 Bloco K	351,5	-21,21	330,29
112 Bloco I	351,7	-21,21	330,49
112 Bloco J	352,3	-21,21	331,09
113 Bloco J	355,7	-21,21	334,49
114 Bloco G	8,3	-21,21	347,09
115 Bloco J	355,3	-21,21	334,09
116 Bloco J	352,5	-21,21	331,29
		<b>Média</b>	333,39

## APÊNDICE D – CÁLCULO DA TRANSMITÂNCIA E CAPACIDADE TÉRMICA

Tabela D1 - Especificação dos materiais utilizados

Material	Absortância ( $\alpha$ )	Condutividade Térmica ( $\lambda$ )	Densidade ( $\rho$ )	Calor específico (c)	Espessura (m)
Porcelanato	0,3	1,3	2300	0,84	0,012
Cerâmica	0,3	0,9	1600	0,92	0,003
Bloco de concreto	0,7	1,75	2400	1	0,14
Argamassa	0,7	1,15	2000	1	0,015

Tabela D2 - Resistência Térmica da câmara de ar fluxo ascendente para  $e > 5\text{cm}$

Ra ( $\epsilon > 0,8$ )	0,14	Superfícies não-refletores
Ra ( $\epsilon < 0,2$ )	0,27	Superfícies refletoras

Tabela D3 - Cálculo da Resistência e Capacidade térmica da parede de blocos de concreto

Rparede

Seção A - Bloco

Seção B - Bloco+ar+Bloco

Aa	0,0038
Ab	0,03135
Ra	0,08
Rb	0,1829
Rt	0,1527

Ctparede

Seção A - Bloco

Seção B - Bloco+ar+Bloco

Aa	0,0038
Ab	0,03135
Cta	336
CTb	96
CTt	107,8519

Tabela D4 - Resultado da Transmitância e Capacidade Térmica das FVPO e FPoA

Transmitância térmica FVPO

$$RT = R_{se} + R_{porcelanato} + R_{si} + R_{ar} + R_{se} + R_{parede} + R_{argamassa} + R_{si}$$

$$RT = 0,65$$

$$U = 1,53$$

Capacidade Térmica FVPO

$$CT = C_{tporcelanato} + C_{tparede} + C_{targamassa} = 161,04$$

$$CT$$

Transmitância Térmica FPoA

$$RT = R_{se} + R_{cerâmica} + R_{parede} + R_{argamassa} + R_{si}$$

$$RT = 0,36$$

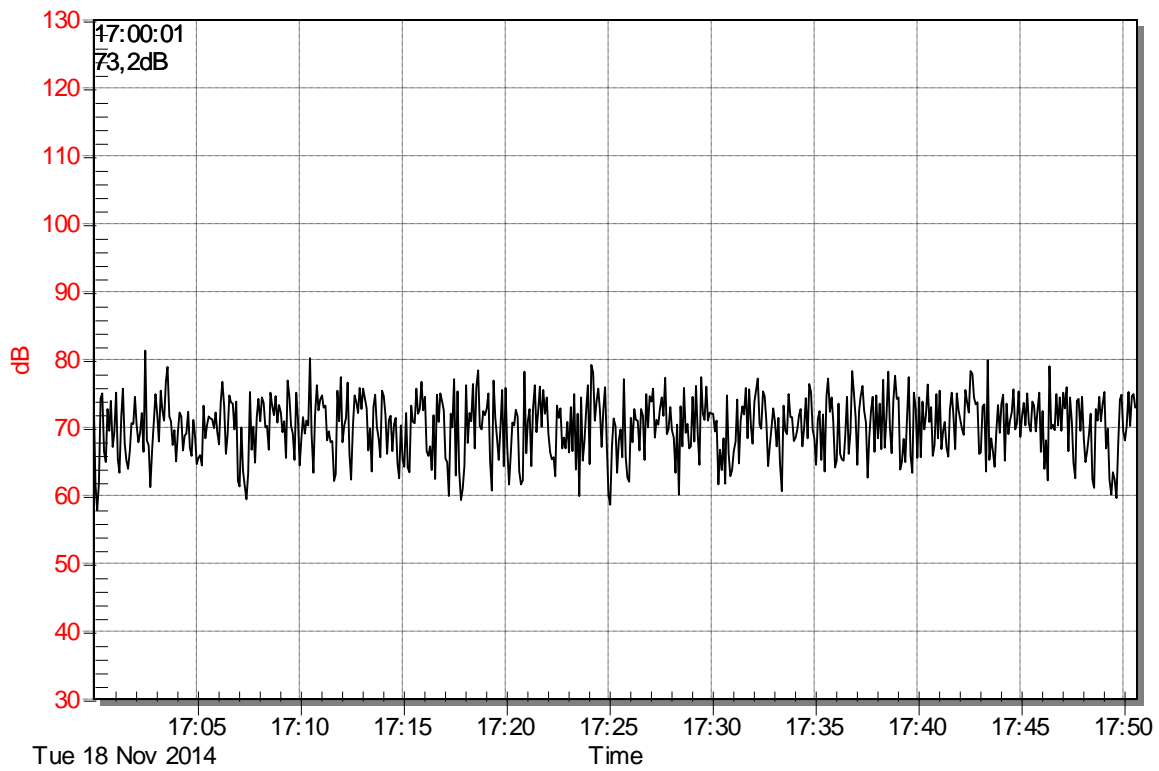
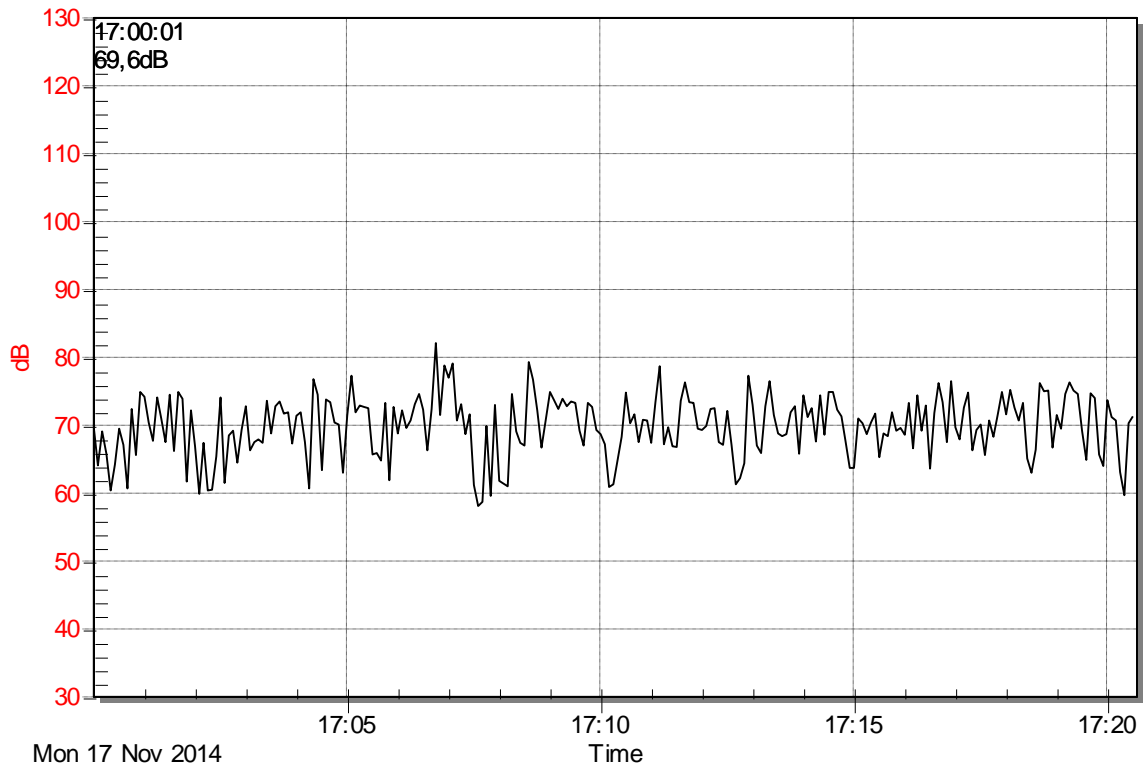
$$U = 2,81$$

Capacidade Térmica FPoA

$$CT = C_{tcerâmica} + C_{tparade} + C_{targamassa}$$

$$CT = 176,68$$

# APÊNDICE E – DADOS DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MEDIDOS *IN LOCO*



## APÊNDICE F – CÁLCULO DO ISOLAMENTO SONORO

### Cálculo da redução sonora FPoA - Sala

Área de fachada	Área da Vedação	Área da esquadria	Redução sonora Vedação	Redução sonora Esquadria
10,19	5,78	4,41	52,0	31,0
-Ri/10 Vedação	-Ri/10 Esquadria	Si.10 <sup>^(-Ri/10)</sup> Vedação	Si.10 <sup>^(-Ri/10)</sup> Esquadria	$\sum$ Si.10 <sup>^(-Ri/10)</sup>
-5,2	-3,1	3,64378E-05	0,003502988	0,003539425
$\sum$ Si	$\sum$ Si.10 <sup>^(-Ri/10)</sup> / $\sum$ Si	RG		
10,185	0,000347514	35		

### Cálculo da redução sonora Porcelanato - Sala

Área de fachada	Área da Vedação	Área da esquadria	Área das juntas	Redução sonora Vedação
10,19	5,65	4,41	0,13	32,0
-Ri/10 Vedação	-Ri/10 Esquadria	Si.10 <sup>^(-Ri/10)</sup> Vedação	Si.10 <sup>^(-Ri/10)</sup> Esquadria	Si.10 <sup>^(-Ri/10)</sup> juntas
-3,2	-3,1	0,003561754	0,003502988	0,13344
$\sum$ Si	$\sum$ Si.10 <sup>^(-Ri/10)</sup> / $\sum$ Si	RG		
10,185	0,013451326	19		

### Cálculo da redução sonora Bloco de concreto - Sala

Área de fachada	Área da Vedação	Área da esquadria	Redução sonora Vedação	Redução sonora Esquadria
10,19	5,78	4,41	51,0	31,0
-Ri/10 Vedação	-Ri/10 Esquadria	Si.10 <sup>^(-Ri/10)</sup> Vedação	Si.10 <sup>^(-Ri/10)</sup> Esquadria	$\sum$ Si.10 <sup>^(-Ri/10)</sup>
-5,1	-3,1	4,58725E-05	0,003502988	0,00354886
$\sum$ Si	$\sum$ Si.10 <sup>^(-Ri/10)</sup> / $\sum$ Si	RG		
10,185	0,00034844	35		

### Cálculo da redução sonora FVPo - Sala

Área de fachada	Área da Vedação	Área da esquadria	Redução sonora Vedação	Redução sonora Esquadria
10,19	5,78	4,41	51,0	31,0
-Ri/10 Vedação	-Ri/10 Esquadria	Si.10 <sup>^(-Ri/10)</sup> Vedação	Si.10 <sup>^(-Ri/10)</sup> Esquadria	$\sum$ Si.10 <sup>^(-Ri/10)</sup>
-5,1	-3,1	5,775E-07	0,003502988	0,003503565



$\Sigma Si$	$\Sigma Si \cdot 10^{(-Ri/10)} / \Sigma Si$	RG	
10,185	0,000343993	35	

#### Cálculo da redução sonora FPoA - Quarto 1

Área de fachada	Área da Vedação	Área da esquadria	Redução sonora Vedação	Redução sonora Esquadria
8,51	6,71	1,80	52,0	31,0
-Ri/10 Vedação	-Ri/10 Esquadria	$Si \cdot 10^{(-Ri/10)}$ Vedação	$Si \cdot 10^{(-Ri/10)}$ Esquadria	$\Sigma Si \cdot 10^{(-Ri/10)}$
-5,2	-3,1	4,23483E-05	0,001429791	0,001472139
$\Sigma Si$	$\Sigma Si \cdot 10^{(-Ri/10)} / \Sigma Si$	RG		
8,51175	0,000172954	38		

#### Cálculo da redução sonora Porcelanato - Quarto 1

Área de fachada	Área da Vedação	Área da esquadria	Área das juntas	Redução sonora Vedação
8,51	6,55	1,80	0,16	32,0
-Ri/10 Vedação	-Ri/10 Esquadria	$Si \cdot 10^{(-Ri/10)}$ Vedação	$Si \cdot 10^{(-Ri/10)}$ Esquadria	$Si \cdot 10^{(-Ri/10)}$ juntas
-3,2	-3,1	0,004133875	0,001429791	0,16104
$\Sigma Si$	$\Sigma Si \cdot 10^{(-Ri/10)} / \Sigma Si$	RG		
8,51175	0,019405395	17		

#### Cálculo da redução sonora Bloco de concreto - Quarto 1

Área de fachada	Área da Vedação	Área da esquadria	Redução sonora Vedação	Redução sonora Esquadria
8,51	6,71	1,80	51,0	31,0
-Ri/10 Vedação	-Ri/10 Esquadria	$Si \cdot 10^{(-Ri/10)}$ Vedação	$Si \cdot 10^{(-Ri/10)}$ Esquadria	$\Sigma Si \cdot 10^{(-Ri/10)}$
-5,1	-3,1	5,33133E-05	0,001429791	0,001483104
$\Sigma Si$	$\Sigma Si \cdot 10^{(-Ri/10)} / \Sigma Si$	RG		
8,51175	0,000174242	38		

#### Cálculo da redução sonora FVPO - Quarto 1

Área de fachada	Área da Vedação	Área da esquadria	Redução sonora Vedação	Redução sonora Esquadria
8,51	6,71	1,80	51,0	31,0
-Ri/10 Vedação	-Ri/10 Esquadria	$Si \cdot 10^{(-Ri/10)}$ Vedação	$Si \cdot 10^{(-Ri/10)}$ Esquadria	$\Sigma Si \cdot 10^{(-Ri/10)}$

-5,1	-3,1	1,06374E-06	0,001429791	0,001430855
$\Sigma Si$	$\Sigma Si.10^{(-Ri/10)}/\Sigma Si$	RG		
8,51175	0,000168103	38		

#### Cálculo da redução sonora FPoA - Suíte

Área de fachada	Área da Vedação	Área da esquadria	Redução sonora Vedação	Redução sonora Esquadria
9,17	6,77	2,40	52,0	31,0
-Ri/10 Vedação	-Ri/10 Esquadria	Si.10 <sup>(-Ri/10)</sup> Vedação	Si.10 <sup>(-Ri/10)</sup> Esquadria	$\Sigma Si.10^{(-Ri/10)}$
-5,2	-3,1	4,26937E-05	0,001906388	0,001949081
$\Sigma Si$	$\Sigma Si.10^{(-Ri/10)}/\Sigma Si$	RG		
9,1665	0,000212631	37		

#### Cálculo da redução sonora Porcelanato - Suíte

Área de fachada	Área da Vedação	Área da esquadria	Área das juntas	Redução sonora Vedação
9,17	6,55	2,40	0,22	32,0
-Ri/10 Vedação	-Ri/10 Esquadria	Si.10 <sup>(-Ri/10)</sup> Vedação	Si.10 <sup>(-Ri/10)</sup> Esquadria	Si.10 <sup>(-Ri/10)</sup> juntas
-3,2	-3,1	0,004130562	0,001906388	0,22008
$\Sigma Si$	$\Sigma Si.10^{(-Ri/10)}/\Sigma Si$	RG		
9,1665	0,024459779	16		

#### Cálculo da redução sonora Bloco de concreto - Suíte

Área de fachada	Área da Vedação	Área da esquadria	Redução sonora Vedação	Redução sonora Esquadria
9,17	6,77	2,40	51,0	31,0
-Ri/10 Vedação	-Ri/10 Esquadria	Si.10 <sup>(-Ri/10)</sup> Vedação	Si.10 <sup>(-Ri/10)</sup> Esquadria	$\Sigma Si.10^{(-Ri/10)}$
-5,1	-3,1	5,37482E-05	0,001906388	0,001960136
$\Sigma Si$	$\Sigma Si.10^{(-Ri/10)}/\Sigma Si$	RG		
9,1665	0,000213837	37		

#### Cálculo da redução sonora FVPo - Suíte

Área de fachada	Área da Vedação	Área da esquadria	Redução sonora Vedação	Redução sonora Esquadria
9,17	6,77	2,40	51,0	31,0

-Ri/10 Vedação	-Ri/10 Esquadria	Si.10 <sup>^</sup> (-Ri/10) Vedação	Si.10 <sup>^</sup> (-Ri/10) Esquadria	$\sum$ Si.10 <sup>^</sup> (-Ri/10)
-5,1	-3,1	1,35009E-06	0,001906388	0,001907738
$\sum$ Si	$\sum$ Si.10 <sup>^</sup> (-Ri/10)/ $\sum$ Si	RG		
9,1665	0,000208121	37		

## APÊNDICE G – TEMPERATURAS EXTERNAS E INTERNAS NOS PERÍODOS DE VERÃO E INVERNO

Tabela G0.1 – Temperaturas Externa e internas no sistema de FVPo durante os períodos de verão e Inverno

Simulação Fachada Ventilada Verão			Simulação Fachada Ventilada Inverno		
Data	Temperatura Máxima Externa	Temperatura Máxima Interna	Data	Temperatura Mínima Externa	Temperatura Mínima Interna
21/dez	27,4	25,5	21/jun	10,4	13,5
22/dez	26,6	25,5	22/jun	13,0	14,1
23/dez	27,6	25,9	23/jun	13,9	15,0
24/dez	27,2	26,6	24/jun	14,3	15,9
25/dez	27,7	26,9	25/jun	13,7	16,3
26/dez	28,2	27,4	26/jun	13,6	16,4
27/dez	27,3	27,2	27/jun	12,5	16,2
28/dez	26,3	26,9	28/jun	12,1	15,7
29/dez	25,3	26,0	29/jun	13,5	15,8
30/dez	25,8	25,1	30/jun	13,3	16,0
31/dez	26,1	24,8	01/jul	12,9	16,1
01/jan	26,8	25,1	02/jul	12,5	16,0
02/jan	26,9	25,1	03/jul	13,0	15,8
03/jan	27,9	25,6	04/jul	13,3	15,8
04/jan	27,2	26,0	05/jul	13,4	15,9
05/jan	28,5	26,7	06/jul	12,6	15,8
06/jan	28,5	27,5	07/jul	12,6	15,5
07/jan	28,2	27,8	08/jul	12,4	15,6
08/jan	28,7	28,1	09/jul	12,6	15,8
09/jan	28,9	28,3	10/jul	12,7	15,7
10/jan	28,9	28,4	11/jul	13,3	15,7
11/jan	27,7	28,1	12/jul	15,3	16,5
12/jan	28,5	27,9	13/jul	15,0	17,1
13/jan	27,5	27,7	14/jul	13,8	16,9
14/jan	28,6	27,8	15/jul	12,6	16,7
15/jan	28,2	28,0	16/jul	12,7	16,3
16/jan	27,9	28,0	17/jul	13,5	16,2
17/jan	28,0	27,9	18/jul	12,8	15,8
18/jan	28,2	27,9	19/jul	14,2	15,7
19/jan	28,3	27,9	20/jul	15,3	16,5
20/jan	28,1	27,8	21/jul	16,6	17,4
21/jan	28,2	27,9	22/jul	17,1	18,4
22/jan	27,3	27,7	23/jul	16,9	18,9
23/jan	28,1	27,6	24/jul	15,6	18,9
24/jan	27,8	27,7	25/jul	15,1	18,6

25/jan	27,4	27,6	26/jul	14,8	18,3
26/jan	29,3	27,9	27/jul	14,5	17,9
27/jan	29,8	28,7	28/jul	12,6	17,2
28/jan	30,0	29,4	29/jul	14,0	17,3
29/jan	29,3	29,5	30/jul	13,7	17,4
30/jan	29,2	29,3	31/jul	12,7	16,5
31/jan	29,1	29,4	01/ago	13,4	16,3
01/fev	28,0	29,1	02/ago	13,0	16,2
02/fev	28,1	28,6	03/ago	12,8	15,9
03/fev	30,8	28,9	04/ago	12,9	15,8
04/fev	31,3	29,6	05/ago	12,7	15,9
05/fev	30,2	30,1	06/ago	12,8	16,0
06/fev	30,8	30,3	07/ago	13,0	16,1
07/fev	29,4	30,3	08/ago	12,8	16,0
08/fev	27,8	29,5	09/ago	12,9	16,0
09/fev	28,5	28,6	10/ago	13,0	16,0
10/fev	30,0	28,9	11/ago	13,2	16,2
11/fev	29,6	29,1	12/ago	13,3	16,4
12/fev	30,2	29,4	13/ago	13,0	16,6
13/fev	30,4	29,9	14/ago	12,2	16,1
14/fev	26,3	29,1	15/ago	12,3	15,8
15/fev	27,5	28,0	16/ago	12,4	15,7
16/fev	26,5	27,6	17/ago	12,8	15,8
17/fev	28,1	27,3	18/ago	13,2	16,0
18/fev	29,1	27,8	19/ago	13,7	16,5
19/fev	29,7	28,5	20/ago	13,5	16,9
20/fev	28,3	28,7	21/ago	14,0	16,9
21/fev	27,6	28,4	22/ago	13,5	17,0
22/fev	27,0	27,8	23/ago	16,7	17,7
23/fev	28,2	27,5	24/ago	16,8	18,3
24/fev	28,4	27,6	25/ago	14,9	18,4
25/fev	27,2	27,5	26/ago	14,6	18,3
26/fev	28,8	27,8	27/ago	16,0	18,5
27/fev	28,0	27,9	28/ago	14,4	18,0
28/fev	26,1	27,3	29/ago	15,6	17,6
29/fev	26,8	27,0	30/ago	10,6	16,1
01/mar	26,5	26,8	31/ago	13,6	15,4
02/mar	26,2	26,8	01/set	16,5	16,4
03/mar	27,4	26,8	02/set	16,5	17,7
04/mar	26,0	26,4	03/set	16,5	18,5
05/mar	27,5	26,2	04/set	16,7	19,0
06/mar	26,6	26,3	05/set	16,8	19,4
07/mar	28,5	26,7	06/set	16,5	19,5
08/mar	27,9	27,1	07/set	16,3	19,5
09/mar	27,5	27,3	08/set	17,2	19,9

10/mar	25,9	27,1	09/set	18,4	20,7
11/mar	25,6	26,2	10/set	19,1	21,5
12/mar	25,1	25,0	11/set	20,5	22,2
13/mar	25,8	24,3	12/set	20,0	22,5
14/mar	26,7	24,3	13/set	16,8	21,7
15/mar	27,7	24,8	14/set	14,8	20,2
16/mar	28,9	26,1	15/set	14,3	18,9
17/mar	29,6	27,3	16/set	12,2	17,8
18/mar	26,9	27,4	17/set	12,3	16,8
19/mar	26,5	26,7	18/set	12,7	16,4
			19/set	13,4	16,5
			20/set	14,7	17,2
			21/set	15,2	17,9
			22/set	16,3	18,6
			23/set	17,3	19,5

Tabela G2 - Temperaturas Externa e internas no sistema de FPoA durante os períodos de verão e Inverno

Simulação Fachada de Porcelanato Aderido Verão			Simulação Fachada Porcelanato Aderido Inverno		
Data	Temperatura Máxima Externa	Temperatura Máxima Interna	Data	Temperatura Mínima Interna	Temperatura Mínima Externa
21/dez	27,4	26,4	21/jun	13,1	10,4
22/dez	26,6	26,3	22/jun	13,9	13,0
23/dez	27,6	26,7	23/jun	15,0	13,9
24/dez	27,2	27,2	24/jun	15,9	14,3
25/dez	27,7	27,5	25/jun	16,2	13,7
26/dez	28,2	28,0	26/jun	16,2	13,6
27/dez	27,3	27,9	27/jun	16,0	12,5
28/dez	26,3	27,2	28/jun	15,4	12,1
29/dez	25,3	25,9	29/jun	15,5	13,5
30/dez	25,8	25,0	30/jun	15,7	13,3
31/dez	26,1	25,1	01/jul	15,8	12,9
01/jan	26,8	25,6	02/jul	15,7	12,5
02/jan	26,9	25,8	03/jul	15,6	13,0
03/jan	27,9	26,5	04/jul	15,5	13,3
04/jan	27,2	26,8	05/jul	15,7	13,4
05/jan	28,5	27,7	06/jul	15,5	12,6
06/jan	28,5	28,5	07/jul	15,2	12,6
07/jan	28,2	28,8	08/jul	15,3	12,4
08/jan	28,7	28,9	09/jul	15,4	12,6
09/jan	28,9	29,2	10/jul	15,4	12,7
10/jan	28,9	29,3	11/jul	15,5	13,3

11/jan	27,7	28,8	12/jul	16,4	15,3
12/jan	28,5	28,6	13/jul	17,0	15,0
13/jan	27,5	28,3	14/jul	16,8	13,8
14/jan	28,6	28,5	15/jul	16,4	12,6
15/jan	28,2	28,7	16/jul	15,9	12,7
16/jan	27,9	28,6	17/jul	15,8	13,5
17/jan	28,0	28,5	18/jul	15,5	12,8
18/jan	28,2	28,6	19/jul	15,4	14,2
19/jan	28,3	28,7	20/jul	16,4	15,3
20/jan	28,1	28,6	21/jul	17,4	16,6
21/jan	28,2	28,7	22/jul	18,4	17,1
22/jan	27,3	28,4	23/jul	18,9	16,9
23/jan	28,1	28,3	24/jul	18,7	15,6
24/jan	27,8	28,4	25/jul	18,3	15,1
25/jan	27,4	28,3	26/jul	18,0	14,8
26/jan	29,3	28,6	27/jul	17,6	14,5
27/jan	29,8	29,7	28/jul	16,9	12,6
28/jan	30,0	30,3	29/jul	16,9	14,0
29/jan	29,3	30,4	30/jul	17,0	13,7
30/jan	29,2	29,8	31/jul	16,1	12,7
31/jan	29,1	30,0	01/ago	16,0	13,4
01/fev	28,0	29,6	02/ago	15,8	13,0
02/fev	28,1	28,9	03/ago	15,6	12,8
03/fev	30,8	29,5	04/ago	15,5	12,9
04/fev	31,3	31,7	05/ago	15,6	12,7
05/fev	30,2	31,0	06/ago	15,7	12,8
06/fev	30,8	31,1	07/ago	15,8	13,0
07/fev	29,4	31,0	08/ago	15,6	12,8
08/fev	27,8	29,6	09/ago	15,7	12,9
09/fev	28,5	28,7	10/ago	15,7	13,0
10/fev	30,0	29,5	11/ago	15,9	13,2
11/fev	29,6	29,9	12/ago	16,1	13,3
12/fev	30,2	30,3	13/ago	16,2	13,0
13/fev	30,4	30,8	14/ago	15,7	12,2
14/fev	26,3	29,5	15/ago	15,4	12,3
15/fev	27,5	28,1	16/ago	15,4	12,4
16/fev	26,5	28,0	17/ago	15,5	12,8
17/fev	28,1	27,6	18/ago	15,7	13,2
18/fev	29,1	28,5	19/ago	16,2	13,7
19/fev	29,7	29,5	20/ago	16,6	13,5
20/fev	28,3	29,6	21/ago	16,6	14,0
21/fev	27,6	29,0	22/ago	16,7	13,5
22/fev	27,0	28,0	23/ago	17,5	16,7
23/fev	28,2	27,8	24/ago	18,2	16,8
24/fev	28,4	28,3	25/ago	18,2	14,9

25/fev	27,2	28,1	26/ago	18,0	14,6
26/fev	28,8	28,4	27/ago	18,2	16,0
27/fev	28,0	28,5	28/ago	17,6	14,4
28/fev	26,1	27,5	29/ago	17,2	15,6
29/fev	26,8	27,4	30/ago	15,5	10,6
01/mar	26,5	27,0	31/ago	14,8	13,6
02/mar	26,2	26,9	01/set	16,0	16,5
03/mar	27,4	27,1	02/set	17,6	16,5
04/mar	26,0	26,5	03/set	18,4	16,5
05/mar	27,5	26,5	04/set	18,8	16,7
06/mar	26,6	26,7	05/set	19,2	16,8
07/mar	28,5	27,5	06/set	19,4	16,5
08/mar	27,9	28,0	07/set	19,4	16,3
09/mar	27,5	27,9	08/set	19,7	17,2
10/mar	25,9	27,1	09/set	20,5	18,4
11/mar	25,6	26,0	10/set	21,3	19,1
12/mar	25,1	24,6	11/set	22,1	20,5
13/mar	25,8	24,4	12/set	22,5	20,0
14/mar	26,7	24,9	13/set	21,4	16,8
15/mar	27,7	25,9	14/set	19,8	14,8
16/mar	28,9	27,4	15/set	18,3	14,3
17/mar	29,6	28,6	16/set	17,1	12,2
18/mar	26,9	28,3	17/set	16,1	12,3
19/mar	26,5	26,8	18/set	15,8	12,7
			19/set	16,0	13,4
			20/set	16,9	14,7
			21/set	17,6	15,2
			22/set	18,4	16,3
			23/set	19,3	17,3



# APÊNDICE H – DADOS DE ENTRADA DO SOFTWARE DESIGN BUILDER

Figura H1 – Entrada de dados do sistema de FVPo

General	
<b>Name</b>	Fachada Ventilada
Source	
Category	Walls
Region	BRAZIL
Definition	
Definition method	1-Layers
Calculation Settings	
Layers	
Number of layers	4
Outermost layer	
Material	Ceramic/porcelain
Thickness (m)	0.0120
Bridged?	<input type="checkbox"/>
Layer 2	
Material	Air gap 100mm (downwards)
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0.1000
Layer 3	
Material	Concrete blocks/tiles - block, heavyweight, 300mm
Thickness (m)	0.1400
Bridged?	<input type="checkbox"/>
Innermost layer	
Material	Cement/plaster/mortar - cement
Thickness (m)	0.0150
Bridged?	<input type="checkbox"/>

Figura H2 - Entrada de dados do sistema de FVPo

General	
<b>Name</b>	Fachada Porcelanato Aderido
Source	
Category	Walls
Region	BRAZIL
Definition	
Definition method	1-Layers
Calculation Settings	
Layers	
Number of layers	4
Outermost layer	
Material	Ceramic/porcelain
Thickness (m)	0.0050
Bridged?	<input type="checkbox"/>
Layer 2	
Material	Cement/plaster/mortar - cement
Thickness (m)	0.0150
Bridged?	<input type="checkbox"/>
Layer 3	
Material	Concrete Block (Heavyweight)
Thickness (m)	0.1400
Bridged?	<input type="checkbox"/>
Innermost layer	
Material	Cement/plaster/mortar - cement
Thickness (m)	0.0150
Bridged?	<input type="checkbox"/>

Figura H3 - Entrada de dados do sistema de FVPo

Glazing Template		<<
Template	<b>Janelas externas</b>	
External Windows		<<
Glazing type	Sgl Clr 6mm	
Layout	<b>Preferred height 1.5m, 90% glazed</b>	
Dimensions		<<
Type	3-Preferred height	
Window to wall %	27,00	
Window height (m)	1,50	
Window spacing (m)	5,00	
<b>Sill height (m)</b>	<b>0,90</b>	
Reveal		<<
Outside reveal depth (m)	0,000	
Inside reveal depth (m)	0,000	
Inside sill depth (m)	0,000	
Frame and Dividers		>>
Shading		>>
Airflow Control Windows		>>
Internal Windows		>>
Roof Windows/Skylights		>>
Doors		>>
Vents		>>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1 – DADOS DO FLUXO VEICULAR

Tabela AN1 - Fluxo veicular no Df-002 norte no dia 17/04/2014

### RELATÓRIO POR PORTE VEICULAR POR DIA

Ponto : PD-007-DF-002 (EIXAO NORTE) KM 2,4 SENTIDO PONTE DO BRAGUETO

QUINTA - 17/04/14

HorasTam.:	Motos	Veículos Pequenos	Veículos Médios	Veículos Grandes	S/Informação	Tot.Hora
00 - 01	4	417	0	0	7	428
01 - 02	3	259	0	0	5	267
02 - 03	2	140	0	0	3	145
03 - 04	0	66	0	0	0	66
04 - 05	0	69	0	0	3	72
05 - 06	4	126	1	0	2	133
06 - 07	9	435	2	0	12	458
07 - 08	18	1.009	0	1	11	1.039
08 - 09	23	1.143	1	0	14	1.181
09 - 10	24	1.247	2	0	17	1.290
10 - 11	20	1.387	0	1	22	1.430
11 - 12	37	1.869	1	0	31	1.938
12 - 13	57	2.279	2	3	23	2.364
13 - 14	62	1.961	2	0	39	2.064
14 - 15	52	2.003	0	0	38	2.093
15 - 16	47	2.375	0	1	32	2.455
16 - 17	63	2.770	1	0	38	2.872
17 - 18	113	3.338	1	0	32	3.484
18 - 19	77	3.274	1	1	36	3.389
19 - 20	42	2.595	0	1	27	2.665
20 - 21	34	2.001	2	0	14	2.051
21 - 22	26	1.668	2	0	21	1.717
22 - 23	29	1.390	2	0	10	1.431
23 - 24	9	904	1	0	10	924
	755	34725	21	8	447	35956