



**AUTOMATIZAÇÃO DO FLUXO DE  
INFORMAÇÕES DENTRO DO PROCESSO  
BIM COM FOCO NA AVALIAÇÃO DO  
DESEMPENHO TÉRMICO, ACÚSTICO E O  
CUSTO DAS DECISÕES PROJETUAIS**

**PEDRO HENRIQUE GONÇALVES**

**TESE DOUTORADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

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

**AUTOMATIZAÇÃO DO FLUXO DE INFORMAÇÕES  
DENTRO DO PROCESSO BIM COM FOCO NA  
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO,  
ACÚSTICO E O CUSTO DAS DECISÕES PROJETUAIS**

**PEDRO HENRIQUE GONÇALVES**

**ORIENTADORA: MICHELE TEREZA MARQUES  
CARVALHO**

**TESE DE DOUTORADO EM ESTRUTURA E  
CONSTRUÇÃO CIVIL**

**PUBLICAÇÃO:  
BRASÍLIA DF: JUNHO – 2018**

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

AUTOMATIZAÇÃO DO FLUXO DE INFORMAÇÕES DENTRO DO  
PROCESSO BIM COM FOCO NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO  
TÉRMICO, ACÚSTICO E O CUSTO DAS DECISÕES PROJETUAIS

PEDRO HENRIQUE GONÇALVES

TESE SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVESIDADE DE  
BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A  
OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.

**APROVADA POR:**

---

**Prof.<sup>a</sup> Michele Tereza Marques Carvalho, DSc (PECC-UNB) – Orientadora**

---

**Prof.<sup>a</sup> Rosa Maria Sposto, DSc (PECC-UNB) – Examinadora interna**

---

**Prof. João Henrique da Silva Rêgo, Dr (PECC-UNB) – Examinador interno**

---

**Prof.<sup>a</sup> Maria Carolina Gomes de Oliveira Brandstetter, DSc (GECON-UFG) –  
Examinadora externa**

---

**Prof. Caio Frederico e Silva, Dr (FAU-UNB) – Examinador externo**

**BRASÍLIA/DF 21 DE JUNHO DE 2018**

## FICHA CATALOGRÁFICA

GONÇALVES, PEDRO HENRIQUE

Automatização do fluxo de informações dentro do processo BIM com foco na avaliação do desempenho térmico, acústico e o custo das decisões projetuais.

xii, 188 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Doutor, Estruturas e Construção Civil, 2018). Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1.BIM

3.Custo

I. ENC/FT/UnB

2.Programação Visual

4.Gestão da informação

II. Título (Doutor)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

GONÇALVES, P.H. (2018). Automatização do fluxo de informações dentro do processo BIM com foco na avaliação do desempenho térmico, acústico e o custo das decisões projetuais. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD – 005A/18, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 188p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Pedro Henrique Gonçalves

TÍTULO: Automatização do fluxo de informações dentro do processo BIM com foco na avaliação do desempenho térmico, acústico e o custo das decisões projetuais.

GRAU: Doutor

ANO: 2018

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

---

Pedro Henrique Gonçalves  
Rua Felix de Bulhões Nº 38 – Setor Central  
CEP 76600-000 Goiás – GO – Brasil  
arquiteto.ph@gmail.com - pedrogoncalves@ufg.br

Dedico este trabalho aos meus pais, Luiz Vitalino e Elza Helena, que me ensinaram a perseguir meus ideais com dedicação e coragem. Minhas referências de vida.

## AGRADECIMENTOS

“[...] Nossas lembranças permanecem coletivas e elas nos são lembradas pelos outros, mesmo que se trate de acontecimentos nos quais só nós estivemos envolvidos e com objetivos que só nós vimos. É porque, em realidade, nunca estamos sós” (HALBWACHS, 1990, p.26).

Reservo este espaço para reconhecer e agradecer a todos aqueles que contribuíram para a redação final deste texto.

À minha orientadora, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Michele Carvalho, pelo incentivo e pelas muitas horas de leitura que dedicou ao texto desta tese.

Aos meus amados pais, pelo total apoio e amor.

À amada Larissa Mitie, pela paciência, amor e carinho;

À minha amiga Francielle Coelho pelas trocas de conhecimento.

Aos professores da Construção Civil do Programa de Pós-Graduação PECC – UNB, pelos ensinamentos de suas disciplinas.

À banca examinadora, pelas contribuições fundamentais para o desenvolvimento do trabalho.

*“Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para o seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer”.*  
(Albert Einstein, aos estudantes de Princeton, EUA)

## **RESUMO**

**AUTOMATIZAÇÃO DO FLUXO DE INFORMAÇÕES DENTRO DO PROCESSO BIM COM FOCO NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO, ACÚSTICO E O CUSTO DAS DECISÕES PROJETAIS.**

**AUTOR: PEDRO HENRIQUE GONÇALVES**  
**ORIENTADOR: MICHELE TEREZA MARQUES**  
**CARVALHO**

**Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental.**  
**Brasília, junho de 2018.**

A construção civil brasileira hoje vive um período de grandes mudanças, devido à implantação da Norma de Desempenho NBR 15575 (2013). Os requisitos de desempenho surgiram como mais um desafio na gestão do processo de projeto de edifícios. As preocupações com as condições do desempenho ambiental das edificações geram um grande número de requisitos em forma de informações, sendo que a prática de projetar com enfoque para o desempenho das edificações deve levar em consideração todos os requisitos no objetivo de melhorar a qualidade final do produto. Para que o desempenho ambiental da edificação seja alcançado, é necessário que os requisitos para tal objetivo sejam identificados e trabalhados na fase de concepção do projeto arquitetônico, dimensionados e especificados os elementos construtivos corretamente. Pesquisas recentes demonstram que ainda existe uma lacuna do conhecimento sobre o atendimento dos requisitos de desempenho ambiental na edificação, devido a esta nova demanda do mercado. A presente pesquisa teve como o objetivo, a partir do método Design Science Research, levantar o nível de conhecimento dos arquitetos a respeito do atendimento dos requisitos de desempenho e trabalhar o problema a respeito da previsão do desempenho térmico e acústico de forma integrada, levando em consideração o custo das decisões nas etapas iniciais de projeto, por meio de uma estrutura criada pela integração da metodologia BIM com a programação Visual, simulando o desempenho das vedações verticais de acordo com critérios e parâmetros exigidos pela norma NBR 15575 (2013). A pesquisa realizada com os profissionais arquitetos revelou que ‘conhecimento prático’, ‘conhecimento teórico’, ‘adoção de novas tecnologias’ e ‘adoção de novos métodos’ foram os quatro principais fatores que afetam o desenvolvimento do projeto para atenderem à norma de desempenho no atual cenário brasileiro, reforçando a necessidade dos profissionais de revisarem suas práticas profissionais frente às novas demandas do mercado. A estrutura criada BIM-VPL para avaliação das vedações verticais mostrou que o processo de integração entre os dois métodos é capaz de criar diferentes soluções conceituais de projeto, a fim de estabelecer uma comparação entre os resultados no mesmo modelo BIM.

**Palavra-chave:** BIM. Programação visual. Custo. Gestão de informação.



## **ABSTRACT**

**AUTOMATION OF THE INFORMATION FLOW IN THE BIM PROCESS WITH FOCUS ON THE EVALUATION OF THERMAL, ACOUSTIC PERFORMANCE AND THE COST OF DESIGN DECISIONS.**

**AUTOR: PEDRO HENRIQUE GONÇALVES**  
**ORIENTADOR: MICHELE TEREZA MARQUES**  
**CARVALHO**

**Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental.**  
**Brasília, junho de 2018.**

Brazilian construction today is experiencing a period of major changes due to the implementation of the Performance Standard NBR 15575 (2013). Performance requirements have emerged as another challenge in the management of the building design process. Concerns about the environmental performance conditions of buildings generate a large number of requirements in the form of information, and the practice of designing with a focus on the performance of buildings must take into account all the requirements in order to improve the final quality of the product. In order for the environmental performance of the building to be achieved, it is necessary that the requirements for such an objective be identified and worked in the design phase of the architectural design, dimensioned and specified the constructive elements correctly. Recent research shows that there is still a lack of knowledge about the fulfillment of environmental performance requirements in the building due to this new market demand. The present research had the objective, from the Design Science Research method, to raise the level of knowledge of the architects regarding the fulfillment of the performance requirements and to work on the problem regarding the prediction of the thermal and acoustic performance in an integrated way taking into account the cost of decisions in the initial stages of the project, through a structure created by the integration of BIM methodology with Visual programming, simulating the performance of vertical seals according to criteria and parameters required by NBR 15575 (2013). The research conducted with professional architects revealed that ‘practical knowledge’, ‘theoretical knowledge’, ‘adoption of new technologies’ and ‘adoption of new methods’ were the four main factors that affect the development of the project to meet the performance standard in the current Brazilian scenario, reinforcing the need of the professionals to review their professional practices in face of the new demands of the market. The BIM-VPL framework for the evaluation of vertical fences showed that the integration process between the two methods is capable of creating different conceptual design solutions, in order to compare the results in the same BIM model.

**Keywords:** BIM. Visual programming. Cost. Information management.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Linha do tempo da NBR 15575 .....	28
<b>Figura 2</b> - Nível da influência do projeto no custo final da construção .....	33
<b>Figura 3</b> – Ciclo da satisfação das necessidades dos clientes.....	36
<b>Figura 4</b> – Processo simplificado da avaliação do desempenho térmico de acordo com a NBR 15575 .....	41
<b>Figura 5</b> – Processo simplificado da avaliação do desempenho acústico de acordo com a NBR 15575 .....	50
<b>Figura 6</b> - Exemplo de programação textual .....	60
<b>Figura 7</b> - Exemplo de programação visual.....	60
<b>Figura 8</b> – Ciclo regulador.....	64
<b>Figura 9</b> - Estrutura da gestão da informação do método proposto.....	67
<b>Figura 10</b> - Modelo em espiral com as quatro etapas da GR.....	75
<b>Figura 11</b> - Fluxo de trabalho para o desenvolvimento da ferramenta para a análise .....	77
<b>Figura 12</b> - Parâmetro $R_w$ criado no template do Revit.....	78
<b>Figura 13</b> - Exemplo de indicação de erro dentro da tela de construção do Dynamo .....	80
<b>Figura 14</b> – Processo de desenvolvimento do script de avaliação no Dynamo.....	80
<b>Figura 15</b> – Modelo volumétrico e planta do estudo de caso .....	83
<b>Figura 16</b> – Nível de formação dos arquitetos entrevistados .....	90
<b>Figura 17</b> – Correlação entre as responsabilidades dos projetistas e o preparo para o desenvolvimento do projeto de acordo com a norma .....	92
<b>Figura 18</b> - Os arquitetos estão totalmente preparados para atender a NBR 15575.....	93
<b>Figura 19</b> - Lógica da ferramenta desenvolvida .....	96
<b>Figura 20</b> - Demonstração do VPL construído.....	98
<b>Figura 21</b> – Exemplo do bloco de comando criado no Dynamo para filtrar as paredes.....	99
<b>Figura 22</b> – Grupo de blocos de comandos para a estruturação do custo no VPL.....	100
<b>Figura 23</b> - Grupo de blocos de comandos para a estruturação do desempenho térmico no VPL.....	101
<b>Figura 24</b> – Fluxo do $D_{2mnTw}$ criado no Dynamo.....	103
<b>Figura 25</b> – Fluxo do $D_{nTw}$ criado no Dynamo .....	103
<b>Figura 26</b> - Tela principal do Revit .....	105
<b>Figura 27</b> - Tela de entrada do Dynamo .....	105
<b>Figura 28</b> - Tela de programação visual do Dynamo .....	106
<b>Figura 29</b> - Tela de dados exportados.....	106
<b>Figura 30</b> - Tela da tabela comparativa dos requisitos normativos .....	107
<b>Figura 31</b> - Exemplo da planilha final exportada do Dynamo para o Excel .....	109
<b>Figura 32</b> - Modelo original e seus elementos construtivos .....	110
<b>Figura 33</b> - Proposta A e seus elementos construtivos .....	118
<b>Figura 34</b> - Proposta B e seus elementos construtivos .....	124
<b>Figura 35</b> - Proposta C e seus elementos construtivos .....	129
<b>Figura 36</b> - Proposta D e seus elementos construtivos .....	133
Figura 37 – Proposta E e seus elementos construtivos .....	140
<b>Figura 39</b> - Síntese do processo projetual.....	148
<b>Figura 40</b> - Gerenciamento da informação no novo processo de projeto.....	149
<b>Figura 40</b> - Parâmetros do formato da fachada. ....	181
<b>Figura 41</b> - Contribuição do formato da fachada.....	182
<b>Figura 42</b> - Caminhos de transmissão sonora Norma.....	183
<b>Figura 43</b> - Tipos de ligação.....	184

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Requisitos de desempenho.....	26
<b>Tabela 2</b> - Áreas de exigência dos usuários.....	29
<b>Tabela 3</b> - Etapas das atividades durante o desenvolvimento do projeto .....	31
<b>Tabela 4</b> - Fases do projeto.....	34
<b>Tabela 5</b> – Requisitos de transmitância térmica e capacidade térmica em paredes.....	42
<b>Tabela 6</b> – Requisitos de transmitância térmica em coberturas.....	42
<b>Tabela 7</b> - Requisitos de ventilação .....	43
<b>Tabela 8</b> – Requisitos máximos diários do ar interior .....	43
<b>Tabela 9</b> - Aberturas para ventilação .....	44
<b>Tabela 10</b> - Isolamento ao ruído aéreo de sistemas de vedações externas .....	53
<b>Tabela 11</b> - Isolamento ao ruído aéreo de sistemas de vedações internas .....	54
<b>Tabela 12</b> - Isolamento aos ruídos aéreos de sistemas de pisos .....	54
<b>Tabela 13</b> – Isolamento ao ruído de impacto de sistemas de pisos e coberturas .....	55
<b>Tabela 14</b> – Validação e especificação de requisitos.....	63
<b>Tabela 15</b> – Perguntas que compõem o questionário .....	69
<b>Tabela 16</b> – Modelo original (Original).....	85
<b>Tabela 17</b> - Pontuação das respostas, coeficiente alpha, média, desvio padrão, significância, RII e <i>ranking</i> dos fatores que impactam no desenvolvimento do projeto de arquitetura com os requisitos da norma de desempenho .....	87
<b>Tabela 18</b> - 10 fatores menos importantes que impactam no desenvolvimento do projeto de arquitetura.....	90
<b>Tabela 19</b> - <i>Ranking</i> dos grupos de fatores que impactam no desenvolvimento do projeto de arquitetura com os requisitos da norma de desempenho .....	91
<b>Tabela 20</b> – Informações do modelo original .....	110
<b>Tabela 21</b> - Desempenho acústico $D_{2mnT,w}$ .....	111
<b>Tabela 22</b> - $D_{2mnT,w}$ para fachadas sem aberturas .....	112
<b>Tabela 23</b> - $D_{nTw}$ entre unidades e Hall .....	112
<b>Tabela 24</b> - $D_{nTw}$ entre unidades habitacionais .....	113
<b>Tabela 25</b> - $D_{nTw}$ de vedações na mesma unidade habitacional com aberturas .....	113
<b>Tabela 26</b> - $D_{nTw}$ de vedações na mesma unidade habitacional sem aberturas .....	114
<b>Tabela 27</b> - Resultado do desempenho térmico.....	115
<b>Tabela 28</b> - Custo do modelo original.....	117
<b>Tabela 29</b> - Informações da Proposta A .....	119
<b>Tabela 30</b> - Desempenho acústico $D_{2mnT,w}$ da Proposta A.....	120
<b>Tabela 31</b> - Desempenho acústico $D_{2mnT,w}$ sem aberturas da Proposta A.....	120
<b>Tabela 32</b> - $D_{nTw}$ entre unidades e Hall .....	121
<b>Tabela 33</b> - Resultado do desempenho térmico da Proposta A .....	122
<b>Tabela 34</b> - Custo da Proposta A .....	123
<b>Tabela 35</b> - Informações da Proposta B.....	124
<b>Tabela 36</b> - $D_{nTw}$ entre unidades e Hall .....	125
<b>Tabela 37</b> - $D_{nTw}$ entre unidades habitacionais .....	126
<b>Tabela 38</b> - $D_{nTw}$ de vedações na mesma unidade habitacional com aberturas .....	126
<b>Tabela 39</b> - $D_{nTw}$ de vedações na mesma unidade habitacional sem aberturas.....	127
<b>Tabela 40</b> - Custo da Proposta B .....	128
<b>Tabela 41</b> - Informações da Proposta C.....	129
<b>Tabela 42</b> - $D_{nT,w}$ de vedações na mesma unidade habitacional com aberturas.....	130
<b>Tabela 43</b> - Custo da Proposta C .....	132
<b>Tabela 44</b> - Informações da Proposta D .....	134

<b>Tabela 45</b> - Desempenho acústico $D_{2mnT,w}$ .....	135
<b>Tabela 46</b> - $D_{2mnT,w}$ para fachadas sem aberturas .....	135
<b>Tabela 47</b> - $D_{nTw}$ entre unidades e Hall .....	136
<b>Tabela 48</b> - $D_{nTw}$ entre unidades habitacionais .....	136
<b>Tabela 49</b> - $D_{nTw}$ de vedações na mesma unidade habitacional com aberturas .....	136
<b>Tabela 50</b> - $D_{nTw}$ de vedações na mesma unidade habitacional sem aberturas .....	137
<b>Tabela 51</b> - Resultado do desempenho térmico da Proposta A .....	138
<b>Tabela 52</b> - Custo da Proposta D .....	139
<b>Tabela 53</b> – Informações da Proposta E .....	140
<b>Tabela 54</b> - Desempenho acústico $D_{2mnTw}$ .....	141
<b>Tabela 55</b> - $D_{2mnTw}$ para fachadas sem aberturas .....	142
<b>Tabela 56</b> - $D_{nTw}$ entre unidades e Hall .....	142
<b>Tabela 57</b> - $D_{nTw}$ entre unidades habitacionais .....	142
<b>Tabela 58</b> - $D_{nTw}$ de vedações na mesma unidade habitacional com aberturas .....	143
<b>Tabela 59</b> - $D_{nTw}$ de vedações na mesma unidade habitacional sem aberturas .....	143
<b>Tabela 60</b> - Resultado do desempenho térmico .....	144
<b>Tabela 61</b> – Custo da simulação da Proposta E .....	145
<b>Tabela 62</b> - Resumo dos resultados simulados .....	147
<b>Tabela 63</b> - Impacto no custo global da edificação .....	147
<b>Tabela 64</b> - Dificuldades encontradas no processo.....	153
<b>Tabela 65</b> - Resistência térmica superficial interna e externa. ....	187

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO</b> .....	15
<b>1.2 JUSTIFICATIVA</b> .....	18
<b>1.3 HIPÓTESE DE PESQUISA</b> .....	20
<b>1.4 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA</b> .....	21
<b>1.5 OBJETIVOS</b> .....	22
1.5.1 Objetivo geral.....	22
1.5.2 Objetivos específicos.....	22
<b>1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO</b> .....	22
<b>1.7 ORIGINALIDADE</b> .....	23
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	24
<b>2.1 BREVE HISTÓRICO DO DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES</b> .....	24
2.1.1 O desempenho de edificações.....	24
2.1.2 O desempenho da edificação no Brasil.....	26
<b>2.2 A NORMA DE DESEMPENHO – ABNT NBR 15575</b> .....	28
<b>2.3 O PROCESSO DO PROJETO DE ARQUITETURA</b> .....	30
<b>2.4 O CUSTO DOS REQUISITOS DO DESEMPENHO AMBIENTAL NO PROJETO FINAL E A GERAÇÃO DE VALOR</b> .....	35
<b>2.5 O DESEMPENHO AMBIENTAL DAS EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS</b> .....	37
2.5.1 Análise do desempenho térmico e acústico .....	38
<b>2.6 GESTÃO DO REQUISITO NO PROJETO ARQUITETÔNICO</b> .....	55
<b>2.7 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)</b> .....	57
<b>2.9 PROGRAMAÇÃO VISUAL NA ANÁLISE DE PROJETOS</b> .....	59
<b>CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA</b> .....	62
<b>3.1 MÉTODO E CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA</b> .....	62
<b>3.2 ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA COM O MÉTODO DESIGN SCIENCE RESEARCH</b> .....	63
3.2.1 Revisão da literatura .....	67
3.2.2 Questionário .....	68
3.2.3 Gestão do requisito .....	74
3.2.4 Desenvolvimento da estrutura .....	76
3.2.5 Estudo de caso.....	82
<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS</b> .....	86
<b>4.1 QUESTIONÁRIO DE VALIDAÇÃO</b> .....	86

<b>4.1.1 Identificações dos impactos no desenvolvimento do projeto</b> .....	86
4.1.1.1 Arquitetos e o projeto baseado em desempenho .....	93
<b>4.2 A GESTÃO DO REQUISITO</b> .....	<b>95</b>
<b>4.3 A ESTRUTURA</b> .....	<b>95</b>
4.3.1 Custos.....	100
4.3.2 Desempenho térmico .....	101
4.3.3 Desempenho acústico .....	102
4.3.4 O fluxo do uso da ferramenta .....	104
<b>4.4 VALIDAÇÃO DA ESTRUTURA</b> .....	<b>108</b>
4.4.1 Avaliação do modelo original.....	109
<b>4.5 IMPLEMENTAÇÃO DA ESTRUTURA</b> .....	<b>117</b>
4.5.1 Proposta A.....	118
4.5.2 Proposta B .....	123
4.5.3 Proposta C .....	128
<b>4.6 GENERALIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA</b> .....	<b>132</b>
4.6.1 Proposta D.....	133
4.6.2 Proposta E .....	140
4.7 CUSTO GERAL .....	146
<b>4.6 AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA</b> .....	<b>147</b>
<b>4.7 LIMITAÇÕES</b> .....	<b>151</b>
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES</b> .....	<b>154</b>
<b>5.1 CONTRIBUIÇÕES PARA O CONHECIMENTO</b> .....	<b>154</b>
<b>5.2 TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>156</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>157</b>
<b>APÊNDICE A</b> .....	<b>178</b>
<b>APÊNDICE B</b> .....	<b>186</b>

# CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Esta tese foi desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC) da Universidade de Brasília (UnB). O trabalho foi realizado sob a orientação da Profa. Dra. Michele Tereza Marques Carvalho e se situa na linha de pesquisa Gestão e Sustentabilidade na Construção Civil. A tese trata do gerenciamento do fluxo de informações de forma automatizada em modelos BIM por meio da construção de uma estrutura de avaliação do desempenho térmico-acústico das vedações verticais de edificações nas etapas iniciais de projeto de habitações, identificando o impacto do custo das soluções construtivas nas tomadas de decisões.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Nas últimas duas décadas a indústria da construção se tornou mais interessada em promover o conceito do desempenho e economia da construção em longo prazo, buscando caminhos para gerenciar a informação nos projetos de forma rápida e inteligente. Sendo importante a adoção de medidas apropriadas para automatizar o processo de projeto com o intuito de reunir as informações necessárias para a construção de análises eficientes. A abordagem tradicional de lidar com a informação e o seu fluxo de maneira manual dificilmente satisfaz essa demanda.

A tendência é de que os projetos de edifícios sejam concebidos com enfoque na melhoria da qualidade do produto, o que significa considerar os requisitos de desempenho desde a fase de concepção, nas definições das exigências do programa de necessidades. O que torna cada vez mais necessária a incorporação de métricas avaliativas na prática de projetar, buscando sanar as crescentes preocupações a respeito da habitabilidade.

Reconhecendo que os requisitos do projeto da edificação são compostos por elementos quantitativos (por exemplo: energia consumida, materiais, desempenho de sistemas, custo e outros) e elementos qualitativos (impacto social, planejamento espacial, estética e outros), o projeto de construção visa satisfazer múltiplos critérios ao lado desempenhos mensuráveis (NEGENDAHL, 2015). A adaptação física do ambiente e a construção da edificação precisam ser levadas em consideração na etapa de concepção e projeto, pois uma alteração na estrutura pós-obra é ineficiente e muito cara (INDRAGANTI et al., 2014; JAZIZADEH et al., 2014).

O projeto da edificação é, por natureza, um processo complexo, fazendo com que a tomada de decisão no projeto seja demorada devido à necessidade de coletar, gerenciar e documentar os dados relevantes, sendo um processo muito trabalhoso (WU, 2010; WONG; KUAN, 2014; JALAEI; JRADE, 2015; DING et al., 2015; ILHAN; YAMAN, 2016; LIM et al., 2016).

Para alcançar esse objetivo o setor da construção vem desenvolvendo projetos de edificações utilizando a modelagem da informação da construção, conhecida como BIM (do inglês Building Information Modeling). Isso permite que as informações de uma edificação em todo o seu ciclo de vida sejam gerenciadas e apresentadas por meio de um modelo digital criado pelo conjunto de dados nele inseridos (JRADE; JALAEI, 2013). De acordo com Wu (2010), este cenário digital vem forçando os profissionais da construção a perceber a importância de criar metodologias consistentes para a avaliação quantitativa e qualitativa do desempenho do ambiente construído a fim de orientar eficientemente o projeto para a construção de edifícios.

Diferente do tradicional processo de *design* baseado em CAD (Computer Aided Design), o processo BIM fornece, aos projetistas, as ferramentas que apoiam a tomada de decisão nos estágios iniciais do projeto com menos intervenção humana (AZHAR et al., 2011; JALAEI; JRADE, 2015; ILHAN; YAMAN, 2016). Com o aumento da complexidade do projeto, o projetista precisa interagir com várias ferramentas de projeto e simulação para prever o seu desempenho, o que torna necessária a gestão das informações compreendidas no projeto.

O desempenho das edificações brasileiras, assim como seus constituintes, tem sido tema de debates realizados por especialistas nas áreas de construção civil e afins há tempo, tendo um enfoque a partir de meados de 2002, quando houve a primeira tentativa de gerar uma norma que contivesse parâmetros avaliativos adequados à realidade brasileira (ARAÚJO; SIMÕES; SPOSTO, 2012).

A NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013) foi a primeira norma brasileira a definir parâmetros de projetos e especificações mínimas, estabelecendo a responsabilidade dos agentes envolvidos na construção civil: projetistas, construtores, fornecedores e usuários. A norma fornece requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos) e indica métodos avaliativos que contempla temas como: desempenho acústico, desempenho térmico, desempenho lumínico, estanqueidade, segurança contra incêndio, funcionalidade, acessibilidade e outros (ARAÚJO; SIMÕES; SPOSTO, 2012; MIRANDA, 2014).



Por essas razões, acredita-se que a NBR 15575 (2013) tem forçado uma postura diferenciada para o mercado da construção civil na sua totalidade, promovendo uma abordagem mais tecnológica baseada em soluções de engenharia e um aumento da qualidade das edificações no Brasil. Contudo, Ceotto (2010) indica que a maioria dos projetistas desconhece os aspectos técnicos da construção e cada vez mais delega responsabilidades aos construtores e empreiteiros; e que o cenário criado pela norma de desempenho exigirá dos projetistas uma postura diferente frente ao mercado de trabalho. Sua formação e seus procedimentos na rotina de desenvolvimento de projetos deverão ser revisados.

No Brasil, na maior parte dos casos já pesquisados, o desenvolvimento dos projetos não considera as questões de desempenho, principalmente em projetos habitacionais, nos quais são definidas, inicialmente, as questões de arquitetura e de seleção das tecnologias, para, posteriormente e, nem sempre, considerar o atendimento às exigências de desempenho (AQUINO, 2005; ONO, 2007; MELHADO, 2013). Frente a esta nova demanda do mercado, a gestão do processo de projeto pode auxiliar em sua preparação para atender à norma de desempenho (DE PAULA; UECHI; MELHADO, 2013), pois a preparação envolve os diversos processos, que podem ser organizados em três áreas de atuação:

- a) Planejamento estratégico, considerando que a discussão da norma não é nova e deveria estar inserida no planejamento;
- b) Gestão de pessoas, pela necessidade de capacitação;
- c) Gestão financeira, pelo investimento em capacitação, *softwares* e equipamentos, entre outros.

Neste cenário, a modelagem de informações de construção tem grande potencial na gestão do conhecimento e incremental do ambiente construído. A abordagem também pode garantir o envolvimento efetivo de todos os agentes com habilidades multidisciplinares e o compartilhamento de informações. A integração do BIM com o fluxo de trabalho dos projetistas, bem como com os sistemas de automação, apoiaria positivamente o controle de qualidade durante o diagnóstico, projeto, construção e manutenção.

Além disso, o processo de projeto BIM é baseado em um modelo digital rico em dados, que pode ser usado para realizar diversas análises por meio da construção de ferramentas externas ao processo. Assim, a equipe do projeto pode usar as ferramentas do BIM para avaliar o desempenho de diferentes opções de projeto em um curto espaço de tempo e alcançar a construção de requisitos de forma mais eficiente. Outro fator que potencializa o uso do BIM é a integração com a VPL (*Visual Programming Language*), dando novas

possibilidades aos projetistas de desenvolver suas próprias ferramentas de análise e fluxo de trabalho, atendendo às necessidades do projeto com soluções de baixo custo em relação à compra de soluções de empresas de *software*.

Desta forma, entende-se que pesquisas na área de gestão da informação voltadas ao desempenho dos requisitos de habitabilidade na etapa de desenvolvimento de projeto auxiliariam os profissionais, alinhando com a promoção das mudanças significativas na tomada de decisão quanto à seleção dos sistemas construtivos a serem incorporados às edificações. Observando-se a situação atual do Brasil, percebe-se que este cenário é promissor e altamente relevante para o aprimoramento dos projetistas na cadeia da indústria da construção civil.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Para alcançar um produto de qualidade e que atenda às exigências dos usuários, este deve ser pensado estrategicamente, sendo todas as etapas e atividades do processo de produção direcionadas ao atendimento dos requisitos de desempenho desde o início do processo.

Pensando na ‘produção edificada’, a baixa qualidade histórica das edificações no Brasil provocou mudanças consideráveis nos requisitos dessas habitações, gerando novas diretrizes com vistas à melhoria de projetos e de soluções construtivas. Tokarnia (2017) indica que, mesmo com as novas diretrizes estabelecidas pela norma de desempenho, o mercado brasileiro continua a edificar novas habitações que apresentam manifestações patológicas em curto espaço de tempo.

O processo projetual baseado no desempenho é complexo devido ao grande número de parâmetros interrelacionados envolvidos – como geometria de construção, *layout* espacial, materiais de construção, propriedades analíticas, sites, dados meteorológicos, comportamentos de usuários, e outros, bem como as naturezas complexas de produção de simulação de construção (NGUYEN et al., 2014).

Esta complexidade resulta em avaliações durante as fases posteriores do projeto, devido à falta de ferramentas eficientes para ajudar os arquitetos a explorar diferentes alternativas e avaliar suas decisões nas etapas iniciais. Conseqüentemente, os projetistas tipicamente criam e exploram um conjunto muito limitado de alternativas de projeto antes de escolher o projeto final, o que leva à construção de edifícios com desempenho inferior (ASL, 2015).

Para alcançar o nível de desempenho desejável, o desenvolvimento do projeto requer uma combinação entre várias estratégias (STEVANOVIĆ, 2013), tornando o projeto mais complicado, caro e com um consumo maior de tempo, exigindo conhecimentos multidisciplinares para fornecer o *feedback* necessário nas diferentes análises.

De acordo com Miranda (2014), em alguns países europeus os requisitos de desempenho térmico, acústico e lumínico são exigências constantes da legislação. Assim, obrigatoriamente os projetos são concebidos para atender a esses requisitos legais, além dos requisitos estabelecidos pelo incorporador. Fato este que também se aplica ao Brasil, já que a NBR 15575 (2013) tem força de lei, conforme o Código Civil brasileiro e o Código de Defesa do Consumidor.

A habitabilidade é de fundamental importância para a satisfação do usuário. Quando o interior de um edifício não atende aos requisitos necessários isto influencia diretamente no consumo energético, considerando que os ocupantes tendem a tomar medidas para torná-lo confortável, como, por exemplo, o uso de ar-condicionado (ROAF; CRICHTON; NICOL, 2009).

Observando na norma os requisitos de habitabilidade da edificação, nota-se que há uma lacuna para se atender aos índices mínimos estabelecidos que tem origem em vários fatores, como, por exemplo: baixa capacitação dos profissionais da área, uma metodologia clara sobre a prescrição do atendimento dos critérios ainda na etapa projetual, a avaliação do valor agregado ao projeto e o custo final acrescido ao processo, principalmente nos requisitos térmico e acústico.

Miranda (2014) conclui que os arquitetos brasileiros entrevistados em sua pesquisa não tinham conhecimento suficiente para desenvolver projetos atendendo aos requisitos do desempenho ambiental estabelecidos pela norma. A autora observa que este desconhecimento normativo não é restrito à NBR 15575 (2013), mas se estende à maioria das normas técnicas; realidade esta resultante de uma prática de não consulta às normas técnicas e, conseqüente, desconhecimento normativo, comprometendo, assim, a qualidade final da edificação.

Essa complexidade voltada ao projeto baseado em desempenho demanda um gerenciamento das informações incorporadas ao projeto, sendo necessárias ferramentas que possibilitem o seu controle durante o processo. O BIM permite a criação de modelos paramétricos, fornecendo a possibilidade de gerenciar as informações de construção necessárias para a criação de métodos de análises de desempenho. Se usado adequadamente pode levar à economia de uma quantidade significativa de tempo e esforço na preparação de

dados de entrada para a simulação de desempenho da edificação, reduzindo erros futuros (KUMAR, 2008).

De acordo com Lin e Gerber (2014), o uso do BIM, juntamente com a integração multidisciplinar no desenvolvimento de projetos voltados ao desempenho, é um método com potencial para:

- a) Fornecer o *feedback* do desempenho desejado para a tomada de decisão durante o processo de projeto com base na eficiência e no custo;
- b) Ajudar os projetistas com exploração de diferentes modelos, fornecendo um conjunto de alternativas de projetos, juntamente com a avaliação de seus impactos no desempenho;
- c) Apoiar os projetistas na tomada de decisão, classificando alternativas de projeto de acordo com vários critérios normativos.

Mesmo que o potencial do BIM no processo de projeto possa beneficiar significativamente a otimização do desempenho do projeto em si, Asl (2015) afirma que há apenas um número muito limitado de pesquisas sobre a criação de uma estrutura metodológica integrada para a otimização de desempenho multidisciplinar baseada em BIM.

### **1.3 HIPÓTESE DE PESQUISA**

No Brasil, na maior parte dos casos, o desenvolvimento dos projetos não considera as questões de desempenho, principalmente em projetos habitacionais. Nestes é costume definir, inicialmente, as questões de arquitetura e de seleção das tecnologias, para, posteriormente e nem sempre, considerar o atendimento às exigências de desempenho (MELHADO, 2001; AQUINO, 2005; ONO, 2007). Já Oliveira e Filho (2014) afirmam que cada vez mais a prática de projetar com enfoque em desempenho vem sendo incorporada ao processo de projeto, principalmente em razão das crescentes preocupações a respeito da durabilidade e da sustentabilidade.

Com a entrada em vigor da norma brasileira NBR 15575 (2013), partes 1 a 6 – Desempenho de edifícios habitacionais, ficaram estabelecidos os requisitos (exigências qualitativas) e critérios (exigências quantitativas) de desempenho para cinco elementos dos edifícios habitacionais, além de requisitos gerais para o edifício como um todo.

Portanto, os projetistas de arquitetura e de todos os sistemas integrantes do edifício, bem como os demais agentes da cadeia da construção, terão que modificar suas práticas atuais

de desenvolvimento de projetos. Um exemplo no caso dos arquitetos é o atendimento de vários critérios estabelecidos em norma, como desempenho térmico e acústico, que deverão ter seu atendimento já previsto no projeto arquitetônico.

O que demanda conhecimentos de materiais e de sistemas construtivos, pois se terá de especificar, desde as fases iniciais do projeto, o desempenho adotado para a edificação. Fica claro que a NBR 15575 (2013) trouxe mais responsabilidades para os arquitetos, aumentando a necessidade de uma nova revalorização e atualização da profissão no cenário da construção civil. As limitações e os problemas em prever o desempenho nas etapas iniciais de projeto e o custo de tais decisões são o que motivaram esta pesquisa.

Hipótese do trabalho: buscou-se estudar e exemplificar o desenvolvimento de uma estrutura automatizada integrada ao processo projetual, simulando o desempenho térmico e acústico, por meio da gestão de informação dos requisitos normativos dispostos na NBR 15575 (2013), a fim de auxiliar os projetistas nas tomadas de decisões e analisando o custo das soluções projetuais.

A ideia era de que estudo pudesse fornecer uma demonstração do potencial da integração BIM-VPL para a produção de pesquisas mais aprofundadas em relação ao gerenciamento do fluxo de informação no desenvolvimento de projetos. Com a identificação de novas possibilidades de criação de ferramentas dentro do processo BIM, estruturas analíticas inovadoras podem ser formuladas de forma mais específica para gerar análises em tempo real do projeto, levando à redução de custo da solução a ser edificada e a um aumento da produtividade dos projetistas

#### **1.4 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA**

A NBR 15575 (2013) estabelece requisitos para o desempenho ambiental em três grandes áreas de desempenho, sendo eles: térmico, lumínico e acústico. Porém, esta pesquisa limitou-se a estudar a interrelação térmico-acústica nas vedações verticais das edificações.

Por possuir uma elevada produção no mercado imobiliário, e que, no atual momento, está incorporando novos sistemas construtivos por meio dos programas setoriais de qualidade, foi utilizado como estudo de caso o projeto de uma edificação habitacional de interesse social (HIS) de até quatro pavimentos. O projeto modelo utilizado faz parte da Biblioteca de Famílias do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) (2011) para a produção de projetos modulares do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), sendo de livre acesso.

Os preços estabelecidos dos sistemas construtivos foram baseados nas tabelas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) relativas à região do Estado de Goiás para a validação da tese.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo geral**

O objetivo geral da tese foi propor uma estrutura integrada ao processo projetual em BIM para auxiliar os projetistas nas suas tomadas de decisão nas etapas iniciais do projeto, gerenciando o fluxo de informação contida nos modelos 3D, simulando o desempenho térmico e acústico das vedações verticais e demonstrando o custo das soluções projetuais à luz da NBR 15575 (2013).

A pesquisa proposta faz parte das tecnologias emergentes, buscando fornecer um *feedback* de avaliação de desempenho rápido, melhorando o estudo paramétrico de análise de desempenho de projeto para múltiplas alternativas de projeto.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- a) Investigar o cenário atual das práticas projetuais dos profissionais de arquitetura, no atendimento às exigências da NBR 15575 (2013) nos requisitos de desempenho ambiental;
- b) Avaliar a integração da programação visual (VPL) com o processo BIM na gestão dos requisitos durante o processo de projeto;
- c) Comparar o custo das decisões, já que o mesmo é um importante fator que pode alterar as escolhas das soluções voltadas para o desempenho térmico e acústico.

## **1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO**

A tese está estruturada em cinco capítulos: Introdução, Revisão bibliográfica, Metodologia, Resultados e Conclusões. O Capítulo 1 traz uma breve introdução dos temas relacionados ao trabalho, descreve-se o objetivo e as justificativas para a sua realização e apresenta-se uma síntese da estrutura da tese. No Capítulo 2 contém uma revisão bibliográfica sobre os temas presentes nesta tese. Para tal, estabelece-se uma síntese do conhecimento nos

seus domínios específicos, trabalhos e publicações da área sobre o desempenho, o BIM, uso da programação visual e uma síntese acerca da gestão da informação sobre o processo do projeto arquitetônico e o custo do atendimento aos critérios de desempenho ambiental no projeto final.

No Capítulo 3 está detalhada a metodologia utilizada no estudo experimental de avaliação do desempenho térmico e acústico da edificação habitacional, tomado como estudo de caso. O Capítulo 4 traz as discussões dos resultados encontrados nas avaliações do estudo de caso, estabelecendo uma análise dos resultados para validação do método proposto. E, por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões do trabalho e as sugestões para o desenvolvimento de pesquisas futuras. Finaliza-se com as referências utilizadas na pesquisa.

## **1.7 ORIGINALIDADE**

Esta tese se torna original por buscar explorar o uso da ferramenta BIM integrada à programação visual, exemplificando as potencialidades em melhorar o processo projetual, auxiliando os projetistas no desenvolvimento de projetos mais eficientes e fornecendo diferentes análises em tempo real de soluções baseadas em desempenho. A tese buscou exemplificar a potencialidade da integração dos dois métodos (BIM e VPL) por meio da avaliação prescritiva do desempenho térmico-acústico das vedações verticais, de acordo com a norma de desempenho brasileira em diferentes soluções em projetos, contribuindo com os seguintes fatores:

- a) Este trabalho buscou utilizar o método para demonstrar a possibilidade de integrar três temas que geralmente são trabalhados de forma isolada dentro do processo de projeto: o desempenho térmico, acústico e o custo das decisões de projeto;
- b) Auxiliar os projetistas na gestão das informações nos modelos BIM, ajudando-os em suas tomadas de decisões, possibilitando a análise de diferentes soluções em menor tempo;
- c) Automatizando as análises dentro processo de projeto, baseadas em métodos de otimização, com a possibilidade de avaliar os índices de desempenho durante as fases iniciais do projeto.

## **CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo se apresenta um breve histórico do tema desempenho das edificações até o momento atual no Brasil, com a vigência da NBR 15575 (2013). Na sequência são abordados: o processo do projeto de arquitetura, os requisitos do conforto ambiental nas edificações, as normas vigentes, o custo agregado ao projeto e, por fim, a gestão dos requisitos dentro da temática do Design Science Research. Tal revisão tem como finalidade fomentar a implantação da NBR 15575 (2013) na cadeia produtiva com foco na etapa projetual.

### **2.1 BREVE HISTÓRICO DO DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES**

É crescente a busca dos usuários por produtos de qualidade e que apresentem um desempenho equivalente, e a norma vem ao encontro da atual necessidade da sociedade. Necessidade esta que, aliada à alta competitividade do mercado, faz com que as empresas procurem por soluções tecnológicas e econômicas que reflitam as expectativas e que acaba por se tornar objetivo do empreendimento (LIMA, 2005).

Isso envolve uma mudança nas práticas atuais de projeto e construção: a prática de projetar com enfoque em desempenho deve ser incorporada desde a fase de projeto, tendo em vista que o conceito de desempenho também envolve questões de durabilidade e sustentabilidade, crescentes preocupações atuais (OLIVEIRA; MITIDIÉRI FILHO, 2012).

#### **2.1.1 O desempenho de edificações**

O primeiro registro da preocupação com o desempenho de uma edificação é um dos artigos do Código de Hamurabi, no século XX a.C, onde dizia que se um construtor edificasse uma casa para um Awilum 1, mas não reforçasse seu trabalho e a casa construída caísse e causasse a morte do dono da casa, esse construtor seria morto (GROOS, 1996).

Na área da construção o conceito de desempenho de edificações vem sendo estudado desde a década de 1960. As primeiras formulações e debates ocorreram a partir das questões apresentadas na segunda edição do congresso do Council International for Building (CIB - Conselho Internacional para Edificação), realizado em 1962. No final daquela década foi lançada uma importante publicação sobre o tema: a primeira edição do livro *Savoir bâtir*:



habitabilidade, durabilidade, economias dos edifícios) (Saber construir: habitabilidade, durabilidade, economia dos edifícios), de Gerard Blachere, onde o desempenho de edificações é conceituado como o comportamento em uso, ao longo de sua vida útil (BLACHERE, 1967).

Borges e Sabbatini (2008) descrevem que, nas últimas décadas, várias entidades importantes no mundo estudaram e continuam a estudar o tema do desempenho, com especial destaque para o International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB). O CIB é uma organização internacional dedicada ao avanço da tecnologia da construção através de estudos e pesquisas para a disseminação de informações voltadas para o desempenho de edificações.

Os trabalhos desenvolvidos pelo CIB levaram à criação de comissões de estudos sobre o tema ‘desempenho’, sendo que a definição mais aceita no meio acadêmico foi elaborada por Gibson, em 1982. Ele afirma que a abordagem de desempenho é, acima de tudo, a prática de se pensar em termos de fins e não de meios, com os requisitos que a construção deve atender e não com a forma como esta deve ser construída (BORGES; SABBATINI, 2008).

Várias conferências foram realizadas ao longo dos anos para a discussão do desempenho das edificações, a maior parte delas organizadas conjuntamente por três instituições: CIB, RILEM (*International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials*) e ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Em 1996, em Israel, a *International Organization for Standardization* (ISO) entrou para o grupo de debates.

A presença da ISO nos estudos sobre desempenho alavancou a temática, trazendo novos requisitos para o campo. Em 1980 foi publicada a ISO 6240 (1980), sendo a primeira norma de desempenho que apresenta os conteúdos a serem analisados. Em 1984 foi publicada a ISO 6241 (1984), que apresenta os princípios de projetos, os fatores que devem ser considerados para o desempenho da edificação e a avaliação das exigências do usuário (Tabela 1). O objetivo desta norma é auxiliar os países signatários da ISO na elaboração de normas de desempenho e servir como guia para a seleção dos requisitos que podem ser aplicados em cada caso quando se fala em desempenho de edifícios (BORGES, 2008).

De acordo com Lorenzi (2013), na maioria dos países europeus a aplicação do conceito de desempenho foi marcada pela publicação da ISO 6241 (1984), que promoveu a tradução das necessidades humanas em requisitos de desempenho, fazendo a correlação entre as exigências dos usuários e o desempenho do edifício ao longo do tempo. Hoje já existe o acultramento, bem como uma legislação vigente quanto à aplicação do conceito de desempenho às edificações durante todo o ciclo de vida. Nesses países a avaliação de

desempenho acontece desde a fase de concepção até a pós-ocupação, verificando a conformidade entre o projeto e o comportamento do edifício.

Tabela 1 – Requisitos de desempenho

REQUISITOS				
Estabilidade estrutural	Segurança ao fogo	Segurança ao uso	Estanqueidade	Conforto higrotérmico
Pureza do ar	Conforto acústico	Conforto visual	Conforto tátil	Conforto antropodinâmico
Higiene	Adequabilidade a usos específicos	Durabilidade	Economia	-

Fonte: Adaptado de ISO 6241 (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1984*).

De acordo com Borges e Sabbatini (2008), o desenvolvimento histórico do arcabouço normativo para a construção civil, tanto no Brasil como nos países desenvolvidos, é prescritivo, sendo o objetivo final obtido pela interação dos desempenhos implícitos nas soluções (os meios) adotadas para cada parte da construção e não os fins que se deseja atingir. O que contraria o conceito de desempenho e é uma das maiores dificuldades para a sua aplicação.

Apesar de ter sido publicada há 32 anos, Borges (2008) afirma que a ISO 6241 (1984) ainda é válida como referência para se considerar quais requisitos de desempenho devem ser atendidos nas edificações. Itens importantes, como a vida útil das edificações e os custos de manutenção das edificações ao longo do tempo, que hoje adquiriram maior peso, já eram relacionados na lista da ISO 6241 (1984) como requisitos de desempenho. A lógica do desempenho apresentada nesta norma também é a mesma adotada na norma brasileira de desempenho, com seus níveis enquadrados em um nível qualitativo, os critérios em quantitativos e os métodos de avaliação. A grande lacuna desta norma é o desempenho ambiental, pois foi elaborada em uma época em que a sustentabilidade das construções não era um tema relevante como é atualmente.

### 2.1.2 O desempenho da edificação no Brasil

No Brasil, durante as décadas de 1970 e 1980, o conceito de desempenho foi introduzido com a chegada dos novos sistemas construtivos que surgiram, assim como na Europa, para suprir o déficit de habitações. Foram realizados os primeiros estudos a respeito do tema pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) financiados pelo Banco Nacional de Habitação (BNH) (LORENZI, 2013).

Os primeiros relatos de trabalhos a respeito do desempenho nas construções no Brasil tiveram início nos anos de 1980. Impulsionado pelas questões de sustentabilidade, passou-se a aplicar o conceito ‘desempenho’ na concepção e na execução das construções. Através de trabalhos do IPT, financiados com recursos de programas da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), o conceito de desempenho adquiriu os formatos de hoje. Os trabalhos do IPT geraram as primeiras versões dos critérios de desempenho, servindo de subsídio para os trabalhos de Rosso (1980), Souza (1983), Flauzino (1983), Mitidieri Filho (1988) e Ferreira (1989). Seguidos pelas pesquisas de Silva (1996) e Mitidieri (1998), aplicando os conceitos de desempenho aos processos da construção civil nas etapas de desenvolvimento de projetos e avaliações pós-ocupação.

A escassez de referências e a conseqüente dificuldade de avaliação desses sistemas inovadores restringiram sua utilização na escala prevista e da forma tecnicamente correta (BORGES, 2008). Na prática houve a implementação de tecnologias ainda não suficientemente consolidadas ou desenvolvidas para as necessidades específicas do Brasil, e com resultados, na maioria dos casos, desastrosos, gerando prejuízos a todos os agentes intervenientes no processo da construção.

De acordo com Miranda (2014), no final dos anos de 1990 a Caixa Econômica Federal (CEF), através de recursos do Finep, financiou o projeto para a criação de um sistema de avaliação de sistemas construtivos inovadores, buscando a aplicação do conceito de desempenho. Juntamente com o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), foram apresentados 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 Norma de Desempenho de Edificações (NBR 15575), a qual foi publicada em maio de 2008 e só entrou em vigência em 2013 (Figura 1).

A aplicação do conceito do desempenho é uma abordagem do comportamento em uso de sistemas construtivos para definir a qualidade das edificações na prática, representando uma mudança significativa na forma de pensar a edificação, sendo esta inerente ao processo de concepção do projeto. Batlouni (2007) destaca que a aplicação do conceito de desempenho é um grande aliado do projetista, pois permite estabelecer o comportamento desejado, por meio de requisitos, quanto às condições de exposição e, ao mesmo tempo, atender as necessidades do usuário.

**Figura 1** - Linha do tempo da NBR 15575

Fonte: Adaptado de Miranda (2014).

Para Lorenzi (2013), na aplicação do conceito de desempenho da edificação o projeto exerce papel de destaque, sendo o grande impulsionador da movimentação da ‘engrenagem’ da cadeia produtiva da construção civil, alavancando a implantação da NBR 15575 (2013).

## 2.2 A NORMA DE DESEMPENHO – ABNT NBR 15575

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. O foco da norma está nas exigências dos usuários para o edifício habitacional e seus sistemas, quanto ao seu comportamento em uso e não na prescrição de como os sistemas são construídos. Estabelece requisitos com base no uso consagrado de produtos ou procedimentos, buscando o atendimento às exigências dos usuários de forma indireta (NBR 15575, 2013).

Destaca-se que a NBR 15575 (2013) tem como objetivo estabelecer a regularização e a avaliação de desempenho de edificação no que diz respeito às exigências dos usuários, quanto ao comportamento em uso, de forma intencionalmente pensada por meio da definição de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação, os quais sempre devem permitir a mensuração clara do seu cumprimento.

A NBR 15575 (2013) não apresenta métodos de prescrição de como construir a edificação, mas qual deve ser o resultado que a edificação deve atingir para ter desempenho adequado. Além disso, o arcabouço normativo tradicionalmente utilizado no Brasil para a construção civil é prescritivo, ou seja, especifica os meios e não os fins que se deseja atingir, o que contraria o conceito de desempenho (KERN; SILVA; KAZMIERCAZAK, 2015).

Outra dificuldade apresentada por De Paula, Uechi e Melhado (2013) é referente às deficiências gerenciais das empresas construtoras. De acordo com os autores, empresas pesquisadas em relação à implantação da norma sentem necessidade de atualização e de capacitação para sua implementação, além de estudo e aplicação de *softwares* de projeto para medição de desempenho. Os projetistas também argumentam que faltam documentação e ensaios em produtos, especialmente os brasileiros.

A NBR 15575 (2013) é constituída das seguintes partes: (i) Requisitos gerais; (ii) Requisitos para os sistemas estruturais; (iii) Requisitos para os sistemas de pisos; (iv) Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas; (v) Requisitos para os sistemas de coberturas; (vi) Requisitos para os sistemas hidrossanitários, sendo que cada parte define os critérios mínimos de desempenhos e as incumbências e intervenções necessárias para a vida útil mínima obrigatória das construções.

Na norma também é apresentada uma divisão de três áreas de exigência dos usuários: segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Cada área é subdividida em responsabilidades (Tabela 2), 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).

**Tabela 2 - Áreas de exigência dos usuários**

Exigências dos usuários	Requisitos
Segurança	Segurança estrutural
	Segurança contra o fogo
	Segurança no uso e operacional
Habitabilidade	Estanqueidade
	Desempenho térmico
	Desempenho acústico
	Desempenho lumínico
	Saúde, higiene e qualidade do ar
	Funcionalidade e acessibilidade
Sustentabilidade	Conforto tátil e Antropodinâmico
	Durabilidade
	Manutenibilidade
	Impacto ambiental

Fonte: Adaptado de Lorenzi (2013).

De acordo com Lorenzi (2013), a abordagem da NBR 15575/2013 explora conceitos que não são considerados nas normas prescritivas, contemplando temas abrangentes e envolvendo muitas especialidades e peculiaridades técnicas que devem despertar o setor para

a utilização de normas atuais e ‘esquecidas’. Embora as opiniões diverjam quanto à preparação do setor para implantar a NBR 15575/2013, tem-se uma certeza: a NBR 15575/2013 já é um marco importante e fundamental na história da construção civil brasileira, considerada por muitos autores como um divisor, ou seja, a construção civil brasileira vai ser conhecida como antes da norma e depois da norma.

Tais fatos demonstram um caminho a ser percorrido pelo setor da construção civil a partir da plena implantação da norma, abrindo possibilidades, aos agentes da construção civil, de uma mudança conceitual do produto direcionado ao desempenho da edificação.

### **2.3 O PROCESSO DO PROJETO DE ARQUITETURA**

A preocupação com o projeto ao longo do tempo tem se tornado mais visível. Este fato está em evidência devido à ligação que o projeto tem com o desempenho final da edificação. O projeto é considerado uma das principais fontes de melhoria final do produto, no caso da construção civil, a edificação. Permitindo diminuição de custos de produção, diminuição de ocorrência de falhas, tanto no produto quanto no processo, melhoria na qualidade de vida do usuário, otimização das atividades de execução, diminuição de patologias e outros.

Nos últimos anos o Brasil experimentou um crescimento de lançamentos imobiliários que foram frequentemente caracterizados por elevadas restrições orçamentárias, processos de projeto fragmentados e relações de adversidade entre as partes interessadas, que levaram, muitas vezes, à sobreposição de interesses individuais e sacrificaram a qualidade do produto final. No entanto, expectativas financeiras precisam ser salvaguardadas, somadas às restrições orçamentárias presentes, frequentemente gerando produtos que podem sacrificar o processo de entrega de valor na perspectiva dos usuários finais (OLIVA; GRANJA 2015; OLIVA et al., 2016).

O projeto tem papel fundamental na qualidade e na produtividade na construção. Silva e Souza (2003) afirmam que a repetição e a continuidade de operações são fatores-chave fortemente influenciados pelo projeto devido à definição de características como:

- a) Repetição de dimensão de vãos;
- b) Modulação de paredes;
- c) Dimensões de peças estruturais;
- d) Dimensões de componentes de vedações.

Souza, Bahia e Gunji (2004) estabelecem as seguintes etapas do processo de projeto de edificações:

- a) Concepção: estudo preliminar de arquitetura;
- b) Solução de interfaces: anteprojeto, projeto pré-executivo e projeto legal;
- c) Detalhamento das soluções: projeto executivo e projeto para produção;
- d) Atividades pós-entrega: projeto *as-built*.

Dentro deste processo de projeto, Koskela e Huovila (1997) trazem o conceito de geração de valor, ressaltando que o valor agregado ao produto pode ser incrementado com a redução dos custos devidos às atividades que não agregam valor ao produto final, como transporte, inspeção, esperas ou estoques. Essas atividades, consideradas perdas do processo, podem ser reduzidas, especialmente na etapa de projeto, mediante a adoção de estratégias como a análise rigorosa dos requisitos e necessidades junto aos clientes, a sistematização da coleta desses requisitos e maior interação entre os agentes envolvidos no processo (Tabela 3).

**Tabela 3** - Etapas das atividades durante o desenvolvimento do projeto

ETAPAS	AÇÕES
Durante o processo de desenvolvimento do projeto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desenvolver características do produto que atendam às necessidades e expectativas dos clientes;</li> <li>• Desenvolver processos que sejam capazes produzir as características desejadas do produto;</li> <li>• Estabelecer controles dos processos e produtos (avaliações internas e externas);</li> <li>• Retroalimentar os processos com informações confiáveis;</li> <li>• Promover melhorias.</li> </ul>
Nas interfaces entre a fase de desenvolvimento de projetos e as demais fases do empreendimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar os clientes (internos e externos);</li> <li>• Identificar as necessidades e expectativas dos clientes;</li> <li>• Retroalimentar os processos com informações confiáveis;</li> <li>• Promover melhorias.</li> </ul>
Nas relações dos projetistas com os demais agentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumprimento de prazos;</li> <li>• Comprometimento dos projetistas com as soluções adotadas;</li> <li>• Formação de equipes multidisciplinares desde o início dos trabalhos;</li> <li>• Comunicação e fluxo de informações entre os projetistas e os demais agentes.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Koskela e Huovila (1997).

Os avanços concernentes ao desenvolvimento do projeto foram motivados por diversos fatores ambientais de mercado, na busca por uma maior excelência em custos que

pudessem tornar as empresas mais atrativas aos clientes, que por sua vez estão mais exigentes (PERALTA, 2002). Dentro deste contexto de mudanças em busca da qualidade no setor, se não houver adequada definição dos métodos de elaboração e controle do projeto, os resultados em termos de produto final poderão ficar aquém do pretendido (LOPES, 2014).

Para Hammarlund e Josephson (1992) as decisões para a redução de custos e a melhoria da qualidade da edificação devem ser tomadas nas fases iniciais do empreendimento. Pontuando, assim, a importância das fases iniciais do empreendimento – como estudo de viabilidade, concepção do projeto, gestão da informação e levantamento das necessidades dos futuros usuários, possibilidade de melhoria do processo e redução da incidência de falhas e, conseqüentemente, redução dos custos.

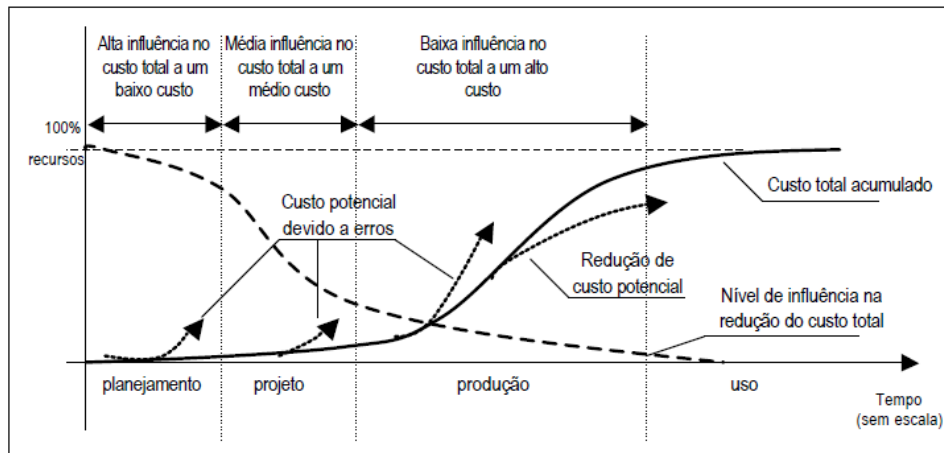
O processo de projeto é muito complexo devido à quantidade de informações utilizadas ao longo do seu desenvolvimento; múltiplos fatores controláveis e não controláveis fazem com que a variabilidade e incerteza estejam presentes em todas as suas etapas. De acordo com Tzortzopoulos et al. (1998), o processo de projeto é a fase mais importante do empreendimento, pois é no projeto que o produto é concebido, necessitando que todos os requisitos, necessidades e expectativas do cliente sejam identificados e traduzidos em linguagem apropriada para a construção.

De acordo com Kern (2005), na etapa de concepção de um empreendimento é quando se tem maior influência na redução do seu custo total, a um baixo custo de investimento. Na fase de projeto a influência na redução dos custos ainda é alta, mas tende a reduzir com um aumento do custo de investimento. Na fase da produção quando a maior parcela dos custos ocorre, a influência da redução de custos é baixa. O autor ainda ressalta que tomadas de decisões erradas nas fases iniciais podem aumentar substancialmente o custo final da edificação (Figura 2).

De acordo com a Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura (ASBEA) (2016), o projeto de arquitetura é responsável pelo processo no qual uma construção é concebida e também por sua representação formal ou partido arquitetônico. No ‘partido arquitetônico’, também conhecido como estratégia ou conceito, está implícita a discussão de aspectos, como implantação e distribuição do programa, estrutura e relações de espaço, internos e externos, quesitos ambientais e outros. Todas essas são questões centrais para os arquitetos na concepção dos projetos, sempre permeadas por outros temas relativos às atividades criativas, como composição, estilo e estética.



**Figura 2** - Nível da influência do projeto no custo final da construção



Fonte: Adaptado de Kern (2005).

O projeto de uma edificação é um processo dispendioso no qual os projetistas deverão tomar decisões relativas a diferentes sistemas que compõem a edificação (análise de custo, estrutura, atividades, conforto ambiental, estética e outros). Tais decisões são tomadas desde as definições preliminares até esquemas finais através de uma sucessão de etapas, que envolvem análises, sínteses e avaliações. Os diferentes sistemas de construção estão interrelacionados: cada um define restrições em diferentes aspectos. Além disso, cada sistema pode consistir em vários subsistemas; como, por exemplo, o projeto voltado ao conforto ambiental, que possui os subsistemas térmico, acústico e lumínico (YASA et al., 2014).

O projeto também envolve informações, ideias e experiências. Deve prever as atividades dos seus usuários e analisar como cada objeto desempenha sua função. De acordo com a NBR 13532/1995 e a ASBEAS (2012), as etapas da parte técnica de um projeto de arquitetura consistem em uma sequência indicada: levantamento de dados para arquitetura; programa de necessidades de arquitetura; estudo de viabilidade de arquitetura; estudo preliminar; anteprojeto; projeto legal; projeto básico de arquitetura; projeto para execução e, por fim, o *as-built* (Tabela 4). Cada etapa do processo de projeto deve ser definida de forma que possibilite a subsequência com a definição e a articulação de todas as etapas da atividade técnica que compõem o projeto de edificação.

Tabela 4 - Fases do projeto

	DENOMINAÇÃO	ESCOPO	SUBFASES
FASE A	Concepção do produto	Conjunto de informações de caráter técnico, legal, financeiro e programático que deverão ser levantadas e que nortearão a definição do partido arquitetônico e urbanístico, das soluções de sistemas e do produto imobiliário pretendido.	LD - Levantamento de dados
			PN - Programa de necessidades
			EV - Estudo e viabilidade
FASE B	Definição do produto	Definição do Partido Arquitetônico e Urbanístico fruto da análise e consolidação das informações levantadas na etapa anterior.	EP - Estudo preliminar
			AP - Anteprojeto
			PL - Projeto legal
FASE C	Identificação e solução de interfaces	Consolidação do Partido Arquitetônico considerando a interferência e compatibilização de todas as disciplinas complementares e suas soluções balizadas pela avaliação de custos, métodos construtivos e prazos de execução.	PB - Projeto básico
FASE D	Detalhamento de especialidades	Detalhamento geral de todos os elementos, sistemas e componentes, gerando um conjunto de informações técnicas com objetivo de fornecer informação confiável e suficiente para a correta orçamentação e execução da obra.	PE - Projeto executivo
FASE E	Pós-entrega do projeto	Checar se as informações estão claras para orçamentação e obras.	
FASE F	Pós-entrega da obra	Identificar e registrar as alterações efetuadas em obra e avaliar a edificação em uso.	<i>As-built</i>

Fonte: Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (2012).

Cada etapa do projeto gera requisitos a serem atendidos em busca da qualidade da edificação, e a negligência do projetista na definição desses requisitos pode lhes acarretar responsabilizações por danos, tanto por parte do cliente final e/ou por seu contratante/construtor (ASBEA, 2016). O projeto deve atender aos vários requisitos de habitabilidade inerentes aos indivíduos que habitarão a futura edificação. Estes requisitos estão ligados diretamente ao condicionamento interno dos ambientes, que, para garantir a qualidade do ambiente, devem priorizar o conforto dos usuários, buscando estratégias em projetos que busquem menor consumo de energia.

Sendo assim, as estratégias e definições de requisitos devem ser desenvolvidas integradamente durante o desenvolvimento projetual, de forma que o resultado final do projeto preveja o atendimento das exigências de conforto humanas com o máximo possível de princípios estratégicos incorporados ao projeto. Em vista disso, devem ser adotadas soluções

arquitetônicas visando o resultado apropriado diante das diversas variáveis do local de implantação.

#### **2.4 O CUSTO DOS REQUISITOS DO DESEMPENHO AMBIENTAL NO PROJETO FINAL E A GERAÇÃO DE VALOR**

Koskela (1992) afirma que a construção civil passou a conhecer e valorizar mais a etapa de projeto, inserindo dentro do processo novas filosofias de produção que congregam várias ferramentas e técnicas gerenciais – tais como Just in Time, Quality Control, Benchmarking, Total Productive Maintenance, Lean Construction Target Value Design e outras.

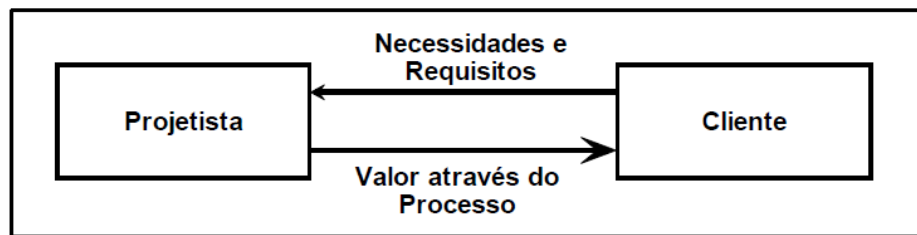
Uma das questões principais ao se tratar do conceito de valor é a definição do usuário. Sob a perspectiva do produtor, o valor é uma proporção entre a funcionalidade adicionada ao produto e seu custo, ou seja, o valor para o produtor é a relação entre a função e o custo (COOPER; SLAGMULDER, 1997; DELL'ISOLLA, 1997). Entretanto, um incremento de valor para o produtor só se transformará em valor para o cliente se a funcionalidade adicionada for interpretada como um benefício e se ela não acarretar aumento no preço superior ao que o cliente espera pagar pelo benefício (valor para o cliente = benefícios/preço) (COOPER; SLAGMULDER, 1997).

De acordo com Formoso et al. (2002), a produção de um produto tem como objetivo atender às necessidades dos clientes. Sob esse ponto de vista, o gerenciamento da produção se torna responsável pela tradução dos requisitos em soluções de projetos para produzir produtos conforme o especificado.

As alterações em um determinado requisito podem influenciar a qualidade de outros, sendo um desafio encontrar soluções que atendam a boa parte dos requisitos do produto e proporcionem aumento da qualidade e de sua funcionalidade sem o aumento do custo total. Se essa análise for feita de forma reativa, após a elaboração do projeto, com boa parte dos custos já comprometidos, ela dificilmente retornará resultados satisfatórios. Já uma abordagem proativa de desenvolvimento de produto durante o seu processo pode proporcionar chances maiores de se conseguir sucesso. Com essa abordagem, os níveis de funcionalidade e qualidade do produto, assim como seu custo permissível, seriam definidos na etapa de concepção do empreendimento, passando a ser consideradas entradas para o processo de projeto, ao invés de saídas. Produtos que não atendessem aos padrões predeterminados seriam analisados em busca de novas soluções para o seu atendimento.

De acordo com Koskela e Houovila (1997), em projeto, a satisfação das necessidades dos clientes é desenvolvida através de um ciclo, no qual elas são identificadas e convertidas em produto (projeto), que é entregue ao cliente em diversas etapas (Figura 3). Sendo a qualidade final do produto determinada pelas exigências implícitas e explícitas, pelo nível de otimização alcançado e pelo impacto dos erros de projeto que são descobertos durante o desenvolvimento das atividades subsequentes, sendo a falta ou carência de informações um dos fatores causadores dos problemas na geração de valor ao cliente.

**Figura 3** – Ciclo da satisfação das necessidades dos clientes



Fonte: Adaptado de Koskela e Huovila (1997).

As necessidades e a satisfação dos clientes devem, então, ser consideradas desde a etapa inicial do processo do projeto, como forma de controle e avaliação das estratégias, para evitar e diminuir os problemas ao longo de todo o processo, gerando qualidade e aumentando o valor do produto.

Dentro do debate a respeito das necessidades dos usuários na geração de valor, uma vez que os mesmos gastam entre 80% e 90% do seu tempo em ambientes fechados, a qualidade ambiental se torna uma necessidade inerente à edificação, relacionada à saúde e ao bem-estar de seus ocupantes. Sendo que a qualidade do comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas deve ser relacionada aos requisitos de desempenho previstos desde as etapas iniciais do projeto.

Os requisitos de projeto voltados à qualidade ambiental da edificação foram criados para garantir as melhores condições de conforto ambiental, direcionando-se para a melhoria do desempenho da envoltória, do sistema construtivo e dos materiais selecionados, em coerência com as cargas internas e as condicionantes locais e as necessidades do usuário.

Como já comentado anteriormente, o planejamento e o projeto são as etapas com o menor custo e a maior influência no custo final da edificação, sendo assim, as estratégias relacionadas à qualidade ambiental devem ser desenvolvidas integradamente durante o desenvolvimento projetual, de forma que o resultado final preveja o atendimento das

exigências de conforto humanas com o máximo possível de princípios estratégicos incorporados ao projeto. Em vista disso, devem ser adotadas soluções arquitetônicas visando o resultado apropriado, diante das diversas variáveis do local de implantação, a um custo acessível.

## **2.5 O DESEMPENHO AMBIENTAL DAS EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS**

O intuito desta revisão é apresentar uma breve contextualização da importância do desempenho térmico e acústico e quais os métodos estabelecidos pela NBR 15575 (2013) para seu atendimento.

Nos primórdios, o homem, ainda sem recursos industriais ou intelectuais reconhecidos, por meio da sua intuição e experiência prática, utilizava cavernas para se proteger de intempéries e das sensações de desconforto causadas pela ação das intempéries. Nesta linha de raciocínio, as edificações voltadas para fins residenciais devem ter como um dos requisitos fundamentais condições de habitabilidade ou permanência, proporcionando bons índices de conforto ambiental no interior (ARANTES, 2013).

Vários autores já estudaram a relação entre a satisfação do usuário e o desempenho ambiental em ambientes habitados (BRANDLEY, 2003; FANGER et al., 1973; LANDSTROM et al., 2002; MUZAMMIL; HASAN, 2004; WYON, 1972, 1978, 1996). No geral os trabalhos ilustram a existência de baixa qualidade de iluminação, alto índice de ruídos, calor ou frio excessivo dentro dos ambientes, sendo que todos os fatores mencionados podem comprometer a produtividade dos usuários.

As preocupações com as condições de desempenho ambiental das edificações vão desde a preservação dos recursos naturais até a fase de concepção. A prática de projetar com enfoque para o desempenho das edificações deve levar em consideração as características culturais e as condições climáticas, assim como os custos ambientais e econômicos (MELHADO, 2001). Gerando a necessidade de buscar nos projetos soluções que amenizem sensações humanas indesejadas, estando estas associadas ao prazer e à funcionalidade. Sendo assim, o estudo de conforto ambiental na construção civil visa oferecer diretrizes à cadeia produtiva com o objetivo de garantir o desempenho satisfatório da edificação aos usuários.

Arantes (2013) discute que, no Brasil, nos últimos anos, muitas residências categorizadas em habitação de interesse social foram construídas sem que, para a realização dos projetos, fossem consideradas as características climáticas e ambientais dos locais onde as mesmas seriam instaladas. Como resultado, tem-se o excessivo consumo de energia para

suprir o desconforto sentido no interior dessas edificações. Ressaltando que assuntos relacionados às condições ambientais existentes no interior de um edifício podem ser resolvidos com maior eficácia e menor custo quando pensados ainda na fase de projeto dos mesmos. Esta preocupação embasou a criação de um novo nicho do mercado da construção, o dos ‘edifícios verdes’, avaliados e rotulados com a criação de vários métodos de avaliação de desempenho ambiental da edificação em diversos países.

As diversas metodologias existentes para avaliação de desempenho ambiental de edifícios podem ser separadas em grupos, de acordo com algumas de suas especificidades. Os sistemas avaliativos de maior destaque no mercado contemporâneo se referem majoritariamente à avaliação de edifícios corporativos e comerciais, sendo poucas as ferramentas disponíveis no mercado para avaliação da edificação de caráter habitacional especificamente (BUENO, 2010).

Devido às diferentes necessidades existentes, para se tornarem viáveis as alterações que privilegiam o conforto das habitações, a indústria da construção precisa alterar suas práticas e documentar estritamente os aspectos ambientais interiores das edificações, em vez de utilizar soluções padrão com base em experiências anteriores. Sendo importante definir as metas e demandas no início do projeto para que haja uma análise ambiental detalhada.

As soluções adotadas em edifícios, geralmente, são pensadas em otimizar não mais do que um dos requisitos do desempenho necessário. Em muitos casos as melhores soluções para realizar diferentes requisitos de desempenho não são compatíveis entre si, como, por exemplo, o tipo de janela usado pode ter uma forte influência oposta sobre o desempenho térmico e acústico do edifício.

### **2.5.1 Análise do desempenho térmico e acústico**

É sabido que os edifícios são sistemas complexos, onde todos os aspectos estão interligados e se influenciam mutuamente. A necessidade de uma abordagem integrada e abrangente para o desenvolvimento do edifício, objetivando melhorar a saúde e o conforto dos usuários, já é debatida há muito tempo. No entanto, estes objetivos estão muitas vezes em conflito, não há um único critério que descreva as consequências de cada solução adequadamente e não há uma única solução que otimize todos os critérios simultaneamente.

A integração das estratégias conjuntas de isolamento térmico e acústico tem tido pouca atenção por parte dos projetistas, de construtores e dos demais integrantes da cadeia da construção. Santos et al. (2016), em sua pesquisa, apontam que as construtoras e os projetistas

no Brasil possuem grande dificuldade no atendimento destes requisitos ambientais frente aos demais estabelecidos na NBR 15575 (2013).

A interrelação entre a acústica e a térmica é um assunto pouco estudado e carente de informação, e estes são requisitos funcionais das edificações (PATRÍCIO, 2010). A título de exemplo, o sistema da fachada deve proteger o ambiente interno das agressões do exterior como o ruído e, também, ser uma barreira contra as intempéries, protegendo o interior do vento, da chuva e da radiação solar, gerando diferentes requisitos para o mesmo sistema construtivo.

Wyon et al. (1978) afirmam que o conforto térmico e o conforto acústico podem ser considerados como propriedades opostas, porém, os dois agem na mesma direção de prejuízos aos usuários. Clausen et al. (1993) estudaram a relação da carga térmica e sonora percebida pelo usuário e concluíram que a mudança da temperatura em 1° C, dentro do espaço com uma boa qualidade do ar, tem, em média, o mesmo efeito sobre o conforto humano que uma mudança de 3.9 dB no nível de ruído.

Outro exemplo dessa relação é o uso da ventilação natural ou maior taxa de ventilação como objetivos do conforto térmico, também podem ter um efeito adverso sobre o conforto acústico dos ocupantes, uma vez que pode permitir maior entrada do ruído exterior no edifício. Tiller et al. (2010) pesquisaram a relação combinada dos efeitos do ruído e a temperatura no desempenho e conforto humano. Os resultados demonstram que o conforto térmico pode ser afetado pelo ambiente acústico, porém o conforto térmico tem tendência a ser mais impactante do que o conforto acústico.

Já se sabe que existem várias normativas a respeito do desempenho ambiental das edificações, onde cada uma apresenta seus índices mínimos de desempenho. No caso da relação do conforto térmico-acústico, Brelih (2013) afirma que as normas europeias, se devidamente aplicadas, devem garantir que não haja problemas com o desempenho térmico e acústico (boas práticas), já que tais normas já cobrem uma significativa parte dos elementos que devem ser respeitados durante o processo de projeto.

O texto a seguir não tem a intenção de aprofundar nos conceitos físicos da térmica e da acústica como, por exemplo, trocas de calor, formação de ondas sonoras, transmitância térmica, o comportamento do som em ambientes ou a apresentação dos métodos matemáticos apresentados nas normativas. Tais assuntos já foram exhaustivamente discutidos na literatura.

### 2.5.1.1 O desempenho térmico

O desempenho térmico é, provavelmente, o parâmetro mais estudado no campo do desempenho ambiental. Para que os usuários possam produzir em sua plena capacidade de trabalho e de descanso, seu espaço tem de ser termicamente confortável. No entanto, o desempenho térmico é baseado na adaptação térmica do ocupante individual, que está correlacionada a fatores como localização geográfica e clima, época do ano, sexo, raça e idade (QUANG et al., 2014).

De acordo com a Ashrae (2010), o corpo humano tenta manter uma temperatura de aproximadamente 37 C°. A temperatura é mantida por meio de permuta de calor entre o corpo humano e o ambiente através de convecção, radiação e evaporação. A produção de calor é resultado das reações químicas internas que produzem energia, sendo este processo chamado de metabolismo. Cerca de 20% da energia produzida pelo metabolismo é utilizada em trabalhos e os outros 80% convertidos em calor e usados para manter constante a temperatura do corpo. Se o ambiente não apresenta condições térmicas adequadas, o organismo ativa seus mecanismos de termorregulação e gera a sensação de desconforto.

O conforto térmico é influenciado por seis fatores; quatro dos quais poderiam ser classificados como parâmetros ambientais e incluem: temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa do ar e velocidade do ar. Os outros dois são classificados como fatores pessoais e incluem taxas metabólicas humanas e isolamento através da roupa (KATAFYGIOTOU; SERGHIDES, 2014).

Sexo, idade e as condições climáticas têm impacto sobre a percepção de conforto térmico pelo ocupante (NICOL; HUMPHREYS, 2002; SMOLANDER, 2002). A localização e a tipologia do edifício, juntamente com as condições climáticas exteriores e interiores também influenciam no conforto térmico dos usuários (FRONTCZAK; WARGOCKI, 2011), sendo necessário considerar todos estes fatores na fase de concepção do projeto da edificação.

Prever o desempenho térmico dos edifícios envolve a manipulação de um grande número de requisitos interrelacionados. Os métodos utilizados geralmente dependem da resolução de conjuntos de estratégias, que devem ser analisados ainda na fase da criatividade projetual, visto que o projeto precisa ser pensado em sua materialidade com o projetado, relacionando, assim, a criatividade do projetista com a sua capacidade de tornar aquilo real.

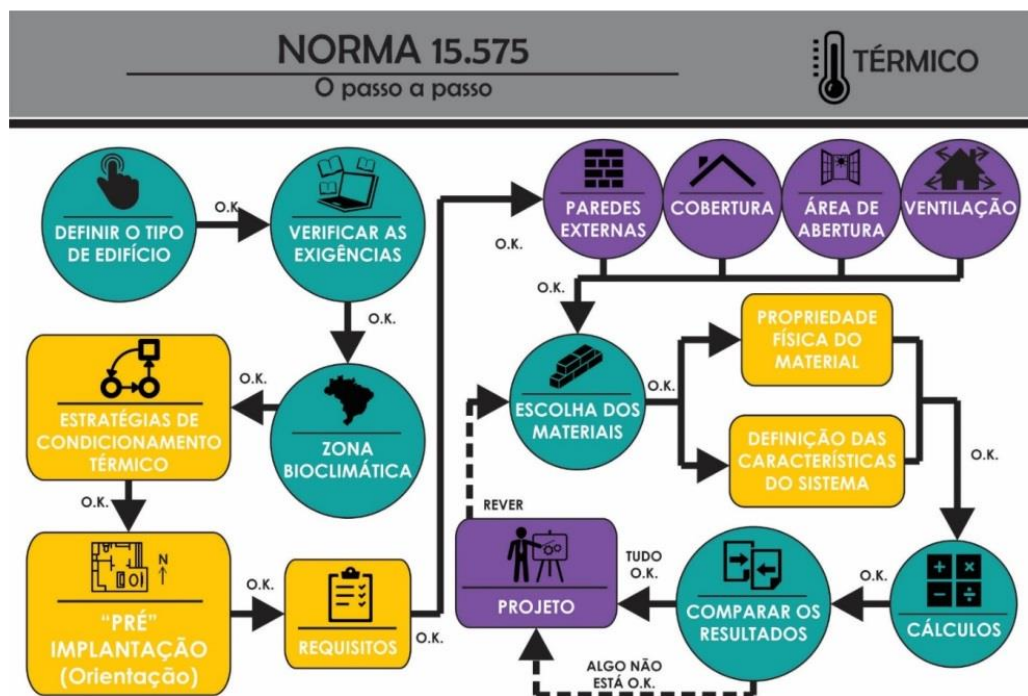


## Métodos de avaliação de acordo com a NBR 15575

A norma de desempenho brasileira, NBR 15575 (2013), no caso do desempenho térmico, define os parâmetros de desempenho baseados na subdivisão das condições climáticas brasileiras para projeto em oito zonas bioclimáticas, especificada pela NBR 15220-3 (2005) (Figura 4). A NBR 15575 (2013) agrega a relação entre as normas já existentes de conforto térmico, buscando uma mudança no processo de concepção das edificações habitacionais. O conjunto de normas NBR 15575 para o desempenho térmico propõe três tipos de métodos para avaliação.

No método simplificado é verificado o atendimento dos critérios normativos para os sistemas construtivos que compõem o envelope da edificação (paredes da fachada e coberturas), avaliando a transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) (Figura 4).

**Figura 4** – Processo simplificado da avaliação do desempenho térmico de acordo com a NBR 15575



Fonte: Elaborada pelo autor.

O método detalhado é utilizado caso os valores estabelecidos pelo método simplificado de U e CT não se mostrem satisfatórios, o desempenho térmico global da edificação deve ser avaliado por simulação computacional nos dias típicos de projeto para o período de verão e de inverno (a NBR 15575:2013 indica que a simulação seja feita por meio do *software* Energy Plus). O método de medição prevê a aferição *in loco* ou em protótipos do

atendimento dos critérios da NBR 15575:2013. Este método possui um caráter informativo e não se sobrepõe aos métodos descritos anteriormente.

### Requisitos térmicos

Os valores máximos para a transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) das paredes externas estão ilustrados na Tabela 5. De acordo com o CBIC (2013), no caso de paredes que tenham na sua composição materiais isolantes térmicos de condutividade térmica menor ou igual a 0,065 W/(m.K) e resistência térmica maior que 0,5 (m<sup>2</sup>.K)/W, o cálculo da capacidade térmica deve ser feito desprezando-se todos os materiais voltados para o ambiente externo e posicionados a partir do isolante ou espaço de ar.

Tabela 5 – Requisitos de transmitância térmica e capacidade térmica em paredes

Transmitância térmica U W/m <sup>2</sup> .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3,4,5,6,7 e 8	
U ≤ 2,5	α* ≤ 0,6	α* > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
Capacidade térmica (CT) kJ/m <sup>2</sup> .K		
Zona 8	Zonas 1,2,3,4,5,6 e 7	
Sem requisito	≥ 130	

\* α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.

Fonte: Adaptada de NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Os requisitos máximos para a transmitância térmica (U) das coberturas, considerando o fluxo descendente e as diferentes zonas bioclimáticas, estão ilustrados na Tabela 6.

Tabela 6 – Requisitos de transmitância térmica em coberturas

Transmitância térmica (U) W/m <sup>2</sup> K					
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8 *		Nível de desempenho
U ≤ 2,3	α 1) ≤ 0,6	α 1) > 0,6	α 1) ≤ 0,4	α 1) > 0,4	M
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV	
U ≤ 1,5	α 1) ≤ 0,6	α 1) > 0,6	α 1) ≤ 0,4	α 1) > 0,4	I
	U ≤ 1,5	U ≤ 1,0	U ≤ 1,5 FV	U ≤ 1,0 FV	
U ≤ 1,0	α 1) ≤ 0,6	α 1) > 0,6	α 1) ≤ 0,4	α 1) > 0,4	S
	U ≤ 1,0	U ≤ 0,5	U ≤ 1,0 FV	U ≤ 0,5 FV	

Na zona bioclimática 8, considera-se atendido o critério para coberturas em telhas cerâmicas, mesmo sem a presença de forro. Nota: O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-3:2005, em função das dimensões das aberturas de ventilação nos beirais.

Fonte: Adaptada de NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

No caso da avaliação por simulação computacional há a necessidade de utilizar vários dados de referência, apresentados na própria norma, como, por exemplo, a localização geográfica e os dados climáticos de dias típicos de projeto no verão e no inverno. A geometria da habitação deve ser reproduzida com suas características construtivas, dimensões, pé-direito, aberturas e tipologia de materiais que constituem a habitação, entre outros. As paredes, as aberturas e a cobertura devem ser consideradas totalmente expostas, sem a presença de nenhum elemento que possa modificar a incidência do sol e/ou vento. Os requisitos de ventilação estão ilustrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Requisitos de ventilação

Requisitos de ventilação		
Simulação	Renovação de ar	Condição
Padrão	1 ren/h	Sem proteção de abertura
Ventilação	5 ren/h	Sem proteção e totalmente aberta
Sombreamento	1 ren/h	Proteger 50% da radiação solar direta
Ventilação e Sombreamento	5 ren/h	Proteger 50% da radiação solar direta

Fonte: Adaptada de NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Os requisitos máximos diários do ar interior nos ambientes de permanência prolongada de temperatura no verão e no inverno estão ilustrados na Tabela 8.

Tabela 8 – Requisitos máximos diários do ar interior

Nível de desempenho	Critério			
	Verão		Inverno	
	Z. 1 a 7	Zona 8	Z. 1 a 5	Z. 6,7 e 8
M	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx}$	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx}$	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3^{\circ}\text{C})$	Não precisa ser verificado
I	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 1^{\circ}\text{C})$	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3^{\circ}\text{C})$	
S	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2^{\circ}\text{C})$ e $T_{i,mín.} \leq (T_{e,mín.} + 1^{\circ}\text{C})$	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 7^{\circ}\text{C})$	

$T_{i,max}$  = Temperatura máxima do ar no interior em graus Celsius;  $T_{e,max}$  = Temperatura máxima do ar no exterior em graus Celsius;  $T_{i,min}$  = Temperatura mínima do ar no interior em graus Celsius;  $T_{e,min}$  = Temperatura mínima do ar no exterior em graus Celsius.

Fonte: Adaptada de NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

E, por fim, o requisito de aberturas para ventilação em ambientes de permanência prolongada deve atender as áreas exigidas de abertura, conforme a legislação específica de

cada localidade. Caso não exista indicação de valores, devem ser adotados os valores indicados na Tabela 9.

Tabela 9 - Aberturas para ventilação

Nível de desempenho	Aberturas para ventilação (A)	
	Zonas 1 a 7 - Aberturas médias	Zona 8 - Aberturas grandes
Mínimo	$A \geq 7\%$ da área de piso	$A \geq 12\%$ da área de piso - Região Norte do Brasil $A \geq 8\%$ da área de piso - Região Nordeste e Sudeste do Brasil

Fonte: Adaptada de NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Segundo Brito et al. (2012), a aprovação do edifício pelo método simplificado deveria garantir que sistemas construtivos totalmente inadequados às condições climáticas fossem rapidamente identificados e descartados. Entretanto, pelo fato de o método simplificado não considerar o projeto arquitetônico, mas apenas as propriedades térmicas representativas do sistema construtivo, o cumprimento desse objetivo tem se mostrado limitado, permitindo que determinados sistemas construtivos sejam aprovados sem terem as características imprescindíveis para produzir um desempenho térmico mínimo às edificações habitacionais, em especial as de interesse social, que não contam com recursos mais elaborados de projeto arquitetônico.

Já o método detalhado, que utiliza a simulação computacional por meio do *software* Energy Plus, realiza o cálculo da carga térmica necessária para manter limites pré-determinados de temperatura, bem como cálculo de consumo de energia dos sistemas principal e secundário de condicionamento de ar e de outros, como de iluminação e equipamentos de tomada (CAVALCANTE, 2010). Porém, segundo Silvia et al. (2009), “toda simulação computacional representa uma simplificação da realidade em seus níveis de complexidade, que em função dos parâmetros adotados podem levar a resultados mais ou menos precisos”.

Os programas de simulação recomendados pela NBR 15575-1 (2013) são validados e utilizados por pesquisadores internacionalmente. No entanto, apesar de os programas calcularem adequadamente variáveis térmicas e energéticas de uma edificação (o que possibilita a determinação de seu desempenho), a confiabilidade dos resultados se refere principalmente à qualidade dos parâmetros de entrada (CORRADO; MECHRI, 2009), ou seja, as informações necessárias.

De acordo com Sorgato et al. (2013), a condição estabelecida na NBR 15575 (2013) avalia as edificações fora da realidade de uso: no dia típico de inverno, a condição está prejudicando o desempenho; para o dia típico de verão, a condição de 1 (uma) renovação de ar está subestimando a ventilação natural. Silva et al. (2014), em seu trabalho avaliando as variáveis desconsideradas pelo método de simulação proposto pela NBR 15575 (2013), concluíram que as mesmas exercem considerável influência nos resultados dos níveis de classificação do desempenho térmico, o que causa falta de precisão no resultado final, pois os usuários possuem a liberdade de escolher quaisquer valores para essas variáveis para obter melhor classificação do nível de desempenho da edificação.

A simulação do desempenho térmico por meio do dia típico desconsidera a influência da variação do clima, que é importante para algumas regiões do Brasil. A edificação deve ser avaliada considerando a realidade de uso, com as cargas internas (ocupação e iluminação) e estratégia de ventilação natural conforme as preferências e hábitos culturais da população. Pela avaliação anual é possível avaliar adequadamente as estratégias bioclimáticas para o clima que a edificação está inserida (SORGATO et al., 2013).

Nota-se que os métodos de avaliativos estabelecidos na NBR 15575 (2013) para o conforto térmico possuem lacunas a serem melhoradas, o método simplificado é importante por não requerer conhecimentos especiais, diferentemente do método detalhado ou de simulação. Porém, as pesquisas atuais, como já exposto, demonstraram a existência de incoerência entre os métodos, por não levar em conta fatores importantes em suas avaliações.

### 2.5.1.2 O desempenho acústico

O ruído é um fator historicamente incômodo desde que as pessoas passaram a viver em cidades, sendo ele atualmente reconhecido pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como uma preocupação para a saúde pública e ambiental (WHO EUROPEAN CENTRE FOR ENVIRONMENT AND HEALTH, 2011). A importância da acústica nas edificações se reflete no seu desempenho no nível de a sua capacidade de proporcionar, no interior das habitações, um ambiente protegido de ruídos para seus ocupantes. Sabe-se que o som se propaga por diferentes caminhos e que quanto melhor for possível quantificar essas transmissões, melhor será a busca de soluções de projeto a fim de proporcionar condições de conforto aos ocupantes dos edifícios.

Os dois tipos de ruídos que interessam neste âmbito são enquadrados em dois grupos: ruídos exteriores e interiores; sendo o primeiro associado a, por exemplo, ruído de tráfego de superfície ou tráfego aéreo; e o segundo as atividades de uso da edificação por parte dos próprios ocupantes ou equipamentos.

Devido à grande dimensão dos problemas causados pelos ruídos danosos à saúde pública e ambiental, leis foram criadas estipulando valores máximos para níveis de pressão sonora do ruído a fim de combater possíveis doenças. Entretanto, o desconhecimento e a passividade da população frente ao problema do excesso de ruídos são dificuldades que impedem um combate mais eficiente contra este tipo de poluição, como afirmam Zannin et al. (2013).

Na perspectiva de qualidade acústica dos edifícios em geral, é necessário cumprir um conjunto de requisitos relativos ao isolamento sonoro entre espaços, tanto para sons aéreos como os sons de impacto. O problema, muitas vezes, é gerado no momento da escolha do sistema de atenuação do ruído, sendo que não raramente a escolha é feita com base somente nos aspectos econômicos e de praticidade de execução. As primeiras preocupações em termos de conforto acústico se restringiam a auditórios e salas de espetáculos, em que os principais problemas residiam na percepção do espectador. Quer fosse um concerto ou uma palestra, pretendia-se que a mensagem chegasse ao receptor de uma forma perceptível, sem que fosse necessário ao emissor um esforço adicional para se fazer ouvido, nem ao ouvinte um acréscimo de atenção, isto em qualquer lugar do auditório (SILVIA, 2009).

Desde a década de 1970, com o início do movimento de racionalização da construção civil, que buscava diminuir os custos das edificações, vem crescendo os transtornos e as reclamações causados por níveis excessivos de ruídos no cotidiano das pessoas, devido, sobretudo, aos elementos estruturais e arquitetônicos cada vez mais leves e esbeltos; a fachadas muito expostas e sem tratamento adequado; aos materiais empregados na interface, com pouco isolamento; e a instalações hidrossanitárias e equipamentos barulhentos.

O desempenho acústico dos edifícios é largamente influenciado pelos componentes construtivos, como, por exemplo, densidades dos materiais, dimensão das aberturas nas fachadas, número de janelas, homogeneidade dos elementos, entre outros. Blasco et al. (2012); Zannin e Ferreira (2007); Guillen et al. (2008); Diaz e Pedrero (2009); Uris et al. (2006, 2007), ao publicar seus trabalhos, ilustram bem a diferença no desempenho acústico dos elementos de separação (externo ou interno) de uma edificação apenas pela simples mudança dos seus constituintes ou de suas propriedades físicas.

As paredes de alvenaria também sofreram alterações com a evolução tecnológica, tornando-se cada vez mais esbeltas e leves, prejudicando o desempenho acústico da edificação em relação a sons aéreos. Em suas pesquisas Duarte (2005) e Duarte e Viveiros (2007) demonstraram a evolução das alvenarias brasileiras ao longo do tempo e quais foram as mudanças em relação à densidade superficial e aos impactos no desempenho acústico das edificações.

Como conclusões, os autores demonstram que o desempenho acústico dos sistemas de vedação verticais atuais é inferior aos sistemas de vedação de antigamente. Devido à redução das massas superficiais dos sistemas, resultado da evolução dos materiais, estes apresentaram um isolamento inferior em comparação com os de antigamente. Os autores, após a aplicação de um método analítico, indicaram uma perda de 20 dB na isolação de alguns sistemas.

Analisando os níveis normativos nacionais em relação aos índices internacionais, é notório que o Brasil apresenta um atraso de anos em relação aos países desenvolvidos e até mesmo em relação a outros países em desenvolvimento. Trabalhos como os de Neto e Bertolli (2010); Neto (2009); Zannin e Ferreira (2007); Filho (2014); Queiroz (2007); Polli (2007); Giunta (2013), ao comparar os índices levantados em campo de diversas edificações pelo Brasil com os índices mínimos das normativas internacionais, reafirmam o baixo desempenho acústico que o Brasil apresenta no desempenho de seus sistemas construtivos.

Os autores ora citados demonstram, com suas pesquisas, que o Brasil ainda precisa avançar a fronteira do desempenho acústico. Muitos estudos já foram realizados no campo da acústica, porém, a sua aplicação prática na construção e a sua fiscalização para garantir a efetividade do desempenho adequado ainda apresenta grandes lacunas a serem vencidas. A evolução tecnológica trouxe grandes avanços à construção civil, mas acabou negligenciando requisitos de habitabilidade e bem-estar do usuário, como, por exemplo, o conforto acústico.

Com a entrada em vigor da norma de desempenho, o desempenho acústico, muitas vezes negligenciado por falta de regulamentação, vem ganhando grande importância nas construções de futuras unidades habitacionais no Brasil. Passa-se a exigir uma mudança de postura de fornecedores/fabricantes de materiais, projetistas e construtoras a fim de atender pelo menos o nível de desempenho mínimo exigido pela norma.

Do mesmo modo que ocorreu com o requisito térmico, a norma estabelece critérios e requisitos acústicos para os sistemas de pisos, vedações internas e externas, coberturas e, de caráter não obrigatório, para instalações hidrossanitárias. Considera ainda a necessidade de isolação acústica de paredes de geminação entre unidades autônomas e de paredes divisórias entre áreas privativas e áreas comuns nas edificações multifamiliares. Sendo que na presente

versão não são estabelecidos limites para a isolamento acústica entre cômodos de uma mesma unidade (CBIC, 2013). É nítido que esta nova avaliação do desempenho dos sistemas construtivos é, incontestavelmente, um avanço para o setor. Porém, ainda existe certa resistência da cadeia produtiva em encarar estes novos desafios e responder a esta nova demanda, causando um atraso neste processo.

De acordo com CBIC (2013), em seu guia de orientação ao atendimento da NBR 15575, os autores comentam que não são taxados critérios de conforto acústico, como, por exemplo, a máxima intensidade sonora admitida para o repouso noturno, assunto que é tratado na norma NBR 10152 – Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em ambientes internos às edificações. Ela também não compreende a forma de quantificar níveis de ruído externos à edificação, assunto pertinente à norma NBR 10151 – Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em ambientes externos às edificações.

Segundo Righi (2013), o requisito para isolamento acústico entre ambientes é o de propiciar condições de isolamento acústica entre as áreas comuns e ambientes de unidades habitacionais e entre unidades habitacionais distintas. Para isso, tem-se, como critério para isolamento ao ruído aéreo entre pisos e paredes internas, que os sistemas de pisos e vedações verticais que compõem o edifício habitacional devem ser projetados, construídos e montados de forma a atender aos requisitos estabelecidos nas NBR 15575-3 (2013) e na NBR 15575-4 (2013), nas quais também são especificados os métodos de avaliação.

Convém lembrar que a NBR 15575-4 entrou em vigor apenas em 2012, sendo modificada em 2013 e aprovada em 2014. Anteriormente o Brasil não possuía uma norma técnica específica para a determinação da qualidade acústica de fachadas de habitações, sendo necessário que se fizesse uso de normas estrangeiras para fins de comparação (FILHO, 2014). Zannin e Ferreira (2007) afirmam que, no Brasil, um dos maiores problemas do desempenho acústico advém dos profissionais responsáveis pelos projetos e construções, respectivamente arquitetos e engenheiros civis, pois, não recebem a educação necessária em física das edificações (acústica, higrotérmica e lumínica). Só muito recentemente que estes assuntos vêm sendo mencionados e tratados em algumas universidades brasileiras.

É importante ressaltar ainda que, como as construções são compostas por elementos heterogêneos, e, grande parte dos estudos encontrados na literatura foi realizado para avaliar o desempenho acústico de elementos homogêneos, nota-se uma certa dificuldade em estabelecer uma metodologia de fácil entendimento que auxilie os profissionais na etapa de desenvolvimento projetual. Porém, em decorrência das características dos componentes nos sistemas construtivos no Brasil, como, por exemplo, paredes de vedações com portas, janelas,



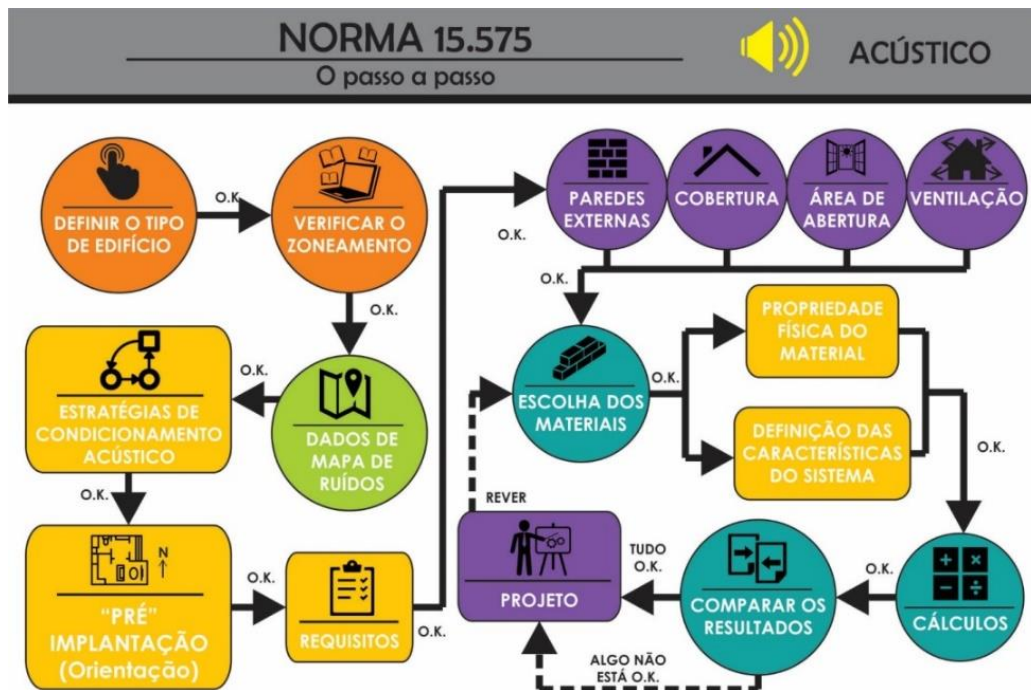
tubulações e instalações elétricas, a correlação entre o desempenho acústico e a composição dos sistemas construtivos deve ser considerada durante o desenvolvimento do projeto.

### **Métodos de avaliação de acordo com a NBR 15575**

Para verificar o comportamento de isolamento sonoro aéreo dos elementos de vedação, pode-se realizar diferentes procedimentos: ensaios em laboratórios ou em campo, cálculos numéricos (analíticos) ou por meio de simulações computacionais (PINTO, 2011). Para avaliação acústica dos sistemas construtivos, a norma estabelece que os critérios de desempenho devem ser verificados com a realização de ensaios de campo. Estes critérios servirão para balizar o desenvolvimento de projetos que venham a atender às exigências de desempenho acústico. A escolha do método deve ser feita considerando-se as necessidades e características de cada um, embora, para medições em campo, a norma recomende utilizar o método de engenharia. Os valores únicos  $R_w$  ou  $D_{nT,w}$  devem ser obtidos conforme a ISO 7171 (1996).

O conjunto de normas para o desempenho acústico – NBR 15575 (2013) – divide os requisitos exigidos basicamente em dois tipos de ruído: aéreo e de impacto. Conforme o guia da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) (2013), no caso do ruído aéreo a NBR 15575 (2013) propõe três tipos de métodos para avaliação: de engenharia, simplificado e de precisão (Figura 5).

**Figura 5** – Processo simplificado da avaliação do desempenho acústico de acordo com a NBR 15575



O método de engenharia, determinado pelas normas ISO 140-4 (1978) e ISO 140-5 (1978), avalia o ruído aéreo dos sistemas de vedação vertical interno e sistemas de pisos. Já o método referenciado pela ISO 140-5 (1978) avalia o ruído aéreo dos sistemas de vedação vertical externo e sistemas de coberturas. A avaliação busca determinar a diferença padronizada de nível ponderada a dois metros ( $D_{2m,nT,w}$ ), em dB, onde os maiores valores representam os melhores desempenhos do sistema.

O método simplificado, determinado pela norma ISO 10052 (2004), é o menos preciso; ele fornece uma estimativa da diferença padronizada de nível,  $D_{nT}$ , em bandas de oitava entre 125 Hz e 2000 Hz, sendo uma alternativa na impossibilidade de determinação do tempo de reverberação (TR). Isso pode ocorrer devido à falta de instrumentação ou às condições de ruído de fundo não permitirem obter o parâmetro. O método de medição descrito pela ISO 10052 (2004) é realizado em campo.

O método de precisão, determinado pela norma ISO 10140-2 (2004), determina o índice de redução sonora  $R_w$  de componentes construtivos e de elementos com mais de um componente (parede com janela ou com porta); determinados em laboratório e combinados para obter a resposta global do conjunto.

De acordo com Domingues (2013), entre os métodos citados anteriormente, os ensaios laboratoriais demonstram melhor o comportamento de isolamento sonora dos elementos avaliados. Porém, estudos laboratoriais refletem circunstâncias ‘idealizadas’, promovendo resultados mais elevados do que os encontrados nos edifícios. As análises de ensaios em campo demonstram mais fielmente os resultados de redução sonora dos materiais e elementos construtivos em avaliação, pois estes estão sujeitos às transmissões diretas e indiretas (flancos). As simulações computacionais proporcionam, principalmente na fase de projeto, uma previsão do isolamento sonoro de uma determinada divisória e também uma agilidade na obtenção dos resultados.

Ambos os estudos, em laboratório e em campo, contribuem para um melhor entendimento sobre o comportamento de isolamento sonoro aéreo das diversas paredes utilizadas na construção civil, que podem ser erigidas por diferentes tipos de materiais e espessuras. Tal compreensão poderá servir de subsídio no processo de planejamento dos ambientes construídos para que esses sejam cada vez mais eficazes no isolamento sonoro aéreo.

Conforme Gerretsen (2003), os modelos de predição e computacionais são essenciais para aperfeiçoar acusticamente um edifício, e a exatidão dessas previsões depende dos dados de entrada – valores estes que são obtidos através dos ensaios normalizados. Ferreira (2004) verificou uma boa relação entre valores simulados, utilizando *software* com modelo de cálculo da norma europeia EN 12354 e dados de isolamento sonoro aéreo, medidos em campo.

Conforme Ferreira e Zannin (2007) e Domingues (2013), os resultados simulados apresentam uma boa correspondência com os valores experimentais da isolamento sonora aérea, principalmente os resultados ponderados, mesmo que o programa computacional utilizado apenas permita a inserção de geometrias simplificadas, não sendo possível modelar os ambientes perfeitamente como se faz com a geometria real.

O projeto acústico, ainda que se proponha exclusivamente à análise do isolamento oferecido pelos elementos de compartimentação, tem uma forte relação com o desempenho global da edificação, sendo sua importância dentro do processo construtivo referente à etapa com menor custo e maior impacto no atendimento ao desempenho acústico requerido.

As normas europeias BS EN 12354-1, BS EN 12354-2, BS EN 12354-3 (2000) contêm os procedimentos que permitem estimar o desempenho de isolamento acústico ao

ruído aéreo ( $D_{nt,w}$ ), isolamento acústico ao ruído aéreo externo ( $D_{2m,nt,w}$ ) e isolamento acústico ao ruído de impacto ( $L'_{nt,w}$ ) em edificações a partir das propriedades dos diferentes elementos e sistemas construtivos envolvidos, suas uniões e geometrias, avaliando as diferentes vias de transmissão. Também existem no mercado *softwares* específicos, como, por exemplo, Acoubat Sound, Mestre, Cadna-a e Insul, para projetos acústicos que englobam essas questões.

A norma informa que os métodos de avaliação consistem na análise de projeto quanto aos dispositivos previstos para eliminação de ruídos, incluindo a avaliação das justificativas técnicas e quanto ao atendimento das normas referenciadas. Entretanto, não são especificados valores para nenhum desses critérios, o que permite concluir que são critérios ainda pouco estudados (MICHALSKI, 2011).

### **Requisitos acústicos**

Segundo Duarte (2009), denomina-se transmissão sonora entre espaços edificados os sons que atravessam um compartimento de um edifício para outro. Isto é, ao se considerar uma fonte sonora no interior de um compartimento, parte do som produzido pela fonte é refletida para o interior do mesmo compartimento, outra parte é absorvida pela envolvente e outra é transmitida a outros compartimentos, adjacentes ou não.

O parâmetro  $D_{nT}$  representa o valor do isolamento a sons de aéreo padronizado em cada banda de frequência, medido campo, e o termo ‘n’ significa que é um valor normalizado para a área de absorção sonora equivalente a  $10 \text{ m}^2$ . Já no parâmetro  $D_{n,Tw}$  o termo ‘w’ significa que este é um valor único, um índice, que quantifica o isolamento sonoro a sons aéreos dos elementos de compartimentação, pavimentos e paredes. Tendo os vários valores de  $D_{nT}$  (um para cada banda de frequência) e ajustando estes de acordo com a curva de referência normalizada da NP EN ISO 717-1 (2013) se obtém o  $D_{n,Tw}$ . E, por fim, o parâmetro  $D_{2m,n,Tw}$  representa o mesmo que o  $D_{n,Tw}$ , mas para elementos em contato com o exterior, como fachadas e coberturas. O termo 2m deste parâmetro significa que no processo de medição o microfone é colocado a dois metros da superfície da fachada.

A NBR 15575 (2013) estabelece requisitos e critérios gerais para desempenho acústico que devem ser considerados junto à análise do projeto. São três requisitos.

- a) Isolação acústica de vedações externas – as vedações verticais devem proporcionar isolamento sonoro entre o meio externo e o interno, bem como entre unidades condominiais distintas, além de isolamento sonoro entre dependências de uma mesma unidade, principalmente quando destinadas ao repouso noturno, ao lazer doméstico e ao trabalho intelectual. A NBR 15575 (2013) estabelece os limites normativos de isolamento acústico aos ruídos aéreos e os níveis de desempenho informativos, Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S) para vedações externas (Tabela 10).

Tabela 10 - Isolamento ao ruído aéreo de sistemas de vedações externas

Isolamento ao ruído aéreo de sistemas de vedações externas (fachadas e coberturas)						
Parâmetro		Ruído Externo		Desempenho		
		Classe do Ruído	Localização	M	I	S
Diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância da fachada	$D_{2m,nt,w}$	<b>I</b>	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	<b><math>\geq 20\text{dB}</math></b>	$\geq 25\text{dB}$	$\geq 30\text{dB}$
		<b>II</b>	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	<b><math>\geq 25\text{dB}</math></b>	$\geq 30\text{dB}$	$\geq 35\text{dB}$
		<b>III</b>	Habitação sujeita ao ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	<b><math>\geq 30\text{dB}</math></b>	$\geq 35\text{dB}$	$\geq 40\text{dB}$

**Obs.:** Valores em negrito são normativos (obrigatórios) e os demais informativos.

Fonte: Adaptada de NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

- b) Isolação acústica entre ambientes – os sistemas de vedação vertical interna são as paredes que separam as diferentes unidades habitacionais autônomas. Estes devem garantir, nas edificações, um desempenho adequado de isolamento acústico ao ruído aéreo (conversações, TV, música e outros). A NBR 15575:2013 estabelece os limites normativos de isolamento acústico ao ruído aéreo e os níveis de desempenho informativos, Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S) para vedações internas (Tabela 11) e pisos (Tabela 12).

**Tabela 11 - Isolamento ao ruído aéreo de sistemas de vedações internas**

Isolamento ao ruído aéreo de sistemas de vedações internas (paredes)					
Parâmetro	Elemento	Desempenho			
		M	I	S	
Diferença padronizada de nível ponderada	$D_{nT,w}$	Paredes entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação) nas situações onde não haja ambiente dormitório	<b><math>\geq 40\text{dB}</math></b>	$\geq 45\text{dB}$	$\geq 50\text{dB}$
		Paredes entre unidades habitacionais autônomas (paredes de geminação) no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	<b><math>\geq 45\text{dB}</math></b>	$\geq 50\text{dB}$	$\geq 55\text{dB}$
		Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos	<b><math>\geq 40\text{dB}</math></b>	$\geq 45\text{dB}$	$\geq 50\text{dB}$
		Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadarias nos pavimentos	<b><math>\geq 30\text{dB}</math></b>	$\geq 35\text{dB}$	$\geq 40\text{dB}$
		Parede cega entre unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, tais como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	<b><math>\geq 45\text{dB}</math></b>	$\geq 50\text{dB}$	$\geq 55\text{dB}$
		Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas por um hall ( $D_{nT,w}$ ) obtida entre as unidades	<b><math>\geq 40\text{dB}</math></b>	$\geq 45\text{dB}$	$\geq 50\text{dB}$

**Obs.:** Valores em negrito são normativos (obrigatórios) e os demais informativos.

Fonte: Adaptada de NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Tabela 12 - Isolamento aos ruídos aéreos de sistemas de pisos

Isolamento aos ruídos aéreos de sistemas de pisos					
Parâmetro	Critérios	Desempenho			
		M	I	S	
Diferença padronizada de nível ponderada	$D_{nt,w}$	Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas em que um dos recintos seja dormitório	<b><math>\geq 45\text{dB}</math></b>	$\geq 50\text{dB}$	$\geq 55\text{dB}$
		Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos, bem como em pavimentos distintos. Situação onde não haja dormitório	<b><math>\geq 40\text{dB}</math></b>	$\geq 45\text{dB}$	$\geq 50\text{dB}$
		Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de uso coletivo, para atividades de lazer e esportivas, tais como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	<b><math>\geq 45\text{dB}</math></b>	$\geq 50\text{dB}$	$\geq 55\text{dB}$

**Obs.:** Valores em negrito são normativos (obrigatórios) e os demais informativos.

Fonte: Adaptada de NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

- c) Ruídos por impactos e ruídos de equipamentos – a transmissão de ruído de impacto entre duas unidades habitacionais sobrepostas em uma edificação se produz através do próprio sistema de piso (1 via de transmissão direta), elementos laterais, paredes ou pela vibração dos equipamentos sobre a edificação (4 vias de

transmissão indireta). A Tabela 13 ilustra os limites mínimos (M) intermediário (I) e superior (S) de isolamento acústico ao ruído de impacto de acordo com a NBR 15575 (2013).

Tabela 13 – Isolamento ao ruído de impacto de sistemas de pisos e coberturas

Isolamento ao ruído de impacto de sistemas de pisos e coberturas						
Parâmetro		Critérios		Desempenho		
				M	I	S
Nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado	$L'_{nt,w}$	Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos		$\leq 80\text{dB}$	$\leq 65\text{dB}$	$\leq 55\text{dB}$
		Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, tais como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas		$\leq 55\text{dB}$	$\leq 50\text{dB}$	$\leq 45\text{dB}$
		Dormitório e salas de estar localizados abaixo de coberturas acessíveis de uso coletivo		$\leq 55\text{dB}$	$\leq 50\text{dB}$	$\leq 45\text{dB}$

**Obs.:** Valores em negrito são normativos (obrigatórios) e os demais informativos.

Fonte: Adaptada de NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

## 2.6 GESTÃO DO REQUISITO NO PROJETO ARQUITETÔNICO

A maior dificuldade da gestão de um processo, no caso o projeto do edifício, está em sistematizar as informações de entrada, necessárias para o planejamento do processo que se estabelece pelo volume do mesmo. O projeto também envolve informações, ideias e experiências, devendo prever as atividades dos seus usuários e analisar como cada objeto desempenha sua função. O resultado da edificação deve atender aos vários requisitos de habitabilidade inerentes aos indivíduos que habitarão a futura edificação. Esses requisitos de projeto são criados para garantir as melhores condições de uso e operação, direcionando-se para a melhoria do desempenho da envoltória, do sistema construtivo e dos materiais selecionados, em coerência com as cargas internas, condicionantes locais e necessidades dos usuários.

Requisitos são funcionalidades que o sistema-produto ou serviço devem ter para satisfazer uma demanda ou para alcançar um objetivo emitido pelos clientes, qualificados por condições mensuráveis e limitadas por restrições (PEGORARO et al., 2010). Entende-se, assim, que o requisito define ‘o que’ o produto deve fazer e a solução de projeto define ‘como’ deve fazer (MARX, 2009), sendo que esse requisito pode ter mais de uma solução em projeto. A gestão é a responsável por compilar os requisitos dos diversos interessados e integrar as informações a diversos fatores, como, por exemplo, políticos, tecnológicos, sociais, ambientais e econômicos (BAXTER, 1996; MARX, 2009).

É de extrema importância que os requisitos sejam analisados de modo a atingir a melhoria do desempenho do edifício. Para cada tipo de construção são utilizados recursos distintos: a solução utilizada para gerar o conforto térmico dentro de uma habitação no Norte do Brasil não será a mesma utilizada em edificações na Região Sul. Esses recursos somente serão descobertos por meio de análises feitas pelo projetista ao longo do processo de projeto.

A gestão de requisitos (GR) em projetos é vista como uma alternativa para solucionar algumas das dificuldades gerenciais do processo de projeto. Além disso, permite o mais claro entendimento sobre dos requisitos resultantes das demandas (SOMMERVILLE, 2007), neste caso, no desempenho térmico e acústico. A GR possibilita o controle da mudança, por meio do rastreamento dos requisitos (SOMMERVILLE, 2007; WIEGERS, 2003), o que contribui com a geração de valor do produto final (HOVILA, 2005). Neste sentido, a consideração dos requisitos ambientais desde o início do processo do projeto é uma iniciativa que permite um melhor planejamento ambiental de todo o ciclo de vida da edificação (MOTTA; AGUILAR, 2009).

Prever o desempenho ambiental dos edifícios envolve a manipulação de um grande número de requisitos interrelacionados. Os métodos utilizados geralmente dependem da resolução de conjuntos de estratégias (LOMAS, 1992). No entanto, considerando que o processo de projeto é dinâmico e oportunamente alimentado por novas informações resultantes – por exemplo, de mudanças de escopo, gestão dos custos, planejamento da obra e até mesmo da iteração entre os projetos, os requisitos também mudam com o tempo (PEGORARO et al., 2010).

A identificação dos requisitos de desempenho ambiental no projeto é, resumidamente, a fase de coleta e organização das informações, necessidades para que o usuário possa receber o que é esperado da edificação. Sendo assim, há a necessidade de determinar a problemática existente no processo de projeto arquitetônico, prevendo quais são as especificações que o



projeto deve apresentar dentro do processo, de modo que haja condições mínimas de conforto na edificação, avaliando as etapas do processo de projeto e identificando, em sua gestão, quais são as ações necessárias em cada etapa para uma adequada avaliação do desempenho ambiental.

De acordo com Dresch, Lacerda e Junior (2015), as pesquisas realizadas sob o paradigma das ciências tradicionais, como as naturais e as sociais, resultam em estudos que se concentram em explicar, descrever, explorar ou prever os fenômenos e suas relações. Entretanto, quando se deseja estudar o projeto, a construção ou realizar pesquisas orientadas à solução de problemas, as ciências tradicionais podem apresentar limitações. Dentro deste contexto, tem-se a Design Science, que é orientada para gerar conhecimento que suportem soluções de problema reais, tendo como produto a prescrição de conhecimentos aplicáveis, melhorando as situações existentes, com a missão de fornecer, com a ajuda da pesquisa, as diretrizes através das quais o acesso à informação pode ser aprimorado (VAKKARI, 1994), beneficiando-se muito com o uso da metodologia Design Science.

## **2.7 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)**

O modelo de informação de construção (BIM) é definido pelos padrões internacionais como "representação digital compartilhada de características físicas e funcionais de qualquer objeto construído [...] que constitui uma base confiável para decisões" (ISO 29841, 2010). O BIM é originário da indústria automotiva, construção naval e petroquímica (BORNMAN, 2009), sendo orientado à produção de objetos paramétricos que representam componentes de construção com atributos geométricos ou não geométricos, com informações funcionais, semânticas ou topológicas (WONG; YANG, 2010; EASTMAN; SACKS, 2011).

A modelagem de informações de construção tem mostrado um grande potencial para o processo de remodelação do sistema atual de projeção (EASTMAN, 2011), pois representa uma possível saída das críticas que ocorrem na documentação e preservação dos recursos existentes, especialmente se estiverem conectados a um sistema automatizado. A integração do BIM com os sistemas de automação apoia positivamente o controle de qualidade durante o diagnóstico, o projeto e a execução do trabalho, bem como a valoração do processo e a economia na mão de obra (BRUNO et al., 2018).

A integração do conceito do BIM ao processo projetual vem ganhando maior interesse por estudiosos e profissionais interessados em otimizar e melhorar a qualidade do projeto, por

meio de algoritmos de otimização no próprio BIM (processos e ferramentas), como, por exemplo, construção de multiobjetivos (ASL et al., 2011; LIM et al., 2015), otimização da luz natural (KOTA et al., 2014; ASL, 2015), seleção de material verde (AKANMU; ASFARI; OLATUNJI, 2015), propostas projetuais de habitação (MORORÓ et al., 2017) e sistemas de automação de proteção solar (KENSEK, 2014), mapeamento utilizando o Geographic Information System - GIS (KANG; HONG, 2015; KIM et al., 2015) gerenciamento do aquecimento, ventilação e ar condicionado – AVAC (YANG; ERGAN, 2014), estudo de distribuição sonora interna (VANNINI; HUDSON, 2015), análise energética (YANG, 2015), estudos de fachada de edificações históricas (DORE; MURPHY, 2013), extração de dados de modelos (PREIDEL, 2017).

Outros estudos também investigaram como o BIM pode ser integrado ao processo de certificação da edificação (Building Rating Systems), a fim de facilitar o método de avaliação dos pontos de crédito viáveis e a provisão dos documentos necessários para certificação de construções eficientes (WU, 2010; AZHAR et al., 2011; WONG; KUAN, 2014, ILHAN; YAMAN, 2016).

No entanto, a pesquisa nestas áreas ainda é limitada, por ser um paradigma relativamente recente que engloba vários fatores em um mesmo ambiente virtual (BASTOS; JUNIOR, 2016). Isso se deve principalmente a fatores técnicos, como problemas de interoperabilidade BIM, à falta de integração entre as diferentes ferramentas ao BIM e os bancos de dados de materiais (WU, 2010; WONG; KUAN, 2014; ILHAN; YAMAN, 2016), condicionada à realização de outros processos, que ora definem os requisitos de modelagem, ora utilizam o resultado da modelagem para realização das análises de compatibilização de projetos e emissão de quantitativos a partir do modelo (DANTAS FILHO et al., 2017).

Sendo assim, em um sentido mais amplo, o BIM pode ser dividido em questões funcionais, informativas, técnicas, organizacionais, legais e inter-relacionadas. Dependendo das necessidades das partes interessadas e dos requisitos do projeto, um modelo BIM é usado para apoiar e realizar serviços especializados para edifícios, como análises de energia ou ambientais (EASTMAN, 2011).

Portanto, dois tipos de *softwares* especializados podem interagir com um modelo BIM:

- a) aplicativos de entrada de dados – que fornecem serviços de importação, captura e monitoramento de dados, processamento de dados ou transformação de dados capturados em aplicações de saída de dados;
- b) os que fornecem relatórios ou análises técnicas, tais como, análises estruturais, energia ou detecções de choque (VOLK et al., 2014).

## 2.9 PROGRAMAÇÃO VISUAL NA ANÁLISE DE PROJETOS

De acordo com Kensek (2015), nos últimos anos vem crescendo no mundo o número de profissionais de construção (especialmente arquitetos e engenheiros) que se interessam mais por ferramentas de programação visual, as quais lhes permitem criar algoritmos geradores de formas personalizados, sem ter que primeiro aprender a escrever códigos puros de programação.

Isso foi possível através da Linguagem de Programação Visual (em inglês Visual Programming Language – VPL). Anteriormente, a aplicação da programação visual estava focada em abordagens algorítmicas e generativas, para gerar e manipular formas por regras e restrições (LEITÃO; SANTOS; LOPES, 2012). Atualmente, com o desenvolvimento de processos e ferramentas BIM, criou-se novas oportunidades de uso do VPL, como a manipulação da informação embutida no modelo BIM. Assim, os usuários do BIM-VPL podem automatizar muitas tarefas em seu fluxo de trabalho de projeto BIM, desenvolvendo *scripts* personalizados para o gerenciamento de dados, gerando *links* entre múltiplas aplicações para estudos e análises adicionais (AUTODESK, 2016).

Kensek (2015) argumenta que a ferramenta de programação visual pode suportar diversos tipos de estudos nos estágios iniciais do projeto arquitetônico. Kensek (2015) e Kim et al. (2015) implementaram um algoritmo para criar estruturas e fluxos de trabalho a fim de analisar o desempenho energético em construções. Konis, Gamas e Kensek (2016) desenvolveram uma estrutura lógica para estudar o desempenho térmico passivo nas fases iniciais do projeto. Seghier et al. (2017) desenvolveram uma ferramenta para o desempenho térmico do envelope da edificação por meio do VPL. Mororó (2017) codificou os modos de morar de diferentes tipologias de habitações de interesse social, gerando uma ferramenta capaz de propor moradias a partir de parâmetros inseridos no modelo BIM.

Os objetivos da programação convencional e da programação visual essencialmente são os mesmos – permitir ao usuário definir um conjunto de algoritmos por meio de texto, formatado em certa sintaxe ou de forma visual. Já a programação visual funciona de maneira mais intuitiva, conectando ‘nós’, que representam vários comandos pré-estabelecidos. Os nós são caixas com códigos de programação em Python, com entradas e saídas, as quais, gerenciadas com outros nós, geram uma ação no *software*. As Figuras 6 e 7 mostram um algoritmo para desenhar um círculo através de um ponto, definido em modelo de programação

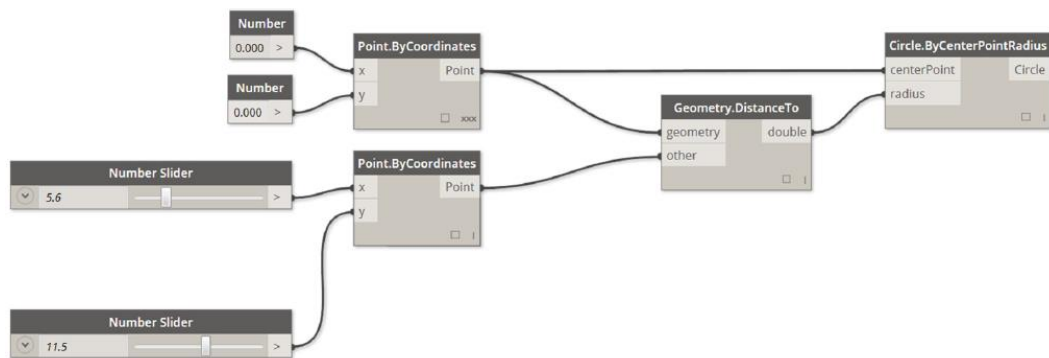
textual e visual (PAVLOV, 2015). Ambos os exemplos fazem a mesma operação e possuem a mesma entrada e saída.

**Figura 6** - Exemplo de programação textual

```
myPoint = Point.ByCoordinates(0.0,0.0,0.0);
x = 5.6;
y = 11.5;
attractorPoint = Point.ByCoordinates(x,y,0.0);
dist = myPoint.DistanceTo(attractorPoint);
myCircle = Circle.ByCenterPointRadius(myPoint,dist);
```

Fonte: Pavlov (2015).

**Figura 7** - Exemplo de programação visual



Fonte: Pavlov (2015).

No campo do VPL integrado ao BIM, os principais *softwares* utilizados são o Grasshopper e o Dynamo. O Grasshopper é uma das principais ferramentas de programação visual na indústria de construção. É uma ferramenta de fonte aberta baseada na comunidade que está vinculada ao *software* Rhinoceros (ferramenta baseada em CAD) e atualmente ao ArchiCAD por meio de um *plug-in* (SEGHIER et al., 2017). O Dynamo também é uma ferramenta de fonte aberta, porém seu vínculo de criação é o Revit. Ambas as ferramentas permitem a realização de várias análises ambientais e otimização de desempenho, devido à sua ligação a vários mecanismos de simulação e a suas bibliotecas de pacotes pré-concebidos.

O Dynamo, da mesma forma que o Grasshopper, funciona por meio de um *plug-in*, sendo utilizado especialmente na melhoria do processo de projeto e fluxo de informações. A ferramenta fornece aos projetistas uma integração em tempo real com o modelo criado na plataforma do Revit, gerando relacionamentos programáticos por meio de uma interface gráfica.

A capacidade do Dynamo de manipulação dos parâmetros da ferramenta de criação BIM adicionou um nível extra de associatividade e criou novas oportunidades para

colaboração interdisciplinar no processo projetual (KENSEK; NOBLE, 2014). Vários tipos de dados podem ser manipulados usando o Dynamo, como valores de parâmetros, geometria familiar, posicionamento familiar, criação de arquivos, levantamentos de dados e outros. Ao criar novos elementos no Revit usando o Dynamo, o usuário pode ajustar seus parâmetros manualmente no Revit. Além disso, o mesmo *script* Dynamo pode ser reutilizado para diferentes projetos (SHARON, 2014).

O Dynamo pode ser separado em duas tarefas principais: a criação de relações paramétricas dentro da geometria do *design* e sua capacidade de leitura a partir de bancos de dados externos (SGAMBELLURI, 2015). Por exemplo, a integração do Dynamo para o Revit permite que o Dynamo manipule e gerencie todos os parâmetros do modelo BIM. Dessa forma, o Dynamo é capaz de ler e gravar dados do banco de dados do Revit por meio da sua interface Revit API, que permite construir *links* com programas externos.

De acordo com Negendahl (2015), nos últimos anos foram desenvolvidas novas formas de integrar ferramentas de projetos e ferramentas de simulação para a avaliação de desempenho simultaneamente (Building Performance Simulations - BPSs). Esses novos métodos fornecem *feedback* de desempenho diretamente na ferramenta de projeto nativo e abre-se para cenários de novos conceitos, anteriormente inacessíveis para arquitetos e engenheiros durante os estágios iniciais do projeto.

A integração de uma ferramenta de projeto com uma ferramenta de avaliação muda fundamentalmente o desenvolvimento de projeto de construção em um processo mais rápido, mais consciente e mais eficiente. O que facilita a produção de múltiplas alternativas de projeto, automatizando a avaliação do desempenho em tempo real ainda no estágio inicial do projeto.

## **CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA**

Neste capítulo são apresentados os métodos de pesquisa e a abordagem estabelecida por meio do uso do Design Science Research. Foi desenvolvido um método de automação do fluxo de informação no processo BIM, utilizando a predição do desempenho térmico e acústico nas vedações verticais, integrado à avaliação de custo em busca do atendimento dos requisitos estabelecidos na NBR 15575 (2013) nas etapas iniciais do projeto. Os principais conceitos de interesse utilizados foram apresentados no capítulo de revisão da literatura. Seguem-se a apresentação das etapas da pesquisa e as explicações das atividades desenvolvidas.

### **3.1 MÉTODO E CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA**

O Design Science (DS) é utilizado como base epistemológica deste trabalho. Sendo assim, o método escolhido para o desenvolvimento desta pesquisa foi o Design Science Research (DSR), por ser considerado um método para a condução de pesquisas de cunho tecnológico, como, por exemplo, tecnologias de gestão. Este se constitui em uma abordagem que, quando bem aplicada, produz rigor científico efetivo (LACERDA, 2013), permitindo desenvolver metodologias e métodos mais adequados de caráter prescritivo, provendo orientações para incrementar o acesso do usuário à informação.

A tese visa produzir conhecimentos com vistas à resolução de problemas levantados no âmbito de uma população específica, no caso, os projetistas. Sua finalidade é classificada como pesquisa aplicada, uma vez que foram concebidos artefatos para resolver uma situação real, presente em organizações reais.

Contudo, seu nível de explicação é classificado como pesquisa exploratória, devido à necessidade de buscar uma familiaridade com o problema estudado, por meio de uma pesquisa bibliográfica e documental com múltiplas fontes de evidência. Os autores Yin (2010) e Costa et al. (2013) propõem também a utilização de documentos como relatórios, registros, avaliações, artigos científicos e entrevistas semiestruturadas com vistas a torná-lo mais explícito e a construir hipóteses a serem mensuradas em trabalhos futuros com o objetivo de se entender melhor a situação atual do fluxo de informação na concepção de projetos, o que servirá de insumo para as soluções dos problemas seguintes.

A abordagem da pesquisa é de natureza quantitativa, pois foram avaliados alguns requisitos de desempenhos do estudo de caso. Segundo Dresch, Larceda e Antunes Junior (2015), “pensar de forma transdisciplinar é necessário, pois os problemas reais não necessariamente respeitam as disciplinas”. Esta afirmativa traz respaldo para que se possa usar esses complementos metodológicos em conjunto com a DSR.

### 3.2 ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA COM O MÉTODO DESIGN SCIENCE RESEARCH

O entendimento do processo projetual se faz importante para que haja a efetivação de um planejamento eficiente, objetivando um projeto que atenda às expectativas e necessidades dos usuários. Requisitos são funcionalidades que o sistema-produto ou serviço devem ter para satisfazer uma demanda ou para alcançar um objetivo emitido pelos clientes, definindo o que o produto deve fazer, sendo que a solução de projeto define como ele deverá fazer. A gestão do requisito possibilita o controle da mudança, por meio do rastreamento dos requisitos (SOMMERVILLE, 2007; WIEGERS, 2003), o que contribui com a geração de valor do produto final (HOUVILA, 2005).

Marx (2009) propôs um *check-list* (Tabela 15) para verificação das características, validade e qualidade dos requisitos, auxiliando na identificação dos problemas.

Tabela 14 – Validação e especificação de requisitos

Este requisito...	
É necessário?	Se o requisito pode suprir as necessidades priorizadas sem este requisito, ele não é necessário e pode ser descartado.
É inteligível?	Se as informações não são compreendidas, ela deve ser reelaborada.
É exequível?	Se este requisito não pode ser implementado dentro do prazo e orçamento, ele não é viável e deve ser descartado ou analisado mais atentamente.
É testável / verificável?	Se a implementação deste requisito no sistema produto não puder ser realizada por meio de um teste, deve ser definida outra forma de verificação.
É rastreável?	Se a fonte deste requisito e sua localização no sistema e rastreável até a geração do produto
Está alocado?	Se este requisito não estiver ancorado a algum componente do processo, ele não é necessário e pode ser descartado.
Não é redundante?	Se este requisito for duplicado, ele deve ser integrado ao requisito pré-existente por meio da inclusão do seu código no final do texto, mantendo a rastreabilidade em relação a todas as fontes.
É prematuro?	Se este requisito impuser uma solução de projeto prematura, ele deve ser reviso ou reservado para consideração em fases mais tardias

Fonte: Adaptado de Marx (2009).

Nota-se que existe uma complexidade na gestão de informação para facilitar o desenvolvimento de projetos de qualidade, existindo, então, a necessidade da criação de metodologias simplificadas para facilitar o processo projetual, redução dos métodos de cálculos, criação de guias projetuais para as diferentes etapas de projeto e a formação de um conhecimento que consiga analisar os dados oriundos da gestão do processo.

Sendo assim, a pesquisa em gestão deve buscar a aproximação de duas realidades – teórica e prática. Embora possam parecer distantes entre si, tanto a teoria quanto a prática procuram gerar conhecimentos que possam ser aplicados a fim de garantir melhorias nos sistemas existentes ou auxiliar no projeto e na concepção de novos sistemas, produtos ou serviços (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015).

Seguindo a filosofia apresentada, este trabalho foi conduzido pelo método DSR, com uso da gestão integrada da informação. Identificando o problema a ser estudado, transformando-o em um ciclo de análise, raciocinando sobre a situação atual do tema investigado, levantando os requisitos de influência, passando para uma síntese das informações para visualizar a situação global em estudo e propondo uma solução para resolver o problema. À luz dos conceitos da DSR apresentados, a hipótese da pesquisa é caracterizada como uma questão prática, a qual se desmembra em várias etapas, podendo ser classificadas por problemas práticos ou questões de conhecimento.

O problema desta tese foi abordado por meio das cinco regras do ciclo regulador proposto por Wieringa (2009), dividido em cinco etapas: investigação, projeto de soluções, validação do projeto, implementação da solução e avaliação da implementação. A abordagem metodológica de pesquisa para este tipo de pesquisa proposta por Wieringa (2009) está ilustrada na Figura 8.

**Figura 8 – Ciclo regulador**



Fonte: Adaptado de Wieringa (2009).



a) Investigação do problema

O problema de pesquisa específico é definido nesta etapa e a importância e o valor da solução também são justificados. De acordo com o DSR, justificar o valor de uma solução motiva o pesquisador e o público a avançar no conhecimento.

Recursos necessários: ter conhecimento do estado do problema e a importância de sua solução. Para conseguir entender o problema foi pesquisado o nível de conhecimento dos arquitetos frente à norma de desempenho e quais alterações ocorreram em suas práticas projetuais a fim de atender o desempenho ambiental e o custo no projeto.

b) Projeto de soluções

O sistema deve ser projetado com base nos objetivos definidos na etapa 1. Em seguida, um protótipo deve ser desenvolvido para testar a utilidade geral, levantar os requisitos necessários e a precisão do sistema projetado para responder ao problema levantado. O protótipo do sistema pode ser usado para testes e validação nas próximas etapas.

Recursos necessários: conhecimento da teoria que pode ser implementado em uma solução e conhecimentos técnicos para o desenvolvimento do protótipo, tratando da identificação das metas normativas e as regras principais da avaliação.

c) Validação do projeto

A etapa seguinte diz respeito à simulação, na qual foi utilizado um modelo piloto para testar o funcionamento da ferramenta, construindo um protótipo baseado na programação visual, que posteriormente foi testado para que o investigador pudesse prever as suas primeiras conclusões e a funcionalidade da ferramenta.

Recursos necessários: entendimento dos métodos avaliativos que serão utilizados e sua aplicação prática sobre o problema.

d) Implementação da solução

Com o protótipo do sistema desenvolvido e validado, sua implementação é realizada, utilizando-se variações de soluções do modelo piloto para gerar diferentes resoluções do problema investigado a fim de demonstrar a utilidade do sistema projetado e, posteriormente, avaliar a automatização do fluxo de informações dentro do processo BIM.

Recursos necessários: conhecimento de como usar o sistema desenvolvido para resolver o problema.

e) Avaliação da implementação

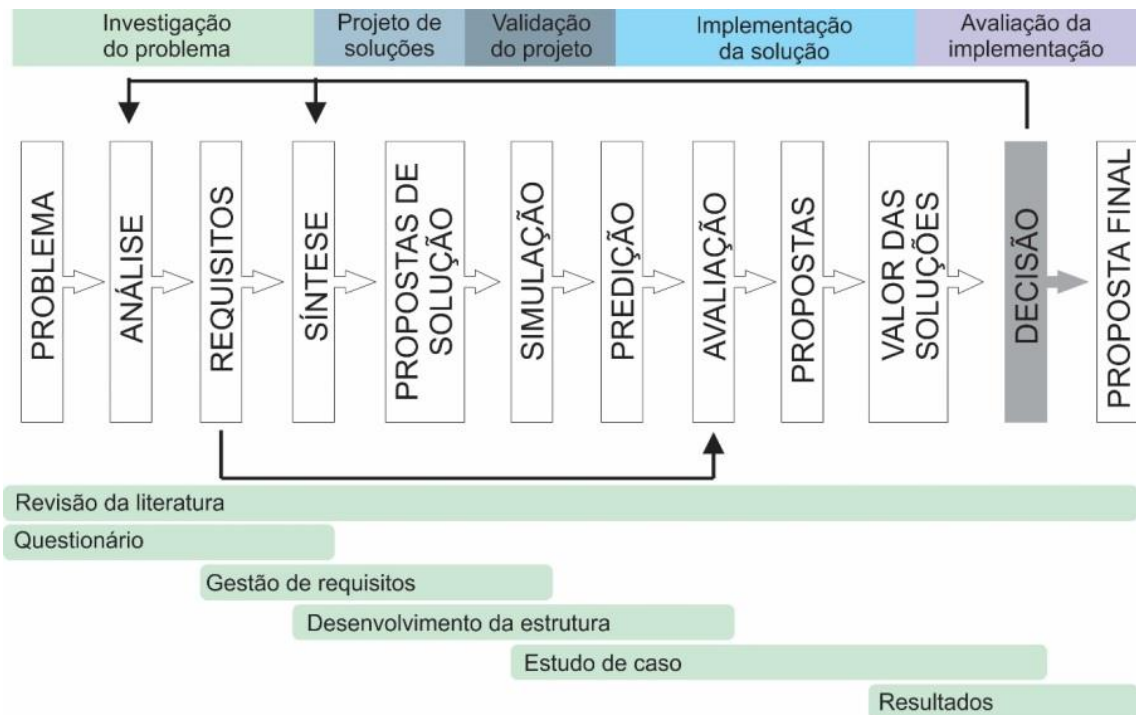
Nesta etapa o pesquisador deve observar e medir quão bem o sistema proposto e o protótipo desenvolvido resolvem os problemas identificados nas etapas anteriores, comunicando a importância das suas soluções e outros meios públicos. Nesta pesquisa este método avaliativo seguiu as diretrizes avaliativas utilizadas por Seghier et al. (2017).

Recursos necessários: conhecimento de métricas e técnicas de análise relevantes; domínio do estudo; conhecimento da cultura disciplinar.

De acordo com Barbosa e Bax (2017), é importante ressaltar que a decomposição do método por si só já faz com que o pesquisador reflita mais sobre seu trabalho, esclarecendo e separando quais são as etapas e as dificuldades a serem trabalhadas. Dessa forma, após esse esforço intelectual inicial, há recompensa de se ter uma estrutura lógica a ser seguida no restante do trabalho, com a segurança de se abordar os problemas de acordo com suas respectivas naturezas.

O método segue para a estruturação da hipótese trazida neste trabalho, seguindo os princípios apresentados nas alíneas anteriores. A Figura 9 mostra a estrutura metodológica característica do projeto desta tese, que buscou demonstrar a automação do fluxo de informação no processo BIM, gerenciando as informações que compõem o modelo 3D, buscando a concepção de uma solução de gestão integrada das informações para o contexto dos projetistas em relação ao problema observado.

**Figura 9** - Estrutura da gestão da informação do método proposto



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para solução deste problema se buscou demonstrar sua efetivação com o desenvolvimento de uma ferramenta de gestão de informação para gerenciar os dados envolvidos nos processos de avaliação térmica, acústica e custos. A ferramenta deve, além de avaliar o projeto, indicar o atendimento da normativa pertinente, referente à NBR 15575 (2013) e garantir um fácil entendimento das informações geradas.

### 3.2.1 Revisão da literatura

A revisão da literatura percorreu todo o desenvolvimento da pesquisa (Figura 9, p. 68) devido à necessidade de se buscar o conhecimento dos problemas e soluções atuais durante todas as etapas do projeto.

Inicialmente, para entender o problema da pesquisa, buscou-se identificar o comportamento atual do mercado brasileiro após a implantação da norma de desempenho e identificar a atual situação na etapa do projeto arquitetônico. A primeira etapa da pesquisa teve como foco realizar uma revisão bibliográfica de artigos científicos nacionais e internacionais e em revistas comerciais do mercado brasileiro da construção civil com entrevistas sobre a temática. Foram pesquisadas publicações que possam indicar a realidade

atual do mercado da construção civil frente à norma de desempenho e como o projeto arquitetônico está sendo trabalhado neste novo cenário.

Sequencialmente, foi realizado um estudo das abordagens existentes de gestão da informação e os métodos normativos com objetivo de se desenvolver projetos baseados em desempenho. A revisão da literatura ilustrou a potencialidade do uso do BIM na gestão do fluxo de informações, permitindo a identificação das lacunas existentes neste campo e as possíveis soluções e métodos que poderiam ser usados no processo de desenvolvimento do protótipo nas próximas etapas.

Para as etapas seguintes se identificou, na revisão da literatura, o uso da programação visual como ferramenta para o desenvolvimento da solução, ilustrando outros trabalhos que também utilizaram o VPL para a construção de soluções para outros problemas em diversos campos da construção civil. Foram estabelecidas as seguintes diretrizes para a continuação da pesquisa:

- a) Entender o nível de conhecimento e as práticas de projeto baseado em desempenho dos arquitetos brasileiros;
- b) Implementar a gestão da informação nos projetos paramétricos;
- c) Analisar estudos recentes sobre propostas para desempenho baseado em BIM;
- d) Integrar o BIM com a programação visual para a construção de soluções de projeto.

### **3.2.2 Questionário**

A segunda etapa foi desenvolvida por meio de um estudo exploratório com a aplicação de um questionário voltado aos arquitetos a fim de investigar o nível de conhecimento sobre a norma de desempenho brasileira, suas práticas projetuais para o atendimento dos requisitos de desempenho ambiental e quais foram as influências que a norma causou em seus processos de trabalho.

Para Holt (2014), a utilização de uma metodologia de pesquisa por meio de questionário primeiramente deve considerar o método de amostragem, o tamanho da amostra, as questões de estratificação e, por último, precisa considerar questões como o estilo do questionário, comprimento, variáveis de inclusão, o método de medição de resposta e o tipo de perguntas. Além destes, a forma de distribuição, método de aplicação do questionário, questões de confidencialidade e os métodos previstos de análise exigem ampla atenção.

O questionário foi estruturado em forma de perguntas de múltipla escolha, com base nas experiências dos profissionais, na elaboração de projetos de arquitetura baseados em normativas e no desempenho ambiental seguindo as seguintes variáveis:

- a) Prática profissional e responsabilidade técnica e civil (PT): identificar o nível de conhecimento e as práticas que os profissionais da arquitetura possuem sobre o processo de projeto; conhecer a visão dos arquitetos sobre as responsabilidades e riscos frente ao atendimento ou não do desempenho ambiental dentro do projeto arquitetônico;
- b) Conhecimento técnico normativo (NO): identificar o nível de conhecimento sobre os índices e metodologias para o atendimento dos requisitos de desempenho em relação às normativas nacionais;
- c) Desempenho ambiental (DA): entender como o arquiteto atende às exigências da norma, levantar se houve alteração na rotina e no preço dos projetos e identificar os seus métodos utilizados para tal atendimento.

O questionário foi estruturado a partir das variáveis apresentadas em forma de perguntas (Tabela 15) de múltipla escolha com base nas experiências dos profissionais na elaboração de projetos de arquitetura.

**Tabela 15** – Perguntas que compõem o questionário

Var	
PT	Os contratantes, para os quais trabalha, têm respeitado as especificações dos projetos? ( ) Nunca      ( ) Raramente      ( ) Às vezes      ( ) Sempre
PT	Quais acredita serem as atuações básicas e complementares do arquiteto?
	Estudo Preliminar      ( ) Básica      ( ) Complementar
	Anteprojeto      ( ) Básica      ( ) Complementar
	Projetos Eletr/Hidr/Estrutural      ( ) Básica      ( ) Complementar
	Projetos de desempenho ambiental      ( ) Básica      ( ) Complementar
	Projeto executivo      ( ) Básica      ( ) Complementar
	Execução      ( ) Básica      ( ) Complementar
	Avaliação Pós Ocupação      ( ) Básica      ( ) Complementar
PT	Na sua atuação profissional?
	Você tem hábito de consultar as normas técnicas?      ( ) 1 Sim      ( ) 2      ( ) 3      ( ) 4 Não
	Os estagiários possuem a prática de consultar normas técnicas?      ( ) 1 Sim      ( ) 2      ( ) 3      ( ) 4 Não
	O escopo do contrato possui clareza nas suas responsabilidades?      ( ) 1 Sim      ( ) 2      ( ) 3      ( ) 4 Não
	Os contratantes têm respeitado as especificações dos projetos      ( ) 1 Sim      ( ) 2      ( ) 3      ( ) 4 Não
	Sua empresa já implementa a NBR 15.575?      ( ) 1 Sim      ( ) 2      ( ) 3      ( ) 4 Não
PT	Quão familiarizado você está com a Norma de Desempenho NBR-15.575/2013

		( ) 1 Familiarizado	( ) 2	( ) 3	( ) 4 Não familiarizado
PT	Em sua organização existe alguma obra iniciada após o período de vigência da NBR-15.575/2013?				
		( ) 0	( ) 1-4	( ) 5-9	( ) 10+
NO	Através de qual meio você tomou conhecimento desta Norma?				
<input type="checkbox"/> Publicações técnicas / sites especializados <input type="checkbox"/> Jornais / Revistas online <input type="checkbox"/> Amigos, colegas de trabalho <input type="checkbox"/> Instituições de ensino <input type="checkbox"/> Oficinas de atualização <input type="checkbox"/> Nunca ouvi falar					
NO	Quantos projetos você ou sua empresa já realizou seguindo a NBR-15.575/ 2013?				
		( ) 0	( ) 1-4	( ) 5-9	( ) 10+
NO	Avalie as opções abaixo sobre atividades de responsabilidade dos Arquitetos?				
		É de responsabilidade	Não é de responsabilidade	Responsabilidade compartilhada	
Especificação dos materiais e elementos constr.		( )	( )	( )	
Verificação dos materiais e elementos constr.		( )	( )	( )	
Desempenho ambiental da edificação		( )	( )	( )	
NO	Você acredita que a NBR-15575/ 2013 irá gerar reflexos no processo de projeto?				
Tempo de desenvolvimento de projeto		( ) 1 Sim	( ) 2	( ) 3	( ) 4 Não
Nos custos do projeto		( ) 1 Sim	( ) 2	( ) 3	( ) 4 Não
Nos honorários		( ) 1 Sim	( ) 2	( ) 3	( ) 4 Não
Maior valorização dos projetistas na sociedade		( ) 1 Sim	( ) 2	( ) 3	( ) 4 Não
NO	Você acredita que a NBR-15.575/ 2013 alterará as exigências aos arquitetos?				
Conhecimento prático		( ) 1 Sim	( ) 2	( ) 3	( ) 4 Não
Conhecimento teórico		( ) 1 Sim	( ) 2	( ) 3	( ) 4 Não
Adoção de novas tecnologias		( ) 1 Sim	( ) 2	( ) 3	( ) 4 Não
Adoção de novos métodos de avaliação		( ) 1 Sim	( ) 2	( ) 3	( ) 4 Não
DA	Como são realizados os projetos de desempenho ambiental em sua empresa.				
<input type="checkbox"/> Não realizo <input type="checkbox"/> Terceirizado <input type="checkbox"/> Serviço cobrado à parte do projeto <input type="checkbox"/> Já desenvolvo o projeto arquitetônico prescrevendo o desempenho					
DA	Qual o valor de Projetos de desempenho (Térmico, Acústico e Lumínico) em relação ao arquitetônico (em porcentagem)?				
DA	A partir de que meios se deu sua formação nas áreas teórica e prática de desempenho ambiental?				
		Curso de graduação	Pós-graduação	Curso de atualização	
Térmico		( )	( )	( )	
Acústico		( )	( )	( )	
Lumínico		( )	( )	( )	
DA	Quais os principais problemas encontrados na elaboração de projetos de desempenho ambiental, avalie segundo grau de dificuldade?				
Preço elevado dos materiais (cliente)		( ) 1 Sim	( ) 2	( ) 3	( ) 4 Não
Preço elevado dos programas e equipamentos		( ) 1 Sim	( ) 2	( ) 3	( ) 4 Não
Preço elevado dos honorários dos profissionais		( ) 1 Sim	( ) 2	( ) 3	( ) 4 Não
Desvalorização dos projetos		( ) 1 Sim	( ) 2	( ) 3	( ) 4 Não
Dificuldades de realizar medições		( ) 1 Sim	( ) 2	( ) 3	( ) 4 Não
Falta de conhecimento dos arquitetos		( ) 1 Sim	( ) 2	( ) 3	( ) 4 Não
Ausência de legislação coerente		( ) 1 Sim	( ) 2	( ) 3	( ) 4 Não
Ausência de fiscalização		( ) 1 Sim	( ) 2	( ) 3	( ) 4 Não
Ausência de especificação dos materiais		( ) 1 Sim	( ) 2	( ) 3	( ) 4 Não
Ausência de mão de obra qualificada		( ) 1 Sim	( ) 2	( ) 3	( ) 4 Não
DA	Quais ferramentas utiliza na elaboração dos projetos de desempenho ambiental?				

- ( ) Publicações técnicas de estudos realizados.  
 ( ) Programas computacionais de simulação.  
 ( ) Banco de dados de estratégias.  
 ( ) Planilhas de cálculos  
 ( ) Não utilizo

DA	Tem conhecimento sobre as ferramentas computacionais de simulação de desempenho?
Térmico	( ) 1 Sim ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 Não
Acústico	( ) 1 Sim ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 Não
Lumínico	( ) 1 Sim ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 Não
DA	Tem conhecimento sobre as seguintes normas para o atendimento do desempenho térmico?
NBR 15220	( ) 1 Sim ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 Não
ISO 8302	( ) 1 Sim ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 Não
EN 12898	( ) 1 Sim ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 Não
DA	Tem conhecimento sobre as seguintes normas para o atendimento do desempenho acústico?
NBR 10151	( ) 1 Sim ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 Não
NBR 10152	( ) 1 Sim ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 Não
EN 12354	( ) 1 Sim ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 Não
DA	Tem conhecimento sobre as seguintes normas para o atendimento do desempenho lumínico?
NBR 5413	( ) 1 Sim ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 Não
NBR 15215	( ) 1 Sim ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 Não
ISO 5034	( ) 1 Sim ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 Não
DA	Você acha que o Arquiteto está preparado para atender as normas de desempenho?
	( ) Sim ( ) Não

Fonte: Elaborado pelo autor.

## Calculo amostral

De acordo com Galvin (2015), no campo de pesquisa por questionário se aceita que o tamanho da amostra depende de fatores como população de referência, tipo de análise, nível de confiança requerido, amostragem técnica, tipo de questionário e, como ele foi conduzido, e uma amostra aleatória de uma população claramente especificada para pesquisa de entrevistas, aumentando a confiabilidade dos resultados. Os níveis de confiança reduzem e os intervalos de confiança se expandem, de modo que são necessárias amostras maiores para restaurar a confiabilidade.

Para a definição amostral necessária para a aplicação do questionário foram seguidos os seguintes critérios:

- a) A população amostral desta pesquisa foi calculada de acordo com a equação 1:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}{Z^2 \cdot p \cdot (1-p) + e^2 \cdot (N-1)} \quad (1)$$

Onde:

n - amostra calculada

N - população

Z - variável normal padronizada associada ao nível de confiança

p - verdadeira probabilidade do evento

e - erro amostral

- b) O valor da população no cálculo foi extraído do Censo do Conselho de Arquitetura e Urbanismo (CAU) de 2012, sendo o último publicado até o presente momento. De acordo com os dados levantados, em 2012, a população de arquitetos era de 83.754 (N), foi utilizado um nível de confiança de 95% (Z) (GALVIN, 2015). Para a probabilidade verdadeira do evento foi utilizado um percentual máximo de 20%, valor referente ao percentual de arquitetos que são donos de escritórios de projetos no Brasil. E, por fim, foi estabelecido um erro amostral de 8%, que condiz com o valor estimado no censo do número de arquitetos que possuem renda de outras fontes fora do exercício projetual, resultando em uma amostra calculada de 96 profissionais.
- c) Para a seleção dos profissionais se optou por fazer uma busca a partir de revistas brasileiras de comercialização nacional, especializadas em Arquitetura, onde projetos foram publicados, ou por meio de *websites* próprios, observando se o escritório estava em plena atividade e se tinha como foco a elaboração de projetos de edificações, garantindo, assim, a aleatoriedade amostral.
- d) Em sequência, foram enviados convites de participação contendo um explicativo da pesquisa. Somente após um *e-mail* de retorno do entrevistado foi enviado o *link* do questionário para o preenchimento virtual. Este procedimento buscou garantir a participação apenas de profissionais realmente interessados na pesquisa com o objetivo de melhorar a confiabilidade das respostas.

### **Estatística para análise dos dados do questionário**

A terceira etapa foi a análise estatística dos resultados referentes ao questionário, buscando-se a identificação dos principais impactos para elaboração do projeto arquitetônico. O questionário foi analisado usando o *software* Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). As perguntas em que se utilizou a escala de Likert de quatro pontos (1 a 4) foram



correlacionadas e as demais foram analisadas com base na somatória do número de repetições.

Iniciou-se com a análise da confiabilidade pelo método de  $\alpha$ -Cronbach, determinando a consistência dos fatores e a confiabilidade das respostas coletadas, expresso por um número entre 0 e 1, sendo os valores aceitáveis entre 0,7 e 0,95 (OLADINRIN; HO, 2016; XIANBO, 2014; TAVAKOL; DENNICK, 2011; YANG et al., 2010). Este método demonstrou a interrelação dos elementos dentro da avaliação, sendo utilizado para fins de investigação para garantir a validade do teste, onde um baixo valor resultante pode ilustrar uma falta de interrelação entre os itens ou poucas perguntas respondidas.

Em sequência, foi realizada uma análise pelo método Relative Importance Index (RII) a fim de identificar as principais atividades que podem impactar no desenvolvimento do projeto de arquitetura frente ao atendimento dos requisitos da norma de desempenho determinando sua importância. Segundo Gündüz, Nielsen e Özdemir (2012) e Holt (2014), esta análise é realizada para classificar as diferentes causas de acordo com os índices de importância relativa e gerar um índice para organizar as variáveis de forma ordenada, podendo ser utilizado para auxiliar nos problemas de tomada de decisão na comparação de alternativas emparelhadas (PATEL; KIKANI; JHA, 2006).

A equação pode ser expressa conforme a equação 2:

$$RII = \frac{1n_1 + 2n_2 + \dots + An_A}{AN} \quad (2)$$

Onde:

$n_1, n_2, \dots, n_A$  = número de entrevistados marcando a resposta 1 até o  $A_{máx}$ , respectivamente

A = o maior número inteiro na escala de resposta

N = número de entrevistados

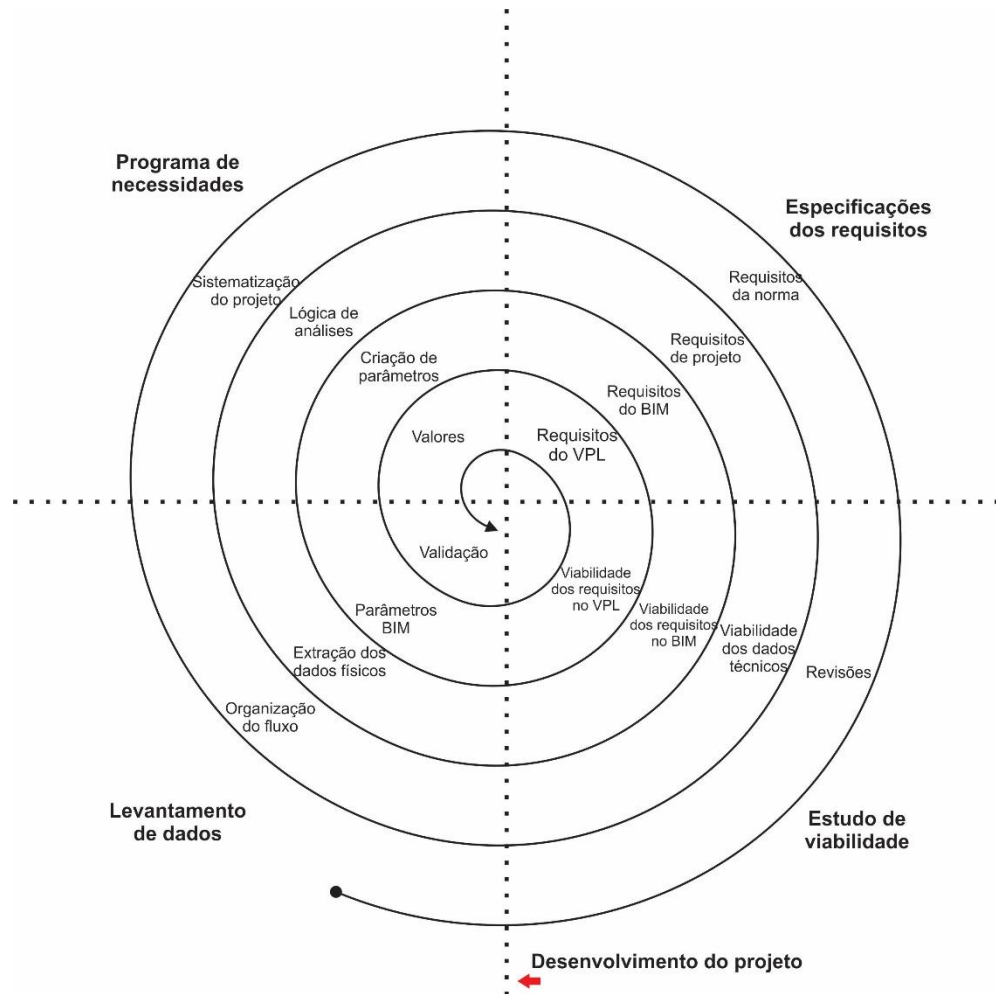
Ao final as respostas foram compiladas e ordenadas, indicando quais as maiores preocupações referentes aos profissionais no contexto nacional. Para se determinar o grau de importância na perspectiva dos arquitetos foi estabelecida uma ordem dos resultados de acordo com a porcentagem de respostas por cada categoria sobre a somatória do total das respostas obtidas nas mesmas.

### 3.2.3 Gestão do requisito

Sequencialmente, iniciou-se um ciclo prático relacionado às questões de avaliação, especificação, descrição e problema prático de uma abordagem geral de gestão dos requisitos baseados no DSR a fim de criar a estrutura final de avaliação. Sendo assim, foi realizada uma análise dos fatores de influência no desempenho térmico e acústico nas etapas do processo de projeto com base no repertório teórico encontrado nas diretrizes da NBR 15220 (2003) e na EN 12354-1 (2002) usando a Gestão de Requisitos (GR) como abordagem de análise, organização e controle dos requisitos de projetos (LEFFINGWELL; WIDRIG, 2000).

A GR consistiu no desenvolvimento de um modelo sintético de processo como proposta piloto de estrutura para auxiliar o processo de projeto no atendimento dos requisitos normativos de desempenho, na qual os requisitos percorrem um ciclo sempre na mesma direção, passando ciclicamente pelas etapas. Nesta estrutura há a possibilidade de retorno nas etapas anteriores, o que revela a possibilidade de reavaliação de decisões mal definidas, como está ilustrado na Figura 10.

**Figura 10** - Modelo em espiral com as quatro etapas da GR



Fonte: Elaborada pelo autor.

Considerando a necessidade de se interrelacionar os requisitos normativos desde o início do processo de projeto na melhoria do desempenho da edificação, a gestão dos requisitos foi pensada como forma de controle das mudanças que as decisões de projeto geram durante o seu desenvolvimento, buscando um melhor entendimento sobre os requisitos resultantes do atendimento das demandas normativas e o seu impacto no custo final da edificação.

A caracterização do desempenho térmico e acústico das vedações verticais dos edifícios foi feita a partir de requisitos e parâmetros pré-estabelecidos pela norma de desempenho brasileira. Os requisitos avaliados foram em relação ao desempenho térmico, a transmitância térmica e a capacidade térmica; e para o desempenho acústico foram o isolamento do ruído aéreo do ambiente externo e interno e isolamento sonoro aéreo entre espaços internos e externos. As informações sobre o custo foram geridas de acordo com as metragens retiradas dos modelos e o custo final da execução do serviço.

A gestão do requisito é vista nesta pesquisa como uma alternativa para solucionar algumas dificuldades gerenciais do processo de projeto, além de permitir o mais claro entendimento sobre os requisitos resultantes das demandas (SOMMERVILLE, 2007), neste caso, dos requisitos de desempenho térmico, acústico e de custo.

Esta etapa do GR envolveu as atividades que determinam os objetivos da ferramenta com suas restrições. Ela determinou as condições necessárias para resolver o problema e satisfazer as demandas para alimentar os cálculos necessários para a avaliação, promovendo um melhor entendimento do contexto em que o problema se situa, ou seja, quais são os objetivos a serem desenvolvidos. Como resultado se buscou identificar e organizar as diretrizes referentes aos requisitos e as informações necessárias para alimentar as simulações, toda a GR serviu de suporte para a etapa seguinte de desenvolvimento da estrutura.

### **3.2.4 Desenvolvimento da estrutura**

Como relatado na literatura, o projeto baseado em desempenho é um processo complexo, exigindo do projetista uma maior interação com as várias ferramentas projetuais a fim de prever o desempenho do projeto, o que torna necessária a gestão das informações compreendidas nas etapas iniciais de concepção. Para o desenvolvimento da estrutura foram utilizados três *softwares*: o Autodesk Revit como ferramenta de modelagem paramétrica, o Dynamo como ferramenta programação visual e o Excel como visualizador de resultados.

Esta etapa consistiu em identificar as funcionalidades disponíveis na ferramenta BIM Autodesk Revit a fim de verificar se os dados necessários para alimentar o método normativo podem ser extraídos automaticamente do modelo 3D BIM e, então, alimentar as equações construídas na programação visual usando as funcionalidades do Revit.

Diante do exposto, a estrutura criada foi pensada para atuar nos primeiros estágios de projeto, quando a tomada de decisão para configuração dos elementos que irão compor as vedações é feita. A estrutura de avaliação foi ligada diretamente ao modelo conceitual BIM, criando uma dependência das informações incorporadas no mesmo. Sendo função da estrutura extrair automaticamente os dados exigidos do modelo BIM, executar os cálculos de avaliação do projeto envolvendo o desempenho térmico e acústico, extrair os quantitativos dos materiais, calcular o custo das soluções e exportar os resultados para a análise final do usuário.

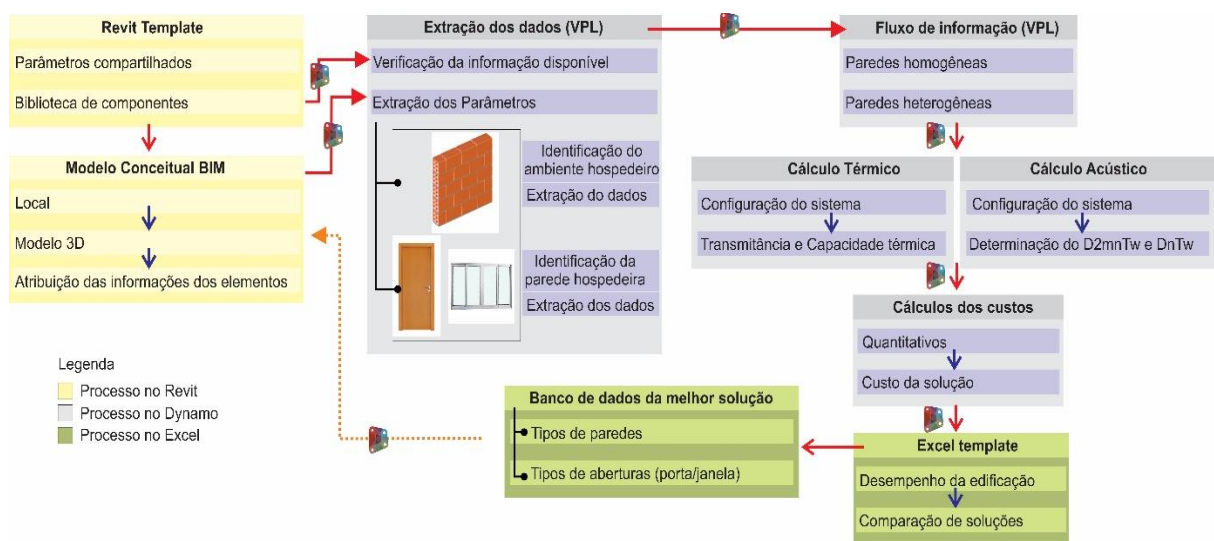
A estrutura foi baseada no modelo proposto por Seghier et al. (2017). Primeiramente foi criada uma estrutura de integração genérica que combina as funcionalidades BIM-VPL e os requisitos avaliados. Sequencialmente, criou-se uma estratégia de extração e gerenciamento de dados, permitindo a identificação dos fluxos de trabalho para, assim, construir a estrutura final de avaliação. Sendo assim, o processo de desenvolvimento da ferramenta foi dividido em duas tarefas principais.

A primeira tarefa consistiu em interpretar todos os critérios relevantes, como a solicitação de dados de equação (Input) necessários para se avaliar os requisitos de desempenho térmico e acústico para vedações estabelecidas na NBR 15575 (2013) e as informações para possibilitar a previsão do custo das propostas. Os requisitos avaliados são em relação ao desempenho térmico, a transmitância térmica ( $U$ ) e a capacidade térmica ( $CT$ ); para o desempenho acústico são: o isolamento dos ruídos aéreos do ambiente externo ( $D_{2mnTw}$ ) e interno ( $D_{nTw}$ ); e, para o custo, o levantamento dos quantitativos em relação do preço do produto consumido.

A segunda tarefa consistiu em identificar a existência das funcionalidades e os parâmetros disponíveis na ferramenta BIM Autodesk Revit, tendo como objetivo a verificação das informações necessárias para alimentar as equações avaliativas e como as mesmas podem ser extraídas do modelo 3D BIM utilizando o VPL.

A Figura 11 mostra o fluxo de informações desenvolvido para o funcionamento da estrutura analítica.

**Figura 11** - Fluxo de trabalho para o desenvolvimento da ferramenta para a análise



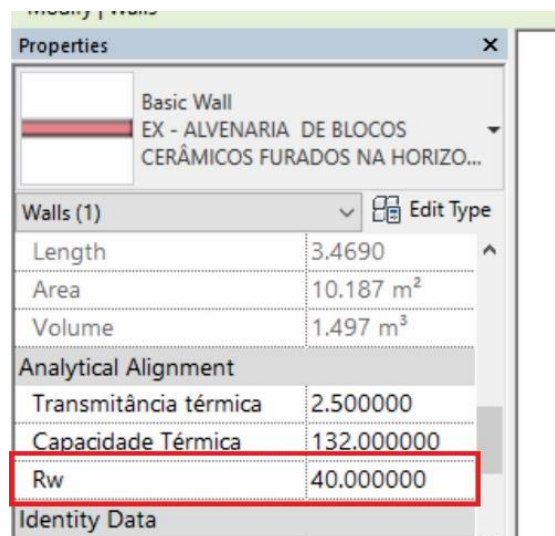
Fonte: Elaborada pelo autor.

## Revit Template e Modelo BIM

Para o desenvolvimento de qualquer avaliação dentro do ambiente BIM é necessária a inserção de informações nos modelos tridimensionais. De acordo com Jalaei e Jrade (2015), Ilhan e Yaman (2016), é necessária uma base de dados técnicos de componentes e materiais de construção para o desenvolvimento de um projeto integrado no BIM. Sendo assim, para o desenvolvimento da solução proposta, foi criado um *template* na plataforma Revit contendo paredes, janelas e portas comumente encontradas no mercado brasileiro e suas respectivas informações técnicas.

O desempenho térmico e acústico dos sistemas de vedações verticais depende principalmente das áreas e das propriedades físicas dos elementos que compõem os sistemas de vedação do edifício e da relação entre eles. Dentro deste cenário, a interface do Revit permite a inserção das informações dos custos e das propriedades térmicas dos materiais, possibilitando a sua extração futura, porém, não existem os campos para a inserção dos parâmetros acústicos. Assim sendo, através da função ‘Parâmetros de projeto’ o parâmetro índice de isolamento sonora ( $R'_w$ ) foi criado no *template* do modelo 3D (Figura 12) e o Índice de Redução Sonora aparente ( $R'_w$ ) pôde ser calculado posteriormente utilizando os *scripts* no VPL.

**Figura 12** - Parâmetro  $R_w$  criado no template do Revit



Fonte: Elaborada pelo autor.

Sendo assim, o *template* criado contém os campos de inserção das informações dos componentes de construção que o projetista usará no desenvolvimento do projeto, com dados

relacionados ao custo, desempenho térmico e acústico (dimensões, propriedades térmicas, acústicas e outros). Além disso, novos parâmetros foram criados no modelo usando a funcionalidade de parâmetros compartilhados no Revit a fim de sanar as outras informações necessárias que não são padrões no *software*, como, por exemplo, área de abertura.

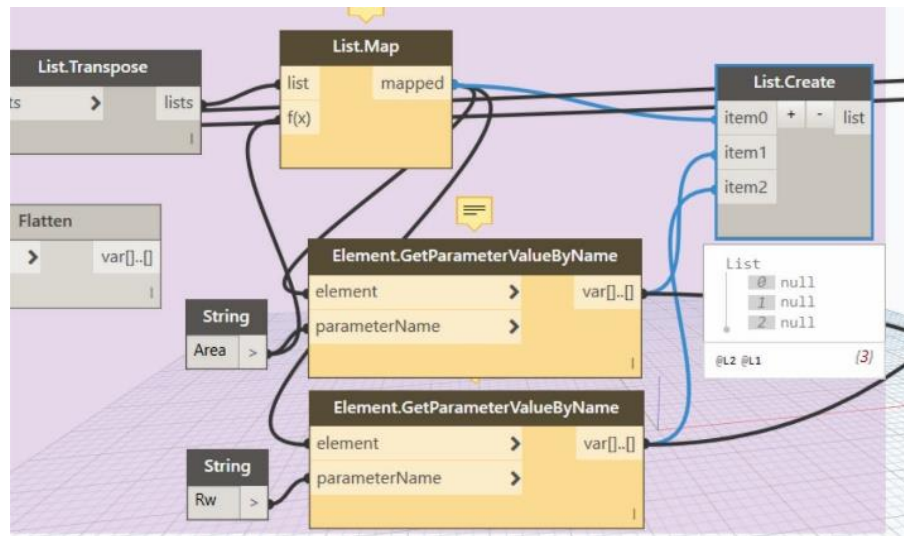
### **Extração de dados**

De acordo com Seghier et al. (2017), exportar e importar dados de um programa para outro ainda é um processo que gera conflitos durante o processo de conversão. Para diminuir as questões de interoperabilidade, Coenders (2009) argumenta que dentro dos modelos BIM uma estratégia que pode ser empregada para controlar o fluxo de informações é usar a verificação automatizada de informações, fazendo uso de regras dentro do processo de exportação/importação.

Nesta pesquisa a troca de informações não foi baseada no formato de arquivo, mas sim nas exportações de informações internas do modelo BIM durante o processo projetual. A programação visual foi utilizada para definir as regras de extração dos dados que permitissem a realização das avaliações necessárias.

O processo de trabalho do Dynamo funciona como qualquer linguagem de programação, caso exista um erro de sintaxe no código o programa acusa qual 'linha' possui o erro. No Dynamo, caso ocorra a falta das informações necessárias, o *software* acusa o erro identificando os 'nós' e criando campos de resultados 'NULL' (dados vazios), gerando a interrupção do *script* (Figura 13).

**Figura 13** - Exemplo de indicação de erro dentro da tela de construção do Dynamo



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a verificação das informações do modelo 3D, estando todas inseridas corretamente, seguiu-se o fluxo de trabalho.

### Fluxo de Informação VPL

Esta etapa teve como objetivo construir um fluxo lógico de extração de dados, permitindo a gestão da informação, ordenando as sequências de extração e a interação entre os dados dos modelos BIM. A Figura 14 exemplifica o fluxo criado para que as próximas etapas fossem possíveis.

**Figura 14** – Processo de desenvolvimento do *script* de avaliação no Dynamo



Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir do modelo 3D foi realizada a filtragem das paredes para determinar quais faziam parte da fachada, neste momento houve a necessidade de criação de um parâmetro no modelo que distinguísse as funções das paredes. Sendo assim, as paredes foram separadas em paredes externas e internas, seguida da identificação dos ambientes de que cada parede fazia



parte, e, por fim, quais paredes se configuravam como sistema homogêneo (paredes cegas) ou heterogêneo (paredes com portas e/ou janelas).

Realizada a filtragem das paredes, partiu-se para a filtragem dos sistemas construtivos, buscando a composição de cada sistema de vedação e se possuíam esquadrias/aberturas. Identificando o tipo, quantidade e em qual parede as aberturas se localizavam. Seguindo o fluxo, houve a extração dos parâmetros como, por exemplo, áreas, índices de isolamento, resistência térmica, volume do ambiente, dados necessários para os cálculos previstos nos procedimentos de cálculos.

## **Cálculos**

Em sequência à etapa anterior, a próxima etapa foi a construção dos processos de cálculo. A avaliação térmico-acústica foi baseada na integração dos métodos prescritos pela NBR 15575, que cita a norma europeia EN 12354 - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements (EN 12354-1 (2000) e EN 12354 -2 (2000), e a norma de desempenho térmico de edificações – a NBR 15220 (2005).

Os procedimentos de cálculos baseados na norma estão nos APÊNDICES A e B. O custo foi calculado sobre os quantitativos extraídos do modelo BIM, os dados de custos foram baseados nos índices de construção das tabelas SINAPI referente à região do Estado de Goiás, datada de março de 2018. Os dados gerados após os cálculos (saída de dados) são as informações que subsidiaram a avaliação do projeto.

## **Excel *template***

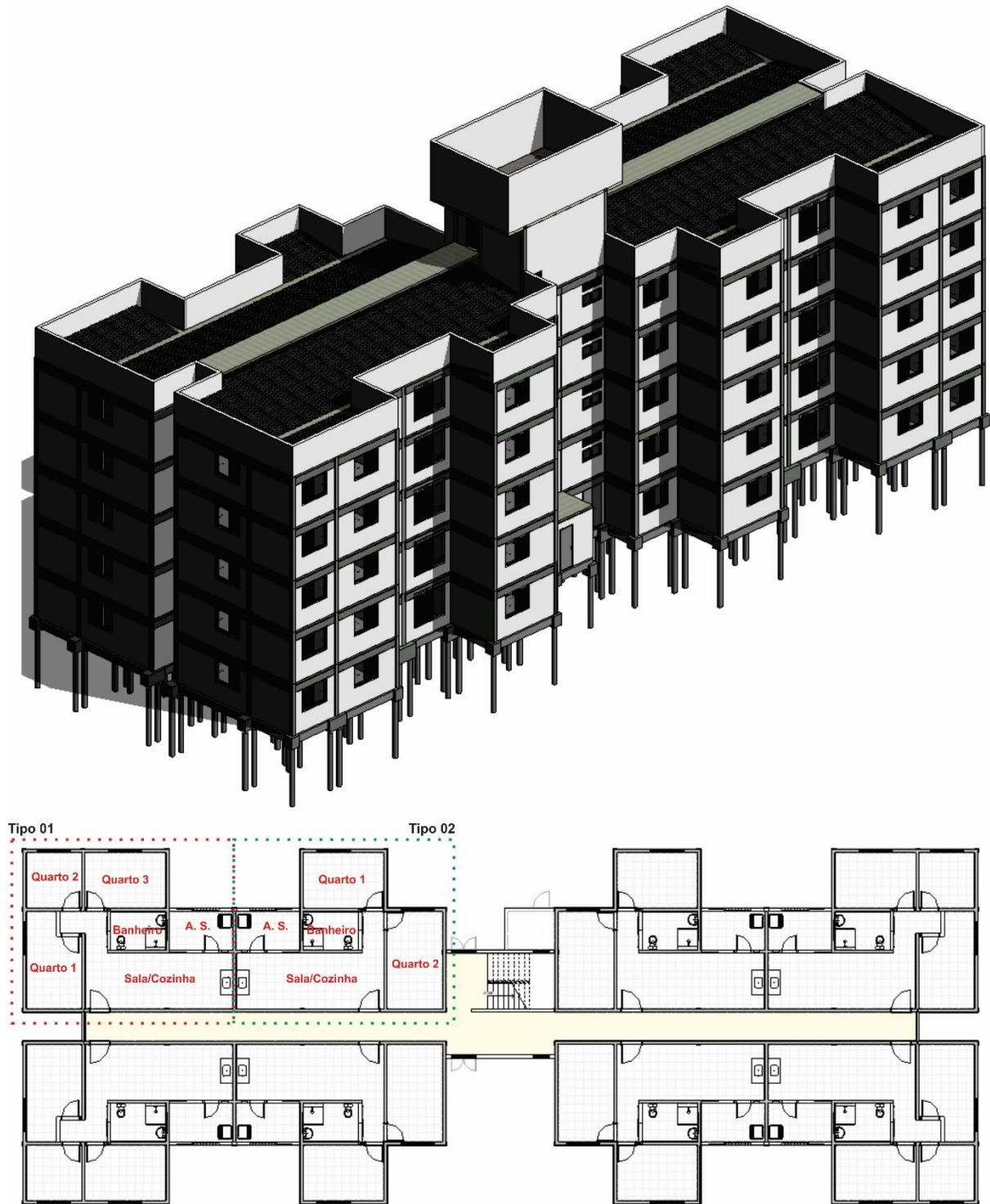
Por meio de um *script* de exportação de dados inseridos na estrutura criada, os dados resultantes da etapa anterior foram exportados automaticamente para planilhas do Excel. As planilhas tiveram a função de hospedar os resultados dos cálculos de cada proposta criada no modelo BIM. Estas informações extraídas foram separadas em linhas e colunas distintas para a realização das avaliações necessárias a respeito do desempenho térmico/acústico e de custos das vedações da edificação.

Este processo permitiu a criação de um banco de dados de diferentes soluções, pois o usuário criaria apenas uma nova folha dentro da planilha existente para guardar os resultados obtidos, assim, estes resultados auxiliariam na tomada de decisão durante o projeto.

### **3.2.5 Estudo de caso**

Para a validação da ferramenta foi utilizado como estudo de caso um modelo BIM 3D de uma habitação de interesse social (Figura 15). O modelo é de livre acesso e foi resultado de um acordo de cooperação entre Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp), Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) e Fundação Euclides da Cunha de Apoio à Universidade Federal Fluminense (FEC), direcionada ao programa Minha Casa, Minha Vida (ASBEA, 2013).

**Figura 15** – Modelo volumétrico e planta do estudo de caso



Fonte: Elaborada pelo autor.

O estudo de caso conta com um total de 40 unidades habitacionais, divididas em cinco pavimentos com oito unidades cada, servidos por corredores, um *hall* de acesso e uma escada de circulação de uso comum. As unidades são divididas em dois tipos: Tipo 1 – constituídas

por sala e cozinha integradas, três quartos, banheiro e área de serviço; Tipo 2 – constituídas por sala e cozinhas integradas, dois quartos, banheiro e área de serviço.

De modo geral, os processos de implementação, validação e avaliação foram realizados em duas etapas. A primeira etapa consistiu na implementação e teste da estrutura. Foi avaliado o funcionamento da estrutura inicialmente gerindo as informações do modelo original desenvolvido pelo MDIC a fim de validar o funcionamento da ferramenta. Sequencialmente foram simuladas três propostas (A, B e C) baseadas nos resultados da implementação da estrutura, alterando-se as composições de elementos construtivos de acordo com os resultados simulados.

Na segunda etapa se buscou a generalização da solução criada para validar e avaliar sua eficácia. Sendo assim, foram convidados dois arquitetos para utilizar a estrutura criada e propor alterações no projeto do MDIC. Ao final da experiência foi solicitado a eles que respondessem quatro perguntas avaliativas:

- a) Quais as dificuldades no uso?
- b) Há potencialidades do uso da ferramenta no desenvolvimento de projeto?
- c) A estrutura auxilia na redução do tempo de projeto de avaliação?
- d) Há importância na integração da avaliação do desempenho com os custos?

E, por último, fez-se a discussão sobre a avaliação da eficácia da ferramenta com base nos resultados obtidos nas duas etapas. A descrição dos materiais e dos sistemas construtivos do modelo original MDIC está ilustrada na Tabela 16.

No Brasil há certa dificuldade para se encontrar dados técnicos relacionados ao desempenho térmico e acústico dos materiais construtivos brasileiros (TAKAHASHI, 2016), principalmente por falta de controle na produção de certos materiais da construção civil (exemplo: bloco cerâmico). Hoje existe um esforço para mobilizar a comunidade técnica nacional no sentido de que ofereçam suporte a essa falta de dados técnicos dos materiais por meio dos Programas Setoriais da Qualidade (PSQs) com o objetivo de avaliar novos produtos utilizados nos processos de construção e de disponibilizar tais informações à comunidade da construção. Os valores utilizados nas propriedades térmicas e acústicas foram retirados da literatura referenciando seus respectivos autores.

**Tabela 16 – Modelo original (Original)**

<b>Paredes Externas</b>		
<b>Componente 1</b>	<b>Componente 1</b>	<b>Componente 2</b>
Emboço	Bloco vazado de concreto 14x19x39	<b>Gesso</b>
Espessura (m): 0,02	Espessura (m): 0,14	Espessura (m): 0,008
Res. Térmica: 0,02	Res. Térmica: 0,151 W/(m.K)	Res. Térmica: 0,0145 W/(m.K)
Capacidade térmica: 7,8 kJ/m <sup>2</sup> K	Capacidade térmica: 158,3 kJ/m <sup>2</sup> K	Capacidade térmica: 40 kJ/m <sup>2</sup> K
Rw do sistema: 45 dB (Fonte: Santos, 2013)		
<b>Paredes internas</b>		
<b>Componente 1</b>	<b>Componente 2</b>	<b>Componente 3</b>
<b>Gesso</b>	Bloco vazado de concreto 14x19x39	<b>Gesso</b>
Espessura (m): 0,008	Espessura (m): 0,14	Espessura (m): 0,008
Res. Térmica: 0,0145 W/(m.K)	Res. Térmica: 0,151 W/(m.K)	Res. Térmica: 0,0145 W/(m.K)
Capacidade térmica: 40 kJ/m <sup>2</sup> K	Capacidade térmica: 158,3 kJ/m <sup>2</sup> K	Capacidade térmica: 40 kJ/m <sup>2</sup> K
Rw do sistema: 45 dB Santos (2013).		

Fonte: Elaborada pelo autor.

Fecha-se o ciclo regulador, tendo uma estrutura geral de um processo racional de resolução de problemas: análise da situação atual e das metas de mudança necessárias, propondo possíveis alterações para atingir essas metas, avaliando as alterações possíveis e em seguida, reiniciar o ciclo para identificar, dentro da estrutura, onde há possibilidade de melhoria no processo da gestão das informações.

## CAPÍTULO 4 - RESULTADOS

Os resultados apresentados são referentes ao processamento dos dados das etapas propostas no método. Os resultados obtidos por meio dos questionários foram tratados estatisticamente a fim de validá-los, buscando conhecer o cenário nacional em relação ao conhecimento dos arquitetos referente à norma de desempenho.

Também são apresentados e discutidos os resultados da construção da ferramenta de gestão da informação para simular o desempenho térmico e acústico das vedações verticais, avaliando-se o custo durante as etapas iniciais de projeto, mostrando a importância da sua implantação para a melhoria do desempenho final e a redução de custos na etapa de projeto, auxiliando no controle e na tomada de decisão.

### 4.1 QUESTIONÁRIO DE VALIDAÇÃO

Após estabelecer o tamanho da amostra, os questionários foram enviados a 96 arquitetos brasileiros que atuam no mercado de projeto arquitetônico na busca do entendimento sobre a influência ocasionada pela NBR 15575 (2013). Do total, foram recebidos 39 questionários, que foram validados e analisados. A taxa de resposta foi de 40% do total da amostra que participou do estudo, sendo que, para o setor da construção civil, taxas de respostas entre 20% e 30% são consideradas consistentes (RAJEH et al., 2015; YANG et al., 2010; AKINTOYE, 2000).

#### 4.1.1 Identificações dos impactos no desenvolvimento do projeto

O  $\alpha$ -Cronbach para cada grupo de fatores, o p-valor, o RII e o *rank* de cada fator relacionado ao desenvolvimento do projeto estão resumidos na Tabela 17. Esses fatores foram classificados de acordo com o índice de importância relativa (RII), que variou entre 0,356 e 0,938.

**Tabela 17-** Pontuação das respostas, coeficiente alpha, média, desvio padrão, significância, RII e *ranking* dos fatores que impactam no desenvolvimento do projeto de arquitetura com os requisitos da norma de desempenho

Grupo de fatores	Número	Fatores	$\alpha$ -Cronbach*	Média	RII	Rank
Atuação profissional	PT08	Você tem por hábito consultar as Normas Técnicas da ABNT?	0,628	3,325	0,831	8
	PT09	Os estagiários que trabalham com você costumam chegar com a prática de adotar e seguir as NBRs?		2,050	0,513	23
	PT10	O escopo de seus contratos, propostas de honorários ou RRT-CAU, costuma ter clareza de suas responsabilidades?		3,575	0,894	5
	PT11	Os contratantes, para os quais trabalha, têm respeitado as especificações dos projetos?		3,075	0,769	11
	PT12	Sua empresa já implementa a NBR 15.575?		2,450	0,613	17
Familiaridade com a norma	NO01	Quão familiarizado você está com a Norma de Desempenho NBR15.575/2013?	0,705	2,600	0,867	6
Reflexos que a norma pode gerar	NO03	Tempo de desenvolvimento de projeto.	0,617	3,200	0,800	9
	NO04	Nos custos do projeto.		3,375	0,844	7
	NO05	Nos honorários.		2,650	0,663	16
	NO06	Irá trazer maior valorização dos profissionais arquitetos na sociedade civil.		3,025	0,756	12
Exigências aos arquitetos que podem alterar	NO07	Conhecimento prático.	0,752	3,750	0,938	1
	NO08	Conhecimento teórico.		3,725	0,931	2
	NO09	Adoção de novas tecnologias.		3,725	0,931	2
	NO10	Adoção de novos métodos.		3,625	0,906	3
Problemas encontrados na elaboração de projetos de Desempenho ambiental	DA06	Preço elevado dos materiais relacionados ao desempenho ambiental para o consumidor.	0,714	2,900	0,725	14
	DA07	Preço dos programas e equipamentos.		2,800	0,700	15

<b>Grupo de fatores</b>	<b>Número</b>	<b>Fatores</b>	<b><math>\alpha</math>-Cronbach*</b>	<b>Média</b>	<b>RII</b>	<b>Rank</b>
	DA08	Desvalorização dos projetos de desempenho ambiental.		3,050	0,900	4
	DA09	Horários inadequados para as medições.		2,075	0,519	22
	DA10	Falta de conhecimentos na formação dos arquitetos.		2,975	0,744	13
	DA11	Ausência de uma legislação coerente.		2,425	0,606	18
	DA12	Ausência de uma fiscalização eficiente.		3,100	0,775	10
	DA13	Preço elevado dos honorários profissionais.		2,275	0,569	20
	DA14	Ausência de materiais de qualidade.		2,400	0,600	19
	DA15	Ausência de mão de obra qualificada.		2,975	0,744	13
Desempenho térmico	DA20	NBR 15.220	0,831	2,250	0,563	21
	DA21	ISO 8302		1,500	0,375	30
	DA22	EN 12898		1,425	0,356	32
Desempenho acústico	DA23	NBR 10152	0,880	1,800	0,450	27
	DA24	NBR 10151		2,000	0,500	25
	DA25	EN 12354		1,600	0,400	29
Desempenho lumínico	DA26	NBR 5413	0,882	2,025	0,506	24
	DA27	NBR 15215		1,875	0,469	26
	DA28	ISO 5034		1,625	0,406	28

\*O coeficiente total  $\alpha$ -Cronbach é de 0,713

\*\*Nível de significância: 95% (bilateral), valor do teste = 3, graus de liberdade = 39

Fonte: Elaborada pelo autor.



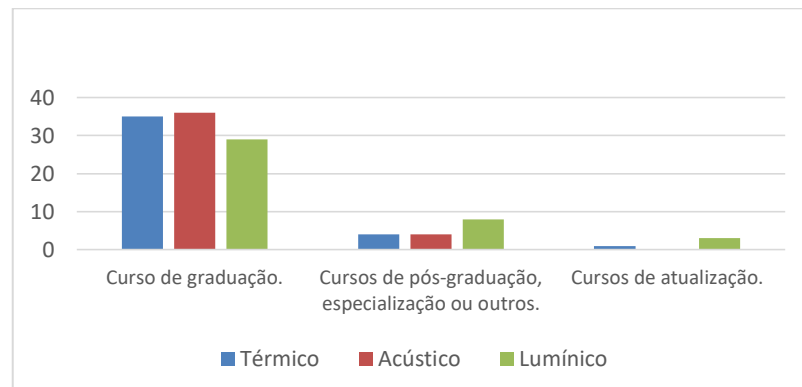
A média dos resultados da análise  $\alpha$ -Cronbach para os 33 itens é 0,713, indicando uma confiabilidade interna aceitável e consistência do conjunto de dados. O questionário consistiu em oito grupos de fatores: atuação profissional, familiaridade com a norma, reflexos que a norma pode gerar, exigências aos arquitetos que podem alterar o projeto, problemas encontrados na elaboração de projetos de desempenho ambiental, desempenho térmico, desempenho acústico e desempenho lumínico. Cada um tinha um coeficiente alfa maior que 0,6 – considerado confiável, permitindo a continuação da análise dos resultados.

De acordo com a literatura, o valor de RII pode variar entre 0 e 1; quanto maior o seu valor, mais importante foi a causa dos impactos no projeto. O fator relacionado ao ‘conhecimento prático’ foi classificado em primeiro pelos entrevistados (RII=0,938), o ‘conhecimento teórico’ e a ‘adoção de novas tecnologias’ ficaram empatados em segundo (RII=0,931) e a ‘adoção de novos métodos’ em terceiro (RII=0,906).

Os fatores elencados nos resultados vão ao encontro das afirmações de Schade et al. (2013) e de Gray e Hughes (2012), onde as normativas mudam o modo como os arquitetos trabalham, necessitando também de uma mudança na maneira com que os profissionais são educados. Fatores que podem estar relacionados ao aumento da complexidade dos projetos e com a necessidade de conhecimentos especializados demandados no processo projetual.

Estas afirmações também são verdadeiras, de acordo com Serra e Tenório (2015), pois os autores relatam que na implantação dos códigos de desempenho na Espanha os principais problemas encontrados pelos projetistas e agentes correlatos foram a dificuldade na adoção de novas tecnologias e de métodos de avaliação de desempenho, todos relacionados ao conhecimento dos profissionais. Assim como no Brasil, a norma espanhola era prescritiva e não possuía métodos de verificação. Confirmando a ideia de que os arquitetos precisam urgentemente de novas metodologias e técnicas de suporte de projeto orientado para o desempenho que possam ser aplicadas nos estágios iniciais de projeto de forma eficiente e confiável (SHI; YANG, 2013).

Quando se trata das exigências relacionadas ao desempenho ambiental, o conhecimento adquirido a respeito do tema, grande parte dos participantes aponta que são oriundos dos cursos de graduação, indicando um baixo interesse por cursos de atualização e/ou pós-graduação na área, como se pode observar na Figura 16. Com a vigência da NBR 15575 (2013), os projetos relacionados ao desempenho ambiental passam a não mais serem complementares. Os requisitos ambientais devem ser previstos já na etapa do desenvolvimento do projeto, reforçando que a formação acadêmica dos arquitetos e a experiência profissional terão um impacto mais forte no desenvolvimento do projeto.

**Figura 16** – Nível de formação dos arquitetos entrevistados

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os fatores relacionados à busca por qualificação profissional estão correlacionados aos índices de conhecimento de normas, principalmente da área ambiental. Ao selecionar os fatores que os entrevistados consideraram menos importantes no desenvolvimento do projeto (Tabela 18), dos dez fatores analisados, oito estão relacionados com o conhecimento de normas técnicas de desempenho ambiental (térmico, lumínico e acústico).

De acordo com Wang et al. (2015), os projetistas abordam principalmente a funcionalidade e a estética, negligenciando os aspectos de conforto oferecido pelo desempenho ambiental de um edifício. Foi possível observar que as questões relacionadas ao desempenho ambiental ainda são uma lacuna durante a educação de engenheiros e arquitetos no quesito aspectos térmicos acústicos e de iluminação quando abordados nas instituições de ensino, sendo fatores que comprometem a habitabilidade da edificação.

**Tabela 18** - 10 fatores menos importantes que impactam no desenvolvimento do projeto de arquitetura

Número	Número	Fatores que influenciam	Grupo de fatores	RII	Rank
1	DA23	EN 12898	Desempenho térmico	0,356	31
2	DA22	ISO 8302	Desempenho térmico	0,375	30
3	DA26	EN 12354	Desempenho acústico	0,400	29
4	DA29	ISO 5034	Desempenho lumínico	0,406	28
5	DA24	NBR 10152	Desempenho acústico	0,45	27
6	DA28	NBR 15215	Desempenho lumínico	0,469	26
7	DA25	NBR 10151	Desempenho acústico	0,500	25
8	DA27	NBR 5413	Desempenho lumínico	0,506	24
9	PT09	Os estagiários que trabalham com você costumam chegar com a prática de adotar e seguir as NBRs?	Atuação profissional	0,513	23
10	DA09	Horários inadequados para as medições	Atuação profissional	0,519	22

Fonte: Elaborada pelo autor.

Ao avaliar os fatores relacionados à ‘atuação profissional’, é possível observar que as médias variam entre 2,05-3,58, o que indica que os entrevistados acreditam estar atuando de acordo com os fatores relacionados às consultas às normas, ao treinamento de estagiários e desenvolvendo projetos de acordo com a NBR 15575 (2013).

Em contrapartida, os resultados sobre o conhecimento das normas de desempenho ambiental obtiveram a média das respostas entre 1,43-2,98 e o RII entre 0,356-0,513, indicando que, no geral, os projetistas não conhecem as normas relacionadas a estes requisitos da NBR 15575 (2013). De acordo com Ahadzie et al. (2014), o principal fator para alcançar o projeto com desempenho adequado está no conhecimento do profissional, sendo um dos principais o conhecimento sobre leis e normas de projeto. A partir da afirmação desta autora, percebe-se uma contradição nos resultados apontados pelos projetistas quando afirmam que estão desenvolvendo projetos de acordo com a norma sem, no entanto, conhecerem os requisitos normativos de desempenho ambiental, considerando-os fatores de pouco impacto no projeto (Tabela 19).

**Tabela 19** - *Ranking* dos grupos de fatores que impactam no desenvolvimento do projeto de arquitetura com os requisitos da norma de desempenho

<b>Grupo de fatores</b>	<b>RII</b>	<b>Rank</b>
Exigências aos arquitetos que podem alterar	0,927	1
Familiaridade com a norma	0,867	2
Reflexos que a norma pode gerar	0,766	3
Atuação profissional	0,724	4
Problemas encontrados na elaboração de projetos de conforto ambiental	0,688	5
Desempenho lumínico	0,460	6
Desempenho acústico	0,450	7
Desempenho térmico	0,427	8

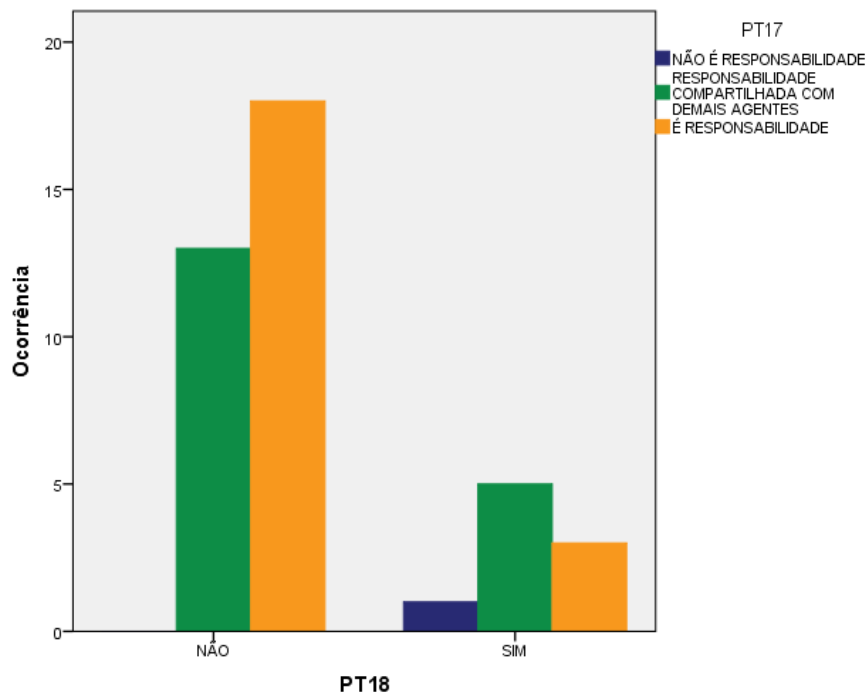
Fonte: Elaborada pelo autor.

Outro ponto importante a ser comentado: os fatores relacionados a custo e especificações não foram considerados fatores importantes no projeto pelos arquitetos. Um dos principais objetivos do projeto é avaliar possíveis alternativas de acordo com os custos estimados e rendimentos prospectivos (LIN; GERDER, 2014). Wang et al. (2015) realizaram uma pesquisa onde 85% dos entrevistados indicaram a disposição de pagar o custo adicional por uma melhor qualidade acústica em suas casas, sendo novamente o desempenho ambiental um fator crucial no desenvolvimento do projeto.

Em relação à responsabilidade no desenvolvimento de projetos de arquitetura que atendam aos requisitos de desempenho térmico, acústico e lumínico, se deveria ou não ser compartilhada com todos os envolvidos neste processo (

**Figura 17).** Observa-se que, mesmo os arquitetos não estando preparados para atender aos requisitos da norma, a maioria respondeu que é responsabilidade do arquiteto o desenvolvimento do projeto arquitetônico já prevendo o desempenho ambiental.

**Figura 17** – Correlação entre as responsabilidades dos projetistas e o preparo para o desenvolvimento do projeto de acordo com a norma

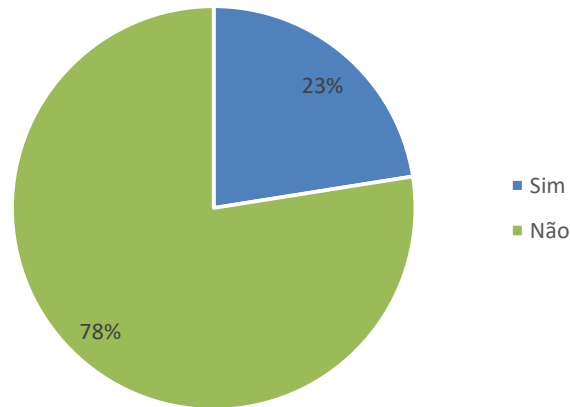


Fonte: Elaborada pelo autor.

A última pergunta do questionário foi uma questão objetiva e teve o intuito de questionar se os arquitetos estavam preparados para atender ao que diz a NBR 15575 (2013). Como resultado (Figura 18), 78% dos participantes acreditam que os profissionais de arquitetura não estão preparados para atender a norma brasileira de desempenho no quesito do desempenho ambiental. Este resultado reforça ainda mais a necessidade de mudança da prática profissional que está sendo desenvolvida atualmente.

Nota-se, na realidade apresentada pelos arquitetos projetistas, que, no âmbito do desempenho ambiental, ainda existe uma lacuna no conhecimento brasileiro inserida no mercado da construção civil que precisa ser vencida.

**Figura 18** - Os arquitetos estão totalmente preparados para atender a NBR 15575



Fonte: Elaborada pelo autor.

Miranda (2014) constatou, em sua pesquisa, que os escritórios de arquitetura da cidade de Pelotas (RS) desconhecem os componentes quanto à norma de desempenho, fato verificado no transcorrer das entrevistas aplicadas pela autora. Ela reconhece que, frente a essa realidade, ficaria impossível verificar as possíveis mudanças nas rotinas de trabalho dos escritórios de arquitetura e estimar a influência que a NBR 15575 (2013) causaria na prática profissional dos arquitetos e no mercado da construção. Já Chvatal (2016) afirma que ainda há a necessidade de estudos mais aprofundados que possam contribuir para o aprimoramento dos métodos de avaliação proposto pela norma.

#### **4.1.1.1 Arquitetos e o projeto baseado em desempenho**

Os resultados relacionados ao entendimento dos arquitetos e o desenvolvimento de projetos baseados em desempenho demonstraram que existe uma dificuldade dos profissionais no atendimento à norma quanto aos requisitos de desempenho ambiental no atual cenário brasileiro. Foi exposto que o principal fator que impacta negativamente no processo de desenvolvimento do projeto arquitetônico é o conhecimento, podendo este ser prático, teórico ou a falta de metodologias de avaliação de fácil entendimento. Estes fatores podem estar ligados à formação acadêmica dos profissionais, já que a norma é recente, podendo-se atribuir esta dificuldade a uma necessidade de atualização dos profissionais e de uma revisão da grade curricular dos cursos de arquitetura e urbanismo.

A respeito de quais seriam as atuações básicas e complementares dos arquitetos, os resultados ilustram que acima de 50% dos profissionais participantes elegeram o anteprojeto, projeto executivo e a assistência à execução das obras como atuações básicas que todos os profissionais da arquitetura deveriam exercer. Os projetos de desempenho ambiental e as demais opções foram eleitas como atuações complementares da profissão, demonstrando que o desempenho ambiental ainda é entendido como um requisito à parte, a ser atendido no processo de desenvolvimento dos projetos, reforçando, assim, a necessidade de mudança nas práticas atuais de projetar.

Outro ponto importante identificado foi a falta de entendimento dos profissionais a respeito do custo do desempenho ambiental em projeto. Quando questionados a respeito do custo gerado pelos projetos de desempenho ambiental, a grande maioria não soube responder à pergunta, fato também ilustrado nas pesquisas de avaliação de desempenho ambiental encontrados na revisão de literatura, onde a avaliação do custo das soluções raramente foi debatida.

Dentro do *rank* de fatores que mais impactam no projeto, têm-se a adoção de métodos avaliativos e de novas tecnologias. Estes resultados ilustram uma lacuna no processo projetual, demonstrando a dificuldade dos projetistas em se adequar às novas necessidades do mercado. De acordo com Melhado (2012), o setor e os agentes devem estar dispostos a implementar essas ferramentas de desempenho em suas práticas.

Além disso, as partes interessadas devem estar dispostas a cooperar uma com a outra, de modo a empregar um esforço colaborativo na produção de edifícios, já que os projetistas muitas vezes se mostram fortemente reativos às necessidades de melhoria da gestão. Até certo ponto, mas não abertamente, esses profissionais questionam a real necessidade de se fazer gestão, mesmo se essa necessidade for perceptível em sua própria prática diária.

A pesquisa realizada com os arquitetos ilustra um cenário formado pela dificuldade de atender à norma de desempenho; falta de conhecimento a respeito do atendimento do desempenho ambiental, principalmente na parte térmica e acústica; dificuldade na implantação de novas tecnologias no desenvolvimento de projetos, indicando uma falta de gestão da informação durante o processo projetual.

De acordo com Ruchel et al. (2013); Asl (2015); Ding et al. (2015); Kensek (2015); Shen et al. (2016) e Edirisinghe et al. (2017), os problemas citados podem ser solucionados com a implantação do BIM no processo projetual, tendo potencialidades de melhorias se integrada à programação visual para gerir o fluxo de informação no projeto baseado no desempenho, justificando os demais estudos realizados no trabalho.

## 4.2 A GESTÃO DO REQUISITO

Os resultados da GR determinaram as condições necessárias para resolver o problema aqui estudado, ou seja, identificando objetivos a serem desenvolvidos, tarefas/atividades, níveis de desempenho fundamentais para o desenvolvimento da estrutura proposta nesta pesquisa, definindo os requisitos necessários em projeto para viabilizar a simulação do desempenho térmico e acústico das vedações verticais no processo de projeto.

De forma sintética, a gestão do requisito neste trabalho consistiu em uma análise técnico-econômica da viabilidade de se desenvolver o objetivo principal da tese, ou seja, a ferramenta. Foram avaliados diversos fatores, como, por exemplo: as informações existentes no projeto, os requisitos das equações avaliativas, os parâmetros existentes no BIM, as condicionantes externas, a existência de informações a respeito das características físicas dos materiais, custos, entre outros. Resultando em um processo onde a gestão dos requisitos aparece de forma mais consistente durante o desenvolvimento da ferramenta, isto está explicado de forma mais aprofundada nas próximas seções.

## 4.3 A ESTRUTURA

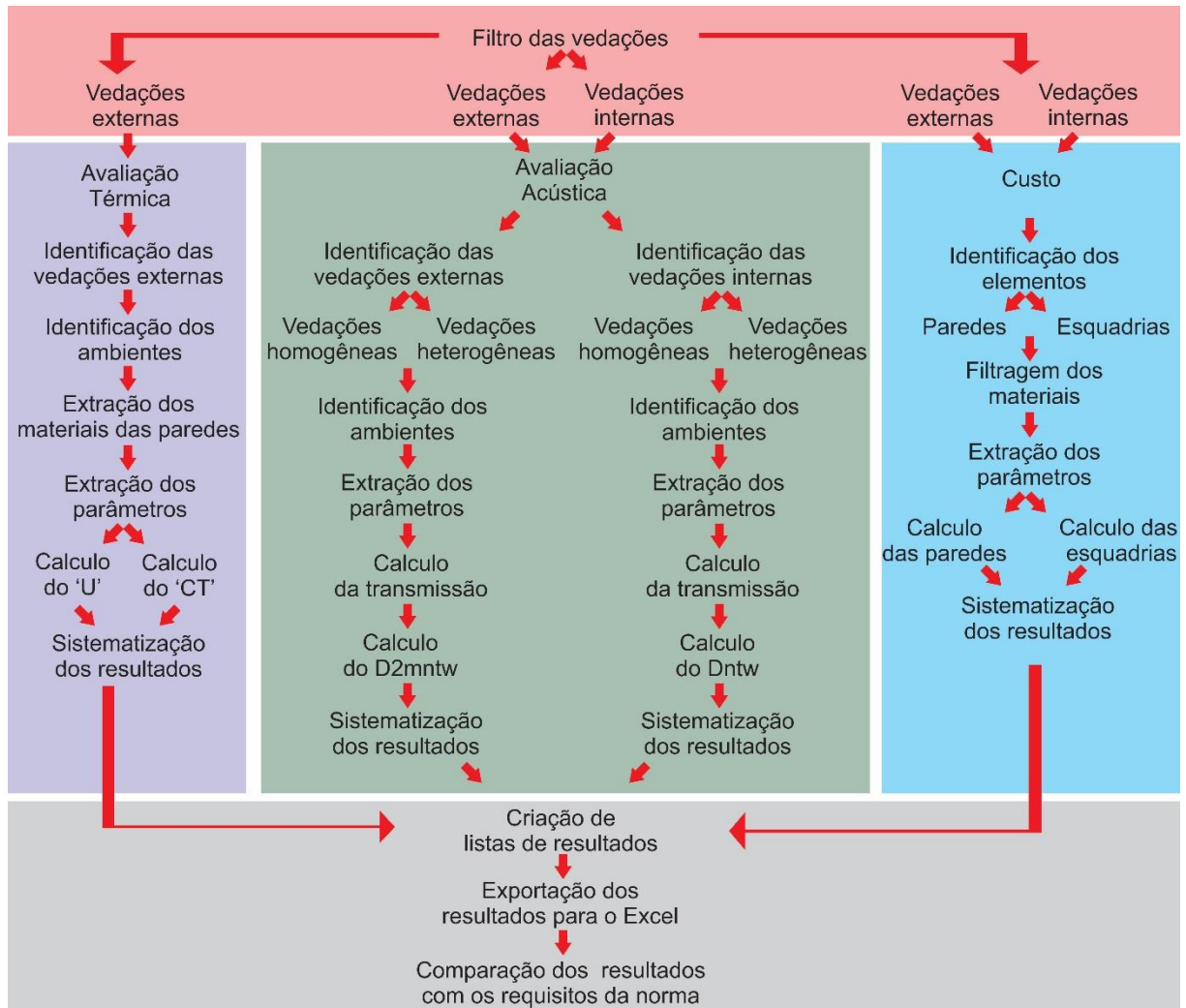
Os resultados apresentados referentes à aplicação do questionário apontaram a necessidade de novos métodos e técnicas que darão suporte ao projeto em relação ao cenário observado. O uso da linguagem de programação visual (VPL) integrada ao BIM se tornou uma estratégia de personalização do projeto por possibilitar uma ampla variedade de soluções ao sistematizar os requisitos avaliativos e auxiliar a tomada de decisão diante dos problemas de projeto.

Negendahl (2015) afirma que os arquitetos estão usando cada vez mais a VPL e outros ambientes de *script* que definem o método paramétrico de exploração de projeto. As abordagens generativas, paramétricas e algorítmicas possuem uma capacidade de automatizar a geração de composições geométricas avançadas por meio do VPL, podendo ser ferramentas poderosas que aumentam a criatividade e a produtividade dos projetistas, o que justifica, novamente, a escolha do VPL para este trabalho.

Como descrito na metodologia, foi construída uma estrutura para gerenciar o fluxo de informações do modelo BIM utilizando a programação visual a fim de prever o desempenho térmico e acústico das vedações verticais, avaliando o custo das decisões projetuais. Ao final

do processo, a lógica da ferramenta foi construída em cinco sistemas principais. A Figura 19 ilustra todas as relações de comandos criadas no Dynamo para viabilizar a ferramenta.

**Figura 19** - Lógica da ferramenta desenvolvida



Fonte: Elaborada pelo autor.

O esquema foi construído de acordo com o fluxo descrito na metodologia, iniciando o processo de gestão da informação com a identificação e filtragem das vedações verticais. Sequencialmente as informações foram gerenciadas e distribuídas nos três sistemas de análises; térmica, acústica e custo. Ao final do processo de cálculo de cada um dos sistemas as informações foram sistematizadas em forma de listas de resultados e exportadas automaticamente para planilhas de Excel, onde os resultados foram comparados com os requisitos normativos da NBR 15575(2013) dispostos no capítulo de revisão da literatura.

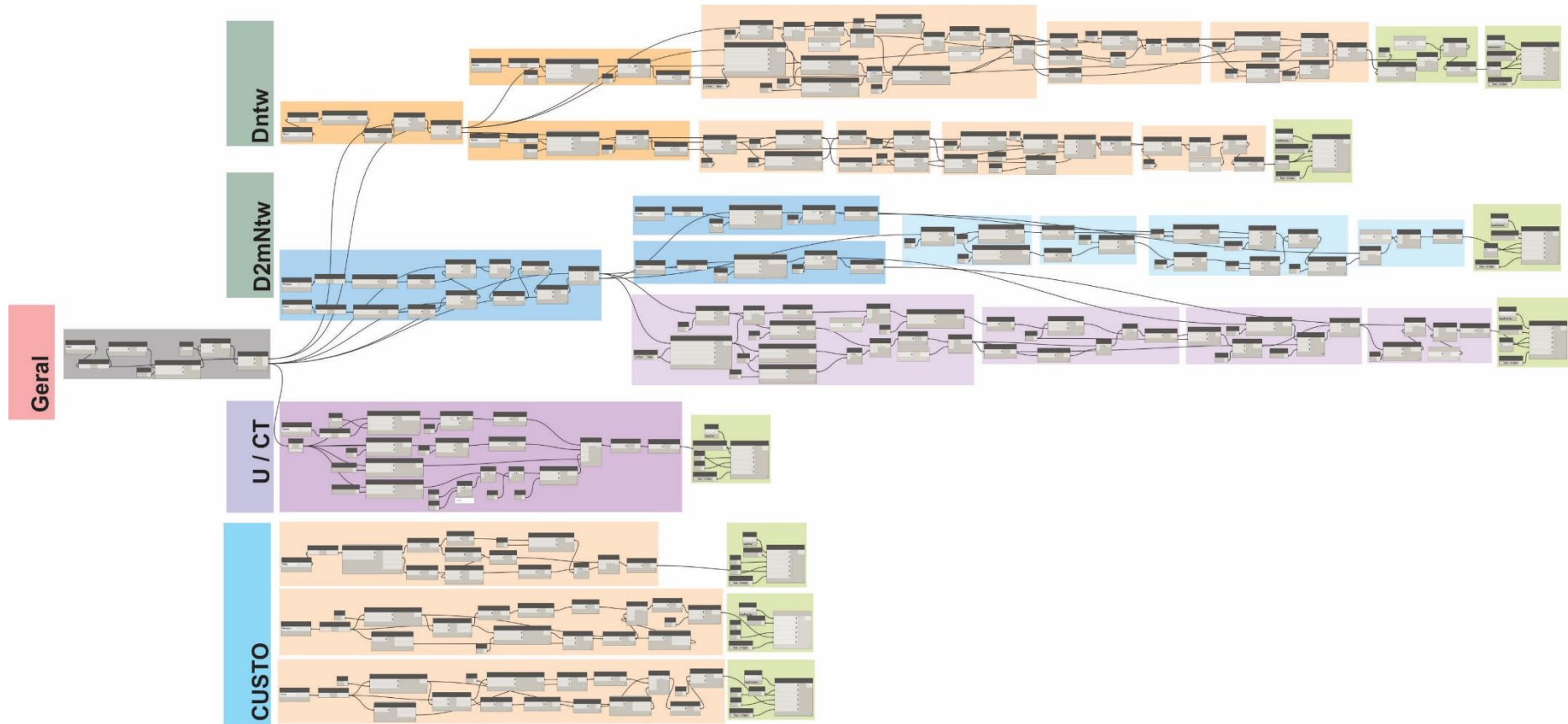
A Figura 20 demonstra a área de trabalho do *software* Dynamo, ilustrando a estrutura criada no VPL baseada no fluxo descrito na metodologia. O intuito do uso da figura foi o de



ilustrar a quantidade de relações entre os ‘nós’ criados no VPL, pois o programa não permite exportar uma imagem com mais detalhes devido à dimensão da mesma.

O fluxo de informação foi baseado na gestão dos requisitos identificada na etapa anterior, de acordo com o apresentado na Figura 20. O fluxo da informação tem início em um sistema geral, onde são identificadas todas as vedações verticais que existem no modelo BIM 3D; sequencialmente os outros quatros sistemas (Desempenho térmico - U e CT, Desempenho Acústico de Fachadas -  $D_{2mnTw}$ , Desempenho Acústico de vedações internas –  $D_{nTw}$  e Custo) são executados todos ao mesmo tempo.

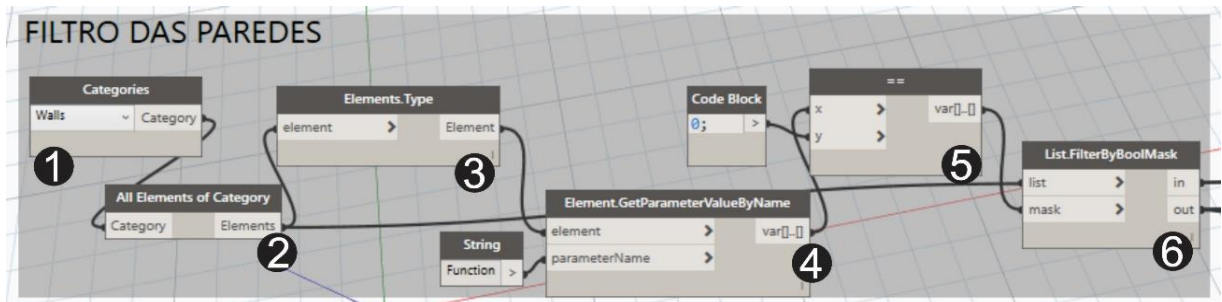
Figura 20- Demonstração do VPL construído



Fonte: Elaborada pelo autor.

A título de exemplificação mais detalhada, a Figura 21 apresenta o sistema inicial de filtragem das paredes, demonstrando todas as relações criadas pelos ‘nós’ utilizados no Dynamo.

**Figura 21** – Exemplo do bloco de comando criado no Dynamo para filtrar as paredes



Fonte: Elaborada pelo autor.

A execução da programação visual nesta etapa seguiu a seguinte lógica de processamento:

- a) O ‘nó’ de Categorias (*Categories*) executa ações que buscam todas as categorias de paredes (*Walls*) dentro do modelo BIM;
- b) Sequencialmente, executa-se um comando (*All Elements of Category*) que identifica todos os elementos da categoria parede;
- c) Identificam-se os tipos de elementos (*Element Type*) que compõem a categoria paredes;
- d) Em sequência, estabelece-se uma regra de identificação das paredes pelo parâmetro dado como valor ‘função’ (*Element Get Parameter Value By Name*), possibilitando a separação das paredes externas das internas;
- e) Faz-se o agrupamento das paredes separadas pela variável ‘função’ (o ‘nó ==’ tem a função de ‘*equal to*’, verificando se os dados são iguais a regras estabelecidas na programação);
- f) Por fim, as paredes são filtradas e separadas em duas listas de saída (*List Filter by Bool Mask*), lista de paredes externas e lista de paredes internas.

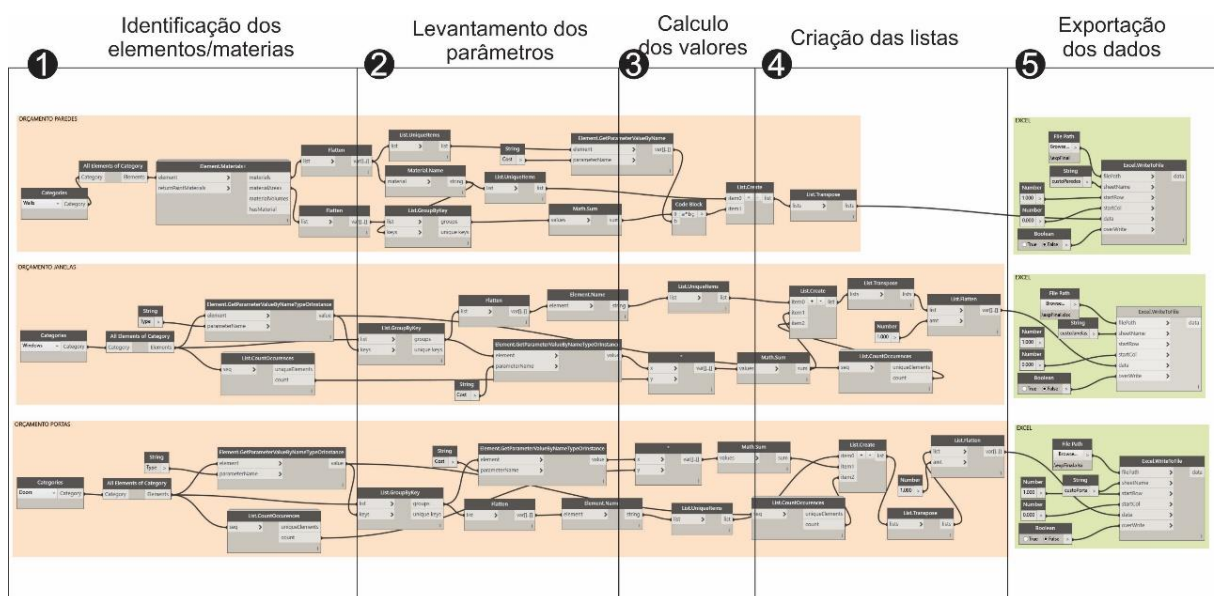
Devido à dimensão e à quantidade de relações criadas no VPL, os outros quatro sistemas serão explicados a seguir de forma mais ampla, ilustrando o fluxo de informação em cada um de acordo com suas especificidades e com as dificuldades encontradas.

### 4.3.1 Custos

A estruturação dos ‘nós’ para a execução dos cálculos e, posteriormente, a extração dos custos teve início com um estudo a respeito de como o Revit trabalha este requisito. Identificou-se que o *software* já possui o parâmetro de custo inserido em seu sistema, podendo ser quantificado por elemento construtivo ou pela quantidade de materiais, ficando a cargo do usuário apenas a inserção dos valores correspondentes.

Porém, o Revit quantifica o custo de alguns tipos de materiais em m<sup>3</sup>, como, por exemplo, o emboço. No entanto, nas Tabelas SINAPI o emboço é calculado em m<sup>2</sup>, sendo necessária a criação de um sistema de conversão de unidades no VPL para os cálculos dos quantitativos dos materiais com este tipo de restrição. O sistema de avaliação de custo está ilustrado na Figura 22.

**Figura 22** – Grupo de blocos de comandos para a estruturação do custo no VPL



Fonte: Elaborada pelo autor.

O fluxo de informação para se avaliar o custo foi construído seguindo cinco etapas:

- Identificação dos elementos e materiais: esta etapa foi necessária pois o cálculo de portas e janelas foi realizado por unidade do elemento construtivo e as paredes pela metragem quadrada dos materiais de composição, indispensável sua separação por tipo de insumo;
- Levantamento dos parâmetros: etapa de extração dos preços e áreas dos materiais e número de elementos;

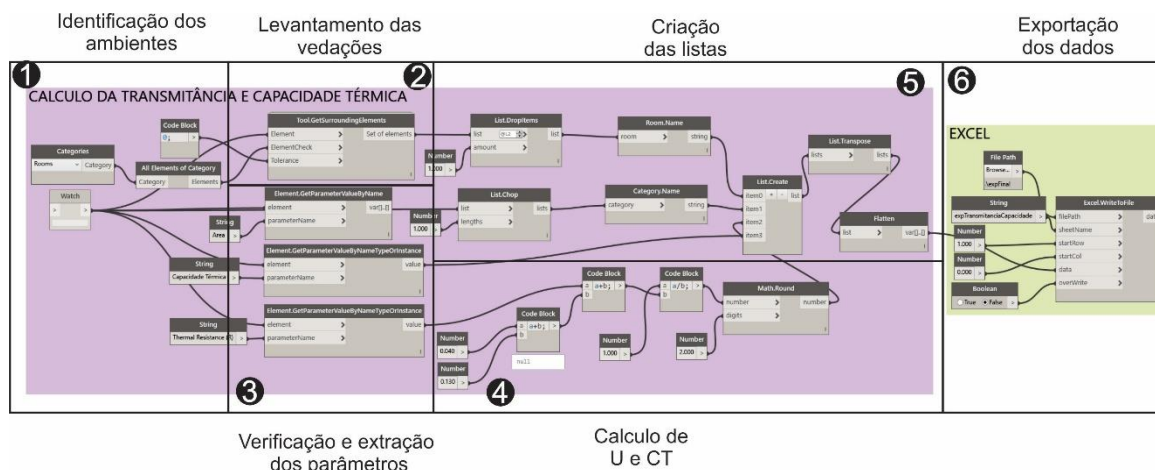
- c) Cálculo dos valores: basicamente calculada pela relação preço x área/nº unidade extraída da etapa anterior;
- d) Criação das listas: etapa de separação dos valores calculados por tipo de elementos e materiais construtivos em diferentes categorias. Posteriormente foi realizada a soma de todos os insumos semelhantes;
- e) Exportação dos dados para as planilhas do Excel.

### 4.3.2 Desempenho térmico

Os requisitos de desempenho térmico para vedações verticais estabelecidos na NBR 15575 (2013) são apenas a Transmitância (U) e a Capacidade térmica (CT). A determinação da normativa estabelece que o U e o CT podem ser calculados seguindo o método estabelecido pela NBR 15220 (2005), como explicado na metodologia. Foi identificada a possibilidade de se calcular a transmitância térmica dos elementos construtivos diretamente no *software*, pois os campos das propriedades térmicas dos materiais existem, sendo necessária somente a inserção dos valores corretamente no *software*.

De acordo com a NBR 15220 (2005), é necessário realizar a soma das resistências do elemento construtivo às resistências superficiais externas e internas para calcular o valor final da transmitância, ação que o *software* não computa. Neste caso, esse cálculo final foi realizado no VPL, juntamente com o cálculo da capacidade térmica, utilizando-se os parâmetros inseridos no modelo BIM. A Figura 23 apresenta a estrutura de previsão térmica.

**Figura 23** - Grupo de blocos de comandos para a estruturação do desempenho térmico no VPL



Fonte: Elaborada pelo autor.

A execução da programação visual nesta etapa seguiu a seguinte lógica de processamento:

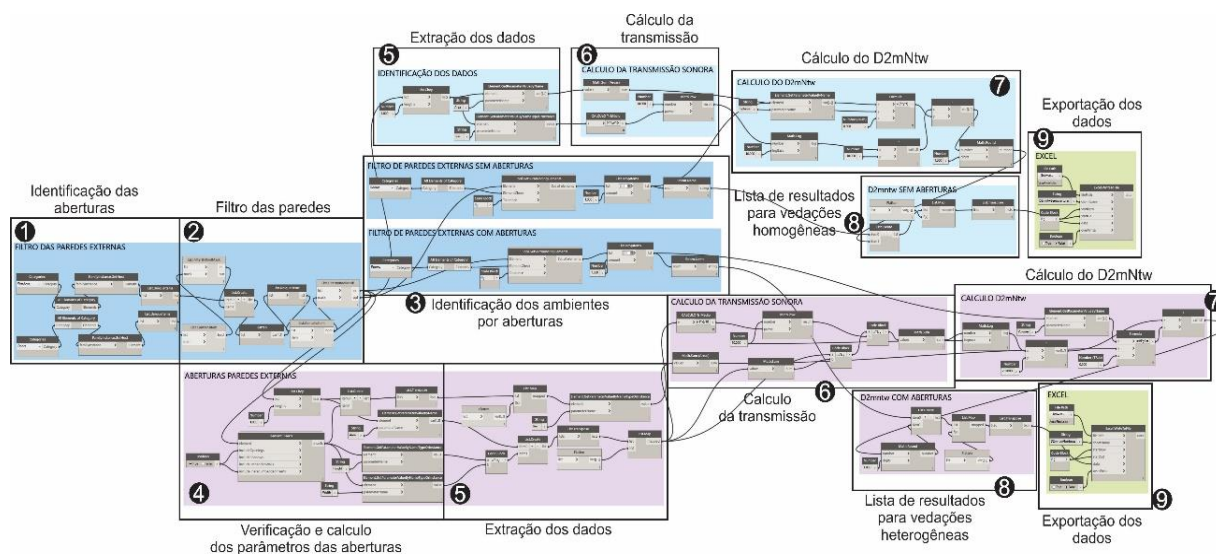
- a) Identificação dos ambientes: separação dos ambientes que possuem vedações externas;
- b) Levantamento das vedações externas: no caso da NBR 15575 (2013) os requisitos são atribuídos apenas aos elementos opacos, não havendo, assim, a necessidade de se separar vedações cegas e vedações com aberturas,
- c) Verificação e extração dos parâmetros: etapa de verificação se todas as propriedades térmicas e físicas necessárias para os cálculos, seguindo as equações previstas na NBR 15.220 (2003), estão preenchidas;
- d) Cálculo de U e CT: se todos os dados estiverem de acordo, executa-se o bloco de código que calcula os requisitos normativos seguindo as equações estabelecidas na NBR 15220 (2003).
- e) Criação das listas: separação dos valores calculados em suas respectivas paredes de acordo com os ambientes pertencentes.
- f) Exportação dos dados para as planilhas do Excel.

#### **4.3.3 Desempenho acústico**

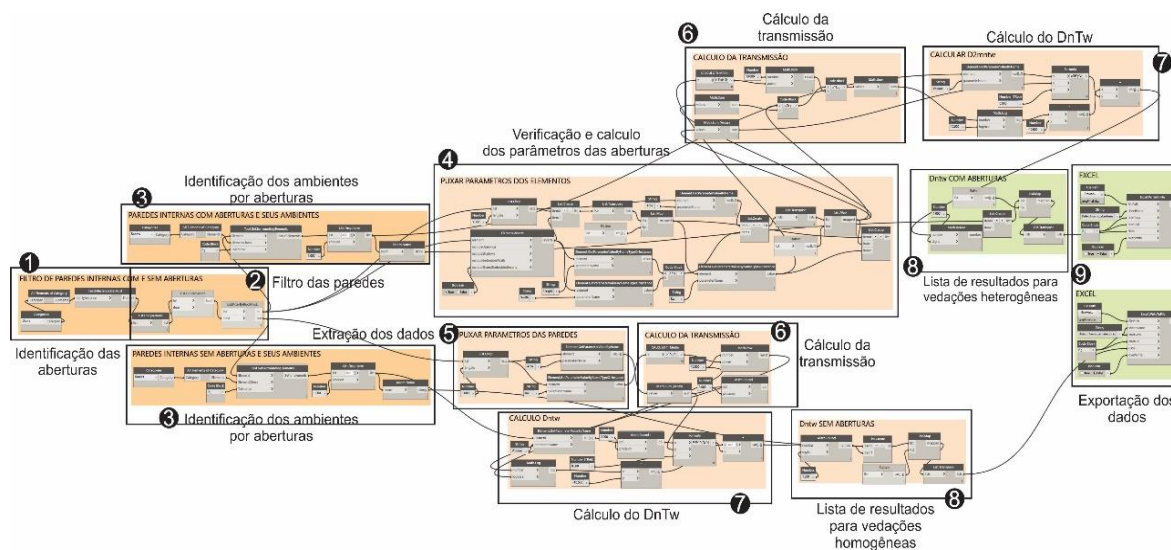
A previsão do desempenho acústico foi construída em duas etapas, como previsto na EN 12354 (2000), cálculo de previsão do  $D_{2mnTw}$  e do  $D_{nTw}$ . A seguir estão explicadas as estruturas de cada um dos sistemas de avaliação.

Diferentemente do desempenho térmico, o Revit não possui nenhum campo para o preenchimento da propriedade acústica dos materiais construtivos, sendo necessária a criação de todos os parâmetros necessários para viabilizar o cálculo de previsão do desempenho acústico no modelo 3D. Os fluxos das duas avaliações de previsão do desempenho acústico estão ilustrados nas Figuras 24 e 25.

**Figura 24** – Fluxo do  $D_{2mnTw}$  criado no Dynamo



**Figura 25** – Fluxo do  $D_{nTw}$  criado no Dynamo



Os processos de previsão do  $D_{2mnTw}$  e do  $D_{nTw}$  foram separados em duas estruturas distintas, porém ambos seguiram a mesma estruturação lógica de se avaliar separadamente as vedações heterogêneas e homogêneas. O fluxo de processamento das informações foi o seguinte:

- Identificação das aberturas: esta etapa é sequencial da primeira etapa geral de separação das vedações internas e externas, tendo o objetivo de identificar as vedações tanto internas quanto externas que possuem aberturas;

- b) Filtro das paredes: após a etapa anterior as vedações foram filtradas e separadas em listas por vedações com e sem aberturas;
- c) Identificação dos ambientes por aberturas: o objetivo desta etapa foi realizar um agrupamento das vedações dos ambientes com seus ambientes correspondentes. Esta ação foi muito importante, pois ao final do processo de previsão houve a dificuldade de se identificar quais resultados calculados correspondiam aos ambientes existentes;
- d) Verificação e cálculos dos parâmetros das aberturas: a principal função desta etapa foi verificar se todas as aberturas (portas e janelas) possuíam os parâmetros acústicos inseridos no Revit e se os mesmos estavam corretamente preenchidos;
- e) Extração dos dados: identificar e extrair as informações necessárias para alimentar as equações da norma EN 12354 (2000) nas etapas seguintes;
- f) Cálculo da transmissão: esta etapa foi criada para calcular o índice de transmissão média das vedações heterogêneas;
- g) Cálculo do  $D_{2mnTw}$  e  $D_{nTw}$ : se todos os dados estiverem de acordo, executa-se o bloco de código que calcula os requisitos normativos;
- h) Criação das listas: separação dos valores calculados em suas respectivas vedações de acordo com os ambientes pertencentes;
- i) Exportação dos dados para as planilhas do Excel.

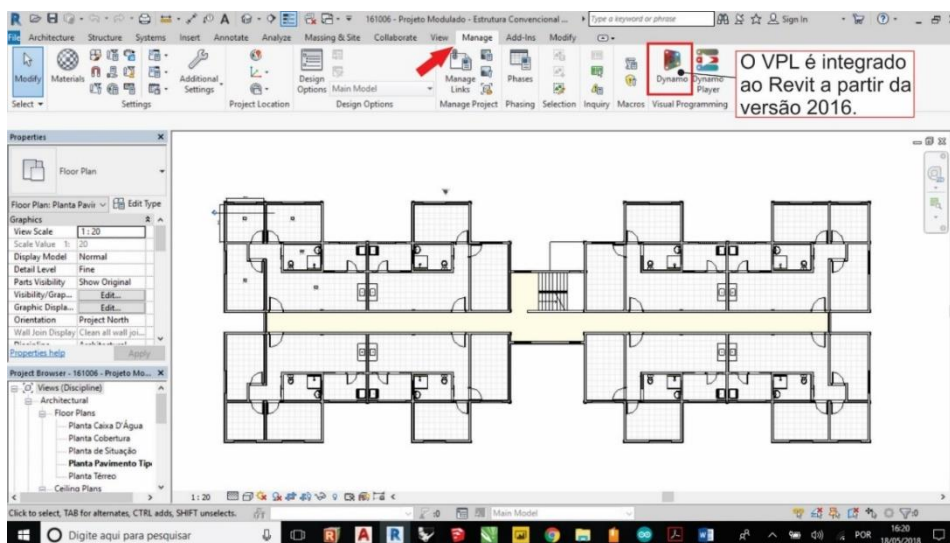
No caso das áreas de aberturas, as dimensões lineares das janelas e portas existem no modelo BIM, mas as áreas das esquadrias no Revit foram calculadas pela soma da área de todas as superfícies do elemento, sendo necessário um ‘nó’ para calcular apenas as dimensões de altura e largura. Outro fator determinante na filtragem das paredes foi a necessidade de criar famílias de paredes externas separadas das paredes internas no modelo para que fosse possível identificar em quais ambientes as paredes externas estavam hospedadas.

#### 4.3.4 O fluxo do uso da ferramenta

Para que a ferramenta tivesse êxito sua estrutura foi pensada para funcionar de forma simples utilizando a interface gráfica do Revit de forma autônoma. A Figura 26 ilustra a tela principal do Revit; na aba ‘*Manage*’ existe o ícone para acessar o Dynamo (VPL). Como explicado na metodologia, o Revit já possui o VPL integrado em seu sistema, sem a necessidade de instalação de *software* externo.



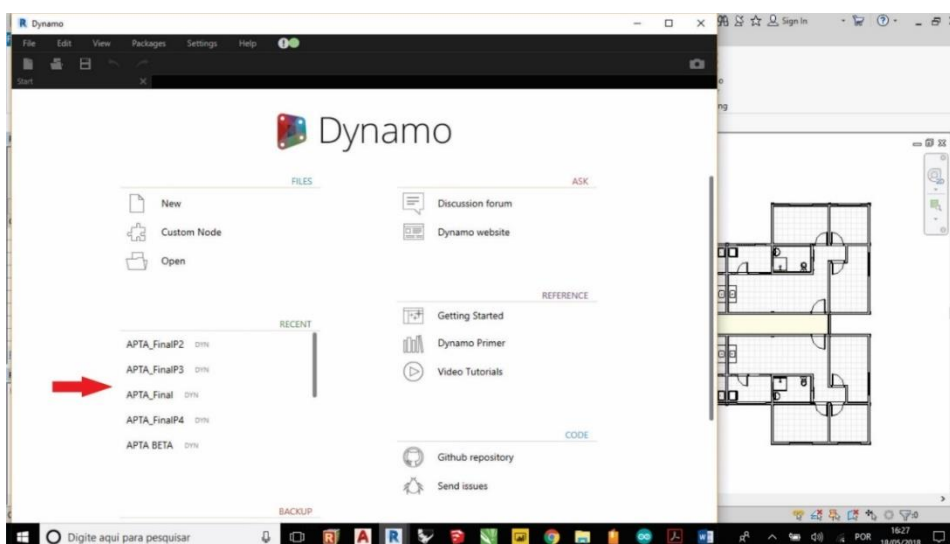
**Figura 26 - Tela principal do Revit**



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após o usuário clicar no ícone do Dynamo, abre uma nova tela de entrada com as opções básicas do sistema, como, por exemplo, iniciar um novo projeto ou abrir um projeto já construído (Figura 27).

**Figura 27 - Tela de entrada do Dynamo**

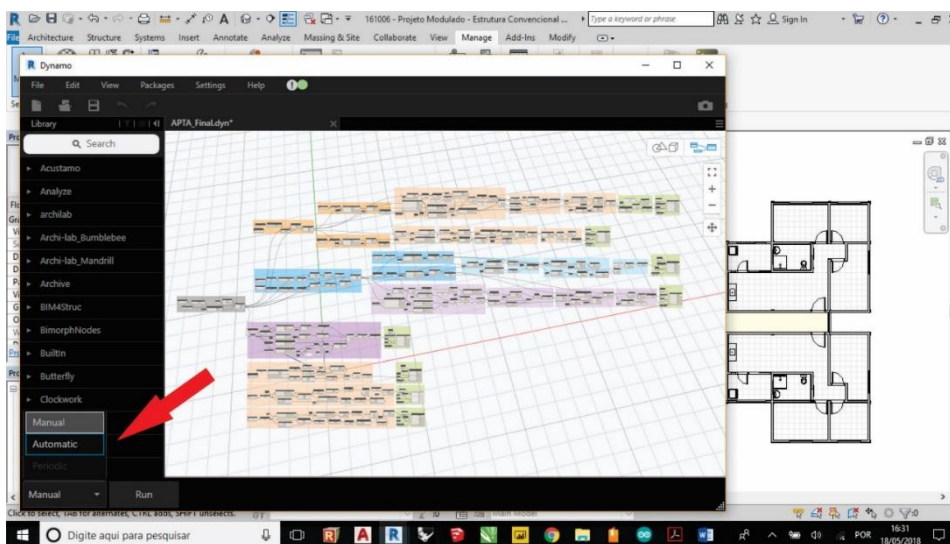


Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 28 ilustra a tela de criação do Dynamo já com a ferramenta criada. Nesta etapa o usuário pode escolher se deseja deixar a ferramenta rodando de forma automática ou manual, como indica a seta vermelha. A escolha da forma automática resulta em deixar a

ferramenta rodando durante o processo projetual, qualquer alteração nas vedações verticais no projeto será simulada em tempo real com a exportação dos resultados. A opção manual possibilita, ao usuário, a escolha de rodar a simulação quando ele achar necessário, apenas clicando no botão 'run'.

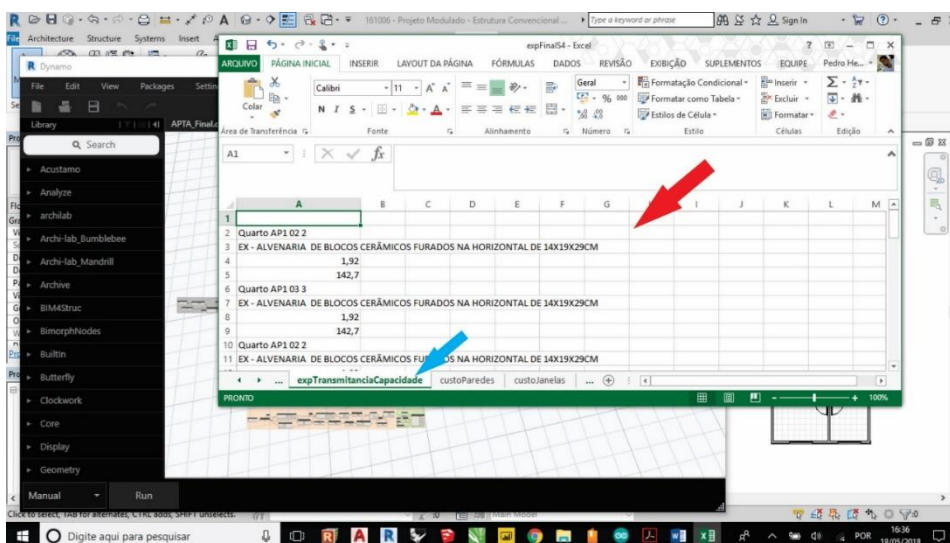
**Figura 28** - Tela de programação visual do Dynamo



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os dados simulados foram exportados para uma planilha de Excel. A Figura 29 ilustra uma planilha criada após a simulação. A mesma é criada e aberta automaticamente no *software* e os dados simulados são organizados em abas, como indica a seta azul.

**Figura 29** - Tela de dados exportados

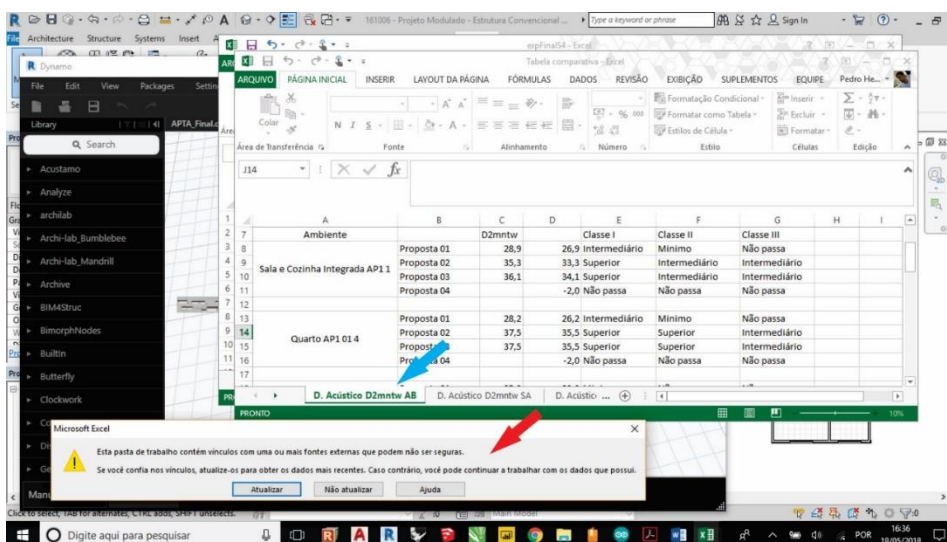


Fonte: Elaborada pelo autor.

E, por fim, os dados foram extraídos por uma segunda planilha de Excel, que faz a comparação com os requisitos normativos. Caso haja alguma alteração no projeto, gerando uma nova simulação, o Excel emite um aviso perguntando se o usuário deseja atualizar os resultados antigos (Figura 30), ficando a cargo do usuário a decisão de sobrescrever os dados antigos ou criar uma nova planilha, alimentando um banco de dados de soluções.

O processo ora explicado ilustra a simplicidade de se utilizar a ferramenta depois de sua criação, reforçando a potencialidade do uso do VPL no processo de projeto. A dinamicidade da ferramenta facilita o processo de projeto, ao mesmo tempo em que aumenta a qualidade e reduz o tempo gasto na avaliação do desempenho, devido à facilidade de uso da mesma.

**Figura 30** - Tela da tabela comparativa dos requisitos normativos



Fonte: Elaborada pelo autor.

Ao longo do processo de desenvolvimento da estrutura da ferramenta, o VPL demonstrou seu potencial de gerenciar o fluxo de trabalho – o uso do Dynamo como linguagem de *script* visual e o uso da Revit para criar uma ferramenta avaliativa – de forma exitosa. Cada etapa criada foi testada em um protótipo de teste, validando a automatização da extração e os procedimentos de cálculos criados no Dynamo. A extração das informações que correspondem exatamente ao seu elemento e o local em que ele está inserido foram o ponto chave de todo o desenvolvimento da ferramenta, sendo também a principal dificuldade vivenciada durante todo o desenvolvimento da mesma.

Identificar a influência negativa e propor a troca apenas de uma parede que não atendeu a um determinado requisito dentro de um determinado ambiente com certeza tem um impacto menor que a mudança de todo um sistema, tornando a tomada de decisão muito mais rápida e fácil, bem como reduzindo o tempo gasto no desenvolvimento dos projetos.

#### **4.4 VALIDAÇÃO DA ESTRUTURA**

Após a construção da estrutura automatizada para o fluxo de informação no VPL partiu-se para sua aplicação no estudo de caso, como mencionado anteriormente na metodologia. Com todos os dados atribuídos e verificados nos elementos do modelo BIM, os processos seguintes foram realizados automaticamente.

A edificação usada como estudo de caso, descrita anteriormente, possui cinco pavimentos, oito unidades habitacionais por pavimento, sendo quatro unidades de três quartos e quatro unidades de dois quartos, limitando assim, a previsão do desempenho às tipologias de unidades de três e dois quartos, entendendo que os resultados das demais unidades serão iguais aos dos dois modelos avaliados.

Como forma de validação da estrutura desenvolvida no VPL foram feitas quatro simulações de desempenho, uma simulação sobre o modelo original e outras três simulações alterando-se algumas características construtivas do modelo original. A título de exemplificação, os resultados de todas as simulações foram exportados para planilhas do Excel. A Figura 31 ilustra os resultados exportados da simulação do desempenho acústico  $D_{2mnTw}$ , demonstrando que, ao final do processo, os resultados são agrupados por tipo de ambiente e informando ao usuário o desempenho simulado no projeto.

**Figura 31** - Exemplo da planilha final exportada do Dynamo para o Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2						Classe do ruído		
3					i	ii	iii	-2
4					20	25	30	
5		APARTAMENTO 3 QUARTOS			25	30	35	
6		AMBIENTES COM ABERTURAS		CORRIGIDO	30	35	40	
7		Ambiente	D2mntw		Classe I	Classe II	Classe III	
8		Sala e Cozinha Integrada AP1 1	Proposta 01	28,9	26,9 Intermediário	Mínimo	Não passa	
9	Proposta 02		35,3	33,3 Superior	Intermediário	Intermediário		
10	Proposta 03		36,1	34,1 Superior	Intermediário	Intermediário		
11	Proposta 04		36,1	34,1 Superior	Intermediário	Intermediário		
12		Quarto AP1 01 4	Proposta 01	28,2	26,2 Intermediário	Mínimo	Não passa	
13	Proposta 02		37,5	35,5 Superior	Superior	Intermediário		
14	Proposta 03		37,5	35,5 Superior	Superior	Intermediário		
15	Proposta 04		37,5	35,5 Superior	Superior	Intermediário		
16		Quarto AP1 02 2	Proposta 01	25,9	23,9 Mínimo	Não passa	Não passa	
17	Proposta 02		35,7	33,7 Superior	Intermediário	Intermediário		
18	Proposta 03		35,6	33,6 Superior	Intermediário	Intermediário		
19	Proposta 04		35,6	33,6 Superior	Intermediário	Intermediário		
20								
21								
22								

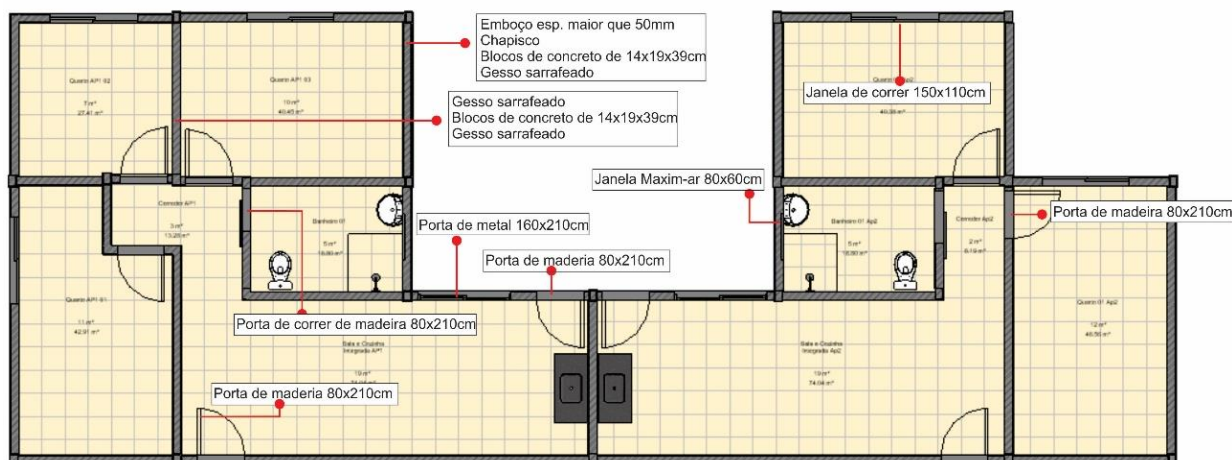
■ Todos os resultados no mesma planilha

Fonte: Elaborada pelo autor.

Este processo facilita a tomada de decisão pelos projetistas, já que eles podem avaliar diferentes resultados em um mesmo documento. A automação da gestão do fluxo de informações separa os resultados em diferentes planilhas, organizando e alterando automaticamente os valores caso o projeto sofra alguma alteração. Porém, os resultados das simulações serão apresentados de acordo com a linha temporal que cada modelo foi criado, facilitando o entendimento de todo o processo de aplicação da ferramenta.

#### 4.4.1 Avaliação do modelo original

A primeira simulação seguiu exatamente as especificações encontradas no projeto desenvolvido pelo MDIC. A Figura 32 ilustra os ambientes com as especificações dos elementos e materiais construtivos. A composição, propriedades térmicas, acústicas e o custo final dos elementos construtivos que compõem as unidades habitacionais estão ilustrados na Tabela 20.

**Figura 32 - Modelo original e seus elementos construtivos**

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os valores de composição de custo foram levantados a partir das tabelas SINAPI, referente à região do Estado de Goiás, datada de março de 2018. As propriedades térmicas foram extraídas da NBR 15220 (2003) e os índices acústicos foram extraídos de Santos (2013).

**Tabela 20 – Informações do modelo original**

ELEMENTOS CONSTRUTIVOS	CUSTO	Rw (dB)	Rt (m <sup>2</sup> .K)/W
Alvenaria de vedação de blocos vazados de concreto de 14x19x39cm (espessura 14cm), para edificação habitacional unifamiliar (casa) e edificação pública padrão. Af_12/2014	57,11	42	0,18
Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 l, aplicada manualmente em panos de fachada com presença de vãos, espessura maior ou igual a 50 mm. Af_06/2014	66,11		
Chapisco aplicado em alvenaria (sem presença de vãos) e estruturas de concreto de fachada, com equipamento de projeção. Argamassa traço 1:3 com preparo em betoneira 400 l. Af_06/2014	6,08		
Aplicação manual de gesso sarrafeado (com taliscas) em paredes de ambientes de área entre 5m <sup>2</sup> e 10m <sup>2</sup> , espessura de 1,0cm. Af_06/2014	22,92		
Janela de alumínio de correr, 2 folhas, fixação com parafuso sobre contramarco (exclusive contramarco), com vidros, padronizada. Af_07/2016	757,24	18	-
Janela de alumínio maxim-ar, fixação com parafuso sobre contramarco (exclusive contramarco), com vidros, padronizada. Af_07/2016 80x60	501,00	22	-
Kit de porta de madeira para verniz, semi-oca (leve ou média), padrão médio, 80x210cm, espessura de 3,5cm, itens inclusos: dobradiças, montagem e instalação do batente, com fechadura - fornecimento e instalação. Af_08/2015	582,29	22	-
Porta de madeira 1a correr guarnição 15cm/alizar	535,00	25	-
Kit de porta de metal, padrão médio, 160x210cm, espessura de 3,5cm, itens inclusos: dobradiças, montagem e instalação do batente, com fechadura - fornecimento e instalação	750,00	24	-

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na sequência estão apresentados os resultados do modelo original.

**D<sub>2mnT,w</sub> – Vedações com aberturas**

Após a simulação, houve a exportação dos resultados do índice de isolamento das fachadas com aberturas. Em seguida os resultados foram comparados com os índices normativos estabelecidos pela NBR 15575 (2013), a Tabela 21 ilustra os dados obtidos.

**Tabela 21** - Desempenho acústico D<sub>2mnT,w</sub>

DESEMPENHO ACÚSTICO NAS UNIDADES – D <sub>2mnT,w</sub>						
APARTAMENTO 3 QUARTOS						
AMBIENTES COM ABERTURAS		D <sub>2mnTw</sub>	Corrigido	Classe I	Classe II	Classe III
Sala e Cozinha integrada AP1	Modelo original	28,9	26,9	Intermediário	Mínimo	Não atende
Quarto 01 AP1	Modelo original	28,2	26,2	Intermediário	Mínimo	Não atende
Quarto 02 AP1	Modelo original	25,9	23,9	Mínimo	Não atende	Não atende
Quarto 03 AP1	Modelo original	27,6	25,6	Intermediário	Mínimo	Não atende
APARTAMENTO 2 QUARTOS						
AMBIENTES COM ABERTURAS		D <sub>2mnTw</sub>	Corrigido	Classe I	Classe II	Classe III
Sala e Cozinha integrada AP2	Modelo original	28,9	26,9	Intermediário	Mínimo	Não atende
Quarto 01 AP2	Modelo original	26,9	24,9	Mínimo	Não atende	Não atende
Quarto 02 AP2	Modelo original	27,6	25,6	Intermediário	Mínimo	Não atende

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os resultados demonstram que, para a Classe I, todas as vedações verticais das fachadas com aberturas atenderiam à norma, tendo as vedações dos Quartos 02 do AP1 e 01 do AP2 os menores resultados, obtendo, ambos, o desempenho mínimo. Já em relação aos índices da Classe II, as fachadas dos Quartos 02 AP1 e 01 do AP2 não atenderiam à norma, tendo as demais vedações o desempenho mínimo. Para a Classe III as vedações verticais com aberturas de nenhuma unidade habitacional atenderiam à norma, demonstrando que, para áreas de ruído intenso, as soluções projetuais teriam um desempenho insuficiente.

### $D_{2mnT,w}$ - Vedações sem aberturas

Diferentemente dos resultados do  $D_{2mnT,w}$  da simulação anterior, as vedações sem aberturas apresentam valores de desempenho superior (Tabela 22) em todos os ambientes simulados, fato explicado pelo índice de isolamento  $R_w$  que a parede proposta no projeto possui.

**Tabela 22** -  $D_{2mnT,w}$  para fachadas sem aberturas

<b>APARTAMENTO 3 QUARTOS</b>						
<b>AMBIENTES SEM ABERTURAS</b>		$D_{2mnT,w}$	Corrigido	Classe I	Classe II	Classe III
Quarto 01 AP1	Modelo original	46,8	44,8	Superior	Superior	Superior
Quarto 02 AP1	Modelo original	46,1	44,1	Superior	Superior	Superior
Quarto 03 AP1	Modelo original	46,7	44,7	Superior	Superior	Superior
<b>APARTAMENTO 2 QUARTOS</b>						
<b>AMBIENTES SEM ABERTURAS</b>		$D_{2mnT,w}$	Corrigido	Classe I	Classe II	Classe III
Quarto 01 AP2	Modelo original	46,2	44,2	Superior	Superior	Superior
Quarto 02 AP2	Modelo original	46,7	44,7	Superior	Superior	Superior

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os resultados de  $D_{2mnT,w}$  vão ao encontro das afirmativas encontradas na literatura, que afirmam que o desempenho final das vedações que compõem as fachadas das edificações é diretamente ligado à qualidade acústica dos sistemas de esquadrias e dimensão das aberturas.

### $D_{nTw}$ nas áreas comuns

As Tabelas 23 e 24 ilustram o desempenho acústico para vedações internas entre áreas comuns. O resultado do isolamento acústico entre a Sala/Cozinha e o Hall, em ambas as unidades habitacionais, alcançou um desempenho insatisfatório, não atendendo à norma.

**Tabela 23** -  $D_{nTw}$  entre unidades e Hall

<b>DESEMPENHO ACÚSTICO NAS ÁREAS COMUNS</b>					
<b>ENTRE HABITAÇÕES COM HALL</b>					
	AMBIENTE		$D_{nTw}$	NBR 15575	NBR 10152
Modelo original	Sala e Cozinha integrada	Corredor externo	33,6	Não atende	Sem qualidade

Fonte: Elaborada pelo autor.



Já o resultado do isolamento acústico entre as unidades habitacionais (Sala e Cozinha AP 01 / Sala e Cozinha AP2) alcançaram o desempenho mínimo da norma de desempenho, ilustrando novamente que a presença de aberturas em sistemas de vedação possui grande influência no desempenho final do sistema construtivo.

**Tabela 24** -  $D_{nTw}$  entre unidades habitacionais

DESEMPENHO ACÚSTICO NAS ÁREAS COMUNS					
ENTRE HABITAÇÕES					
	AMBIENTES		$D_{nTw}$	NBR 15575	NBR 10152
Modelo original	Sala e Cozinha integrada AP1	Sala e Cozinha integrada AP2	43,2	Mínimo	Ouve com dificuldade

Fonte: Elaborada pelo autor.

Hoje, no Brasil, tem se debatido a necessidade de revisar os índices de desempenho acústico com a adição de requisitos para os sistemas de vedações internas das unidades habitacionais, como já acontece nos países Europeus. Neste sentido, dentro da estrutura de simulação desenvolvida para o  $D_{nTw}$ , as paredes internas do ambiente também foram simuladas. As Tabelas 25 e a Tabela 26 ilustram os resultados das vedações internas com aberturas e sem aberturas, respectivamente.

**Tabela 25** -  $D_{nTw}$  de vedações na mesma unidade habitacional com aberturas

DESEMPENHO ACÚSTICO NAS UNIDADES - $D_{nTw}$			
APARTAMENTO 3 QUARTOS			
AMBIENTES COM ABERTURAS		MODELO ORIGINAL	
Ambiente A	Ambiente B	$D_{nTw}$	NBR 10152
Banheiro 01	Corredor AP1	30,5	Sem qualidade
Corredor AP1	Banheiro 01	30,2	Sem qualidade
Quarto AP1 01	Corredor AP1	29,1	Sem qualidade
Corredor AP1	Quarto AP1 01	26,4	Sem qualidade
Corredor AP1	Quarto AP1 02	26,0	Sem qualidade
Quarto AP1 02	Corredor AP1	27,4	Sem qualidade
APARTAMENTO 2 QUARTOS			
Banheiro AP2	Corredor AP2	30,3	Sem qualidade
Corredor AP2	Banheiro AP2	29,7	Sem qualidade
Corredor AP2	Quarto 01 AP2	31,9	Sem qualidade
Quarto 01 AP2	Corredor AP2	30,9	Sem qualidade
Quarto 02 AP2	Corredor AP2	28,8	Sem qualidade
Corredor AP2	Quarto 02 AP2	25,5	Sem qualidade

Fonte: Elaborada pelo autor.

**Tabela 26** -  $D_{nTw}$  de vedações na mesma unidade habitacional sem aberturas

<b>DESEMPENHO ACÚSTICO NAS UNIDADES - <math>D_{nTw}</math></b>			
<b>APARTAMENTO 3 QUARTOS</b>			
<b>AMBIENTES SEM ABERTURAS</b>		<b>MODELO ORIGINAL</b>	
Ambiente A	Ambiente B	$D_{nTw}$	NBR 10152
Quarto AP1 02	Quarto AP1 03	43,2	Ouve com dificuldade
Quarto AP1 03	Quarto AP1 02	43,6	Ouve com dificuldade
Sala/Coz AP1	Banheiro 01	43,2	Ouve com dificuldade
Banheiro 01	Sala/Coz AP1	43,6	Ouve com dificuldade
Sala/Coz AP1	Quarto AP1 01	43,2	Ouve com dificuldade
Quarto AP1 01	Sala/Coz AP1	43,6	Ouve com dificuldade
Quarto AP1 01	Corredor AP1	43,6	Ouve com dificuldade
Corredor AP1	Quarto AP1 01	43,2	Ouve com dificuldade
Quarto AP1 01	Corredor AP1	43,6	Ouve com dificuldade
Corredor AP1	Quarto AP1 01	43,2	Ouve com dificuldade
Quarto AP1 03	Banheiro 01	43,6	Ouve com dificuldade
Banheiro 01	Quarto AP1 03	43,2	Ouve com dificuldade
<b>APARTAMENTO 2 QUARTOS</b>			
Quarto AP1 02	Quarto AP1 01 4	43,6	Ouve com dificuldade
Quarto AP1 01	Quarto AP1 02 2	43,2	Ouve com dificuldade
Sala/Coz AP2	Banheiro 01 AP2	43,6	Ouve com dificuldade
Banheiro 01 AP2	Sala/Coz AP2 7	43,2	Ouve com dificuldade
Quarto 02 AP2	Banheiro 01 AP2	43,6	Ouve com dificuldade
Banheiro 01 AP2	Quarto 02 AP2	43,2	Ouve com dificuldade

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os resultados da avaliação do desempenho  $D_{nTw}$  para ambientes na mesma unidade habitacional foram comparados com os índices estabelecidos na NBR 10152 (2017), por estabelecer os índices de conforto acústico entre ambientes por tipo de uso. Os resultados das simulações mostram o baixo desempenho acústico dos sistemas de vedação interna com abertura, sendo os mesmos classificados pela norma como ‘sem qualidade’ acústica. Já os sistemas de vedação sem aberturas tiveram um resultado aceitável, mas com baixa qualidade.

### **Transmitância térmica e capacidade térmica**

De acordo com a norma brasileira de desempenho, são estabelecidos requisitos mínimos para a transmitância e a capacidade térmica apenas dos elementos opacos das vedações verticais externas para ambientes de longa permanência das edificações. A Tabela 27 ilustra os resultados da simulação do desempenho térmico do modelo original.

**Tabela 27** - Resultado do desempenho térmico

DESEMPENHO TÉRMICO DAS FACHADAS								
				TRANSMITÂNCIA TÉRMICA			CAPACIDADE TÉRMICA	
APARTAMENTO 3 QUARTOS				Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	Zonas 1,2, 3,4,5,6 e 7	Zona 8
				$U \leq 2,5$	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$	$CT \geq 130$	Não se aplica
Ambiente		U	CT		$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$		
Sala Coz. Int. AP1	Modelo original	2,81	206	Não atende	Atende	Não atende	Atende	-
Quarto AP1 01	Modelo original	2,81	206	Não atende	Atende	Não atende	Atende	-
Quarto AP1 02 2	Modelo original	2,81	206	Não atende	Atende	Não atende	Atende	-
Quarto AP1 03 3	Modelo original	2,81	206	Não atende	Atende	Não atende	Atende	-
APARTAMENTO 2 QUARTOS				Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	Zonas 1,2, 3,4,5,6 e 7	Zona 8
Ambiente		U	CT	TRANSMITÂNCIA TÉRMICA			CAPACIDADE TÉRMICA	
Sala Coz. Int. AP2	Modelo original	2,81	206	Não atende	Atende	Não atende	Atende	-
Quarto 01 AP2	Modelo original	2,81	206	Não atende	Atende	Não atende	Atende	-
Quarto 02 AP2	Modelo original	2,81	206	Não atende	Atende	Não atende	Atende	-

Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com o modelo, a composição de todas as vedações externas verticais foram especificadas com os mesmos materiais, resultando em valores de transmitância e capacidade térmica iguais a todas as vedações.

A planilha de avaliação do desempenho térmico foi construída no intuito de comparar o desempenho térmico final do modelo com todos os requisitos das zonas bioclimáticas brasileiras. Os resultados simulados demonstram que para as Zonas 1 e 2 a transmitância térmica não é satisfatória, como também para as edificações que utilizem superfícies externas com alto índice de absorção de radiação (acima de 0,6) nas Zonas 3, 4, 5, 6 e 7, resultando em valores insatisfatórios. Em relação à capacidade térmica, todos os sistemas de vedação vertical apresentaram valores aceitáveis.

Porém, a NBR 15575 (2013) exige que ambos os valores de U e CT estejam de acordo com os requisitos normativos. Avaliando os resultados da simulação, apenas no cenário da Zonas 5, 6, 7 e 8, com superfícies externas com absorção abaixo de 0,6, estaria de acordo com a norma.

## **Custo**

A Tabela 28 ilustra o custo final da proposta original do MDIC utilizada para a simulação no VPL. Como explicado na metodologia, o cálculo do custo final foi automatizado, os quantitativos e os preços foram extraídos do modelo 3D, calculados e exportados para a planilha do Excel. Conhecer o custo das soluções escolhidas durante o desenvolvimento do projeto auxilia o projetista em suas tomadas de decisão, pois ele tem a possibilidade de decidir, ainda nas etapas iniciais de projeto, a solução com o melhor custo-benefício.

Com os resultados da primeira simulação utilizando a estrutura automatizada com o uso do VPL, pôde-se identificar de forma rápida e sem o uso de metodologias manuais ou softwares complexos, os diversos pontos a serem melhorados na busca por um desempenho satisfatório. Tanto a simulação do desempenho acústico quanto do térmico indicaram os ambientes e elementos contrutivos que necessitam de alterações para melhorar a qualidade da edificação. Este processo facilita a avaliação e a tomada de decisão final do usuário, pois demonstra, de forma simples, os resultados das propostas de projetos, entendendo que não só apenas os dados de desempenho acústico são determinantes na decisão final, outros fatores como custo e manutenção também fazem parte do processo decisivo.

Tabela 28 - Custo do modelo original

<b>MODELO ORIGINAL</b>	
<b>PAREDES</b>	
<b>MATERIAIS</b>	<b>CUSTO</b>
Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 l, aplicada manualmente em panos de fachada com presença de vãos, espessura maior ou igual a 50 mm. Af_06/2014	R\$ 7.692
Chapisco aplicado em alvenaria (sem presença de vãos) e estruturas de concreto de fachada, com equipamento de projeção. Argamassa traço 1:3 com preparo em betoneira 400 l. Af_06/2014	R\$ 707,4
Alvenaria de vedação de blocos vazados de concreto de 14x19x39cm (espessura 14cm), para edificação habitacional unifamiliar (casa) e edificação pública padrão. Af_12/2014	R\$ 15.682
Aplicação manual de gesso sarrafeado (com taliscas) em paredes de ambientes de área entre 5m <sup>2</sup> e 10m <sup>2</sup> , espessura de 1,0cm. Af_06/2014	R\$ 8.986
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 33.068</b>
<b>PORTAS</b>	
	<b>CUSTO</b>
Kit de porta de madeira para verniz, semi-oca (leve ou média), padrão médio, 80x210cm, espessura de 3,5cm, itens inclusos: dobradiças, montagem e instalação do batente, com fechadura - fornecimento e instalação. Af_08/2015	R\$ 1.070
Porta de madeira 1a correr guarnição 15cm/alizar	R\$ 5.240
Kit de porta de metal, padrão médio, 160x210cm, espessura de 3,5cm, itens inclusos: dobradiças, montagem e instalação do batente, com fechadura - fornecimento e instalação	R\$ 1.500
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 7.810</b>
<b>JANELAS</b>	
	<b>CUSTO</b>
Janela de alumínio de correr, 2 folhas, fixação com parafuso sobre contramarco (exclusive contramarco), com vidros, padronizada. Af_07/2016	R\$ 3.786
Janela de alumínio maxim-ar, fixação com parafuso sobre contramarco (exclusive contramarco), com vidros, padronizada. Af_07/2016 80x60	R\$ 1.006
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 4.792</b>
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>R\$ 45.670</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

No caso do desempenho térmico foi demonstrado que existem cenários em que o projeto atende aos requisitos normativos, porém, o mesmo não acontece para o desempenho acústico, demonstrando a possibilidade de haver uma interferência no atendimento de um requisito normativo em detrimento do outro.

As propostas seguintes foram criadas com base nos resultados apresentados, alterando-se os elementos construtivos em busca do desempenho necessário e quantificando o custo destas alterações afim de ilustrar o impacto financeiro que estas decisões podem ter na construção final.

#### 4.5 IMPLEMENTAÇÃO DA ESTRUTURA

A seguir estão apresentados os resultados referentes à implementação e teste da estrutura como explicado na metodologia. As Propostas A, B e C são resultados dos valores

simulados do modelo original com modificações em seus sistemas construtivos em busca de uma melhor relação custo x benefício no atendimento do desempenho.

#### 4.5.1 Proposta A

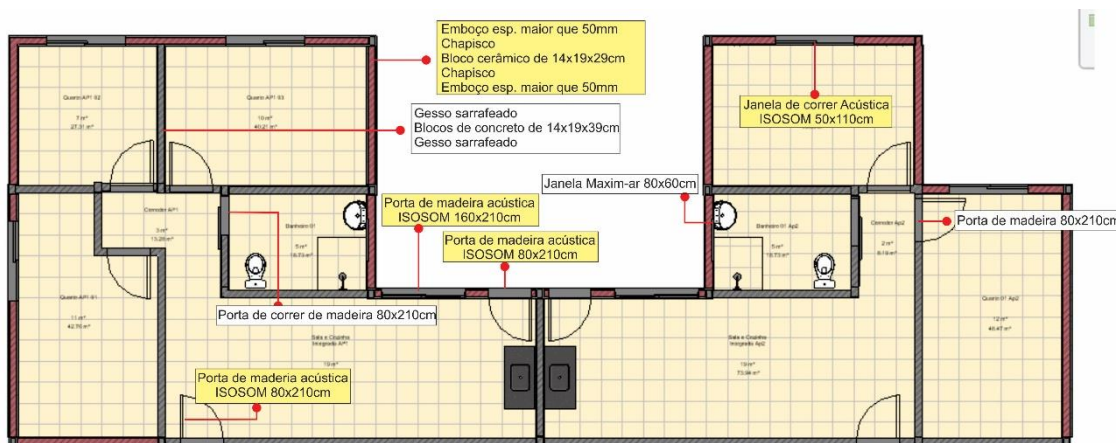
A construção da Proposta A, como explicado anteriormente, foi feita com base nos resultados da simulação anterior. As soluções escolhidas foram realizadas a partir dos resultados simulados anteriormente.

Os principais pontos analisados antes das alterações foram:

- Alcançar o desempenho mínimo para a zona III nas fachadas com aberturas.
- Alcançar o desempenho mínimo para as vedações internas entre a unidade habitacional e o hall.
- Melhorar o desempenho térmico para outras zonas bioclimáticas

Nesta simulação não foram alteradas as vedações internas da mesma unidade, pois as mesmas não são avaliadas pela norma de desempenho. A Figura 33 ilustra as alterações realizadas no projeto e a Tabela 29 contém as propriedades térmicas, acústicas e o custo final dos elementos construtivos que compõem as unidades habitacionais da Proposta 02 (?).

**Figura 33** - Proposta A e seus elementos construtivos



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Tabela 29 - Informações da Proposta A**

PROPOSTA A			
ELEMENTOS CONSTRUTIVOS	CUSTO (m²)	Rw (dB)	Rt (m².K)/W
Alvenaria de vedação de blocos vazados de concreto de 14x19x39cm (espessura 14cm), para edificação habitacional unifamiliar (casa) e edificação pública padrão. Af_12/2014	R\$ 57,11	42	0,18
Aplicação manual de gesso sarrafeado (com taliscas) em paredes de ambientes de área entre 5m² e 10m², espessura de 1,0cm. Af_06/2014	R\$ 22,92		
Alvenaria de vedação de blocos vazados de cerâmica de 9x19x19cm (espessura 9cm), para edificação habitacional multifamiliar (prédio). Af_11/2014	R\$ 59,50	44	0,23
Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 l, aplicada manualmente em panos de fachada com presença de vãos, espessura maior ou igual a 50 mm. Af_06/2014	R\$ 66,11		
Chapisco aplicado em alvenaria (sem presença de vãos) e estruturas de concreto de fachada, com equipamento de projeção. Argamassa traço 1:3 com preparo em betoneira 400 l. Af_06/2014	R 6,08		
Janela de alumínio de correr, 2 folhas, vidros incolores duplos (4+9+4mm), com câmara de ar desidratada e borrachas especiais para vedação acústica 150 x 110 cm - Isosom	R\$ 2.500,00	28	-
Janela de alumínio maxim-ar, fixação com parafuso sobre contramarco (exclusive contramarco), com vidros, padronizada. Af_07/2016 80x60	R\$ 501	25	-
Kit de porta de madeira para verniz, semi-oca (leve ou média), padrão médio, 80x210cm, espessura de 3,5cm, itens inclusos: dobradiças, montagem e instalação do batente, com fechadura - fornecimento e instalação. Af_08/2015	R\$ 582,29	22	-
Porta acústica em madeira modelo Semi Profissional atenuação 30db, espessura especial 60mm, com dobradiça, fechadura, sistema de vedação dupla em todo o perímetro.	R\$ 2.200	30	-
Porta acústica em madeira modelo Semi Profissional atenuação 30db, espessura especial 60mm, com dobradiça, fechadura com 160x210cm acústica ISOSOM	R\$ 4.500	30	-
Porta de madeira 1a correr guarnição 15cm/alizar	R\$ 535,00	25	-

Fonte: Elaborada pelo autor.

Como apontado nos resultados anteriores, para o desempenho acústico de vedações com aberturas o principal fator que impactou o desempenho final foram as esquadrias, por este motivo as mesmas foram trocas por esquadrias acústicas. As tabelas SINAPI não possuem valores para este tipo de esquadria, por este motivo foram feitos três orçamentos com diferentes fabricantes de esquadrias para levantar o custo com a instalação e o índice de isolamento das mesmas e, assim, escolher o melhor custo x benefício.

Para uma nova simulação do desempenho térmico a composição das vedações externas foi trocada por um sistema composto por bloco cerâmico de oito furos com aplicação de emboço nas duas faces.

### D<sub>2mnT,w</sub> – Vedações com aberturas

Após as alterações em projeto e sua simulação, os resultados do desempenho acústico das fachadas com aberturas demonstraram um aumento em todos os índices, com um desempenho simulado intermediário para a Classe III de ruído (Tabela 30), alcançando o desempenho mínimo para a zona III nas fachadas com aberturas proposto nesta solução.

A Tabela 31 ilustra os resultados das vedações externas sem aberturas, demonstrando que, mesmo após a alteração do sistema construtivo, os índices das vedações se mantiveram com classificação superior.

**Tabela 30** - Desempenho acústico D<sub>2mnT,w</sub> da Proposta A

DESEMPENHO ACÚSTICO NAS UNIDADES – D <sub>2mnT,w</sub>						
APARTAMENTO 3 QUARTOS						
AMBIENTES COM ABERTURAS		D <sub>2mnT,w</sub>	Corrigido	Classe I	Classe II	Classe III
Sala e Cozinha integrada AP1	Proposta A	35,3	33,3	Superior	Intermediário	Intermediário
Quarto 01 AP1	Proposta A	37,5	35,5	Superior	Superior	Intermediário
Quarto 02 AP1	Proposta A	35,7	33,7	Superior	Intermediário	Intermediário
Quarto 03 AP1	Proposta A	37,1	35,1	Superior	Superior	Intermediário
APARTAMENTO 2 QUARTOS						
AMBIENTES COM ABERTURAS		D <sub>2mnT,w</sub>	Corrigido	Classe I	Classe II	Classe III
Sala e Cozinha integrada AP2	Proposta A	35,3	33,3	Superior	Intermediário	Intermediário
Quarto 01 AP2	Proposta A	36,5	34,5	Superior	Intermediário	Intermediário
Quarto 02 AP2	Proposta A	37,0	35,0	Superior	Superior	Intermediário

Fonte: Elaborada pelo autor.

**Tabela 31** - Desempenho acústico D<sub>2mnT,w</sub> sem aberturas da Proposta A

DESEMPENHO ACÚSTICO NAS UNIDADES – D <sub>2mnT,w</sub>						
APARTAMENTO 3 QUARTOS						
AMBIENTES SEM ABERTURAS		D <sub>2mnT,w</sub>	CORRIGIDO	Classe I	Classe II	Classe III
Quarto 01 AP1	Proposta A	45,8	43,8	Superior	Superior	Superior
Quarto 02 AP1	Proposta A	45,1	43,1	Superior	Superior	Superior
Quarto 03 AP1	Proposta A	45,7	43,7	Superior	Superior	Superior
APARTAMENTO 2 QUARTOS						
AMBIENTES SEM ABERTURAS		D <sub>2mnT,w</sub>		Classe I	Classe II	Classe III
Quarto 01 AP2	Proposta A	45,2	43,2	Superior	Superior	Superior
Quarto 02 AP2	Proposta A	45,7	43,7	Superior	Superior	Superior

Fonte: Elaborada pelo autor.



### **$D_{nTw}$ nas áreas comuns**

A Tabela 32 ilustra o resultado simulado para o desempenho acústico das áreas comum entre habitações para as duas unidades. Na composição do sistema construtivo o conjunto do elemento construtivo porta foi alterado e o valor simulado alcançou o índice mínimo referente ao requisito de desempenho normativo.

**Tabela 32** -  $D_{nTw}$  entre unidades e Hall

<b>DESEMPENHO ACÚSTICO NAS ÁREAS COMUM</b>					
<b>ENTRE HABITAÇÕES COM HALL</b>					
	AMBIENTES		$D_{nTw}$	NBR 15575	NBR 10152
Proposta A	Sala e Cozinha integrada	Corredor externo	40,3	Mínimo	Ouve com dificuldade

Fonte: Elaborada pelo autor.

As tabelas referentes aos  $D_{nTw}$  de vedações na mesma unidade habitacional foram omitidas, pois o sistema construtivo não sofreu nenhuma alteração, resultando nos mesmos valores do modelo original.

### **Transmitância térmica e capacidade térmica**

Em relação aos resultados do desempenho térmico da Proposta A, após as alterações do projeto e sua simulação, observou-se que o sistema construtivo proposto atendeu a todos os requisitos estabelecidos pela norma, independentemente da zona avaliada (Tabela 33).

O foco deste trabalho não é discutir a qualidade dos requisitos normativos, mas, ao se observar que um único sistema construtivo avaliado pelo modelo simplificado da norma consegue atender a todos os requisitos de desempenho térmico em toda a extensão territorial brasileira em seus diferentes tipos de climas.

A avaliação do desempenho térmico brasileiro considera apenas os elementos opacos da vedação externa, mesmo se sabendo que as áreas de aberturas também influenciam na quantidade interna de calor nas edificações, gerando um certo receio no desempenho final da edificação após sua construção.

**Tabela 33** - Resultado do desempenho térmico da Proposta A

<b>DESEMPENHO TÉRMICO DAS FACHADAS</b>								
				TRANSMITÂNCIA TÉRMICA			CAPACIDADE TÉRMICA	
<b>APARTAMENTO 3 QUARTOS</b>				Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	Zonas 1,2, 3,4,5,6 e 7	Zona 8
				$U \leq 2,5$	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$	$CT \geq 130$	Não se aplica
Ambiente		U	CT		$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$		
Sala Coz. Int. AP1	Proposta A	2,49	142,7	Atende	Atende	Atende	Atende	-
Quarto AP1 01	Proposta A	2,49	142,70	Atende	Atende	Atende	Atende	-
Quarto AP1 02 2	Proposta A	2,49	142,7	Atende	Atende	Atende	Atende	-
Quarto AP1 03 3	Proposta A	2,49	142,7	Atende	Atende	Atende	Atende	-
<b>APARTAMENTO 2 QUARTOS</b>				Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	Zonas 1,2, 3,4,5,6 e 7	Zona 8
Ambiente		U	CT	TRANSMITÂNCIA TÉRMICA			CAPACIDADE TÉRMICA	
Sala Coz. Int. AP2	Proposta A	2,49	142,7	Atende	Atende	Atende	Atende	-
Quarto 01 AP2	Proposta A	2,49	142,7	Atende	Atende	Atende	Atende	-
Quarto 02 AP2	Proposta A	2,49	142,7	Atende	Atende	Atende	Atende	-

Fonte: Elaborada pelo autor.

### Custo

A Tabela 34 ilustra o custo final da Proposta A. Em relação ao modelo original houve um aumento de 47% do valor. Esse aumento é explicado pelo alto custo das esquadrias com um melhor desempenho acústico. Já em relação ao desempenho térmico normativo, o custo das alterações para alcançar os requisitos mínimos foi de 0,5%. Este resultado pode indicar um alto custo na melhoria do desempenho acústico, porém, vale ressaltar que a norma brasileira, no campo do desempenho térmico, não avalia as superfícies translúcidas, fato que também pode ocasionar um aumento no custo do desempenho final.

**Tabela 34 - Custo da Proposta A**

<b>PROPOSTA A</b>	
<b>PAREDES</b>	
<b>MATERIAIS</b>	<b>CUSTO</b>
Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 l, aplicada manualmente em panos de fachada com presença de vãos, espessura maior ou igual a 50 mm. Af_06/2014	R\$ 10.034
Chapisco aplicado em alvenaria (sem presença de vãos) e estruturas de concreto de fachada, com equipamento de projeção. Argamassa traço 1:3 com preparo em betoneira 400 l. Af_06/2014	R\$ 1.420
Alvenaria de vedação de blocos vazados de cerâmica de 9x19x19cm (espessura 9cm), para edificação habitacional multifamiliar (prédio). Af_11/2014	R\$ 6.952
Alvenaria de vedação de blocos vazados de concreto de 14x19x39cm (espessura 14cm), para edificação habitacional unifamiliar (casa) e edificação pública padrão. Af_12/2014	R\$ 8.503
Aplicação manual de gesso sarrafeado (com taliscas) em paredes de ambientes de área entre 5m <sup>2</sup> e 10m <sup>2</sup> , espessura de 1,0cm. Af_06/2014	R\$ 6.318
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 33.229</b>
<b>PORTAS</b>	
<b>MATERIAIS</b>	<b>CUSTO</b>
Porta de madeira 1a correr guarnição 15cm/alizar	R\$ 1.070
Kit de porta de madeira para verniz, semi-oca (leve ou média), padrão médio, 80x210cm, espessura de 3,5cm, itens inclusos: dobradiças, montagem e instalação do batente, com fechadura - fornecimento e instalação. Af_08/2015	R\$ 2.911
Porta acústica em madeira modelo Semi Profissional atenuação 30db, espessura especial 60mm, com dobradiça, fechadura, sistema de vedação dupla em todo o perímetro.	R\$ 8.800
Porta acústica em madeira modelo Semi Profissional atenuação 30db, espessura especial 60mm, com dobradiça, fechadura com 160x210cm acústica ISOSOM	R\$ 9.000
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 21.781</b>
<b>JANELAS</b>	
<b>MATERIAIS</b>	<b>CUSTO</b>
Janela de alumínio de correr, 2 folhas, vidros incolores duplos (4+9+4mm), com câmara de ar desidratada e borrachas especiais para vedação acústica 150 x 110 cm - Isosom	R\$ 12.500
Janela de alumínio maxim-ar, fixação com parafuso sobre contramarco (exclusive contramarco), com vidros, padronizada. Af_07/2016 80x60	R\$ 1.006
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 13.506</b>
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>R\$ 68.516</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

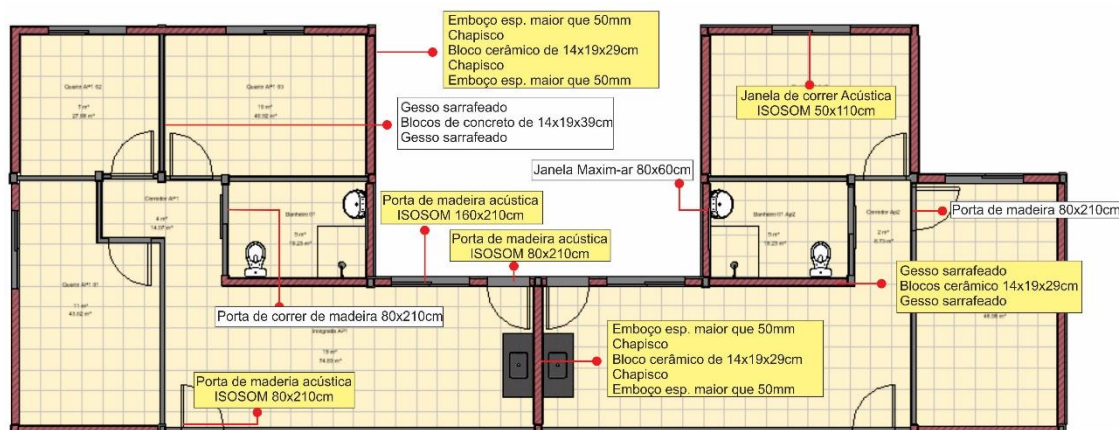
#### 4.5.2 Proposta B

A Proposta B seguiu a mesma lógica de se alterar o projeto na busca por melhorias no desempenho anterior. A partir dos resultados da Proposta A, os principais pontos identificados para serem melhorados foram:

- a) Redução do custo da solução construtiva, mantendo-se o desempenho das unidades habitacionais;
- b) Melhorar o desempenho acústico interior.

A Figura 34 ilustra as alterações realizadas no projeto e a Tabela 35 resume as propriedades térmicas, acústicas e o custo final dos elementos construtivos que compõem as unidades habitacionais da Proposta B.

**Figura 34 - Proposta B e seus elementos construtivos**



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Tabela 35 - Informações da Proposta B**

PROPOSTA B			
ELEMENTOS CONSTRUTIVOS	CUSTO (m²)	Rw (dB)	Rt (m².K)/W
Alvenaria de vedação de blocos vazados de cerâmica de 9x19x19cm (espessura 9cm), para edificação habitacional multifamiliar (prédio). Af_11/2014	R\$ 59,50	44	0,23
Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 l, aplicada manualmente em panos de fachada com presença de vãos, espessura maior ou igual a 50 mm. Af_06/2014	R\$ 66,11		
Chapisco aplicado em alvenaria (sem presença de vãos) e estruturas de concreto de fachada, com equipamento de projeção. Argamassa traço 1:3 com preparo em betoneira 400 l. Af_06/2014	R 6,08		
Aplicação manual de gesso sarrafeado (com taliscas) em paredes de ambientes de área entre 5m² e 10m², espessura de 1,0cm. Af_06/2014	R\$ 22,92		
Parede com placas de gesso acartonado ( <i>drywall</i> ), para uso interno, com duas faces simples e estrutura metálica com guias simples, sem vãos. Af_06/2017_p	R\$ 31,00	44	-
Instalação de isolamento com lã de rocha em paredes <i>drywall</i> . Af_06/2017	R\$ 43,00		
Janela de alumínio de correr, 2 folhas, vidros incolores duplos (4+9+4mm), com câmara de ar desidratada e borrachas especiais para vedação acústica 150 x 110 cm – Isosom	R\$ 2.500,00	28	-
Janela de alumínio maxim-ar, fixação com parafuso sobre contramarco (exclusive contramarco), com vidros, padronizada. Af_07/2016 80x60	R\$ 501	25	-
Kit de porta de madeira para verniz, semi-oca (leve ou média), padrão médio, 80x210cm, espessura de 3,5cm, itens inclusos: dobradiças, montagem e instalação do batente, com fechadura - fornecimento e instalação. Af_08/2015	R\$ 582,29	22	-
Porta acústica em madeira modelo Semi Profissional atenuação 30db, espessura especial 60mm, com dobradiça, fechadura, sistema de vedação dupla em todo o perímetro.	R\$ 2.200	30	-
Porta de madeira 1a correr guarnição 15cm/alizar	R\$ 535,00	25	

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os sistemas construtivos das vedações internas foram substituídos por sistemas compostos por placas de *drywall* onde não houvesse descida de tubos de água. E, nestes casos, os sistemas de paredes foram substituídos por sistemas compostos por blocos cerâmicos com emboço de argamassa nos dois lados. Em todos os casos as esquadrias foram mantidas. Nos sistemas de vedação externa não houve alterações.

### **$D_{2mnT,w}$ das vedações**

Os resultados de  $D_{2mnT,w}$  foram omitidos, pois os sistemas construtivos não foram alterados em relação à proposta anterior, mantendo-se os mesmos resultados.

### **$D_{nT,w}$ nas áreas comuns**

Em relação ao desempenho acústico nas áreas comum entre habitações com Hall, com a alteração do sistema construtivo das paredes o nível de desempenho se manteve o mesmo (mínimo) (Tabela 36). A esquadria contida no sistema é o maior influenciador no resultado final, sendo necessária sua troca por uma esquadria com melhor desempenho acústico.

**Tabela 36 -  $D_{nT,w}$  entre unidades e Hall**

<b>DESEMPENHO ACÚSTICO NAS ÁREAS COMUM</b>					
<b>ENTRE HABITAÇÕES COM HALL</b>					
	AMBIENTES		$D_{nT,w}$	NBR 15575	NBR 10152
Proposta B	Sala e Cozinha integrada	Corredor externo	41,1	Mínimo	Ouve com dificuldade

Fonte: Elaborada pelo autor.

Já no caso dos requisitos acústicos entre habitações, a troca do sistema de vedação elevou o nível do desempenho de mínimo para superior (Tabela 37). A troca do reboco de gesso pelo de argamassa explica o aumento do desempenho devido à linearidade entre o desempenho de isolamento e o ganho de massa (Lei das Massas); quanto mais espesso e pesado maior o isolamento.

**Tabela 37** -  $D_{nTw}$  entre unidades habitacionais

DESEMPENHO ACÚSTICO NAS ÁREAS COMUM					
ENTRE HABITAÇÕES					
	AMBIENTES		$D_{nTw}$	NBR 15575	NBR 10152
Proposta B	Sala e Cozinha integrada AP1	Sala e Cozinha integrada AP2	50,6	Superior	Não audível

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

O índice de isolamento sonoro da parede do bloco de concreto ( $R_w$ : 42) e da parede de *drywall* com lã de rocha ( $R_w$ : 44) são muito próximos, sendo que, após a simulação em valores aproximados, não houve impacto no nível de desempenho em relação à Proposta A (Tabelas 38 e 39).

**Tabela 38** -  $D_{nTw}$  de vedações na mesma unidade habitacional com aberturas

DESEMPENHO ACÚSTICO NAS UNIDADES - $D_{nTw}$			
APARTAMENTO 3 QUARTOS			
AMBIENTES COM ABERTURAS		PROPOSTA B	
Ambiente A	Ambiente B	$D_{nTw}$	NBR 10152
Banheiro 01	Corredor AP1 6	30,6	Sem qualidade
Corredor AP1	Banheiro 01 5	30,3	Sem qualidade
Quarto AP1 01	Corredor AP1 6	29,2	Sem qualidade
Corredor AP1	Quarto AP1 01 4	26,5	Sem qualidade
Corredor AP1	Quarto AP1 02 2	26,1	Sem qualidade
Quarto AP1 02	Corredor AP1 6	27,5	Sem qualidade
APARTAMENTO 2 QUARTOS			
Banheiro 01 AP2	Corredor AP2 12	30,4	Sem qualidade
Corredor AP2	Banheiro 01 AP2 11	29,8	Sem qualidade
Corredor AP2	Quarto 01 AP2 10	32,0	Sem qualidade
Quarto 01 AP2	Corredor AP2 12	31,0	Sem qualidade
Quarto 02 AP2	Corredor AP2 12	28,8	Sem qualidade
Corredor AP2	Quarto 02 AP2 9	25,5	Sem qualidade

Fonte: Elaborada pelo autor.

**Tabela 39** -  $D_{nTw}$  de vedações na mesma unidade habitacional sem aberturas

<b>DESEMPENHO ACÚSTICO NAS UNIDADES - <math>D_{nTw}</math></b>			
<b>APARTAMENTO 3 QUARTOS</b>			
<b>AMBIENTES SEM ABERTURAS</b>		<b>PROPOSTA B</b>	
Ambiente A	Ambiente B	$D_{nTw}$	NBR 10152
Quarto AP1 02	Quarto AP1 03	45,2	Não entende
Quarto AP1 03	Quarto AP1 02	45,6	Não entende
Sala/Coz AP1	Banheiro 01	39,2	Ouve e entende
Banheiro 01	Sala/Coz AP1	39,6	Ouve e entende
Sala/Coz AP1	Quarto AP1 01	45,2	Não entende
Quarto AP1 01	Sala/Coz AP1	45,6	Não entende
Quarto AP1 01	Corredor AP1	45,6	Não entende
Corredor AP1	Quarto AP1 01	45,2	Não entende
Quarto AP1 01	Corredor AP1	45,6	Não entende
Corredor AP1	Quarto AP1 01	45,2	Não entende
Quarto AP1 03	Banheiro 01	45,6	Não entende
Banheiro 01	Quarto AP1 03	50,2	Não audível
<b>APARTAMENTO 2 QUARTOS</b>			
Quarto AP1 02	Quarto AP1 01 4	39,6	Ouve e entende
Quarto AP1 01	Quarto AP1 02 2	45,2	Não entende
Sala/Coz AP2	Banheiro 01 AP2	45,6	Não entende
Banheiro 01 AP2	Sala/Coz AP2 7	39,2	Ouve e entende
Quarto 02 AP2	Banheiro 01 AP2	39,6	Ouve e entende
Banheiro 01 AP2	Quarto 02 AP2	45,2	Não entende

Fonte: Elaborada pelo autor.

### **Transmitância térmica e capacidade térmica**

Os resultados de transmitância e capacidade térmica foram omitidos, pois os sistemas construtivos não foram alterados em relação à proposta anterior, mantendo-se os mesmos resultados.

### **Custo**

A Tabela 40 ilustra o custo final da Proposta B. Em relação à Proposta A houve uma redução de 21% do custo total, mantendo-se o desempenho térmico e acústico das fachadas e melhorando o desempenho entre unidades as habitacionais. Um ponto importante a ser analisado neste resultado é que a redução dos custos entre as duas propostas foi em relação à construção do sistema de vedação vertical. Ao se alterar o sistema de vedações internas houve

um ganho de área e uma redução da sobrecarga na estrutura da futura edificação, havendo assim outras condicionantes que possivelmente reduziriam o custo final.

**Tabela 40 - Custo da Proposta B**

<b>PROPOSTA B</b>	
<b>PAREDES</b>	
<b>MATERIAIS</b>	<b>CUSTO</b>
Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 l, aplicada manualmente em panos de fachada com presença de vãos, espessura maior ou igual a 50 mm. Af_06/2014	R\$ 10.340
Chapisco aplicado em alvenaria (sem presença de vãos) e estruturas de concreto de fachada, com equipamento de projeção. Argamassa traço 1:3 com preparo em betoneira 400 l. Af_06/2014	R\$ 1.464
Alvenaria de vedação de blocos vazados de cerâmica de 9x19x19cm (espessura 9cm), para edificação habitacional multifamiliar (prédio). Af_11/2014	R\$ 9.059
Parede com placas de gesso acartonado ( <i>drywall</i> ), para uso interno, com duas faces simples e estrutura metálica com guias simples, sem vãos. Af_06/2017_p	R\$ 5.299
Aplicação manual de gesso sarrafeado (com taliscas) em paredes de ambientes de área entre 5m <sup>2</sup> e 10m <sup>2</sup> , espessura de 1,0cm. Af_06/2014	R\$ 1.100
Instalação de isolamento com lã de rocha em paredes <i>drywall</i> . Af_06/2017	R\$ 4557
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 27.264</b>
<b>PORTAS</b>	
<b>MATERIAIS</b>	<b>CUSTO</b>
Porta de madeira 1a correr guarnição 15cm/alizar	R\$ 1.070
Kit de porta de madeira para verniz, semi-oca (leve ou média), padrão médio, 80x210cm, espessura de 3,5cm, itens inclusos: dobradiças, montagem e instalação do batente, com fechadura - fornecimento e instalação. Af_08/2015	R\$ 2.911
Porta acústica em madeira modelo Semi Profissional atenuação 30db, espessura especial 60mm, com dobradiça, fechadura, sistema de vedação dupla em todo o perímetro.	R\$ 8.800
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 13.011</b>
<b>JANELAS</b>	
<b>MATERIAIS</b>	<b>CUSTO</b>
Janela de alumínio de correr, 2 folhas, vidros incolores duplos (4+9+4mm), com câmara de ar desidratada e borrachas especiais para vedação acústica 150 x 110 cm - Isosom	R\$ 12.600
Janela de alumínio maxim-ar, fixação com parafuso sobre contramarco (exclusive contramarco), com vidros, padronizada. Af_07/2016 80x60	R\$ 1.006
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 13.606</b>
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>R\$ 53.881</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

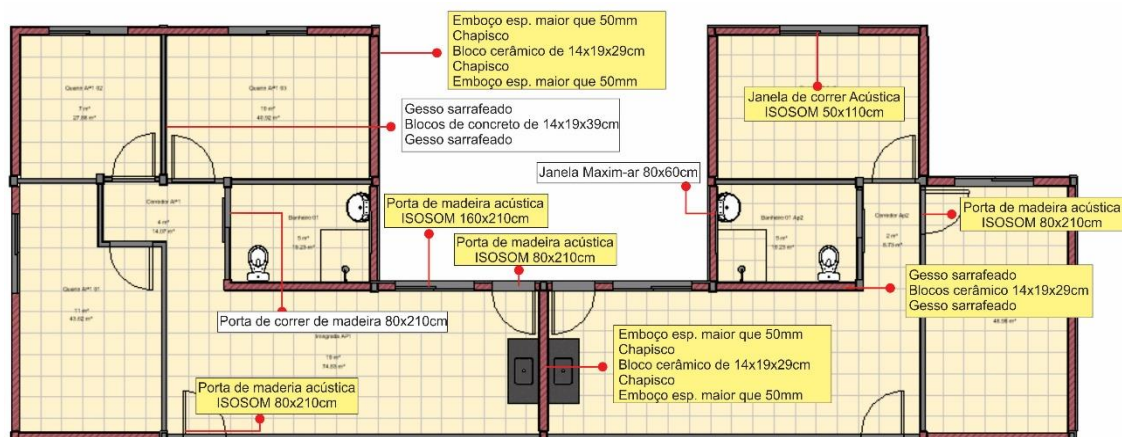
#### 4.5.3 Proposta C

A última proposta de projeto criada para validar a ferramenta desenvolvida no VPL teve como objetivo melhorar o desempenho acústico entre os ambientes da mesma unidade habitacional com alteração de todas as esquadrias do modelo original, porém, este requisito acústico de desempenho não é avaliado pela norma brasileira. A Figura 35 ilustra as



alterações realizadas no projeto e a Tabela 41 resume as propriedades térmicas, acústicas e o custo final dos elementos construtivos que compõe as unidades habitacionais da Proposta C.

**Figura 35** - Proposta C e seus elementos construtivos



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Tabela 41** - Informações da Proposta C

PROPOSTA B			
ELEMENTOS CONSTRUTIVOS	CUSTO (m <sup>2</sup> )	Rw (dB)	Rt (m <sup>2</sup> .K)/W
Alvenaria de vedação de blocos vazados de cerâmica de 9x19x19cm (espessura 9cm), para edificação habitacional multifamiliar (prédio). Af_11/2014	R\$ 59,50	44	0,23
Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 l, aplicada manualmente em panos de fachada com presença de vãos, espessura maior ou igual a 50 mm. Af_06/2014	R\$ 66,11		
Chapisco aplicado em alvenaria (sem presença de vãos) e estruturas de concreto de fachada, com equipamento de projeção. Argamassa traço 1:3 com preparo em betoneira 400 l. Af_06/2014	R 6,08		
Aplicação manual de gesso sarrafeado (com taliscas) em paredes de ambientes de área entre 5m <sup>2</sup> e 10m <sup>2</sup> , espessura de 1,0cm. Af_06/2014	R\$ 22,92		
Parede com placas de gesso acartonado ( <i>drywall</i> ), para uso interno, com duas faces simples e estrutura metálica com guias simples, sem vãos. Af_06/2017_p	R\$ 31,00	44	-
Instalação de isolamento com lã de rocha em paredes <i>drywall</i> . Af_06/2017	R\$ 43,00	28	-
Janela de alumínio de correr, 2 folhas, vidros incolores duplos (4+9+4mm), com câmara de ar desidratada e borrachas especiais para vedação acústica 150 x 110 cm – Isosom	R\$ 2.500,00		
Janela de alumínio maxim-ar, fixação com parafuso sobre contramarco (exclusive contramarco), com vidros, padronizada. Af_07/2016 80x60	R\$ 501		
Porta acústica em madeira modelo Semi Profissional atenuação 30db, espessura especial 60mm, com dobradiça, fechadura, sistema de vedação dupla em todo o perímetro.	R\$ 2.200	30	-
Porta de madeira la correr guarnição 15cm/alizar	R\$ 535,00	25	-

Fonte: Elaborada pelo autor.

**D<sub>2mnT,w</sub> das vedações**

Os resultados de  $D_{2mnT,w}$  foram omitidos, pois os sistemas construtivos não foram alterados em relação à proposta anterior, mantendo-se os mesmos resultados.

### $D_{nT,w}$ nas áreas comuns

Os resultados de  $D_{nT,w}$  foram omitidos, pois os sistemas construtivos não foram alterados em relação a proposta anterior, mantendo-se os mesmos resultados.

Em relação aos resultados após as alterações das esquadrias no desempenho  $D_{nTw}$  para ambientes na mesma unidade habitacional, percebeu-se um aumento no desempenho geral dos sistemas. Porém, para os ambientes que possuem um volume relativamente pequeno, e um sistema de vedação onde a área da esquadria é maior que a área da parede, o isolamento acústico continuou sem qualidade (Tabela 42). Os valores da simulação dos sistemas de vedação sem aberturas foram omitidos, pois os sistemas construtivos não foram alterados em relação à proposta anterior, mantendo-se os mesmos resultados.

**Tabela 42** -  $D_{nT,w}$  de vedações na mesma unidade habitacional com aberturas

<b>DESEMPENHO ACÚSTICO NAS UNIDADES - <math>D_{nTw}</math></b>			
<b>APARTAMENTO 3 QUARTOS</b>			
<b>AMBIENTES COM ABERTURAS</b>		<b>PROPOSTA C</b>	
Ambiente A	Ambiente B	$D_{nTw}$	NBR 10152
Banheiro 01	Corredor AP1 6	30,6	Sem qualidade
Corredor AP1	Banheiro 01 5	30,3	Sem qualidade
Quarto AP1 01	Corredor AP1 6	38,0	Ouve e entende
Corredor AP1	Quarto AP1 01 4	35,3	Ouve e entende
Corredor AP1	Quarto AP1 02 2	34,9	Sem qualidade
Quarto AP1 02	Corredor AP1 6	36,4	Ouve e entende
<b>APARTAMENTO 2 QUARTOS</b>			
Banheiro 01 AP2	Corredor AP2 12	30,4	Sem qualidade
Corredor AP2	Banheiro 01 AP2 11	29,8	Sem qualidade
Corredor AP2	Quarto 01 AP2 10	39,9	Ouve e entende
Quarto 01 AP2	Corredor AP2 12	38,9	Ouve e entende
Quarto 02 AP2	Corredor AP2 12	37,7	Ouve e entende
Corredor AP2	Quarto 02 AP2 9	34,4	Sem qualidade

Fonte: Elaborada pelo autor.

### Transmitância térmica e capacidade térmica

Os resultados de transmitância e capacidade térmica foram omitidos, pois os sistemas construtivos não foram alterados em relação à proposta anterior, mantendo-se os mesmos resultados.

### **Custo**

A Tabela 43 ilustra o custo final da Proposta C. Em relação à Proposta B houve um aumento de 15% do total; este aumento era fácil de ser previsto devido à necessidade da troca das esquadrias comuns por esquadrias acústicas, que possui um custo superior às esquadrias comuns. Como já citado, atualmente está se discutindo, na revisão da norma, a inserção dos requisitos de desempenho acústico entre ambientes da mesma unidade habitacional, visto que este requisito é necessário para o conforto do usuário e que o mesmo irá impactar no custo final da edificação, pois os sistemas construtivos convencionais não demonstraram qualidade nas simulações.

Tabela 43 - Custo da Proposta C

<b>PROPOSTA C</b>	
<b>PAREDES</b>	
<b>MATERIAIS</b>	<b>CUSTO</b>
Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 l, aplicada manualmente em panos de fachada com presença de vãos, espessura maior ou igual a 50 mm. Af_06/2014	R\$ 10.340
Chapisco aplicado em alvenaria (sem presença de vãos) e estruturas de concreto de fachada, com equipamento de projeção. Argamassa traço 1:3 com preparo em betoneira 400 l. Af_06/2014	R\$ 1.464
Alvenaria de vedação de blocos vazados de cerâmica de 9x19x19cm (espessura 9cm), para edificação habitacional multifamiliar (prédio). Af_11/2014	R\$ 9.059
Parede com placas de gesso acartonado ( <i>drywall</i> ), para uso interno, com duas faces simples e estrutura metálica com guias simples, sem vãos. Af_06/2017_p	R\$ 5.299
Aplicação manual de gesso sarrafeado (com taliscas) em paredes de ambientes de área entre 5m <sup>2</sup> e 10m <sup>2</sup> , espessura de 1,0cm. Af_06/2014	R\$ 1.658
Instalação de isolamento com lã de rocha em paredes <i>drywall</i> . Af_06/2017	R\$ 4.557
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 27.264</b>
<b>PORTAS</b>	
<b>MATERIAIS</b>	<b>CUSTO</b>
Porta de madeira 1a correr guarnição 15cm/alizar	R\$ 1.070
Porta acústica em madeira modelo Semi Profissional atenuação 30db, espessura especial 60mm, com dobradiça, fechadura, sistema de vedação dupla em todo o perímetro.	R\$ 19.800
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 21.100</b>
<b>JANELAS</b>	
<b>MATERIAIS</b>	<b>CUSTO</b>
Janela de alumínio de correr, 2 folhas, vidros incolores duplos (4+9+4mm), com câmara de ar desidratada e borrachas especiais para vedação acústica 150 x 110 cm - Isosom	R\$ 12.600
Janela de alumínio maxim-ar, fixação com parafuso sobre contramarco (exclusive contramarco), com vidros, padronizada. Af_07/2016 80x60	R\$ 1.006
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 13.606</b>
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>R\$ 61.970</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.6 GENERALIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA

A generalização da estrutura criada foi validada e avaliada por dois arquitetos, nomeados de 'Arquiteto' A e 'Arquiteto B', o primeiro com cinco anos de experiência e o segundo com 12 anos. Para ambos os profissionais foram realizadas as seguintes etapas:

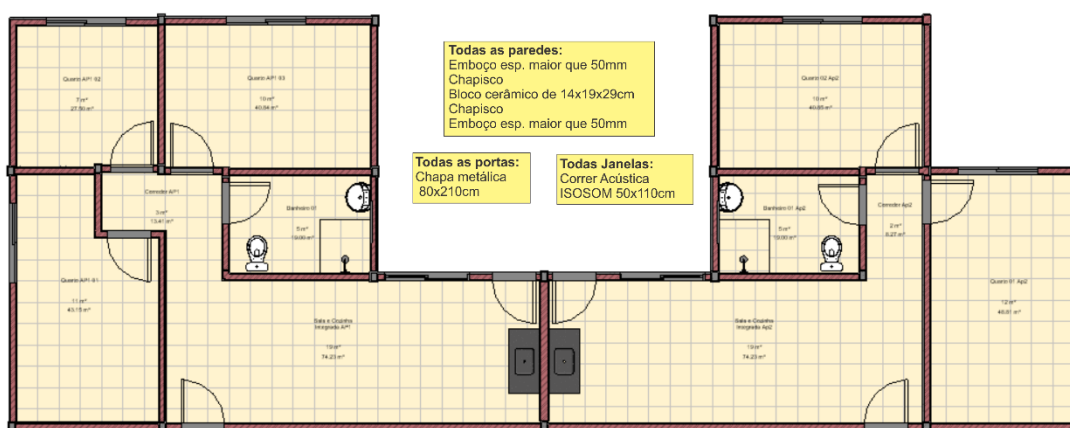
- a) Apresentação da pesquisa e explanação do objetivo da mesma;
- b) Apresentação da estrutura e seu funcionamento;
- c) Apresentação do projeto objeto de estudo;
- d) Apresentação dos resultados simulados do objeto de estudo.

Na sequência, pediu-se para que eles propusessem alterações no modelo original a fim de melhorar o seu desempenho. A seguir estão apresentadas as propostas criadas e a avaliação da estrutura por cada um dos profissionais.

#### 4.6.1 Proposta D

A Figura 36 ilustra as alterações realizadas no projeto pelo o ‘Arquiteto A’ e a Tabela 44 resume as propriedades físicas e o custo dos elementos construtivos que compõem as unidades habitacionais da Proposta D.

**Figura 36 - Proposta D e seus elementos construtivos**



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Tabela 44 - Informações da Proposta D**

PROPOSTA D			
ELEMENTOS CONSTRUTIVOS	CUSTO (m²)	Rw (dB)	Rt (m².K)/W
Alvenaria de vedação de blocos vazados de cerâmica de 9x19x19cm (espessura 9cm), para edificação habitacional multifamiliar (prédio). Af_11/2014	R\$ 59,50	44	0,23
Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 l, aplicada manualmente em panos de fachada com presença de vãos, espessura maior ou igual a 50 mm. Af_06/2014	R\$ 66,11		
Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 l, aplicada manualmente em panos internos	R\$ 42,92		
Chapisco aplicado em alvenaria (sem presença de vãos) e estruturas de concreto de fachada, com equipamento de projeção. Argamassa traço 1:3 com preparo em betoneira 400 l. Af_06/2014	R 6,08		
Janela de alumínio de correr, 2 folhas, vidros incolores duplos (4+9+4mm), com câmara de ar desidratada e borrachas especiais para vedação acústica 150 x 110 cm - Isosom	R\$ 540	18	-
Janela de alumínio maxim-ar, fixação com parafuso sobre contramarco (exclusive contramarco), com vidros, padronizada. Af_07/2016 80x60	R\$ 501	25	-
Porta de ferro tipo veneziana, de abrir, sem bandeira sem ferragens	R\$ 579,00	20	-

Fonte: Elaborada pelo autor.

A seguir são apresentados os resultados da proposta criada pelo 'Arquiteto A'.

### **D<sub>2mnT,w</sub> – Vedações com aberturas**

Os resultados da Tabela 45 demonstram que as soluções da Proposta D para a Classe I atenderiam a norma, tendo as vedações dos Quartos 02 do AP1 e 01 do AP2 os menores resultados. Já em relação aos índices da Classe II, as fachadas dos Quartos 02 AP1 e 01 do AP2 não atenderiam a norma, tendo as demais vedações o desempenho mínimo. Para a Classe III, as vedações verticais com aberturas, em nenhuma unidade habitacional, atenderiam a norma de desempenho.

**Tabela 45** - Desempenho acústico  $D_{2mnT,w}$ 

DESEMPENHO ACÚSTICO NAS UNIDADES – $D_{2mnT,w}$						
APARTAMENTO 3 QUARTOS						
AMBIENTES COM ABERTURAS		$D_{2mnT,w}$	Corrigido	Classe I	Classe II	Classe III
Sala e Cozinha integrada AP1	Proposta D	28,9	26,9	Intermediário	Mínimo	Não atende
Quarto 01 AP1	Proposta D	28,2	26,2	Intermediário	Mínimo	Não atende
Quarto 02 AP1	Proposta D	26	24	Mínimo	Não atende	Não atende
Quarto 03 AP1	Proposta D	27,6	25,6	Intermediário	Mínimo	Não atende
APARTAMENTO 2 QUARTOS						
AMBIENTES COM ABERTURAS		$D_{2mnT,w}$	Corrigido	Classe I	Classe II	Classe III
Sala e Cozinha integrada AP2	Proposta D	28,9	26,9	Intermediário	Mínimo	Não atende
Quarto 01 AP2	Proposta D	26,9	24,9	Mínimo	Não atende	Não atende
Quarto 02 AP2	Proposta D	27,6	25,6	Intermediário	Mínimo	Não atende

Fonte: Elaborada pelo autor.

### $D_{2mnT,w}$ - Vedações sem aberturas

Diferentemente dos resultados do  $D_{2mnT,w}$  para vedações verticais com aberturas, as vedações sem aberturas apresentam valores de desempenho superior (Tabela 46) em todos os ambientes simulados.

**Tabela 46** -  $D_{2mnT,w}$  para fachadas sem aberturas

APARTAMENTO 3 QUARTOS						
AMBIENTES SEM ABERTURAS		$D_{2mnT,w}$	Corrigido	Classe I	Classe II	Classe III
Quarto 01 AP1	Proposta D	45,8	43,8	Superior	Superior	Superior
Quarto 02 AP1	Proposta D	45,1	43,1	Superior	Superior	Superior
Quarto 03 AP1	Proposta D	45,7	43,7	Superior	Superior	Superior
APARTAMENTO 2 QUARTOS						
AMBIENTES SEM ABERTURAS		$D_{2mnT,w}$	Corrigido	Classe I	Classe II	Classe III
Quarto 01 AP2	Proposta D	45,2	43,2	Superior	Superior	Superior
Quarto 02 AP2	Proposta D	45,7	43,7	Superior	Superior	Superior

Fonte: Elaborada pelo autor.

### $D_{nT,w}$ nas áreas comuns

As Tabelas 47 e 48 ilustram o desempenho acústico para vedações internas entre áreas comuns. Os índices de isolamento sonoro entre a Sala/Cozinha e o Hall da solução proposta

pelo ‘Arquiteto A’ não alcançou o valor mínimo normativo. Já o isolamento acústico entre as unidades habitacionais alcançou o desempenho mínimo.

**Tabela 47** -  $D_{nTw}$  entre unidades e Hall

DESEMPENHO ACÚSTICO NAS ÁREAS COMUNS					
ENTRE HABITAÇÕES COM HALL					
	AMBIENTE		$D_{nTw}$	NBR 15575	NBR 10152
Modelo original	Sala e Cozinha integrada	Corredor externo	33,7	Não atende	Sem qualidade

Fonte: Elaborada pelo autor.

**Tabela 48** -  $D_{nTw}$  entre unidades habitacionais

DESEMPENHO ACÚSTICO NAS ÁREAS COMUNS					
ENTRE HABITAÇÕES					
	AMBIENTES		$D_{nTw}$	NBR 15575	NBR 10152
Modelo original	Sala e Cozinha integrada AP1	Sala e Cozinha integrada AP2	43,2	Mínimo	Ouve com dificuldade

Fonte: Elaborada pelo autor.

As Tabelas 49 e a Tabela 50 ilustram os resultados das vedações internas com aberturas e sem aberturas, respectivamente. De acordo com a norma, os resultados dos sistemas de vedação vertical com abertura foram classificados como ‘Sem qualidade’, já os ambientes sem aberturas tiveram um resultado aceitável, mas com baixa qualidade.

**Tabela 49** -  $D_{nTw}$  de vedações na mesma unidade habitacional com aberturas

DESEMPENHO ACÚSTICO NAS UNIDADES - $D_{nTw}$			
APARTAMENTO 3 QUARTOS			
AMBIENTES COM ABERTURAS		PROPOSTA D	
Ambiente A	Ambiente B	$D_{nTw}$	NBR 10152
Banheiro 01	Corredor AP1	30,6	Sem qualidade
Corredor AP1	Banheiro 01	30,2	Sem qualidade
Quarto AP1 01	Corredor AP1	29,1	Sem qualidade
Corredor AP1	Quarto AP1 01	26,3	Sem qualidade
Corredor AP1	Quarto AP1 02	26,0	Sem qualidade
Quarto AP1 02	Corredor AP1	27,4	Sem qualidade
APARTAMENTO 2 QUARTOS			
Banheiro AP2	Corredor AP2	30,3	Sem qualidade
Corredor AP2	Banheiro AP2	29,7	Sem qualidade
Corredor AP2	Quarto 01 AP2	32	Sem qualidade
Quarto 01 AP2	Corredor AP2	31	Sem qualidade
Quarto 02 AP2	Corredor AP2	28,8	Sem qualidade
Corredor AP2	Quarto 02 AP2	25,4	Sem qualidade

Fonte: Elaborada pelo autor.



**Tabela 50** -  $D_{nTw}$  de vedações na mesma unidade habitacional sem aberturas

<b>DESEMPENHO ACÚSTICO NAS UNIDADES - <math>D_{nTw}</math></b>			
<b>APARTAMENTO 3 QUARTOS</b>			
<b>AMBIENTES SEM ABERTURAS</b>		<b>PROPOSTA D</b>	
Ambiente A	Ambiente B	$D_{nTw}$	NBR 10152
Quarto AP1 02	Quarto AP1 03	45,2	Ouve com dificuldade
Quarto AP1 03	Quarto AP1 02	45,6	Ouve com dificuldade
Sala/Coz AP1	Banheiro 01	45,2	Ouve com dificuldade
Banheiro 01	Sala/Coz AP1	45,6	Ouve com dificuldade
Sala/Coz AP1	Quarto AP1 01	45,2	Ouve com dificuldade
Quarto AP1 01	Sala/Coz AP1	45,6	Ouve com dificuldade
Quarto AP1 01	Corredor AP1	45,6	Ouve com dificuldade
Corredor AP1	Quarto AP1 01	45,2	Ouve com dificuldade
Quarto AP1 01	Corredor AP1	45,6	Ouve com dificuldade
Corredor AP1	Quarto AP1 01	43,2	Ouve com dificuldade
Quarto AP1 03	Banheiro 01	45,6	Ouve com dificuldade
Banheiro 01	Quarto AP1 03	43,2	Ouve com dificuldade
<b>APARTAMENTO 2 QUARTOS</b>			
Quarto AP1 02	Quarto AP1 01 4	45,6	Ouve com dificuldade
Quarto AP1 01	Quarto AP1 02 2	45,2	Ouve com dificuldade
Sala/Coz AP2	Banheiro 01 AP2	45,6	Ouve com dificuldade
Banheiro 01 AP2	Sala/Coz AP2 7	43,2	Ouve com dificuldade
Quarto 02 AP2	Banheiro 01 AP2	45,6	Ouve com dificuldade
Banheiro 01 AP2	Quarto 02 AP2	45,2	Ouve com dificuldade

Fonte: Elaborada pelo autor.

### **Transmitância térmica e capacidade térmica**

A Tabela 51 ilustra os resultados da simulação térmica. As alterações propostas pelo 'Arquiteta A' não alcançaram os níveis necessários para atender aos requisitos de transmitância térmica em determinadas situações, havendo a necessidade de uma nova proposta de projeto.

**Tabela 51 - Resultado do desempenho térmico da Proposta D**

<b>DESEMPENHO TÉRMICO DAS FACHADAS</b>								
				TRANSMITÂNCIA TÉRMICA			CAPACIDADE TÉRMICA	
<b>APARTAMENTO 3 QUARTOS</b>				Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	Zonas 1,2, 3,4,5,6 e 7	Zona 8
				$U \leq 2,5$	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$	$CT \geq 130$	Não se aplica
Ambiente		U	CT		$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$		
Sala Coz. Int. AP1	Proposta D	2,75	210	Não atende	Atende	Não atende	Atende	-
Quarto AP1 01	Proposta D	2,75	210	Não atende	Atende	Não atende	Atende	-
Quarto AP1 02 2	Proposta D	2,75	210	Não atende	Atende	Não atende	Atende	-
Quarto AP1 03 3	Proposta D	2,75	210	Não atende	Atende	Não atende	Atende	-

<b>APARTAMENTO 2 QUARTOS</b>								
				Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	Zonas 1,2, 3,4,5,6 e 7	Zona 8
Ambiente		U	CT	TRANSMITÂNCIA TÉRMICA			CAPACIDADE TÉRMICA	
Sala Coz. Int. AP2	Proposta D	2,75	210	Não atende	Atende	Não atende	Atende	-
Quarto 01 AP2	Proposta D	2,75	210	Não atende	Atende	Não atende	Atende	-
Quarto 02 AP2	Proposta D	2,75	210	Não atende	Atende	Não atende	Atende	-

Fonte: Elaborada pelo autor.

## Custo

A Tabela 52 ilustra o custo final da Proposta D. Em relação ao modelo original, houve um aumento de 30% do valor. Esse aumento é explicado pela troca do sistema de revestimento interno de gesso por argamassa e também pelo aumento no custo com a troca do sistema de fechamento em bloco de concreto pelo bloco cerâmico.

**Tabela 52 - Custo da Proposta D**

<b>PROPOSTA D</b>	
<b>PAREDES</b>	
<b>MATERIAIS</b>	<b>CUSTO</b>
Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 l, aplicada manualmente em panos de fachada com presença de vãos, espessura maior ou igual a 50 mm. Af_06/2014	R\$ 11.177
Chapisco aplicado em alvenaria (sem presença de vãos) e estruturas de concreto de fachada, com equipamento de projeção. Argamassa traço 1:3 com preparo em betoneira 400 l. Af_06/2014	R\$ 3.165
Alvenaria de vedação de blocos vazados de cerâmica de 9x19x19cm (espessura 9cm), para edificação habitacional multifamiliar (prédio). Af_11/2014	R\$ 16.810
Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 l, aplicada manualmente em panos internos	R\$ 17.208
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 48.362</b>
<b>PORTAS</b>	
<b>MATERIAIS</b>	<b>CUSTO</b>
Porta de ferro tipo veneziana, de abrir, sem bandeira sem ferragens	R\$ 6.369
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 6.369</b>
<b>JANELAS</b>	
<b>MATERIAIS</b>	<b>CUSTO</b>
Janela de alumínio de correr, 2 folhas, vidros incolores duplos (4+9+4mm), com câmara de ar desidratada e borrachas especiais para vedação acústica 150 x 110 cm - Isosom	R\$ 3.786
Janela de alumínio maxim-ar, fixação com parafuso sobre contramarco (exclusive contramarco), com vidros, padronizada. Af_07/2016 80x60	R\$ 1.006
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 4.7982</b>
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>R\$ 59.523</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

### **Conclusões da avaliação do ‘Arquiteto A’:**

Em relação às dificuldades no uso da estrutura o ‘Arquiteto A’ afirmou ter achado a interface do programa muito tranquila de se utilizar, já que ela trabalha de forma automatizada. Porém, ele comenta que seu uso depende logicamente do conhecimento da ferramenta de projeto Revit.

Sobre as potencialidades do uso da estrutura no desenvolvimento de projeto, o mesmo afirma que a ferramenta é muito útil, porque permite compreender quais são as partes críticas do projeto, proporcionando soluções objetivas e pontuais. Outro ponto importante é a parte da orçamentação que o *plug-in* desenvolve, que permite, ao usuário, de imediato avaliar o custo-benefício de seu projeto, buscando soluções que coadunem qualidade projetual e viabilidade econômica.

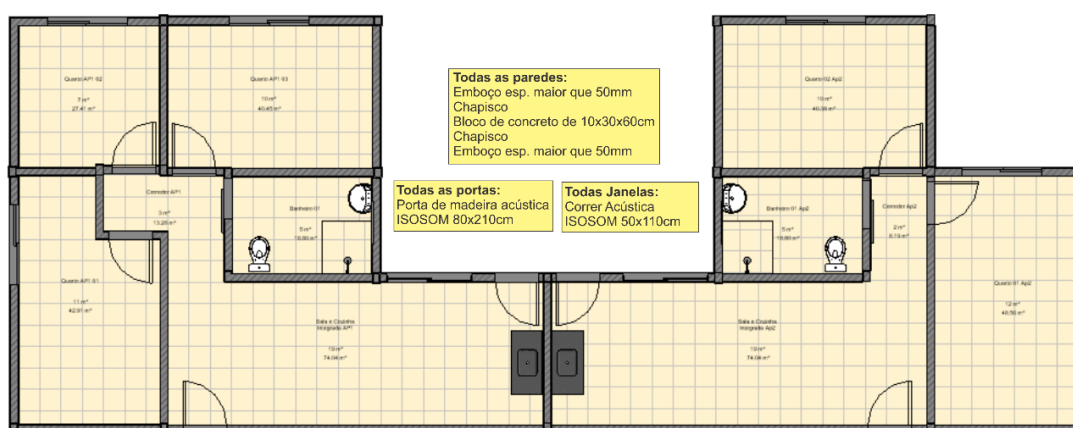
Para o ‘Arquiteto A’ o mais importante no uso da estrutura é a possibilidade de realizar um anteprojeto, ou uma primeira proposta para o cliente, que já leve em consideração o desempenho e que já possibilite uma estimativa de custo real. Além das correções objetivas, que poupam tempo, a estrutura é útil para reduzir retrabalho em fases futuras, uma vez que

força o projetista a já pensar em materiais e sistemas construtivos, bem como em seus respectivos indicadores de desempenho, já em etapas primárias e projeto.

#### 4.6.2 Proposta E

A Figura 37 ilustra as alterações realizadas no projeto pelo ‘Arquiteto B’ e a Tabela 53 resume as propriedades físicas e o custo dos elementos construtivos que compõem as unidades habitacionais da Proposta E.

**Figura 37** – Proposta E e seus elementos construtivos



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Tabela 53** – Informações da Proposta E

ELEMENTOS CONSTRUTIVOS	CUSTO	Rw (dB)	Rt (m <sup>2</sup> .K)/W
Alvenaria com blocos de concreto celular 10x30x60cm, espessura 10cm, assentados com argamassa traço 1:2:9 (cimento, cal e areia) preparo manual	58,89	43	-
Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 l, aplicada manualmente em panos de fachada com presença de vãos, espessura maior ou igual a 50 mm. Af_06/2014	66,11		
Chapisco aplicado em alvenaria (sem presença de vãos) e estruturas de concreto de fachada, com equipamento de projeção. Argamassa traço 1:3 com preparo em betoneira 400 l. Af_06/2014	6,08		
Aplicação manual de gesso sarrafeado (com taliscas) em paredes de ambientes de área entre 5m <sup>2</sup> e 10m <sup>2</sup> , espessura de 1,0cm. Af_06/2014	22,92		
Janela Termo Acústica no modelo de correr 2 folhas. Vidro Duplos 4/9/4 com câmara de ar desidratado, 25 Prime.	1.998,00	25	-
Janela de alumínio maxim-ar, fixação com parafuso sobre contramarco (exclusive contramarco), com vidros, padronizada. Af_07/2016 80x60	501,00	22	-
Porta isolante acústica 080x210 cm constituída de painéis MDF contraplacados, com miolo de lã mineral e manta flexível isolante 30 dB.	3.450,00	30	-
Porta de madeira 1a correr guarnição 15cm/alizar	535,00	25	-
Porta isolante acústica 160x210 cm constituída de painéis MDF contraplacados, com miolo de lã mineral e manta flexível isolante 30 dB.	9.500	30	-

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na sequência são apresentados os resultados da simulação da Proposta E.

### **$D_{2mnT,w}$ – Vedações com aberturas**

As Tabelas 54 e 55 ilustram os resultados da simulação acústica do índice de isolamento das fachadas com e sem aberturas da proposta do ‘Arquiteto B’. Os resultados para o  $D_{2mnT,w}$  para as fachadas com aberturas alcançaram índices satisfatórios em relação à normal, com as piores avaliações na Classe III.

**Tabela 54** - Desempenho acústico  $D_{2mnT,w}$

<b>DESEMPENHO ACÚSTICO NAS UNIDADES – <math>D_{2mnT,w}</math></b>						
<b>APARTAMENTO 3 QUARTOS</b>						
<b>AMBIENTES COM ABERTURAS</b>		<b><math>D_{2mnT,w}</math></b>	<b>Corrigido</b>	<b>Classe I</b>	<b>Classe II</b>	<b>Classe III</b>
Sala e Cozinha integrada AP1	Proposta E	35,1	33,1	Superior	Intermediário	Mínimo
Quarto 01 AP1	Proposta E	35,2	33,2	Superior	Intermediário	Mínimo
Quarto 02 AP1	Proposta E	33,0	31,0	Superior	Intermediário	Mínimo
Quarto 03 AP1	Proposta E	34,7	32,7	Superior	Intermediário	Mínimo
<b>APARTAMENTO 2 QUARTOS</b>						
<b>AMBIENTES COM ABERTURAS</b>		<b><math>D_{2mnT,w}</math></b>	<b>Corrigido</b>	<b>Classe I</b>	<b>Classe II</b>	<b>Classe III</b>
Sala e Cozinha integrada AP2	Proposta E	35,1	33,1	Superior	Intermediário	Mínimo
Quarto 01 AP2	Proposta E	33,9	31,9	Superior	Intermediário	Mínimo
Quarto 02 AP2	Proposta E	34,6	32,6	Superior	Intermediário	Mínimo

Fonte: Elaborada pelo autor.

### **$D_{2mnT,w}$ - Vedações sem aberturas**

Já as vedações sem aberturas apresentaram valores de desempenho superior em todos os ambientes simulados, fato explicado pelo índice de isolamento  $R_w$  que a parede proposta no projeto possui.

**Tabela 55** -  $D_{2mnTw}$  para fachadas sem aberturas

<b>APARTAMENTO 3 QUARTOS</b>						
<b>AMBIENTES SEM ABERTURAS</b>		$D_{2mnTw}$	Corrigido	Classe I	Classe II	Classe III
Quarto 01 AP1	Proposta E	43,8	41,8	Superior	Superior	Superior
Quarto 02 AP1	Proposta E	43,1	41,1	Superior	Superior	Superior
Quarto 03 AP1	Proposta E	43,7	41,7	Superior	Superior	Superior

<b>APARTAMENTO 2 QUARTOS</b>						
<b>AMBIENTES SEM ABERTURAS</b>		$D_{2mnTw}$	Corrigido	Classe I	Classe II	Classe III
Quarto 01 AP2	Proposta E	43,2	41,2	Superior	Superior	Superior
Quarto 02 AP2	Proposta E	43,6	41,6	Superior	Superior	Superior

Fonte: Elaborada pelo autor.

### $D_{nTw}$ nas áreas comuns

As Tabelas 56 e 57 ilustram o desempenho acústico para vedações internas entre áreas comuns. Os resultados do isolamento acústico entre a Sala/Cozinha e o Hall e unidades habitacionais – Sala e Cozinha AP 01 / Sala e Cozinha AP2, em ambas as unidades habitacionais, alcançaram um desempenho mínimo.

**Tabela 56** -  $D_{nTw}$  entre unidades e Hall

<b>DESEMPENHO ACÚSTICO NAS ÁREAS COMUNS</b>					
<b>ENTRE HABITAÇÕES COM HALL</b>					
	AMBIENTE		$D_{nTw}$	NBR 15575	NBR 10152
Proposta E	Sala e Cozinha integrada	Hall	41,8	Mínimo	Ouve com dificuldade

Fonte: Elaborada pelo autor.

**Tabela 57** -  $D_{nTw}$  entre unidades habitacionais

<b>DESEMPENHO ACÚSTICO NAS ÁREAS COMUNS</b>					
<b>ENTRE HABITAÇÕES</b>					
	AMBIENTES		$D_{nTw}$	NBR 15575	NBR 10152
Modelo original	Sala e Cozinha integrada AP1	Sala e Cozinha integrada AP2	43,2	Mínimo	Ouve com dificuldade

Fonte: Elaborada pelo autor.

As Tabelas 58 e 59 ilustram os resultados das vedações internas com aberturas e sem aberturas, respectivamente. Os sistemas de vedação com abertura apresentaram ambientes com baixa qualidade de isolamento acústico, já os ambientes sem aberturas tiveram um resultado aceitável, mas com baixa qualidade.

**Tabela 58** -  $D_{nT_w}$  de vedações na mesma unidade habitacional com aberturas

<b>DESEMPENHO ACÚSTICO NAS UNIDADES - <math>D_{nT_w}</math></b>			
<b>APARTAMENTO 3 QUARTOS</b>			
<b>AMBIENTES COM ABERTURAS</b>		<b>PROPOSTA E</b>	
Ambiente A	Ambiente B	$D_{nT_w}$	NBR 10152
Banheiro 01	Corredor AP1	30,5	Sem qualidade
Corredor AP1	Banheiro 01	30,2	Sem qualidade
Quarto AP1 01	Corredor AP1	36,8	Ouve e entende
Corredor AP1	Quarto AP1 01	34,1	Sem qualidade
Corredor AP1	Quarto AP1 02	33,8	Sem qualidade
Quarto AP1 02	Corredor AP1	35,3	Ouve e entende
<b>APARTAMENTO 2 QUARTOS</b>			
Banheiro AP2	Corredor AP2	30,3	Sem qualidade
Corredor AP2	Banheiro AP2	29,7	Sem qualidade
Corredor AP2	Quarto 01 AP2	38,6	Ouve e entende
Quarto 01 AP2	Corredor AP2	37,6	Ouve e entende
Quarto 02 AP2	Corredor AP2	36,3	Ouve e entende
Corredor AP2	Quarto 02 AP2	33,3	Sem qualidade

Fonte: Elaborada pelo autor.

**Tabela 59** -  $D_{nT_w}$  de vedações na mesma unidade habitacional sem aberturas

<b>DESEMPENHO ACÚSTICO NAS UNIDADES - <math>D_{nT_w}</math></b>			
<b>APARTAMENTO 3 QUARTOS</b>			
<b>AMBIENTES SEM ABERTURAS</b>		<b>PROPOSTA E</b>	
Ambiente A	Ambiente B	$D_{nT_w}$	NBR 10152
Quarto AP1 02	Quarto AP1 03	43,2	Ouve com dificuldade
Quarto AP1 03	Quarto AP1 02	43,6	Ouve com dificuldade
Sala/Coz AP1	Banheiro 01	43,2	Ouve com dificuldade
Banheiro 01	Sala/Coz AP1	43,6	Ouve com dificuldade
Sala/Coz AP1	Quarto AP1 01	43,2	Ouve com dificuldade
Quarto AP1 01	Sala/Coz AP1	43,6	Ouve com dificuldade
Quarto AP1 01	Corredor AP1	43,6	Ouve com dificuldade
Corredor AP1	Quarto AP1 01	43,2	Ouve com dificuldade
Quarto AP1 01	Corredor AP1	43,6	Ouve com dificuldade
Corredor AP1	Quarto AP1 01	43,2	Ouve com dificuldade
Quarto AP1 03	Banheiro 01	43,6	Ouve com dificuldade
Banheiro 01	Quarto AP1 03	43,2	Ouve com dificuldade
<b>APARTAMENTO 2 QUARTOS</b>			
Quarto AP1 02	Quarto AP1 01 4	43,6	Ouve com dificuldade
Quarto AP1 01	Quarto AP1 02 2	43,2	Ouve com dificuldade
Sala/Coz AP2	Banheiro 01 AP2	43,6	Ouve com dificuldade
Banheiro 01 AP2	Sala/Coz AP2 7	43,2	Ouve com dificuldade
Quarto 02 AP2	Banheiro 01 AP2	43,6	Ouve com dificuldade
Banheiro 01 AP2	Quarto 02 AP2	43,2	Ouve com dificuldade

Fonte: Elaborada pelo autor.

## Transmitância térmica e capacidade térmica

As composições de todas as vedações externas verticais foram especificadas com os mesmos materiais, resultando em valores de transmitância e capacidade térmica iguais a todas as vedações.

A Tabela 60 ilustra os resultados da simulação do desempenho térmico da Proposta E, do 'Arquiteto B'. De acordo com os resultados simulados, a proposta atenderia apenas aos requisitos de transmitância térmica, havendo a necessidade de uma reavaliação na escolha do sistema construtivo para o atendimento de ambos os requisitos normativos.

**Tabela 60 - Resultado do desempenho térmico**

DESEMPENHO TÉRMICO DAS FACHADAS								
				TRANSMITÂNCIA TÉRMICA			CAPACIDADE TÉRMICA	
APARTAMENTO 3 QUARTOS				Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	Zonas 1,2, 3,4,5,6 e 7	Zona 8
				$U \leq 2,5$	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$	$CT \geq 130$	Não se aplica
Ambiente		U	CT		$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$		
Sala Coz. Int. AP1	Proposta E	1,2	70	Atende	Atende	Atende	Não atende	-
Quarto AP1 01	Proposta E	1,2	70	Atende	Atende	Atende	Não atende	-
Quarto AP1 02 2	Proposta E	1,2	70	Atende	Atende	Atende	Não atende	-
Quarto AP1 03 3	Proposta E	1,2	70	Atende	Atende	Atende	Não atende	-
APARTAMENTO 2 QUARTOS				Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	Zonas 1,2, 3,4,5,6 e 7	Zona 8
Ambiente		U	CT	TRANSMITÂNCIA TÉRMICA			CAPACIDADE TÉRMICA	
Sala Coz. Int. AP2	Proposta E	1,2	70	Atende	Atende	Atende	Não atende	-
Quarto 01 AP2	Proposta E	1,2	70	Atende	Atende	Atende	Não atende	-
Quarto 02 AP2	Proposta E	1,2	70	Atende	Atende	Atende	Não atende	-

Fonte: Elaborada pelo autor.

## Custo

Tabela 61 ilustra o custo final da Proposta E. Em relação ao modelo original houve um aumento de 58% do valor. As propostas da implementação já ilustraram que o aumento da



qualidade acústica foi o principal fator no aumento do custo da edificação, ressaltando a importância de se analisar o custo nas etapas iniciais do processo de projeto.

**Tabela 61** – Custo da simulação da Proposta E

<b>PROPOSTA E</b>	
<b>PAREDES</b>	
<b>MATERIAIS</b>	<b>CUSTO</b>
Alvenaria com blocos de concreto celular 10x30x60cm, espessura 10cm, assentados com argamassa traço 1:2:9 (cimento, cal e areia) preparo manual	R\$ 8.399
Emboço ou massa única em argamassa traço 1:2:8, preparo mecânico com betoneira 400 l, aplicada manualmente em panos de fachada com presença de vãos, espessura maior ou igual a 50 mm. Af_06/2014	R\$ 11.332
Chapisco aplicado em alvenaria (sem presença de vãos) e estruturas de concreto de fachada, com equipamento de projeção. Argamassa traço 1:3 com preparo em betoneira 400 l. Af_06/2014	R\$ 1.042
Aplicação manual de gesso sarrafeado (com taliscas) em paredes de ambientes de área entre 5m <sup>2</sup> e 10m <sup>2</sup> , espessura de 1,0cm. Af_06/2014	R\$ 7.744
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 28.517</b>
<b>PORTAS</b>	
	<b>CUSTO</b>
Porta isolante acústica 080x210 cm constituída de painéis MDF contra-placados, com miolo de lã mineral e manta flexível isolante 30 dB.	R\$ 27.600
Porta de madeira 1a correr guarnição 15cm/alizar	R\$ 1.300
Porta isolante acústica 160x210 cm constituída de painéis MDF contra-placados, com miolo de lã mineral e manta flexível isolante 30 dB.	R\$ 9.000
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 37.900</b>
<b>JANELAS</b>	
	<b>CUSTO</b>
Janela Termo Acústica no modelo de correr 2 folhas. Vidro Duplos 4/9/4 com câmara de ar desidratado, 25 Prime.	R\$ 10.010
Janela de alumínio maxim-ar, fixação com parafuso sobre contramarco (exclusive contramarco), com vidros, padronizada. Af_07/2016 80x60	R\$ 1.006
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 11.016</b>
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>R\$ 77.423</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

### **Conclusões da avaliação do ‘Arquiteto B’:**

Em relação às dificuldades no uso da ferramenta o ‘Arquiteto B’ concluiu que a aplicação dos dados na própria ferramenta do Revit é muito fácil e direta, pois utiliza o próprio programa para entrada dos dados fundamentais, tais como: custo, resistência térmica, capacidade térmica e resistência acústica, dentro dos menus já existentes. O que torna automático para o usuário familiarizado com o *software* BIM.

De acordo com o ‘Arquiteto B’, para o usuário comum, no entanto, faz-se necessária maior interligação com o Excel. Porém, a apresentação final dos resultados gerados pela estrutura é fácil e objetiva, facilitando em muito a decisão de projeto, de maneira clara e

rápida. Sendo que a relação criada entre os custos e nas normas nacionais é um grande diferencial da estrutura.

Quando questionado sobre as potencialidades do uso da ferramenta no desenvolvimento de projeto, o ‘Arquiteto B’ argumentou que a interligação do Revit com outras áreas de avaliação foi positiva e que a estrutura aparentemente apresenta grandes possibilidades de desenvolvimento para outros aspectos. Porém, da forma que foi apresentada, já se apresenta como uma ferramenta por si só, e permite a completa utilização no auxílio do desenvolvimento dos projetos.

Sobre a potencialidade de a estrutura auxiliar na redução do tempo de projeto, o ‘Arquiteto B’ acredita que a estrutura possibilita esta redução de maneira muito significativa, pois a mesma utiliza os parâmetros de BIM em várias dimensões, usando os dados técnicos para realizar a avaliação do desempenho ambiental de imediato. E permitindo a realização de simulações que devolvem os resultados das avaliações térmica e acústica integradas aos custos, pautados nas normas nacionais. Por essa razão o projetista acredita que a estrutura facilita e agiliza em muito a decisão de projeto, pois retorna respostas das soluções propostas de forma rápida e sólida, já informando os custos delas.

E, por fim, o arquiteto conclui que é patente que a estrutura foi desenvolvida para uso profissional, pelo fato de, desde a entrada de dados inicial e das primeiras definições na ferramenta BIM, permitir a inserção dos dados de custos e, depois, realizar toda a simulação de custo. Considera ainda fundamental a integração de qualquer tipo de avaliação no processo projetual com os custos, pois somente dessa forma é possível sua utilização profissional.

#### **4.7 CUSTO GERAL**

Concluindo a avaliação de todas as propostas, a Tabela 62 resume as quatro simulações com seus respectivos custos e atendimento à norma de desempenho no requisito térmico e acústico.

Como discutido durante o decorrer desta sessão do trabalho, o modelo original foi o que teve o custo mais baixo, porém, não atendeu a norma em nenhum dos requisitos simulados. Já as Propostas A e D tiveram o maior custo, atendendo apenas a um dos requisitos. A construção da Proposta A teve como objetivo buscar atender a norma alterando-se o mínimo possível do modelo original; já a Proposta D foi criada por um profissional na fase de validação da estrutura. Em ambas os resultados demonstram a necessidade de maiores intervenções nas soluções projetuais. A Proposta B foi a que apresentou a melhor relação

custo x benefício no atendimento à normativa, demonstrando a importância de se estudar os custos das soluções durante a etapa de concepção do projeto e em diferentes propostas.

**Tabela 62** - Resumo dos resultados simulados

AVALIAÇÃO GERAL											
MODELO ORIGINAL		PROPOSTA A		PROPOSTA B		PROPOSTA C		PROPOSTA D		PROPOSTA E	
Custo	%	Custo	%	Custo	%	Custo	%	Custo	%	Custo	%
R\$ 45.670	100	R\$ 68.516	147	R\$ 53.881	117	R\$ 61.970	135	R\$ 59.523	130	R\$ 77.423	158
ATENDE A NORMA?											
Acúst.	Térm.	Acúst.	Térm.	Acúst.	Térm.	Acúst.	Térm.	Acúst.	Térm.	Acúst.	Térm.
Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a avaliação do impacto global do custo se utilizou a estimativa de gastos por etapa da obra (%) publicada pela revista Construção e Mercado do mês de abril de 2018. Na mesma consta que, para edificações habitacionais de interesse social e sem elevadores, os custos das vedações e das esquadrias são, respectivamente, entre 5 e 10% e de 4 a 7%. Neste caso foi utilizada a soma da média dos dois valores, totalizando 13%.

A Tabela 63 ilustra os valores estimados para o impacto global nas vedações verticais nos requisitos acústico e térmico para o atendimento da norma, indicando um aumento no custo total de 6,1% na Proposta A; 2,2% na Proposta B; 4,5% na Proposta C; 3,9% na Proposta D; e 7,5% na Proposta E. No caso específico das Propostas C e D, ainda existe a possibilidade de redução no impacto do custo, pois as soluções selecionadas possuem um menor impacto na sobrecarga sobre a estrutura, havendo a possibilidade de redução do custo na etapa de superestrutura.

**Tabela 63** - Impacto no custo global da edificação

	Proposta A	Proposta B	Proposta C	Proposta D	Proposta E
Impacto no custo global	6,1%	2,2%	4,5%	3,9%	7,5%

Fonte: Elaborada pelo autor.

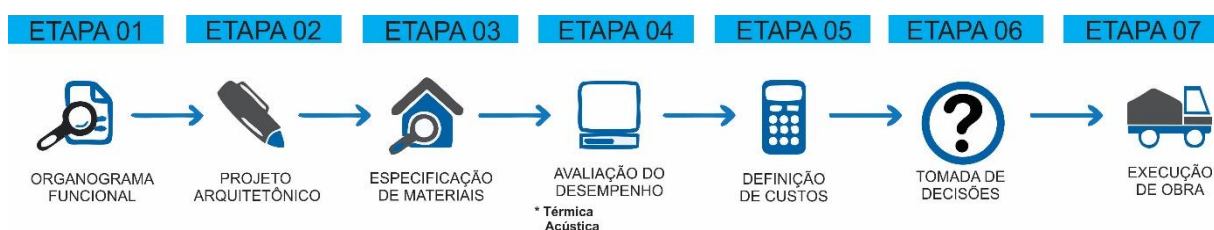
#### 4.6 AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA

Como mencionado nos objetivos desta tese, a estrutura analítica desta pesquisa foi construída para ser aplicada diretamente no processo projetual buscando a integração de três áreas distintas: análise do desempenho térmico, acústico e o custo, a fim de possibilitar o

desenvolvimento de diferentes soluções nas etapas iniciais do projeto, trabalhando de forma dinâmica e integrada, demandando um baixo esforço dos projetistas e auxiliando-os nas tomadas de decisões. Entendendo que não só apenas os dados de desempenho térmico, acústicos e o custo são determinantes na decisão final, pois outros fatores também fazem parte do processo decisivo.

A Figura 39 ilustra de forma sintética o processo de projeto comumente praticado pelos projetistas, indicando um fluxo de informações de forma linear, sendo necessária a finalização de uma etapa para o início da próxima. Este modelo de gerenciamento torna o trabalho demorado e passivo de erros, pois a falta de uma informação pode acarretar em erros futuros ou impossibilitar a continuidade de todo o processo.

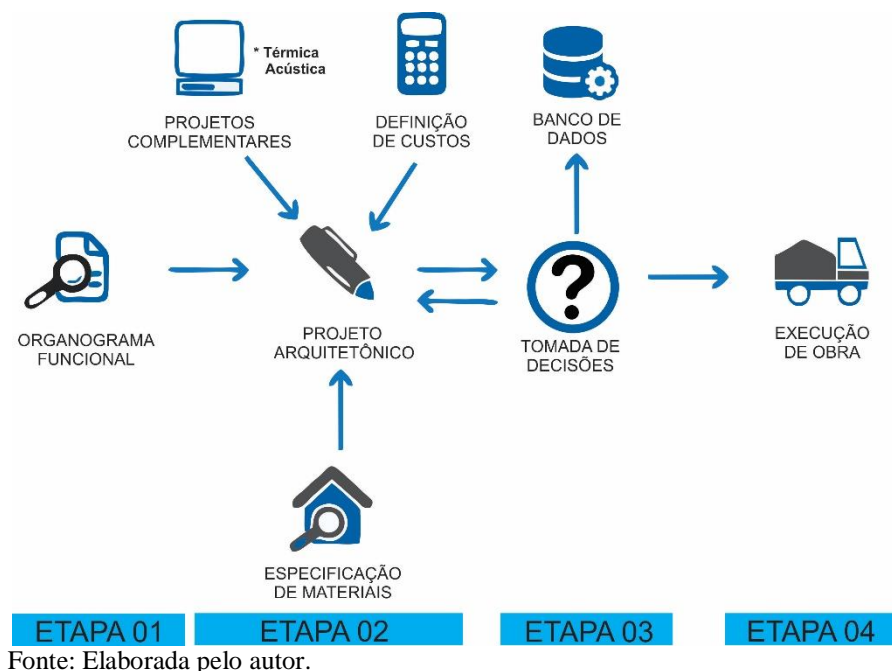
**Figura 38** - Síntese do processo projetual



Fonte: Elaborada pelo autor.

A estrutura criada nesta pesquisa alterou este gerenciamento da informação, o objetivo geral deste trabalho foi viabilizar a integração de três áreas distintas no processo projetual, utilizando o BIM-VPL como meio de gerenciar o fluxo das informações. A Figura 41 ilustra o fluxo gerado com a estrutura criada para esta pesquisa.

**Figura 39** - Gerenciamento da informação no novo processo de projeto



A estrutura criada, como demonstram os resultados, diminuiu o número de etapas dentro do processo de projeto, integrando as etapas de avaliação, custo e especificação de materiais na etapa do projeto arquitetônico. Foi criado um fluxo para a formação de um banco de dados de soluções na etapa de tomada de decisões, reduzindo o tempo de criação de soluções. E ainda: possibilitando, aos projetistas, a criação de mais estudos em projeto e aumentando as possibilidades de se escolher a solução que terá o menor custo com o maior desempenho.

Observou-se também que as três estruturas podem ser integradas facilmente ao processo de projeto como uma função de auxílio projetual. A possibilidade de criação de soluções em projeto baseado no VPL é ainda muito extensa e recente. A revisão da literatura ilustra que várias pesquisas estão sendo desenvolvidas em diferentes campos de simulação, demonstrando o crescimento nas pesquisas BIM-VPL e seu potencial para pesquisas futuras.

De acordo com os resultados descritos, em todas as propostas foi possível identificar quais os índices que cada solução alcançou de acordo com os requisitos estabelecidos na NBR 15575 (2013), avaliando-se o custo das decisões. Este processo permitiu modificar a configuração do projeto, estudar o impacto no desempenho pela alteração dos sistemas construtivos e realizar análises comparativas, em um curto espaço de tempo, sem a necessidade de grandes alterações no processo projetual, aumentando o valor do projeto e reduzindo custos de produção.

Seghier et al. (2017) afirmam que esse processo projetual pode ser caracterizado como um Sistema de Apoio a Decisão Passiva, já que a tomada de decisão no projeto é baseada na comparação manual do desempenho das diferentes soluções de projeto. A gestão das informações da construção dentro do processo projetual mostrou um grande potencial para o processo de remodelação do sistema atual de projeção. Com ele foi possível estabelecer um fluxo de trabalho que permitiu a construção da estrutura necessária para o desenvolvimento desta tese.

O gerenciamento do fluxo de informação permitiu a extração dos dados para simular o desempenho térmico e acústico a fim de auxiliar os projetistas em suas tomadas de decisões. As possibilidades ilustradas e validadas pelos arquitetos nos resultados demonstram que o objetivo geral do trabalho foi alcançado. A integração das duas ferramentas ao processo de projeto agrega valor ao produto final, reduz o tempo na produção e nas análises dos projetos arquitetônicos e diminuem o custo das soluções simuladas. Representando, assim, uma saída para as críticas que ocorrem na documentação e preservação dos recursos existentes, especialmente se estiverem conectados a um sistema automatizado.

Um dos objetivos específicos desta tese foi estudar a possibilidade de integrar o BIM ao VPL nas etapas iniciais do projeto. Os resultados demonstram que a integração entre o BIM e o VPL foi capaz de aprimorar os recursos paramétricos no desenvolvimento do projeto, criando novas funções que não eram possíveis de serem executadas no Revit. O uso da programação visual permitiu a integração de múltiplas ferramentas para propor uma estrutura de análise do desempenho em tempo real, como, por exemplo, Revit, Dynamo e Excel.

A VPL permitiu o controle do fluxo de informação implementado durante o processo de projeto, possibilitando o gerenciamento e a extração dos dados necessários para a realização dos cálculos para a avaliação. Os resultados mostraram que foi possível desenvolver toda a relação entre os 'nós' no VPL sem necessidade de nenhum domínio aprofundado em alguma linguagem de programação, podendo-se construir a estrutura necessária utilizando os pacotes de *scripts* existentes no Dynamo, sendo o fator chave de todo o processo a gestão da informação contida nos modelos BIM.

Além das variáveis relacionadas à geometria das paredes, como variações de dimensões de janela e portas, a estrutura possibilitou a realização de diferentes estudos alterando apenas um elemento construtivo do sistema, sendo capaz de produzir diferentes opções de projeto e diminuindo o impacto que o tempo de processamento que as análises possam vir a gerar nas decisões de projeto.

A possibilidade de criação e incorporação de uma variedade mais ampla de simulações de diferentes domínios no processo de projeto levará à exploração de mais soluções projetuais, proporcionando melhores suportes à decisão para os projetistas. Notou-se também que a programação visual pode reduzir as barreiras que os projetistas possuem no gerenciamento das informações do projeto, principalmente pelo fato de ser um método de trabalho intuitivo. No entanto, existem desafios significativos e limitações de linguagem visual na gestão de operações mais complexas. Esquemas de fluxo de controle mais complexos, como laços de interação entre mais informações, bem como o tratamento de informações inexistentes, ainda são lacunas a serem trabalhadas.

Quanto mais o usuário souber sobre o processo, melhor será a ferramenta e maiores serão os benefícios dos resultados. Porém, Ruchel et al., (2013); Asl (2015); Ding et al., (2015); Kensek (2015); Shen et al., (2016) e Edirisinghe et al. (2017) afirmam que o atual cenário BIM precisa avançar. O seu potencial ainda é pouco explorado e o conhecimento sobre as ferramentas é restrito. O uso da programação visual faz com que o nível de experiência requerido do usuário o torne inicialmente limitado apenas aos especialistas do BIM com uma boa compreensão da análise paramétrica do desempenho do edifício.

Shen et al. (2016) afirmam que a implementação da ferramenta BIM ainda está na ‘infância’, possuindo grandes oportunidades atraentes a serem desenvolvidas. No entanto, uma das considerações e desafios mais críticos é como gerir o máximo de informações nos estágios iniciais do projeto, já que esta etapa é a que mais tem influência no desempenho final da construção (EDIRISINGHE et al., 2017).

Os resultados deste estudo contribuem para uma melhor compreensão das formas de aplicação da programação visual no processo de projeto. O que seria útil para os profissionais projetistas desenvolverem estruturas e estratégias projetuais personalizadas, reduzindo o tempo de trabalho e aumentando o valor do projeto, lidando efetivamente com o fluxo de informação do projeto e buscando métodos para atender a demanda do mercado. O modelo de avaliação ilustra as possibilidades, para os pesquisadores, de realizar outros estudos sobre o tema.

#### **4.7 LIMITAÇÕES**

Os resultados desta pesquisa demonstram algumas limitações para o uso da programação visual integrada ao BIM. É primordial a familiarização dos arquitetos com a estrutura e a rotina de trabalho que a ferramenta BIM dispõe para que seja possível tirar o

máximo de proveito dos resultados. Como a modelagem paramétrica (Revit) e a programação visual (Dynamo) possuem muitas ferramentas e métodos de trabalho, o usuário precisa ter uma boa compreensão das seguintes metodologias:

- a) Familiarização com a ferramenta é a chave de todo o processo BIM, é preciso saber como funciona e a forma como os dados são armazenados nos modelos de informação. O usuário precisa entender onde inserir os dados para gerenciar as transações, certificando-se de que as mudanças paramétricas estejam de acordo com o previsto, para, assim, simular o desempenho. Exige-se conhecimento de modelagem paramétrica, identificando suas restrições e configurando as análises a serem feitas;
- b) O conceito da aplicação da programação visual é importante, pois o usuário precisa ter uma boa compreensão da forma como os dados são transferidos em ferramentas de programação visual (neste caso, Dynamo) e como construir um fluxo de trabalho utilizando os pacotes de comandos existentes na ferramenta. Todas as restrições e conceitos relacionados ao BIM devem ser considerados na modelagem paramétrica usando o Dynamo para evitar problemas de interação com o Revit e na exportação de dados para programas externos.

A Tabela 64 resume as dificuldades encontradas no processo de integração BIM-VPL, ilustrando a necessidade de o usuário se familiarizar com o processo BIM para ser capaz de propor alternativas para os problemas que surgirem.



**Tabela 64** - Dificuldades encontradas no processo

<b>Informação necessária</b>	<b>Existe no Revit?</b>	<b>Foi desenvolvido?</b>
Área dos elementos	Sim	Não
Área de abertura (comprimento x altura)	Não	Sim
Relação dos elementos das vedações heterogêneas	Não	Sim
Índice acústicos	Não	Sim
Autodetecção dos ambientes correspondente por cada sistema de vedação.	Não	Sim
Autodetecção das janelas ou portas que compõe cada fachada	Não	Sim
Autodetecção das janelas ou portas que compõe cada ambiente interno	Não	Sim
Cálculo de desempenho acústico	Não	Sim
Cálculo de desempenho térmico*	Sim	Sim
Orçamento **	Sim	Sim
Exportação dos dados em Excel	Não	Sim

\*O Revit calcula a transmitância, porém o processo de cálculo da capacidade térmica foi criado.

\*\*O Revit calcula o custo de alguns materiais em volume, e no Brasil estes mesmos materiais são orçados em m<sup>2</sup>, sendo necessário a intervenção no VPL.

Fonte: Elaborada pelo autor.

O uso do VPL permitiu a construção das funções e relações necessárias nas etapas de avaliações, sendo importante a análise e o entendimento do desempenho paramétrico durante sua criação, pois este permite definir as variáveis e conexões relacionadas para criar modelos alternativos com as mudanças necessárias para estudos de desempenho, possibilitando a criação de fluxos de trabalho e definindo as variáveis de decisão e as funções de análise.

Outras barreiras encontradas durante o desenvolvimento da estrutura foram:

- a) Traduzir dados de uma ferramenta de projeto para a entrada de uma ferramenta BIM-VPL adicionando as propriedades e corretas ao modelo 3D;
- b) Dados técnicos de desempenho acústico de materiais existentes nas tabelas SINAPI;
- c) Custos dos materiais acústicos.

Uma tarefa aparentemente simples de desenhar uma porta em uma ferramenta CAD não é tão simples no ambiente BIM. O projetista desenha uma superfície quadrada que claramente representa uma porta vista por cima, mas que, no BIM, representa apenas uma superfície com zero propriedades. O que nem sequer está perto de ser entendido como porta, mesmo se o projetista desenhar os portais e alizares, ficando claro que a falta de informação na integração do BIM-VPL impossibilita o seu funcionamento.

## CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

É evidente a importância das normativas buscando o desempenho das edificações a fim de reduzir o custo no desenvolvimento do projeto e no uso da edificação, bem como aumentar as condições de habitabilidade da mesma. O cenário brasileiro, após a vigência da norma de desempenho, reforça a necessidade de que os arquitetos conheçam os aspectos técnicos da construção, exigindo uma postura diferente frente ao mercado de trabalho, sua formação e seus procedimentos na rotina de desenvolvimento de projetos.

Porém, como é tendência do mercado da construção civil os projetos se tornarem cada vez mais complexos, será maior a demanda por ferramentas para o uso de arquitetos e engenheiros para gerir e extrair informações apropriadas dos modelos. Aumentando também a necessidade de integração entre as diferentes metodologias para alcançar um projeto com um processo mais rápido, econômico e com desempenho, facilitando, assim, a produção de múltiplas alternativas.

### 5.1 CONTRIBUIÇÕES PARA O CONHECIMENTO

Os resultados a respeito do questionário demonstraram a dificuldade dos arquitetos para atender à norma de desempenho quanto aos requisitos do desempenho ambiental no atual cenário brasileiro. Foi exposta a falta de metodologias de avaliação, a dificuldades dos projetistas de trabalhar seus projetos buscando o desempenho e a influência que a norma irá gerar nas práticas profissionais. A NBR 15575 (2013) atribui uma necessidade de atualização dos profissionais e uma revisão da grade curricular dos cursos de arquitetura e urbanismo nas cadeiras de desempenho ambiental juntamente com a necessidade de uma mudança na prática de projetar, buscando o desempenho já nas etapas iniciais de projeto.

Como apresentado, a estrutura criada facilitou a avaliação e a tomada de decisão final nas modificações no projeto, pois, baseando-se no desempenho e nos custos simulados, os resultados indicaram de forma rápida os possíveis elementos construtivos passíveis de serem modificados em determinados sistemas construtivos pontuais.

Em contribuição às lacunas observadas na literatura, a ferramenta desenvolvida nesta pesquisa buscou exemplificar a integração entre diferentes *softwares* e métodos avaliativos a fim de unificar diferentes áreas dentro do processo de projeto baseado no desempenho em tempo real.

A estrutura proposta foi desenvolvida em uma plataforma *open-source* (Dynamo), que possibilita a melhoria contínua das funções criadas. A estruturação lógica foi baseada nos métodos previstos na normativa de desempenho brasileira como parâmetro de comparação dos índices de saída do projeto, fornecendo um *feedback* do desempenho ambiental e dos custos nas etapas iniciais, demonstrando a flexibilidade que o VPL tem como ferramenta de soluções projetuais.

A estrutura criou possibilidades de alterações com baixo impacto no processo projetual, já que a análise pode ser feita ainda no início do projeto. A estrutura calcula as decisões projetuais por meio das informações inseridas pelos projetistas e devolve valores de previsão de desempenhos e custos, cabendo, aos projetistas, decidir qual a melhor solução criada, podendo ser utilizado para analisar múltiplas soluções ao mesmo tempo.

A potencialidade do uso do BIM integrado ao VPL pode ajudar os projetistas na criação de diferentes ferramentas avaliativas, gerando uma ampla variedade de análises baseadas em simulação, aumentando o valor e a qualidade do projeto. Por meio da programação visual se pode gerir e controlar as informações contidas no projeto, tornando o processo de projeto mais produtivo e com menor margem de erro.

Viu-se que o uso do Dynamo integrado ao Revit permite a criação de diversos fluxos de avaliação de desempenho por meio do desenvolvimento de estruturas baseadas em outros métodos analíticos existentes, permitindo a simulação e a representação rápida de soluções dentro da plataforma BIM. E ainda melhorando o entendimento dos projetistas em relação à criação de restrições e dependências que as decisões projetuais podem gerar no desempenho final da edificação, principalmente nas etapas iniciais de projeto.

E por fim, pode-se avaliar o impacto que o custo pode gerar nas decisões projetuais, sendo este um importante fator a ser analisado durante o desenvolvimento do projeto. Como ilustrado nos resultados, as quatro propostas apresentaram valores de custo diversos, gerados por pequenas alterações projetuais na busca do atendimento do desempenho térmico e acústico. Como, por exemplo, em relação às propostas C e D, onde apenas a alteração das esquadrias teve um grande impacto no custo com um ganho pequeno de desempenho, não justificando o investimento. O que reforça a importância de se estudar o custo durante as escolhas projetuais.

## 5.2 TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento da pesquisa foram identificadas potencialidades de melhoria e ampliação das funcionalidades da ferramenta em trabalhos futuros:

- a) Visualizar os resultados dentro da mesma plataforma BIM, aumentando a compreensão das análises finais, proporcionando melhor suporte à decisão para as partes interessadas na construção de edifícios em uma única plataforma;
- b) Ampliar a interação de mais métodos avaliativos no mesmo modelo BIM-VPL, importando dados de desempenho de uma planilha de Excel para o modelo BIM e automatizando os componentes passíveis de serem utilizados no modelo;
- c) Aplicar a ferramenta para avaliação de edificações existentes, ampliando o escopo para outros usos, para testar a utilidade do fluxo de trabalho com resultados medidos em campo e simulados no computador;
- d) Aplicar a ferramenta em projetos maiores e complexos, pois se acredita que com o aumento da complexidade o *software* exigirá maior poder de processamento do equipamento, podendo comprometer o funcionamento da ferramenta;
- e) Aplicar a ferramenta em aulas de graduação para familiarizar os estudantes das potencialidades que a programação visual pode trazer ao processo projetual.

## REFERÊNCIAS

- ABDOUO, A. Effects of luminous environment on worker productivity in building spaces. **Jarchit Eng**, v. 33, n. 3, p.124-32, 1997.
- AHADZIE, D. K.; PROVERBS, D. G.; SARKODIE-POKU, I. Competencies required of project managers at the design phase of mass house building projects. **International Journal of Project Management**, v. 32, 2014.
- AQUINO, J. **Diagnóstico das dificuldades do uso de projeto para produção de vedações verticais**. São Paulo, 2005. 184p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- AKANMU, A.; ASFARI, B.; OLATUNJI, O. BIM-Based Decision Support System for Material Selection Based on Supplier Rating. **Buildings**, v. 5, n. 4, p. 1321-45, 2015.
- AKINTOYE, A. Analysis of factors influencing project cost estimating practice. **Journal of Construction Management & Economics**, v. 18, n. 1, p. 77–89, 2000.
- ALHARR, Y.; ARIF, M.; KATFYGIOTOU, M.; MAZROEI, A.; KAUSHIK; ELSARRAG, E. Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: a review of the literature. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 5, p. 1–11, 2016.
- APTE, M. G.; FISK, W. J.; DAISY, J. M. **Associations between indoor (CO<sub>2</sub>) concentrations and sick building syndrome symptoms in US Office Buildings: an analysis of the 1994-1996 BASE Study Data (LBNL 44385)**. *Indoor Air*, v.10, p. 246-257, 2000.
- ARANTES, B. **Conforto térmico em edificações de interesse social – um estudo de caso**. 2012. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2012.
- ARAÚJO, S.S. SIMÕES, R. S.; SPOSTO, R. M. Análise da Norma de Desempenho ABNT NBR 15575:2008 com ênfase no Desempenho Lumínico, no contexto de Brasília. **Arquitextos**, São Paulo, ano 13, n. 145, 05 jun. 2012.
- ASBEA: **Manual de Escopo de Projetos e Serviços de Arquitetura e Urbanismo**. Indústria Imobiliária: 2012.
- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). **Guideline 10P, Interactions Affecting the Achievement of Acceptable Indoor Environments, Second Public Review**. Atlanta: ASHRAE, 2010.
- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). **ASHRAE 55-2013 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 2013.
- ASL, M. R., STOUPINE, A., ZARRINMEHR, S; YAN, W. Optimo: A BIM-based Multi-Objective Optimization Tool Utilizing Visual Programming for High Performance. In: *Computation and Performance—Proceedings of the 31st International Conference on*

Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe (2013) **Anais...**, v.1, p. 69–77, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Acústica-Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade- Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações: Rio de Janeiro, 2005, 92 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais- Desempenho, parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais- Desempenho, parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

ATTIA, S. **Building Performance Simulation Tools**: selection criteria and user survey. Louvain La Neuve: Université Catholique de Louvain, 2010.

**Autodesk - Discover Dynamo**, 2016. Disponível em: <<http://dynamobim.org/explore/>>. Acesso em: 28 fev. 2018.

AZHAR, S., CARLTON, W. A., OLSEN, D.; AHMAD, I. Building information modeling for sustainable design and LEED ® rating analysis, **Automation in Construction**, v. 20, n.2, p. 217–224, 2011.

BABISCH W. Road traffic noise and cardiovascular risk. **Noise Health**, v.10, n.38, p.27-33, 2008.

BAICHIE, B., WALLIMAN, N., OGDEN, R. Compliance with building regulations in England and Wales. **Struct. Surv**, p.279–299, 2006.

BAGNATI, M. M. **Zoneamento Bioclimático e Arquitetura Brasileira** – Qualidade do ambiente construído. Tese (pós-graduação) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Cap. 1, p. 14.

BARBOSA, D. M.; BAX, M. A Design Science como metodologia para a criação de um modelo de Gestão da Informação para o contexto da avaliação de cursos de graduação. **Revista Ibero-Americana de Ciência da Informação**, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 32-48, abr. 2017. Disponível em: <<http://periodicos.unb.br/index.php/RICI/article/view/17841>>. Acesso em: 18 set. 2017.

BATLOUNI NETO, J. (2007). **As transformações do ambiente de Negócios e o Impacto sobre a estratégia e gestão de empresas do mercado de construção**. V SIBRAGEC – Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção. Disponível em:

<<http://www.fec.unicamp.br/~sibragec2007/progpdfs/sibragec2007painel02TECNUM.pdf>>. Acessado em: 05 jun. 2017.

BAX, M. P. Design Science: filosofia da pesquisa em Ciência da Informação e tecnologia. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO, 2014. Belo Horizonte. **Anais**. Belo Horizonte: UFMG, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação, 2014.

BAXTER, M. **Product design**: practical methods for the systematic development of new products. London: Chapman & Hall, 1996.

BECKER, R. Fundamentals of performance-based building design. **Building Simulation**. v.1, p. 356–371, 2008.

BISWAS, T., WANG, T.-H., KRISHNAMURTI, R. From design to pre-certification using building information modeling. **Journal of Green Building**, v. 8, n.1, p. 151–176, 2013.

BLACHERE, G. **Saber construir** – Habitabilidade, Durabilidade, Economía de los Edificios. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1967.

BLASCO, M.; BELIS, J.; BLEECKER, H. Acoustic failure analysis of windows in buildings. **Engineering Failure Analysis**, v. 18, n. 7, p. 1761-1774, 2011.

BORGES, C. A. M.; SABBATINI, F. H. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, USP, 2008. (Boletim Técnico, n. 515).

BORRMANN A.; RANK E. Specification and implementation of directional operators in a 3D spatial query language for building information models, **Adv. Eng. Inform.** v. 23, p. 32–4, 2009.

BRAGER, G. S.; DEAR, R. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. **Center for the Built Environment**. UC Berkeley: Center for the Built Environment. 1998.

BRADLEY, J. S. **Study looks at ways of achieving worker satisfaction with acoustical conditions**. Construction Innovation 8: 2003.

BRAY, I. K. **An Introduction to Requirements Engineering**. UK: Pearson Education Limited, 2002.

BRELIH, N. Thermal and acoustic comfort requirements in European standards and national regulations, **REHVA J.**, v. 50, n. 2, p. 16-19, mar 2013.

BRÍGITTE, G. T. N.; RUSCHEL, R. C. Modelo de informação da construção para o projeto baseado em desempenho: caracterização e processo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 9-26, out./dez. 2016

BRITISH STANDARD. **BS EN 12354-1** - Building acoustics- Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 1: Airborne sound insulation between rooms, 2000.

BRITISH STANDARD. **BS EN 12354-2** -Building acoustics- Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 2: Impact sound insulation between rooms, 2000.

BRITISH STANDARD. **BS EN 12354-3** -Building acoustics- Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 3: Airborn sound insulation against outdoor sound, 2000.

BRITO, A. C. AKUTSU, M., VITTORINO, F., AQUILINO, M. M. Contribuições para o aprimoramento da NBR 15575 referente ao método simplificado de avaliação de desempenho térmico de edifícios. In: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: Entac, 2012.

BRUNO, S.; FINO, M.; FATIUSO, F. Historic Building Information Modelling: performance assessment for diagnosis-aided information modelling and management. **Automation in Construction**. v. 86, p. 256–276, 2018.

BUENO, C. **Avaliação de desempenho ambiental de edificações habitacionais**: análise comparativa dos sistemas de certificação no contexto brasileiro. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Escola de Engenharia da São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

BULLINGER, H. J. BAUER, W., WENZEL, G.; BLACH, R. Towards user centred design (UCD) in architecture based on immersive virtual environments. **Computers in Industry**, v. 61, p. 372–379, 2010.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). 2013. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Fortaleza, Gadioli Cipolla Comunicação, 311 p.

CAVALCANTE, R. C. D. **Simulação energética para análise da arquitetura de edifícios de escritório além da comprovação de conformidade com códigos de desempenho**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

CAU. **Censo dos Arquitetos e Urbanistas do Brasil**. CAU, 2012. Disponível em: <<https://igeo.caubr.gov.br/igeo/>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

CEOTTO, L.H. A NBR 15575 estabelece níveis mínimos de desempenho. **Revista Projeto e Design**, São Paulo, n.369, p.8-11, nov. 2010.

CHENG, F., LI, H., WANG, Y.W., SKITMORE M.; FORSYTHE P., 2013. Modelling resource management in the building design process by information constraint Petri nets. **Automation in Construction**, p.92–99. 2013.



CHVATAL, K. M. S., et al. O projetista de edificações e a preocupação com o conforto térmico e conservação de energia em Campinas. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, IV ENCAC. **Anais**. Salvador, 1997.

CHVATAL, K. M. S. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 119-134, out./dez. 2014.

CLAUSEN, J.; NETTERSTRØM, B.; WOLFF, C. Lung function in insulation workers. **Br J Ind Med**, v. 50, n.3, p.252-6, 1993.

CEN - COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. **EN 15251:2007** – Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings-addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. CEN, Brussels, Belgium; 2011.

COOPER, R.; SLAGMULDER, R. **Custeio Alvo and value engineering**. Portland: Prooductivity Press, 1997.

COENDERS, J. L. Parametric and associative design as a strategy for conceptual design and delivery to BIM. **Construction**, pp. 1112– 1123, 2009.

CORRADO, V.; MECHRI, H. E. Uncertainty and Sensitivity Analysis for Building Energy Rating. **Journal of Building Physics**, v. 33, n. 2, p. 125-156, 2009.

COSTA, A.S. et al. O uso do método Estudo de Caso na Ciência da Informação no Brasil. **InCID: Revista de Ciência da Informação e Documentação**, Ribeirão Preto, v. 4, n. 1, p. 49-69, 2013.

DANTAS FILHO, J. B. P.; BARROS NETO, J. P.; ANGELIM, B. M. Mapeamento do fluxo de valor de processo de construção virtual baseado em BIM. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 343-358, out./dez. 2017.

DAY, J. K.; GUNDERSON, D. E. Understanding high performance buildings: The link between occupant knowledge of passive design systems, corresponding behaviors, occupant comfort and environmental satisfaction. **Building and Environment**, v.84, p. 114-124, 2015.

DE PAULA, N.; UECHI, M. E.; MELHADO, S. B. Novas demandas para as empresas de projeto de edifícios. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 137-159, jul./set. 2013.

DELL'ISOLA, A. P. E. **Value Engineering: Practical Applications for Design**. Construction, Maintenace & Operations. RS Means. Kingstone MA, 1997.

DÍAZ, C.; PEDRERO, A. An experimental study on the effect of rolling shutters and shutter boxes on the airborne sound insulation of windows. **Applied Acoustics**, v. 70, n. 2, p. 369-377, 2009.

DINO, I. G.; ÜÇOLUK, G. Multiobjective Design Optimization of Building Space Layout, Energy, and Daylighting Performance. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 31, n. 5, 2017.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

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

DUARTE, E. A. C.; VIVEIROS, E. Desempenho acústico na arquitetura residencial brasileira: parede de vedação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, p. 159-171, 2007.

EASTMAN, P.; TEICHOLZ; SACKS, L. **BIM Handbook**, A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2011.

EDIRISINGHE, R.; LONDON, K. A. L.; KALUTARA P.; ARANDA-MENA, G. Building information modelling for facility management: are we there yet?. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 24, n. 6, p.1119-1154, 2017.

FANGER, P. O. The variability of man's preferred ambient temperature from day to day. **Arch. Sci. Physio**, v. 24, 1973.

FERREIRA, J. A. C.; ZANNIN, P. H. T. Determinação de coeficientes de isolamento acústico: medições in situ e simulação computacional. **Ambiente Construído (Online)**, v. 7, p. 15-29, 2007.

FILHO, M. V. M.O. Ruído Ambiental: **Avaliação acústica de edificações**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

FISK W, J.; BLACK, D.; BRUNNER, G. Benefits and costs of improved IEQ in U.S. offices. **Indoor Air**, 2011.

FISK, W. J.; LEI-GOMEZ, Q.; MENDELL, M. J. Meta-analyses of the associations of respiratory health effects with dampness and mold in homes. **Indoor Air**, v. 17, n.4, p. 284–296, 2007.

FISK W. J.; ROSENFELD A. H. Estimates of improved productivity and health from better indoor environments. **Indoor Air**, v. 7, n.3, p.158-72, 1997.

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 (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

FORMOSO, C. T., (M.ASCE), L.S., CESARE, C. D.; ISATTO, E. L. Material Waste in Building Industry: Main Causes and Prevention. **J. Constr. Eng. Manage.**, ASCE, v. 128, n. 4, p. 316-325, 2002.

FRONTCZAK, M., WARGOCKI, P. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments *Build. Environ.*, v. 46, n.4, p. 922-937, 2011.

FULLER, R.; MCHALE, J. World Design Science Decade, 1965-1975. **World Resources Inventory**. USA: Southern Illinois University, 1965.

GABRIELLI, A. L. A. N.; PIRRÓ, L. F. S. Isolamento Térmico e Conforto Ambiental em Edifícios Residenciais na Região Sudeste do Brasil – Relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edifícios e a amplitude térmica interna. In: Congresso Nacional de Iniciação Científica – CONIC. São Paulo, **Anais. SEMESP**. 14º, 2014.

GALVIN, R. How many interviews are enough? Do qualitative interviews in building energy consumption research produce reliable knowledge? **Journal of Building Engineering**, v. 1, p.1–12, 2015.

GRAY, C., HUGHES, W. Building Design Management. **Butterworth-Heinemann**, Oxford. 2001.

GIUNTA, M. B. **Análise de modelagem de previsão acústica e mapeamento sonoro para a cidade de São Carlos-SP**. 2013. 170 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

GREENWOOD, J. An Examination of the Performance Based Building Code on the Design of a Commercial Building. **Construction Economics and Building**, 2012.

GREGORY, S. A. **The Design Method**. Butterworth, 1966.

GREGG, D. G.; KULKARNI, U. R.; VINZÉ, A. S. Understanding the philosophical underpinnings of software engineering research in information systems. **Information Systems Frontiers**, v. 3, n. 2, p. 169-183, 2001.

GERRETSEN, E. Prediction of Sound Insulation in Buildings: a tool to improve the acoustic quality. In: DAGA, **Proceedings...** Aachen: Institut für Technische Akustik der RWTH, 2003.

GRIGOLETTI, G. C.; SATTLER, M. A. Método de avaliação global de desempenho higratérmico de habitações de interesse social para Porto Alegre – RS – Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 101-114, abr./jun. 2010.

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

GÜNDÜZ, M.; NIELSEN, Y.; ÖZDEMİR, M. Quantification of Delay Factors Using the Relative Importance Index Method for Construction Projects in Turkey. **Journal of Management in Engineering**, v. 29, n. April, p. 133–139, 2012.

GUILLEN, I.; URIS, A.; ESTELLES, H.; LLINARES, J.; LLOPIS, A. **On the sound insulation of masonry wall facades**. *Building and Environment*, v. 43, pg. 523–529, 2008.

- HADJISOPHOCLEOUS, G. V.; BÉNICHOU, N; TAMIN, A. S. Literature review of performance-based codes and design environment, **Journal of Fire Protection Engineering**, v. 9, n. 1, p. 12-40, 1998.
- HALLER, M.; STEHN, L. Evaluation of efficiency in housing construction design In: Proc 27th Annual ARCOM Conference, 5-7 September, Bristol, UK, Association of Researchers in Construction Management, 797-806. **Anais...** 2011.
- HAMMARLUND, Y.; JOSEPHSON, P. E. **Cada erro tem seu preço**. Técnica, São Paulo, n. 1, p. 32-34, 1992.
- HAYNES B. P. The impact of office comfort on productivity. **J Facil Manag**, v.6, p. 37-51, 2008.
- HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. **Building Performance Simulation For Design and Operation**. New York: Spon Press, 2011.
- HENSEN; LAMBERTS. Introdução. In: SORGATO et al. **Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575**. Paranoá, Brasília, n 12, p. 14, 2013.
- HESKESTAD, A. Practical Experiences on a Systematic Method of Assessing Level of Fire Safety by Evaluating both Organizational and Technical Fire Protection Measures In: 3rd International Conference on Performance- Based Codes and Fire Safety Design Methods. **Anais...** 2000.
- HEVNER, A. R. et al. Design Science in information systems research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.
- HEYDARIAN, A. et al. Towards user centered building design: Identifying end-user lighting preferences via immersive virtual environments. **Automation in Construction**, v. 81, n. may, p. 56–66, 2017.
- HOLLBERG, A.; RUTH, J. LCA in architectural design — a parametric approach. **International Journal of Life Cycle Assessment**, p. 943–960, 2016.
- HOLT, G. D. Asking questions, analysing answers: relative importance revisited. **Construction Innovation: Information, Process, Management**, v. 14, n. 1, p. 2–16, 2014.
- HUEMANN, I. S. N. M. Engineering, Construction and Architectural Management Article information : **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 23, n. 2, p. 237–260, 2015.
- HUANG, L.; ZHU, Y.; OUYANG, Q.; CAO, B. A study on the effects of thermal, luminous, and acoustic environments on indoor environmental comfort in offices. **Environ**, v. 49, p. 304–309, 2012.
- HUOVILA, P. **Organisation&Management**. Technical Research Centre of Finland: 2005.
- HUOVILA, P.; PORKKA, J. **Conclusions and Recommendations on Decision Support Tools for Performance Based Building**. VTT Finland: Building and Transport Report, 2005.

ILHAN, B.; YAMAN, H. Green building assessment tool (GBAT) for integrated BIM-based design decisions, **Automation in Construction**. v. 70, p. 26–37, 2016.

INDRAGANTI, M.; OOKA, R.; RIJAL, H. B. Field investigation of comfort temperature in Indian office buildings: a case of Chennai and Hyderabad. **Building and Environment**, p. 195 – 214, 2013.

INDRAGANTI, M.; OOKA, R.; RIJAL, H. B.; BRAGER, G. S. Adaptive model of thermal comfort for offices in hot and humid climates of india. **Environ**, v.74, p. 39–53.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDZITION. **ISO 6241**: Performance standards in building - Principles for their preparation and factors to be considered, 1984.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDZITION. **ISO 140 – 6 - Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements –Part 6: Laboratory measurements of impact sound insulation of floor**. Geneve, 1978.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDZITION. **ISO 140 – 7- Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements –Part 7: Field measurements of airborne sound insulation of floor**. Geneve, 1978.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDZITION. **ISO 6240**. Performance standarts in building – Contents and apresentation. Geneva, Switzerland, 1980.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDZITION. **ISO 6241**. Performance standarts in building – Principles for their preparation and factors to be considered. Geneva, Switzerland, 1984.

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

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDZITION. **ISO 717-1 – Rating of Sound Insulation in Building Elements Part 1: Airborne Sound Insulation**. Geneve, 1996.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDZITION. **ISO 10052 – Acoustics – Field measurement of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound – Survey method** Geneve. 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDZITION. **ISO 29481-1:2010(E): Building Information Modeling — Information Delivery Manual — Part 1: Methodology and Format**, 2010.

JALAEI, F.; JRADE, A. Integrating building information modeling (BIM) and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings. **Sustainable Cities and Society**, v. 18, p. 95–107, 2015.

JAMISON, S. **Mode Lab | Two answers for ‘Why Dynamo’?** Disponível em: <<https://modelab.is/twoanswersforwhydynamo/>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

JANTUNEN M; HÄNNINEN, O.; KATSOUYANNI, K.; KNÖPPEL, H.; KÜNZLI, N.; LEBRET E; MARONI M; SAARELA, K.; SRÁM, R.; ZMIROU, D. Air pollution exposure in European cities. **J Expo Anal Environ Epidemiol**, v. 8, p. 495-518, 1998.

JAZIZADEH, F., GHAHRAMANI, A., BECERIK-GERBER, B., KICHKAYLO, T., OROSZ, M. User-led decentralized thermal comfort driven HVAC operations for improved efficiency in office buildings. **Energy Build**, v.70, p. 398–410, 2014.

JOSSE, R. **La acústica en la construcción**. Barcelona: Ed. Gustavo Gili, 1975.

JRADE, A.; JALAEI, F. Integrating building information modelling with sustainability to design building projects at the conceptual stage. **Building Simulation**, v.6, n.4, p. 429–444, 2013.

KAARLELA-TUOMAALA A.; HELENIUS, R.; KESKINEN, E.; HONGISTOA, V. Effects of acoustic environment on work in private office rooms and open-plan offices e longitudinal study during relocation. **Ergonomics**, v. 52, p.1423-44, 2009.

KANG, T. W.; HONG, C. H. A study on software architecture for effective BIM/GIS-based facility management data integration. **Automation in Construction**, v.54, p. 25-38, 2015.

KATAFYGIOTOU, M., SERGHIDES, D. Bioclimatic chart analysis in three climate zones in cyprus. **Indoor Built Environ.**, 1420326X14526909.

KENSEK, K. Visual programming for building information modeling: Energy and shading analysis case studies. **Journal of Green Building**, v.10, n. 4, p. 28–43, 2015.

KENSEK, K. M.; NOBLE, D. E. Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice, **Journal of Chemical Information and Modeling**, 2014.

KERN, A. P.; SILVA, A.; KAZMIERCZAK, C. S. O processo de implantação de normas de desempenho na construção: um comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15575/2013). **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 9, n. 1, p. 89-101, 2014.

KERN, A. P. **Proposta de um modelo de planejamento e controle de custos de empreendimentos de construção**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

KIM, H.; ASL, M. R.; YAN, W., Parametric BIM-based Energy Simulation for Buildings with Complex Kinetic Façades. **BIM – Applied**. v.1, p. 657–664, 2015.

KIM, J. I.; KOO, B.; SUH, S; SUH, W. Integration of BIM and GIS for formal representation of walkability for safe routes to school programs. **KSCE Journal of Civil Engineering**, p. 1-7. 2015.

KONIS, K.; GAMAS, A.; KENSEK, K. Passive performance and building form: An optimization framework for early-stage design support. **Solar Energy**, v. 125, p. 161–179, 2016.

KOSKELA, L.; HUOVILA, P. On Foundations of Concurrent Engineering. In: ALARCÓN, L. (Ed.). **Lean Construction**. Rotterdam: A.A. Balkema, 1997. p. 22-32.

KOSKELA, L.; HUOVILA, P.; LEINONEN, J. Design management in building construction: forum theory to practice. **J. Constr. Res.** v.3, n. 1, p.1–16, 2002.

KOTA, S.; HABERL, J. S; CLAYTON, M. J; YAN, W. Building Information Modeling (BIM)-based daylighting simulation and analysis. **Energy and Buildings**, v. 81, p. 391–403, 2014.

KOSONEN R; TAN, F. Assessment of productivity loss in air-conditioned buildings using PMV index. **Energy Building**, 2004.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. et al. Divulgação do conhecimento em conforto ambiental. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, VI ENCAC. Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, III ENLAC. **Anais...** São Pedro, SP, 2001.

KULULANGA, G. K.; KUOTCHA, W. S. Measuring organisational learning through project reviews. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 15, p. 580–595, 2008.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES, J. Design science research: A research method to production engineering. **Gestão & Produção**, v. 20, n.4, p.741–761, 2013.

LANDSTROM, U.; L. SODERBERG, A.; KJELLBERG, B.; NORD. Annoyance and performance effects of nearby speech. **Acta Acoustica**, v.88, p. 549-553, 2002.

LEFFINGWELL, D.; WIDRIG, D. **Managing Software Requirements: A Unified Approach**. Addison Wesley, 2000.

LEITÃO, A.; SANTOS, L.; LOPES, J. For Generative Design : Programming Languages For Generative Design. **International Journal of Architectural Computing**, v. 10, n.1, p. 139–162, 2012.

LEWTAS, J. Air pollution combustion emissions: characterization of causative agents and mechanisms associated with cancer, reproductive, and cardiovascular effects. **Mutat. Res.** v. 636, n.1, p. 95–133, 2007.

LIANG, H.; CHEN, C.; HWANG, R.; SHIH, W.; LO, S.; LIAO, H. Satisfaction of occupants toward indoor environment quality of certified green office buildings in Taiwan. **Build. Environ**, v.72, p. 232–242, 2014.

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.

LIM, Y.-W.; SHAHSAVARI, F.; FAZLENAWATI, N.; AZLI, M. N.; OSSEN, D. R.; AHMAD, M. H. Developing a BIM-based process-driven decision-making framework for sustainable building envelope design in the tropics. In: Developing a BIM-based process-driven decision-making framework for sustainable building envelope design in the tropics 149, pp. 531–542, (2015), Bristol. **Anais...** Bristol, Reino Unido, 2015.

LIM, Y.; SHAHSAVARI, F.; SEDIADI, E.; AZLI, N. F.; BINTI, M. N. Building Information Modelling for Building Energy Efficiency Evaluation. In: Building Information Modelling for Building Energy Efficiency Evaluation (2016), Singapura. **Anais...** Singapura, p. 42–48, 2016.

LIN, S.E.; GERBER, D. J. Designing-in performance: A framework for evolutionary energy performance feedback in early stage design. **Automation in Construction**, v. 38, p. 59–73, 2014.

LINS, F. U. **Análise de alternativas para melhoria do desempenho térmico de edifícios em alvenaria estrutural em face da norma brasileira 15.575**. 2012. p. 63. Monografia (Especialização no Curso de Pós Graduação em Gerenciamento de Obras) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR. Curitiba, 2012.

LIU, A.; FELLOWS, R.; NG, J. Surveyors' perspectives on ethics in organisational culture. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 11, n. 6, p. 438–449, 2004. LITTLER, J. G. F. Overview of Some Available Models for Passive Solar Design. **Comput Aided Design**, v. 14, p. 15-18, 1982.

LOMAS K. J. **Thermal Modeling of Building Envelopes: The State of the Art**. Hong Kong: Energy Efficient Buildings, Kowloon, 1992.

LOPES, A. S. **Processo de projeto de uma arquitetura sustentável para edificações de saúde**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2014.

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 (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MAHBOB, N. S.; KAMARUZZAMAN, S. N.; SALLEH, N.; SULAIMAN, R. Correlation and regression studies of indoor environmental quality (IEQ), human productivity, comfort and stress level in office buildings. **Journal of Computational and Theoretical Nanoscience**, 2013.

MAHBOB, N. S. A Correlation Studies of Indoor Environmental Quality (IEQ) Towards Productive Workplace. In: **2nd International Conference on Environmental Science and Technology IPCBEE**. p. 434-438, 2011.

MALMQVITS, T.; GLAUMANN, M. Environmental efficiency in residential buildings — a simplified communication approach. **Building and Environment**, v. 44, p. 937–947, 2009.



MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision support systems**, v. 15, n. 4, p. 251-266, 1995.

MAKRIS, M.; GERBER, D.; CARLSON, A; NOBLE, D. Informing Design through Parametric Integrated Structural Simulation. In: Computation and Performance—Proceedings of the 31st International Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe (2013) Delft. **Anais...** Delft, v.1, pp. 69–77, 2013.

MARQUES, P. M. C. M. **O Sistema de Certificação Energética Português – Certificação de Edifícios**. 2012. p.138. Dissertação (Mestrado) Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Energia. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012.

MARX, A. M. **Proposta de Método de GR para o Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, UFRGS, Porto Alegre, 2009.

MEACHAM, B. J. Sustainability and resiliency objectives in performance building regulations. **Building Research and Information**, v. 44, n. 5–6, p. 474–489, 2016.

MEACHAM, B. J.; VAN STRAALLEN, IJ. J. A socio-technical system framework for risk-informed performance-based building regulation. **Building Research and Information**, n. march, p. 1–19, 2017.

MELHADO, S. B. Gestão de Projetos Complexos e as Novas Demandas. In: SALGADO, M. S. et al. **Projetos Complexos e seus Impactos na Cidade e na Paisagem**. Rio de Janeiro: UFRJ/FAU/PROARQ; ANTAC, 2012.

MELHADO, S. B. Introdução. In: SORGATO et. al. **Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575**. Paranoá, Brasília, n. 12, p. 14, 2013.

MIRANDA, S. S. **A influência da NBR 15575 na prática da arquitetura na cidade de Pelotas, RS**. 2014. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal De Pelotas. Rio Grande do Sul, 2014.

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 a habitações térreas unifamiliares** – desempenho estrutural. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1988.

MOREIRA, M. A. M. **Determinação das Necessidades Energéticas de uma Fracção Autónoma à luz do Decreto-Lei 118/2013**. 155 f. Dissertação (Mestrado) realizada no Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia Mecânica. Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Braga, Portugal.

MORORÓ, M. S. M.; ROMCY, N. M. e S.; CARDOSO, D. R.; BARROS NETO, J. P. Proposta paramétrica para projetos sustentáveis de Habitação de Interesse Social em ambiente BIM. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 27-44, out./dez. 2016.

MOTTA, S. R. F.; AGUILAR, M. T. P. Sustentabilidade e processos de projeto de edificações. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v.4, n.1, 2009.

MUZAMMIL, M. F.; HASAN. Human performance under the impact of continuous and intermittent noise in a manual machining task. **Noise & Vibration Worldwide**, p.10-15, 2004.

NEGENDAHL, K.; Building performance simulation in the early design stage: An introduction to integrated dynamic models, **Automation in Construction**, v. 54, p. 39-53, 2015.

NETO, M. F. F. **Nível de Conforto Acústico**: uma proposta para edifícios residenciais. 2009. 257 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

NETO, M. F. F.; BERTOLI, S. R.; BARRY, Peter J. Diferença Entre Testes de Desempenho Acústico em Laboratório e Campo em Paredes de Alvenaria. In: Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, v.23, 2010, Salvador. **Anais...** Salvador: SOBRAC, 2010.

NICOL, F., WILSON, M., CHIANCARELLA, C. Using field measurements of desktop illuminance in European offices to investigate its dependence on outdoor conditions and its effect on occupant satisfaction, and the use of lights and blinds. **Energy Build**, 2006.

NICOL, J.; PAGLIANO, L. Allowing for thermal comfort in free-running buildings in the new european standard EN15251, **Proceedings of 2nd PALENC Conference and 28th AIVC Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century**, p. 708–711, 2007.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M.A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy Build**, v. 34, n.6, p. 563–572, 2002.

NIKOLOPOULOU, M.; STEEMERS, K. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. **Energy Build**, v.35, n.1, p. 95–101, 2003.

NUNAMAKER Jr, J. F.; CHEN, M. Systems development in information systems research. System Sciences. **Proceedings of the Twenty-Third Annual Hawaii International Conference**, IEEE, p. 631-640, 1990.

OLADINRIN, O. T.; HO, C. M.-F. Embeddedness of codes of ethics in construction organizations. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 23, n. 1, p. 75–91, 2016.

OKAMOTO, P. S.; MELHADO; S. B. A Norma Brasileira de Desempenho e o Processo de Projeto de Empreendimentos Residenciais. In: Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído, 15ª, 2014, Maceió. **Anais...** Maceió, 2014.

OLIVA, C. A. Comparação da gestão de processo de projeto por simulação: tradicional e Target Value Design. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 7, n. 3, p. 170-177, out. 2016.

OLIVA, C. A.; GRANJA, A. D. Proposta para adoção do Target Value Design (TVD) na gestão do processo de projeto de empreendimentos imobiliários. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 131-147, out./dez. 2015.

OLIVA, C. A.; GRANJA, A. D.; BALLARD, G.; MELO, R. S. S. Assessing Suitability of Target Value Design Adoption for Real Estate Developers in Brazil. In: Annual Conference Of The International Group For Lean Construction, 24., Boston, USA, p. 20-22, Jul 2016. **Proceedings...** Boston: IGLC.

OLIVEIRA, L. A.; MITIDIERI FILHO, C. V. O projeto de edifícios habitacionais considerando a norma brasileira de desempenho: análise aplicada para as vedações verticais. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, Brasil, v. 7, n. 1, p. 90-100, june 2012.

ONO, R. Parâmetros para garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 97-113, jan./mar. 2007.

PAULA, N.; UECHI, M.; MELHADO, S. Novas demandas para as empresas de projetos de edifícios. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 137-159, 2013.

PATEL, D. A.; KIKANI, K. D.; JHA, K. N. Hazard Assessment Using Consistent Fuzzy Preference Relations Approach. **Journal of Construction Engineering and Management**. p. 1–10, 2006.

PAVLOV, P. **Automation of information flow from Revit to Bsim using dynamo**. 2015. Dissertação (Mestrado), Programa de Gerenciamento da indústria da construção da Universidade de Aalborg, Aalborg, 2015.

PATRÍCIO, J. **Acústica nos Edifícios**. Lisboa: Verlag Dashöfer. 2010.

PASSERO, C.R.M., ZANNIN, P.H.T. Acoustic evaluation and adjustment of an open-plan office through architectural design and noise control. **Appl. Ergon**, v. 43, n.6, p. 1066–1071, 2012.

PATEL, D. A.; KIKANI, K. D.; JHA, K. N. Hazard Assessment Using Consistent Fuzzy Preference Relations Approach. **Journal of Construction Engineering and Management**. p. 1–10, 2016.

PERALTA, A. C. **Um Modelo do Processo de Projeto de Edificações, Baseada na Engenharia Simultânea, em Empresas Construtoras Incorporadoras de Pequeno Porte**. Florianópolis, 2002. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC. Florianópolis, 2002.

PEGORARO, C.; SAURIN, T. A.; PAULA, I. C. Gestão de requisitos na construção civil: um estudo de caso focado nos requisitos ambientais de um projeto urbanístico. **Prod.**, São Paulo, v.23, n.2, p.345-363, jun. 2013.

PETERSEN, S.; SVENDSEN, S. Method and simulation program informed decisions in the early stages of building design. **Energy and Buildings**, v. 42, p. 1113–1119, 2010.

PINTO, R. B. **Determinação experimental e numérica da Redução sonora aérea em paredes de Alvenaria utilizadas em habitações**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

POLLI, T. **O isolamento acústico comparado aos investimentos financeiros em edifícios multifamiliares de Florianópolis**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

PRINS, M.; OWEN, R. Integrated Design and Design Solutions. **Architectural and Design Management**, v.6, p. 232–240, 2010.

QUANG, T. N.; He, C.; KNIBBS, L.D.; de Dear, R.; MORAWSKA, L. Co-optimisation of indoor environmental quality and energy consumption within urban office buildings. **Energy Build**, v. 85, p. 225–234, 2002. State of the Science on Molds and Human. 2014.

RAJEH, M.; TOOKEY, J. E.; ROTINI, J. O. B. Estimating transaction costs in the New Zealand construction procurement: a structural equation modelling methodology. **Engineering, Construction and Architectural Management**, vol. 22, n. 2, p.242-267.

RIGHI, P. C. R. **Ferramenta para análise do desempenho acústico das edificações para fins de financiamento imobiliário**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2013.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. **Adapting buildings and cities for climate change**. Oxford: Architectural Press, 2009.

ROBSON, C. **Real world research: a resource for social scientists and practitioner**. Oxford: Blackwell, 1993.

RODRIGUES, A. M.; PIEDADE, A. C.; BRAGA, A. M. **Térmica de edifícios**. Afragide: Edições Orion, 2009.

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

ROULET, C.-A.; FLOURENTZOU, F. et al. ORME: A multicriteria rating methodology for buildings. **Building and Environment**, vol. 37, p. 579-586, 2002.

ROY, B.; BOUYSSON, D. **Aid multiple a la decision: methods et cas**. Económica, Paris (France), 1993.

SABERI, O.; SANEEL, P.; JAVANBAKHT, A. **Thermal Comfort in Architecture**. Architecture and Energy-Shahid Beheshti Uni. Tehran, Iran, 2006.

SANTOS, D.G.; CARVALHO, P. M.; CARVALHO, E. M.; FERREIRA, L. I. M.; VIANA, M. R. Desempenho de edificações residenciais: projetistas e empresas construtoras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16, 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

SANTOS, J. L. P. **Isolamento Sonoro de Partições Arquitetônicas**. Santa Maria: Editora UFSM, 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.

SCHADE, J.; OLOFSSON, T.; SCHREYER, M. Decision-making in a model-based design process. **Construction management and Economics**, v. 29, p. 371-382, 2011.

SILVA, A.; KERN, A.; PICCOLI, R.; GONZÁLEZ, M. A. Novas exigências decorrentes de programas de certificação ambiental de prédios e de normas de desempenho na construção. **Arquiteturarevista**, p. 105-114, 2014.

SERRA, J.; TENORIO, J. A. Experiencia española de transición: desde la dispersa normativa de la edificación prescriptiva hacia el nuevo Código Técnico de la Edificación 2006, una norma moderna y unificada, enfocada hacia las prestaciones. **Revista de Ingeniería**, 2014.

SHEHU, Z.; AKINTOYE, A. Major challenges to the successful implementation and practice of programme management in the construction environment: A critical analysis. **International Journal of Project Management**, v. 28, n. 1, p. 26–39, 2010.

SHI, X.; YANG, W. Performance-driven architectural design and optimization technique from a perspective of architects. **Automation in Construction**, v. 32, 125–135, 2013.

SIMON, H. **The Sciences of the Artificial**. MIT Press. ISBN 0-262-69191-4. 1996.

SILVEIRA, A. L.; ROMERO, M. B. Avaliação do desempenho térmico de edifício Habitacional em Teresina / Brasil. **XI Encontro nacional de tecnologia no ambiente construído**. Florianópolis, 2006.

SILVA, M. A. C., SOUZA, R. **Gestão do processo de projeto de edificações**. São Paulo: Editora O Nome da Rosa, 2003.

SILVA, A. C. S. B.; MARTINS, David J. ; RECKZIEGEL, S.; FERRUGEM, A. P.; RAU, Sabrina L. Ensaio sobre a utilização da automação de aberturas na simulação de desempenho térmico de edificações. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2009, Natal. **Anais do ... Encontro Nacional e ... Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Porto Alegre: ANTAC, 2009.

SGAMBELLURI, M. **Simply Complex: WHAT IS DYNAMO?** 2015. Disponível em: <<http://therevitcomplex.blogspot.my/2015/01/whatisdynamo.html>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

SHEN, L.; EDIRISINGHE, R.; YANG, M. G. An Investigation of BIM Readiness of Owners and Facility Managers in Singapore: Institutional Case study, In **Proceedings of CIB World Building Congress 2016**, Tampere, Finland, May 30 - June 3. 2016.

SOUZA, R.; BAÍA, J. L.; GUNJI, H. **Sistema de Gestão Para Empresas de Incorporação Imobiliária**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2004.

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

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. São Paulo: Perason Addion-Wesley, 2007.

SMOLANDER, J., 2002. Effect of cold exposure on older humans. **Int. J.Sports Med**, v. 23, n. 2, p. 86–92.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575. **Paranoá**, Brasília, n. 12, p. 14, 2013.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 Para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre. 14, n. 4, p. 83-101, out./dez. 2013.

STANDARD, A. Standard 55. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. American society of heating, refrigerating, and airconditioning engineers, Atlanta, 2010.

STEURER, R; HAMETNER, M. Objectives and indicators in sustainable development strategies: Similarities and variances across Europe. **Sustainable Development**, v. 21, n.4, p. 224–241, 2013.

TAKAHASHI, V. F. M. **Desempenho acústico de edificações**: ferramenta computacional para avaliação Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP, 2016.

TAVAKOL, M.; DENNICK, R. Making sense of Cronbach’s alpha. **International Journal of Medical Education**, v. 2, p. 53–55, 2011.

TILLER, D.; WANG, L. M.; MUSSER, A.; RADIK, M. AB-10-017: Combined effects of noise and temperature on human comfort and performance (1128-RP). **Architectural Engineering - Faculty Publications**. v. 40. 2010.

TOKARNIA, M. **CGU: maioria dos imóveis do Minha Casa, Minha Vida têm defeitos de construção**. Agência Brasil. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-08/cgu-maioria-dos-imoveis-do-minha-casa-minha-vida-tem-defeitos-de-construcao>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

TZORTZOPOULOS, P. **Contribuições para o Desenvolvimento de um Modelo do Processo de Projeto de Edificações em Empresas Construtoras Incorporadoras de Pequeno Porte**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

URIS, A.; BRAVO, J. M.; ESTELLES J. L. H. Influence of plastic electrical outlet boxes on sound insulation of gypsum board walls. **Building and Environment**, v. 42, p. 722–729, 2007.

VAN AKEN, J. E. Management Research as a Design Science: articulating the research Products of mode 2 knowledge production in management. **British Journal of Management**, v. 16, p. 19–36, 2005.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. **Design Research in Information Systems**. 2009.

VAKKARI, P. Library and information science: Its content and scope. **Advances in Librarianship**, v.18, p.1-55, 1994.

VÁSQUEZ-HERNÁNDEZ, A.; ÁLVAREZ, M. F. R. Evaluation of buildings in real conditions of use: Current situation, **Journal of Building Engineering**, 2016.

VOM BROCKE, J.; FETTKE, P.; GAU, M.; HOUY, C.; MAEDCHE, A.; MORANA, Stefan; SEIDEL, S. **Tool-Support for Design Science Research: Design Principles and Instantiation**. 2017. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=2972803>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

WANG, C.; SI, Y.; ABDUL-RAHMAN, H.; WOOD, L. C. Noise annoyance and loudness: Acoustic performance of residential buildings in tropics. **Building Services Engineering Research and Technology**, v. 36, n. 6, p. 680 – 700, 2015.

WBDG Sustainable Committee. Enhance indoor environmental quality (IEQ). 2015.

WEAVER, E.A. **Three useful tools for goal setting: judgement analysis, the Taylor-Russell diagram and the System Dynamics Model**. International policy and local needs, National Academy of Sciences, Washington DC, 2003.

WIERINGA, R. **Design science as nested problem solving**. New York: ACM, 2009.

WIERINGA, R. **Design science methodology: for information systems and Software engineering**. New York: Springer, 2014.

WIEGERS, K. E. **Software Requirements: Practical techniques for gathering and managing requirements throughout the product development cycle**. 2nd Edition, Microsoft Press, Redmond, Washington, 2003.

WHO European Centre for Environment and Health Report on the **WHO technical meeting on quantifying disease from inadequate housing**. 2011. Disponível em: <[http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0007/98674/EBD\\_Bonn\\_Report.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0007/98674/EBD_Bonn_Report.pdf)>. Acesso em: 25 ago. 2017.

WILLAR, D.; TRIGUNARSYAH B.; COFFEY, V. Organisational culture and quality management system implementation in Indonesian construction companies, **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 23, n.2, p.114-133, 2016.

WILLIAMS, B.; BROWN, T.; ONSMAN, A. Exploratory factor analysis: A five-step guide for novices. **Australasian Journal of Paramedicine**, v. 8, n.3, 2010.

WYON, D. P.; FANGER, P. O.; OLSEN, B. W.; PEDERSEN, C. J. K. The mental performance of subjects Clothed for Comfort at Two Different Air Temperatures. **Ergonomics**, v. 18, p. 359–374, 1975.

WYON, D. P.; KOK, R.; LEWIS, M. I.; MEESE, G. B. Combined noise and heat stress effects on human performance. In: P.O. Fanger and O. Valbjørn (eds.) **Indoor Air**. Copenhagen: Danish Building Research Institute, 1978. P. 857-881.

WYON, D. P., ANDERSEN, I. B.; LUNDQVIST, G. R. The effects of moderate heat stress on mental performance, **Scand J Work, Environment & Health**, v. 5, p.352-361, 1979.

WYON, D. P. Creative thinking as the dependent variable in six environmental experiments: a review. In: **Proceedings of Indoor Air**. Tokyo: Japanese Institute of Public Health, 1996. p. 419-422.

WONG, J. K.-W; KUAN, K.-L. Implementing “BEAM Plus” for BIM -based sustainability analysis’. **Automation in Construction**, v. 44, p. 163–175, 2014.

WONG, J.; YANG, J. Research and Application of Building InformationModelling (BIM) in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry: a review and direction for future research. In: Proceedings of the 6th International Conference on Innovation in Architecture, Engineering & Construction (AEC), Loughborough University, U.K. **Anais...** Pennsylvania State University, p. 356–365, 2010.

WU, W. **Integrating building information modeling and green building certification: The BIM - LEED application model development**, Vasa. 2010. Disponível em: <<http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

XIANBO, Z. Enterprise Risk Management in Chinese Construction Firms. Operating Overseas: 2014.

YANG, J.; SHEN, G. Q.; DREW D. S; HO, M. Critical Success Factors for Stakeholder Management: Construction Practitioners Perspectives. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 136, n. july, p. 778–786, 2010.

YANG, X.; ERGAN, S. Leveraging BIM to Provide Automated Support for Efficient Troubleshooting of HVAC-Related Problems. **Journal of Computing in Civil Engineering**, 2015.

YASA, E.; FIDAN, G.; Tosun, M. Analysis of Historic Buildings in Terms of their Microclimatic and Thermal Comfort Performances “Example of Konya Slender Minaret Madrasah”. **J Archit Eng**, p. 3-126, 2014.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.



ZANNIN, P. H. T., ENGEL, M.S.; FIEDLER, P. E. K.; BUNN, F. Characterization of environmental noise based on noise measurements, noise mapping and interviews: a case study at a university campus in Brazil. **Cities**, v. 31, p.317-27, 2013.

ZANNIN, P. H. T.; FERREIRA, J. A. C. In Situ Acoustic Performance of Materials Used in Brazilian Building Construction. **Construction and Building Materials**, Oxford, v. 21, n. 8, p. 1820-1824, 2007.

ZANCHETTA, C. et al. Computational design e sistemi di classificazione per la verifica predittiva delle prestazioni di sistema degli organismi edilizi. **TECHNE**, n. 13, p. 329–336, 2017.

## APÊNDICE A

### Equações utilizadas no cálculo da previsão do desempenho acústico

O seguinte procedimento de previsão do desempenho acústico descrito a seguir foi baseado na norma BS EN 12354-1 “*Building Acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements – Part 1: Airborne sound insulation between rooms*”. Esta norma é indicada pela NBR 15575 (2013) para a previsão do desempenho acústico. A norma contempla vários caminhos para a transmissão sonora entre dois compartimentos: o caminho direto, através do elemento de separação; os caminhos indiretos, como, por exemplo, aberturas de ventilação, janelas e portas; e os caminhos marginais, que estão relacionados com os elementos da envolvente dos compartimentos.

### Cálculo do desempenho acústico de fachada ( $D_{2m,nt,w}$ )

No sistema, serão priorizados os dados encontrados na literatura, porém, caso não existam os valores de  $D_{2m,nt,w}$  de determinados sistemas, serão utilizados a equação de predição do desempenho. O índice de avaliação do desempenho acústico de fachada é baseado na diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância da fachada e pode ser calculado de acordo com a seguinte equação:

$$D_{2m,nt,w} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10 \log\left(\frac{V}{6T_0 S_{tot}}\right) \quad \text{eq. 01}$$

Onde:

$R'_w$  é o Índice de Redução Sonora aparente da fachada [dB]

$\Delta L_{fs}$  é o termo corretivo que quantifica a influência de eventuais elementos vedantes [dB]

$V$  é o volume do ambiente considerado [m<sup>3</sup>]

$T_0$  é o tempo de reverberação de referência, assumido como sendo igual a 0,5 [s]

$S_{tot}$  é a superfície de fachada vista do interior [m<sup>2</sup>]

### Cálculo de $R'_w$

O índice de redução sonora ponderada ( $R'_w$ ) da fachada é calculado com base nos valores do índice de redução sonora ( $R_{wi}$ ) dos simples elementos que constituem a fachada (elementos opacos e esquadrias) e em casos específicos, calculado conjuntamente com os índices de isolamento acústico ( $D_{newi}$ ) dos pequenos elementos presentes sobre a mesma (elementos com área menor que 1 m<sup>2</sup> como por exemplo aberturas para ventilação, entrada de ar, caixas das persianas). O valor de  $R'_w$  pode ser calculado segundo a equação:

$$R'_w = -10 \log \left( \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S_{tot}} 10^{\frac{-R_{wi}}{10}} + \frac{A_0}{S_{tot}} \sum_{i=1}^p 10^{\frac{-D_{n,e,i}}{10}} \right) - K \quad \text{eq. 02}$$

Onde:

$R_{wi}$  é o Índice de Redução Sonora do elemento  $i$  que constitui a fachada [dB]

$S_i$  é a superfície do elemento  $i$  de fachada vista do interior do ambiente [m<sup>2</sup>]

$S_{tot}$  é a superfície global da fachada vista do interior do ambiente [m<sup>2</sup>]

$A_0$  são as unidades de absorção de referência, igual a 10 [m<sup>2</sup>]

$D_{n,e,i}$  é o índice de avaliação do isolamento acústico normalizado do pequeno elemento  $i$  [dB]

$K$  é a correção relativa à contribuição da transmissão lateral

Da mesma forma que o  $D_{2m,nt,w}$ , os índices de  $R'_w$  de diferentes elementos podem ser encontrados na literatura oriundos de avaliações de laboratórios ou medidos em obra e corrigidos em função da frequência confrontados e ponderados com os valores da curva de referência da norma ISO 717-1 (2013).

### Cálculo de $R_{wi}$

O cálculo do índice de redução sonora ( $R_{wi}$ ) de um elemento pode ser baseado em dados de laboratórios, correlações específicas e relações gerais. Sendo que os dados podem ser obtidos das seguintes maneiras:

- Os dados de laboratórios são oriundos de relatórios obtidos mediante medições conforme normativas de avaliação. Sendo necessária a seleção dos materiais a similares com os materiais utilizados na obra.
- Por meio de algoritmos matemáticos que permite a predição do desempenho do sistema. Utilizando a lei das massas, que trabalha a função do produto entre a densidade e a espessura do elemento ( $m'$ ) (Kg/m<sup>2</sup>) juntamente com outros parâmetros, se obtém o valor de  $R_w$ .

Na metodologia APTA serão priorizados os dados encontrados na literatura, porém, caso não existam os valores de  $R_{wi}$  de um determinado elemento será utilizada a equação de predição do desempenho segundo a equação:

$$R_w = 20 \log (m') \quad \text{eq. 03}$$

Equação válida para divisórias horizontais e verticais (individuais ou duplas) com  $m' > 80 \text{ kg/m}^2$ . No caso de paredes duplas a cavidade deve ser sem material de absorção sonora e de espessura igual ou menor a 5 cm. Adicionando uma correção de cálculo igual a  $-2 \text{ dB}$ .

### Cálculo de $D_{neiw}$

O índice próprio de isolamento acústico dos pequenos elementos pode ser dado por certificados de ensaios de laboratório. Podendo ser calculado com a seguinte equação:

$$D_{neiw} = -10 \log \frac{S_{open}}{10} \quad \text{eq. 04}$$

Onde

$S_{open}$  é a superfície da abertura [ $m^2$ ]

### **Cálculo do fator K**

A contribuição da transmissão indireta K devido ao tipo de união dos elementos construtivos é representada como o índice de redução de vibração para cada caminho de transmissão. Segundo a norma BS EN 12354-3 (2000) na maioria dos casos não são necessários calcular a contribuição indireta. A norma sugere que seria suficiente nos casos de elementos rígidos incorporar no cálculo do índice de redução sonora a subtração de 2 dB. Observa-se no Brasil, que as edificações habitacionais são em grande parte constituídas com materiais rígidos descritos pela norma, sendo assim será considerado este valor para K.

### **Cálculo da $\Delta L_{fs}$**

A norma brasileira de desempenho ABNT NBR 15575-4(2013) por ser uma norma que expressa os critérios e sua forma de obtenção por medição, não discute algumas influencias na estimativa do isolamento sonoro de fachadas como a geometria da fachada e vias de transmissão indireta. Por isso essas considerações foram feitas por meio da norma europeia BS EN 12354-3 (2000) que prevê uma estimativa de desempenho levando em conta esses fatores (TAKAHASHI, 2016).

- **Formato da fachada**

Sobre a influência do formato da fachada a norma europeia BS EN 12354-3(2000) coloca que o efeito do formato exterior da fachada pode ter tanto um efeito positivo (menos transmissão sonora), quanto um efeito negativo (mais transmissão sonora). O efeito positivo é devido à blindagem total parcial do plano de fachada por varandas ou outros objetos.

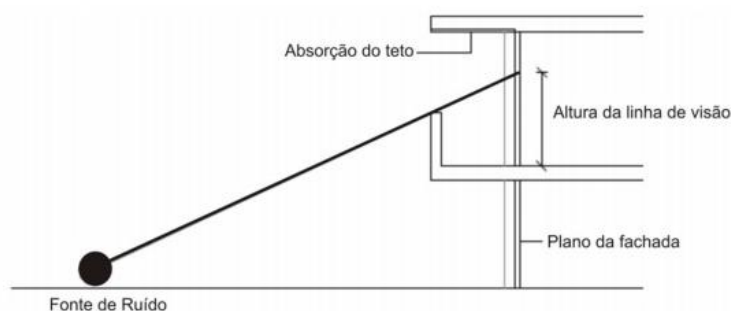
O efeito negativo é devido às reflexões extras e um campo de som que pode ser considerado como uma varanda reverberante quando forma um invólucro parcial em torno do plano da fachada (por exemplo, reflexões no teto da varanda). A norma BS EN 12354-

3(2000) indica que ao revestir o teto com materiais absorventes este efeito negativo é reduzido.

De acordo com Takahashi (2016), no Brasil não é comum encontrar esse tipo de solução não é comum de ser adotada, mas pode ser uma solução para melhorar o desempenho do isolamento acústico de fachada de edificações. O cálculo destes efeitos sobre a geometria da fachada segundo a EN 12354-3 (2000) se torna razoável e de acordo com os efeitos medidos em campo. De acordo com a norma, esses valores podem variar de -1 a 2 dB no resultado final do cálculo da Diferença Padronizada de Nível a dois metros da fachada ( $D_{2m,nT}$ ) para os tipos de fachadas mais comuns encontradas nas edificações brasileiras.

A figura 40 apresenta a ilustração dos parâmetros relevantes da contribuição do formato da fachada no cálculo de estimativa de isolamento sonoro aéreo.

















**Figura 40** - Parâmetros do formato da fachada



Fonte: BS EN 12354-3 (2000).

A Figura 41 apresenta a diferença de nível para diferentes tipos de configurações de fachada.

**Figura 41** - Contribuição do formato da fachada

Configuração da fachada	Absorção do teto			Absorção do teto			Absorção do teto			Absorção do teto			Absorção do teto		
	<0,3	0,6	>0,9	<0,3	0,6	>0,9	<0,3	0,6	>0,9	<0,3	0,6	>0,9	<0,3	0,6	>0,9
    	< 1,5m	0	-1	-1	0	-1	-1	0	0	0	1	Não se aplica			
	1,5 a 2,5m	0	Não se aplica			-1	0	2	0	1	3				
	>2,5m	0	Não se aplica			1	1	2	2	2	3				3
    															
															
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>cercado</span> <span>não cercado</span> </div>														
    															
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>cercado</span> <span>não cercado</span> </div>														
	< 1,5m	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	1	1	1	3	3
1,5 a 2,5m	-1	1	3	0	2	4	1	1	2	3	4	5	5	6	7
>2,5m	1	2	3	2	3	4	1	1	2	4	4	5	6	6	7

Fonte: BS EN 12354-3 (2000).

### Calculo do tempo de reverberação

Nesta planilha deverão ser inseridos os dados referentes ao cálculo do tempo de reverberação, as dimensões e os materiais do ambiente receptor. A fórmula de Sabine foi utilizada para o cálculo de tempo de reverberação.

$$Tr = \frac{0,161 \times V}{\sum S \alpha} \quad \text{eq. 05}$$

Onde:

Tr: tempo de reverberação

V: volume

Sn: Área das superfícies

$\alpha$ : coeficiente de absorção

### Cálculo do $D_{nT,w}$

A Diferença Padronizada de Nível Ponderada ( $D_{nT,w}$ ) caracterizam a capacidade de isolamento das vedações verticais e horizontais internas, em edificações. Tais índices levam em conta, além das características intrínsecas de redução sonora da divisória, também todas as vias de transmissão sonora lateral. Podendo ser calculado com a seguinte equação:

$$D_{nt,w} = R'w + 10 \log \frac{0,161 \cdot V}{T_0 \cdot S_s} \quad \text{eq. 07}$$

Onde:

V é o volume do ambiente receptor [ $m^3$ ]

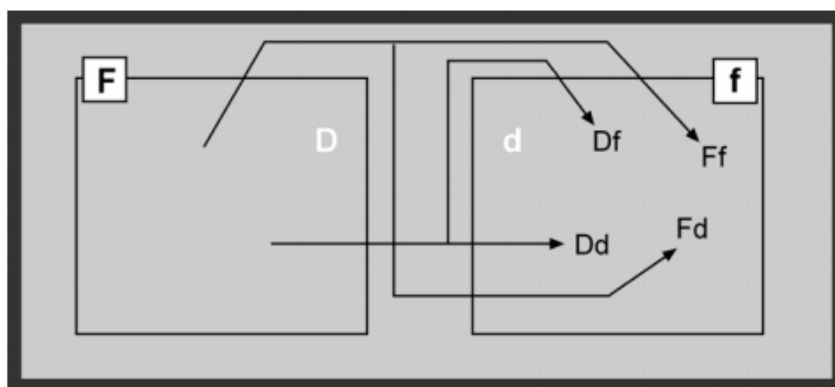
$T_0$  é o tempo de reverberação de referência para ambientes habitacionais, igual a 0,5 segundos

$S_s$  é a área do elemento de separação [ $m^2$ ]

### Cálculo do $R'w$

Para se calcular o índice de redução sonora aparente a sons de condução aérea de uma divisória que separa dois ambientes adjacentes, haver o somatório de todos os caminhos possíveis entre dois compartimentos. No caso mais genérico temos ao todo 13 caminhos (Figura 42), o caminho direto, e três caminhos marginais para cada elemento da envolvente (duas paredes, a laje de teto e laje de piso).

**Figura 42** - Caminhos de transmissão sonora Norma



Fonte: BS EN 12354-3 (2000).

Onde:

D: indica o elemento divisório lateral ambiente emissor

d: indica o elemento divisório lateral ambiente receptor

F: indica a estrutura lateral lado ambiente emissor

f: indica a estrutura lateral lado ambiente receptor

O  $R'w$  pode ser calculado com a seguinte equação:

$$R'_w = -10x \log \left[ 10^{\frac{-R_{Dd,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{\frac{-R_{Ff,w}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{-R_{Df,w}}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{\frac{-R_{Fd,w}}{10}} \right] \quad \text{eq. 08}$$

Para os três caminhos marginais os índices  $R_{ij}$  calculam-se com base na seguinte equação:

$$R_{w,ij} = \frac{R_{w,i} + R_{w,j}}{2} + \Delta R_{w,ij} + K_{ij} + 10 \log \frac{S}{l_0 x l_{ij}} \quad \text{eq. 09}$$

Onde:

$R_{w,i}$  é o índice de avaliação de isolamento sonoro da estrutura “i” sem elementos de revestimento (contrapisos flutuantes, contraparedes, forros) (dB)

$R_{w,j}$  é o índice de avaliação de isolamento sonoro da estrutura “j” sem elementos de revestimento (contrapisos flutuantes, contraparedes, forros) (dB)

$\Delta R_{w,ij}$  é o aumento do índice de avaliação de isolamento sonoro devido à inserção de camadas de revestimento durante a via i-j (contrapisos flutuantes, contraparedes, forros)

$K_{ij}$  é o índice de redução das vibrações da via i-j (dB) S é a superfície das divisórias (m<sup>2</sup>)

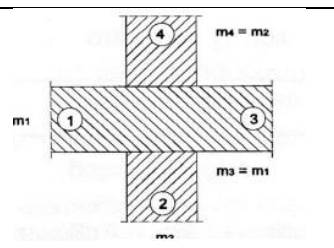
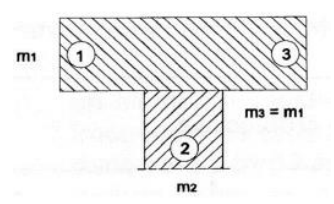
$l_0$  é o comprimento de referência igual a 1 m.

$l_{ij}$  é o comprimento da junta entre as estruturas ij consideradas

### Calculo do $K_{ij}$

O índice de redução das vibrações  $K_{ij}$ , característica da via i-j, é determinado pelo tipo de uniões construtivas na edificação. Na metodologia será considerado que no Brasil são mais usuais dois tipos de uniões, uniões rígidas em T e rígidas em cruz (Figura 43).

**Figura 43** - Tipos de ligação

Rígida em cruz (conexão entre paredes pesadas, ex.: em alvenaria)	
	$K_{13} = 8,7 + 17,1M + 5,7 M^2 \quad \text{eq. 10}$
	$K_{13} = 8,7 + 5,7 M^2 \quad \text{eq. 11}$
Rígida em T (conexão entre paredes pesadas, ex.: em alvenaria)	
	$K_{13} = 5,7 + 14,1M + 5,7 M^2 \quad \text{eq. 12}$
	$K_{13} = 5,7 + 14,1M + 5,7 M^2 \quad \text{eq. 13}$

Fonte: BS EN 12354-3 (2000).

Onde:



A relação das massas para o cálculo do  $K_{ij}$  é dada pela seguinte equação:

$$M = \log\left(\frac{m'_2}{m'_1}\right)$$

$m'_2$  é a massa por unidade de superfície do elemento  $i$  no caminho de transmissão  $ij$ , ( $\text{kg}/\text{m}^2$ );  
 $m'_1$  é a massa por unidade de superfície do outro elemento, perpendicular ao  $i$ , que forma a união, ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ).

## APÊNDICE B

### Equações utilizada no cálculo da previsão do desempenho térmico

O seguinte procedimento de previsão do desempenho térmico descrito a seguir foi baseado na NBR 15.220/2003 - Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações, que estabelece procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas - resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar - de elementos e componentes de edificações.

#### Resistência térmica

Para camadas homogêneas, os valores da resistência térmica, serão obtidos através de medições baseadas em ensaios normalizados, devem ser usados sempre que possível. Na ausência de valores medidos, conforme ISO 6946, recomenda-se que a resistência térmica de uma camada homogênea de material sólido seja determinada pela seguinte equação:

$$R = \frac{e}{\lambda} \text{ (m}^2 \text{ K/W)} \quad \text{eq. 01}$$

Onde:

R = Resistência Térmica entre as faces da parede (m<sup>2</sup>K/W);

e = Espessura da placa (m) ;

$\lambda$  = coeficiente de condutividade térmica do material (W/m.K)

Caso o sistema de vedação for composto por camadas paralelas às faces, ou seja, perpendiculares ao fluxo de calor, sua resistência total é determinada pela seguinte equação:

$$R_t = \sum R$$

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 \dots + R_n) \quad \text{eq. 02}$$

$$R_t = \sum R_i = \sum \left( \frac{e}{\lambda} \right)_i$$

Onde:

R<sub>i</sub> = Resistência térmica de superfície a superfície (m<sup>2</sup>K/W);

e<sub>i</sub> = Espessura da placa “i” (m) ;

$\lambda_i$  = coeficiente de condutividade térmica do material da camada “i” (W/m.K)

Quando os planos que separam diferentes materiais são perpendiculares às faces, ou seja, paralelos ao fluxo de calor, a resistência equivalente é calculada como resistência em paralelo, sua resistência total é determinada pela seguinte equação:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{\sum(A)i}{\sum\left(\frac{A}{R}\right)i} = \frac{\sum(A)i}{\sum\left(A \cdot \frac{\lambda}{e}\right) \cdot i} \quad \text{eq. 03}$$

Onde:

$R_t$  = Resistência Térmica de superfície a superfície ( $\text{m}^2\text{K/W}$ );

$e_i$  = Espessura da placa “i” (m);

$A_i$  = Áreas de cada seção ( $\text{m}^2$ );

$\lambda_i$  = Condutividade do Material da camada “i” ( $\text{W/m K}$ ).

### Resistência Térmica Total (RT)

Somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa. Unidade:  $\text{m}^2\text{K/W}$ . Determinada pela seguinte equação:

$$RT = R_{se} + R_t + R_{si} \quad \text{eq. 04}$$

Onde:

Resistência Superficial interna ( $R_{si}$ ): é a resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície interna de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção. Unidade é expressa em  $\text{m}^2\text{K/W}$ .

Resistência Superficial externa ( $R_{se}$ ): é a resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície externa de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção. Unidade:  $\text{m}^2\text{K/W}$ . Os valores de  $R_{si}$  e  $R_{se}$  são determinados de acordo com a direção do fluxo de calor (Tabela 46).

**Tabela 65** - Resistência térmica superficial interna e externa

$R_{si} (\text{m}^2.\text{K/W})$			$R_{se} (\text{m}^2.\text{K/W})$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	⇑	⇓	⇒	⇑	⇓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15220 (2005).

### Transmitância térmica

É definida como fluxo de calor que na unidade de tempo e por área, passa através do componente, para uma diferença unitária entre as temperaturas do ar em contato com cada uma das faces desse mesmo componente. Consiste no inverso da Resistência Térmica Total (RT), denominado pelo termo U em W/m<sup>2</sup>.K e determinada pela seguinte equação:

$$U = \frac{1}{RT} = \frac{1}{R_{si} + R_t + R_{se}} \quad \text{eq. 05}$$

### Capacidade térmica

Para a determinação da capacidade térmica de um componente plano constituído de camadas homogêneas e não homogêneas, perpendiculares ao fluxo de calor, é determinada pela seguinte equação:

$$CT = \frac{\sum(A)i}{\sum\left(\frac{A}{Ct}\right)i} = \frac{\sum(A)i}{\sum\left(\frac{A}{e.c.\rho}\right).i} \quad \text{eq. 06}$$

Onde:

$e_i$  é a espessura da camada i.

$c_i$  é o calor específico do material da camada i;

$\rho_i$  é a densidade de massa aparente do material da camada i.

### Abertura para ventilação

As aberturas para ventilação nas zonas 1 a 6 devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio. A área da abertura para ventilação é determinada pela seguinte equação:

$$A = 100 \left( \frac{Aa}{Ap} \right) \% \quad \text{eq. 07}$$

Onde:

$Aa$  é a área efetiva de abertura de ventilação do ambiente, sendo consideradas somente as aberturas que permitam a livre circulação do ar, devendo ser descontadas as áreas de perfis, vidros e de qualquer outro obstáculo.

$Ap$  é a área do piso do ambiente.