

**AUTOMATIZAÇÃO DA ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMO
ENERGÉTICO DAS ENVOLTÓRIAS DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS A
PARTIR DA INTEGRAÇÃO BIM-VPL**

NATALIA DA SILVA DE OLIVEIRA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

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

**AUTOMATIZAÇÃO DA ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMO ENERGÉTICO
DAS ENVOLTÓRIAS DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS A PARTIR DA
INTEGRAÇÃO BIM-VPL**

NATALIA DA SILVA DE OLIVEIRA

ORIENTADORA: DR.^a MICHELE TEREZA MARQUES CARVALHO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

BRASÍLIA/DF - FEVEREIRO/2022

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

**AUTOMATIZAÇÃO DA ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMO ENERGÉTICO
DAS ENVOLTÓRIAS DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS A PARTIR DA
INTEGRAÇÃO BIM-VPL**

NATALIA DA SILVA DE OLIVEIRA

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

APROVADO POR:

**Prof.^a Michele Tereza Marques Carvalho, DSc. (ENC-UnB)
(Orientadora)**

**Prof.^a Jéssica Siqueira de Souza, DSc. (ENC-UnB)
(Examinadora Interna)**

**Prof.^a Ana Paula Melo, DSc. (UFSC)
(Examinadora Externa)**

BRASÍLIA/DF - FEVEREIRO/2022

FICHA CATALOGRÁFICA

OLIVEIRA, NATALIA DA SILVA DE

Automatização da análise do desempenho termo energético das envoltórias de edificações residenciais a partir da integração BIM-VPL. [Distrito Federal] 2022.

xx, 231 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre em Estruturas e Construção Civil, 2022).
Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- | | |
|---|--|
| 1. <i>Building Information Modeling</i> (BIM) | 2. Linguagem de Programação Visual (VPL) |
| 3. Desempenho térmico | 4. Eficiência energética |
| 5. Processo de projeto | |

I. ENC/FT/UnB

II. Título (Mestre)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA, N. S. (2022). Automatização da análise do desempenho termo energético das envoltórias de edificações residenciais a partir da integração BIM-VPL. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM – 02A/22, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 231 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Natalia da Silva de Oliveira

TÍTULO: Automatização da análise do desempenho termo energético das envoltórias de edificações residenciais a partir da integração BIM-VPL

GRAU: Mestre

ANO: 2022

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Natalia da Silva de Oliveira

Avenida das Araucárias, 4530, Bl. F, apto. 2803

CEP: 71.936-250 Águas Claras - Brasília/DF – Brasil

e-mail: natioliveira8@gmail.com

Dedico esse trabalho à minha família, em especial aos meus pais, meus maiores incentivadores, pela educação que me deram, pela disciplina que me ensinaram, pela dedicação nos cuidados e por serem os pilares da minha formação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, a Deus por sempre guiar os meus passos, sendo luz no momentos de dúvidas.

Aos meus pais, Italo e Simone, por toda educação, esforço e dedicação. Obrigada por sempre me apoiarem, por sempre fazerem o possível para que eu conseguisse alcançar os meus sonhos e por sempre exigirem o melhor de mim.

À minha irmã, Samara, por compreender os diversos momentos em que estive ausente por estar dedicando meu tempo aos estudos.

Ao meu namorado, Igor, pelo amor e apoio incondicional, por ter sido a força nos momentos difíceis e por todo seu conhecimento em TI, sendo seu auxílio fundamental para o desenvolvimento dos códigos de programação textual utilizados nesta dissertação.

À minha orientadora, professora Michele Tereza Carvalho, por aceitar me orientar, pela paciência e incentivo, por todas as revisões de trabalhos e por me guiar e sempre exigir excelência ao longo dessa pesquisa.

À banca, composta pela professora Ana Paulo Melo e Jéssica Souza, por terem aceitado avaliar esta pesquisa e pelas considerações realizadas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento. À Universidade de Brasília e ao Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC) pela oportunidade. À secretaria do PECC pelo apoio prestado. Aos professores do PECC que me capacitaram ao longo dessa jornada. E a todos os amigos do PECC pelas horas compartilhadas e trocas de experiências realizadas.

Por fim, agradeço a todos os amigos e familiares que, direta ou indiretamente, participaram e me incentivaram durante toda essa caminhada.

A todos vocês o meu muito Obrigada!

“Toda ciência começa como filosofia e acaba como arte; surge na hipótese e flui para a realização”

(Will Durant)

RESUMO

Automatização da análise do desempenho termo energético das envoltórias de edificações residenciais a partir da integração BIM-VPL

Autora: Natalia da Silva de Oliveira

Orientadora: Michele Tereza Marques Carvalho

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, fevereiro de 2022

Sendo o crescimento do consumo de energia uma realidade mundial e considerando que os maiores custos com energia nas edificações ocorrem durante o seu uso e operação, é importante que as questões de eficiência e sustentabilidade dos edifícios sejam pensadas desde a fase de projeto. É nesta etapa que a maioria das decisões sobre a edificação são tomadas, tendo esta fase um grande impacto nas funcionalidades, custos e desempenho do empreendimento. Na prática, no entanto, o que acaba ocorrendo é a falta de integração entre o processo de projeto e a análise de desempenho, sendo as simulações energéticas realizadas apenas quando decisões arquitetônicas e decisões fundamentais de projeto já foram definidas. Apesar da tecnologia do *Building Information Modeling* (BIM) ter surgido como uma importante ferramenta de apoio a tomada de decisão, principalmente nas fases iniciais de projeto, além de ter possibilitado avanços no desenvolvimento e análise de edifícios verdes, o processo de projeto destes edifícios ainda carece de ferramentas e fluxos de trabalho bem estruturados que permitam obter, paralelamente ao desenvolvimento do projeto, um *feedback* instantâneo do desempenho dos edifícios. Baseado nisso, este trabalho buscou desenvolver uma estrutura integrada responsável por estabelecer, através do uso da linguagem de programação visual (VPL), um relacionamento direto entre o modelo BIM e as normativas brasileiras de desempenho térmico e eficiência energética, NBR 15575 (2021) e INI-R (2018), respectivamente. A metodologia foi baseada no *Design Science Research* e a aplicabilidade do sistema proposto foi validada a partir de um estudo de caso baseado em duas tipologias representativas brasileiras. Os resultados obtidos foram consistentes e demonstram a viabilidade e o potencial de integração do BIM ao VPL para a análise do desempenho termo energético das edificações. Como contribuição científica, este estudo apresenta uma rotina de automatização para avaliação termo energética integrada ao BIM. O fluxo de trabalho desenvolvido serve como base aos estudos que buscam desenvolver um método mais automatizado para a aplicação de normas de desempenho e eficiência de edifícios. Além disso, através da metodologia adotada, metamodelos de predição da carga térmica puderam ser integrados aos modelos BIM utilizando o VPL. Deste modo, todo o processo de avaliação das edificações pode ser realizado diretamente no *software* de modelagem BIM, não sendo necessário o uso de *softwares* externos de simulação energética. Por fim, esta integração BIM-VPL permitiu o desenvolvimento de uma ferramenta de suporte ao projeto que pode ser facilmente implementada e utilizada pelos projetistas. Essa ferramenta possibilita uma verificação mais rápida e eficaz do desempenho dos edifícios, auxiliando para que nos estágios iniciais de projeto diferentes configurações da edificação possam ser analisadas em um menor espaço de tempo e com menor esforço despendido para a tomada de decisão.

Palavras-chave: *Building Information Modeling* (BIM); Linguagem de programação visual (VPL); Desempenho térmico; Eficiência energética; Processo de projeto.

ABSTRACT

Automation of thermal energy performance analysis of residential building envelopes from BIM-VPL integration

Author: Natalia da Silva de Oliveira

Supervisor: Michele Tereza Marques Carvalho

Postgraduate Program in Structures and Civil Construction

Brasília, February of 2022

As the growth in energy consumption is a worldwide reality and considering that the highest energy costs in buildings occur during their use and operation, the issues of efficiency and sustainability of buildings must be considered from the design stage. At this stage, most building decisions are made, and this stage has a major impact on the features, costs, and performance of the enterprise. In practice, however, what ends up happening is the lack of integration between the design process and performance analysis, with energy simulations being carried out only when architectural decisions and fundamental design decisions have already been defined. Building Information Modeling (BIM) technology has emerged as an important tool to support decision-making, especially in the early stages of design. In addition to enabling advances in the development and analysis of green buildings, the design process of these buildings is still lacking well-structured tools and workflows that allow for instantaneous feedback on building performance in parallel with the development of the project. Based on this, this work sought to develop an integrated structure responsible for establishing, through the use of visual programming language (VPL), a direct relationship between the BIM model and the Brazilian regulations on thermal performance and energy efficiency, NBR 15575 (2021) and INI-R (2018), respectively. The methodology was based on Design Science Research and the applicability of the proposed system was validated from a case study based on two representative Brazilian typologies. The results obtained were consistent and demonstrated the feasibility and potential of integrating BIM with VPL to analyze the thermo-energy performance of buildings. As a scientific contribution, this study presents an automation routine for thermo-energy evaluation integrated to BIM. The developed workflow serves as a basis for studies that seek to develop a more automated method for applying building performance and efficiency standards. Furthermore, through the adopted methodology, thermal load prediction metamodels could be integrated into BIM models using VPL. In this way, the entire building evaluation process can be performed directly in the BIM modeling software, without the need to use external software for energy simulation. Finally, this BIM-VPL integration allowed the development of a project support tool that designers can easily implement and use. It allows for faster and more effective verification of the performance of buildings, helping to analyze different building configurations in a shorter period of time and with less effort spent on decision-making in the early stages of design.

Keywords: Building Information Modeling (BIM); Visual programming language (VPL); Thermal performance; Energy efficiency; Design process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Linha do tempo do processo de construção do PBE Edifica	35
Figura 2.2 - Escala de classificação da eficiência energética da envoltória da UH	41
Figura 2.3 – Comparação versões INI-R e NBR 15575 (2021)	44
Figura 2.4 – Comparação entre o método simplificado das versões de 2018 e 2021 da INI-R45	
Figura 2.5 – Curva de MacLeamy	46
Figura 2.6 – Parâmetros de entrada necessários para análises termo energéticas de uma edificação.....	47
Figura 2.7 – Fundamentos do BIM.....	49
Figura 2.8 - BIM no ciclo de vida das edificações	51
Figura 2.9 - Exemplo de programação textual	56
Figura 2.10 - Exemplo de programação visual.....	57
Figura 3.1- Ciclo regulador	62
Figura 3.2 - Estrutura metodológica da pesquisa	63
Figura 3.3 – Esquema simplificado para o desenvolvimento do protótipo da solução	65
Figura 3.4 – Fluxo de trabalho geral do processo de desenvolvimento do protótipo.....	66
Figura 3.5 - Fluxograma para avaliação do desempenho térmico pelo procedimento simplificado da NBR15575 (2021)	68
Figura 3.6 - Fluxograma para a classificação de eficiência e cálculo do consumo energético da envoltória pelo método simplificado da INI-R (2018)	69
Figura 3.7 - Vista em perspectiva e planta baixa do projeto de arquitetura do Modelo Base ..	73
Figura 3.8 - Vista em perspectiva do projeto de implementação	78
Figura 3.9 - Planta baixa do projeto de implementação	78
Figura 4.1 – Navegador de projeto do <i>template</i> desenvolvido com diferentes modelos de paredes externas.....	91
Figura 4.2 - Navegador de projeto do <i>template</i> desenvolvido com todas as tabelas criadas....	93
Figura 4.3 – Vistas de projeto do <i>template</i> pré-configuradas para as análises de desempenho termo energético	94
Figura 4.4 – Exemplo do esquema de cores atribuído as vistas de projeto do <i>template</i> desenvolvido.....	95
Figura 4.5 – Prancha de projeto do <i>template</i> desenvolvido com os resultados de desempenho térmico obtidos a partir do procedimento simplificado da NBR 15575 (2021)	95

Figura 4.6 – Prancha de projeto do <i>template</i> com os resultados de eficiência energética obtidos a partir do método simplificado da INI-R (2018).....	96
Figura 4.7 – Definição do norte verdadeiro do modelo BIM 3D	96
Figura 4.8 – Informações de projeto do modelo BIM 3D	97
Figura 4.9 – Modelo de parede	98
Figura 4.10 – Exemplo de parede pré-configurada para ser utilizada no modelo BIM 3D.....	98
Figura 4.11 – Painel de propriedades dos ambientes do modelo BIM 3D	99
Figura 4.12 - <i>Script</i> VPL desenvolvido para obter os parâmetros de entrada do metamodelo da INI-R (2018).....	103
Figura 4.13 – Grupo de comando criado no Dynamo para identificar e selecionar os APPs.	104
Figura 4.14 - Fluxo de informações do <i>script</i> VPL para verificação dos dados do modelo virtual BIM	105
Figura 4.15 – Caixa de diálogo do Revit	107
Figura 4.16 – Fluxo de informações do <i>script</i> VPL para obtenção das informações de projeto	108
Figura 4.17 – Fluxo de informações do <i>script</i> VPL para obtenção da orientação solar das fachadas	110
Figura 4.18 – Orientação paredes internas	111
Figura 4.19 - Fluxo de informações do <i>script</i> VPL para análise do desempenho térmico.....	112
Figura 4.20 - Fluxo de informações do <i>script</i> VPL para obtenção dos parâmetros de entrada do metamodelo	116
Figura 4.21 - Fluxo de informações do <i>script</i> VPL para exportar os parâmetros de entrada para um arquivo “csv”	118
Figura 4.22 - Fluxo de trabalho do <i>script</i> VPL para executar o metamodelo de predição das cargas térmicas	119
Figura 4.23 - Fluxo de informações do <i>script</i> VPL para importar, do arquivo “csv” para o Revit, os resultados do metamodelo	120
Figura 4.24 - Fluxo de trabalho do <i>script</i> VPL para análise de eficiência energética e consumo de energia.....	122
Figura 4.25 - Fluxo de trabalho do <i>script</i> VPL para exportar os resultados da análise de desempenho termo energético para um arquivo Excel.....	124
Figura 4.26 - Fluxo de trabalho do <i>script</i> VPL para resetar os dados do modelo virtual BIM	125
Figura 4.27 – Execução no Revit dos <i>scripts</i> VPL através do Reprodutor do Dynamo	141

Figura 4.28 – Resultado retornado pelo nó quando o modelo BIM possui janelas sem sombreamento.....	144
Figura 4.29 – Resultado retornado pelo nó quando o modelo BIM possui pelo menos uma janela com sombreamento	145
Figura 5.1 – Logotipo da ferramenta Integrar	146
Figura B. 1 – Tabela de informações de projeto do <i>template</i> desenvolvido	164
Figura B. 2 – Tabela de paredes do <i>template</i> desenvolvido	164
Figura B. 3 – Tabela de piso do <i>template</i> desenvolvido.....	165
Figura B. 4 – Tabela de telhado do <i>template</i> desenvolvido	165
Figura B. 5 – Tabela de forro do <i>template</i> desenvolvido	165
Figura B. 6 – Tabela de janela do <i>template</i> desenvolvido.....	166
Figura B. 7 – Tabela de porta do <i>template</i> desenvolvido	167
Figura B. 8 – Tabela de ambientes do <i>template</i> desenvolvido	168
Figura C. 1 – <i>Script</i> VPL de verificação dos dados	169
Figura C. 2 – <i>Script</i> VPL para obter informações de projeto	170
Figura C. 3 – <i>Script</i> VPL para obter orientação das fachadas.....	170
Figura C. 4 – <i>Script</i> VPL para análise de desempenho térmico.....	171
Figura C. 5 – <i>Script</i> VPL para gerar arquivo “csv” contendo os parâmetros de entrada do metamodelo de predição das cargas térmicas.....	172
Figura C. 6 – <i>Script</i> VPL para executar o metamodelo de predição das cargas térmicas	173
Figura C. 7 – <i>Script</i> VPL para exportar para o Revit arquivo “csv” contendo os resultados do metamodelo de predição das cargas térmicas.....	173
Figura C. 8 – <i>Script</i> VPL para análise de eficiência energética	174
Figura C. 9 – <i>Script</i> VPL para exportar resultados para o Excel	175
Figura C. 10 – <i>Script</i> VPL para resetar os dados	176

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Limites de aplicação método simplificado da INI-R (2018).....	40
Tabela 3.1 – Características geométricas dos ambientes do Modelo Base	73
Tabela 3.2 – Especificação do componentes construtivos do Modelo Base	73
Tabela 3.3 – Quantitativo de ensaios realizados.....	74
Tabela 3.4 – Ensaio com variações na localização do projeto	75
Tabela 3.5 – Ensaio com variações na orientação do projeto.....	75
Tabela 3.6 - Ensaio com variações na geometria do projeto	75
Tabela 3.7 - Ensaio com variações dos sistemas construtivos das vedações do projeto	76
Tabela 3.8 - Ensaio com variações das aberturas do projeto.....	77
Tabela 3.9 - Características geométricas dos ambientes do Modelo de Implementação	79
Tabela 3.10 - Especificação do componentes construtivos do Modelo de Implementação	79
Tabela 4.1 – Quantitativo de parâmetros adicionados ao <i>template</i> Revit	90
Tabela 4.2 – Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Base	127
Tabela 4.3 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Base	128
Tabela 4.4 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Geo. 1	130
Tabela 4.5 - Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Geo. 1	131
Tabela 4.6 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Geo. 2.....	132
Tabela 4.7 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Geo. 2	133
Tabela 4.8 – Resultados divergentes referentes a carga térmica dos APPs.....	134
Tabela 4.9 - Validação dos resultados de eficiência energética Modelo de Implementação UH 001	136
Tabela 4.10 - Validação dos resultados de eficiência energética Modelo de Implementação UH 201	137
Tabela 4.11 - Validação dos resultados de eficiência energética Modelo de Implementação UH 401	138
Tabela E. 1 – Tabela de informações de projeto	180
Tabela E. 2– Tabela de análise do desempenho térmico: resultado geral	181
Tabela E. 3 – Tabela de análise do desempenho térmico: resultado resumido	183
Tabela E. 4 – Tabela de análise do desempenho térmico: desempenho APP	183
Tabela E. 5 – Tabela de análise do desempenho térmico: desempenho UH.....	184

Tabela E. 6 – Tabela de análise do desempenho térmico: observações	184
Tabela E. 7 – Tabela de análise eficiência energética: parâmetros de entrada INI-R – Edifício real	185
Tabela E. 8 – Tabela de análise eficiência energética: parâmetros de entrada INI-R – Edifício de referência	186
Tabela E. 9 – Tabela de análise eficiência energética: limite de aplicação do método simplificado da INI-R.....	187
Tabela E. 10 – Tabela de análise eficiência energética: cargas térmicas de refrigeração e aquecimento dos APPs (Edifício. Real e de Referência).....	188
Tabela E. 11 – Tabela de análise eficiência energética: eficiência APPs.....	188
Tabela E. 12 – Tabela de análise eficiência energética: eficiência UHs	188
Tabela F. 1 – Validação dos parâmetros de entrada da INI-R: Edifício real - Modelo Base .	189
Tabela F. 2 – Validação dos parâmetros de entrada da INI-R: Edifício de referência - Modelo Base	190
Tabela F. 3 – Validação dos parâmetros de entrada da INI-R: Limites de aplicação do método simplificado da INI-R - Modelo Base	191
Tabela G. 1 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Loc. PR	192
Tabela G. 2 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Loc. PR.....	193
Tabela G. 3 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Loc. DF.....	194
Tabela G. 4 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Loc. DF	195
Tabela G. 5 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Loc. PA.....	196
Tabela G. 6 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Loc. PA	197
Tabela G. 7 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Loc. BA	198
Tabela G. 8 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Loc. BA.....	199
Tabela G. 9 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Orien. 90	200
Tabela G. 10 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Orien. 90.....	201
Tabela G. 11 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Orien. 180	202
Tabela G. 12 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Orien. 180.....	203
Tabela G. 13 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Orien. 270	204
Tabela G. 14 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Loc. 270	205
Tabela G. 15 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Par. 1	206
Tabela G. 16 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Par. 1	207

Tabela G. 17 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Par. 2.....	208
Tabela G. 18 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Par. 2	209
Tabela G. 19 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Par. 3.....	210
Tabela G. 20 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Par. 3	211
Tabela G. 21 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Cob. 1	212
Tabela G. 22 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Cob. 1	213
Tabela G. 23 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Cob. 2	214
Tabela G. 24 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Cob. 2.....	215
Tabela G. 25 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Cob. 3	216
Tabela G. 26 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Cob.3.....	217
Tabela G. 27 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Piso 1	218
Tabela G. 28 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Piso 1.....	219
Tabela G. 29 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Aber. 1	220
Tabela G. 30 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Aber. 1.....	221
Tabela G. 31 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Aber. 2	222
Tabela G. 32 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Aber. 2.....	223
Tabela G. 33 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Aber. 3	224
Tabela G. 34 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Aber. 3.....	225
Tabela H. 1 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo de Implementação	
UH 001	226
Tabela H. 2 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo de Implementação	
UH 201	228
Tabela H. 3 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo de Implementação	
UH 401	230

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Exigências dos usuários na norma NBR 15575 (2021).....	30
Quadro 2.2 – Critérios de desempenho térmico adotados na NBR 15575 (2021)	32
Quadro 2.3 – Parâmetros de entrada do metamodelo da INI-R (2018).....	39
Quadro 2.4 – Comparação entre os esquemas gbXML e IFC	55
Quadro 3.1 – Critérios de avaliação da solução proposta.....	80
Quadro 4.1 – Correlação entre os parâmetros requisitados pela NBR 15575 (2021) e as funcionalidades BIM	81
Quadro 4.2 - Correlação entre os parâmetros requisitados pelo metamodelo da INI-R (2018) e as funcionalidades BIM	82
Quadro 4.3 - Correlação entre os parâmetros secundários e as funcionalidades BIM	83
Quadro 4.4 – Parâmetros de saída do protótipo referentes as análises de desempenho termo energético.....	86
Quadro 4.5 – Grupos de parâmetros compartilhados do <i>template</i> desenvolvido	87
Quadro 4.6 – Parâmetros criados para o <i>template</i> desenvolvido (dados adicionados pelo projetista).....	88
Quadro 4.7 – Relação de cores utilizadas nas tabelas de projeto do <i>template</i> desenvolvido ...	93
Quadro 4.8 – Tabelas de validação dos resultados de desempenho térmico e eficiência energética dos ensaios do projeto piloto.....	133
Quadro A. 1 - Parâmetros criados para o <i>template</i> desenvolvido (dados gerados pelos <i>scripts</i> VPL)	160

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Avaliação do ciclo de vida
AMA	Amplitude média anual
API	Interface de programação de aplicativos
APP	Ambiente de permanência prolongada
APT	Ambiente de permanência transitória
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CB3E	Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i>
dpT	Desvio padrão da temperatura média
dpA	Desvio padrão da amplitude
DS	<i>Design Science</i>
DSR	<i>Design Science Research</i>
ELETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETTV	<i>Envelope Thermal Transfer Value</i>
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
gbXML	<i>Green Building XML</i>
HBIM	Modelagem de informações de construção histórica
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
INI-C	Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
INI-R	Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
LOD	<i>Level of development</i>
MB	Modelo base

MCMV	Minha Casa Minha Vida
MME	Ministério de Minas e Energia
MSL	Mapeamento Sistemático da Literatura
OTTV	<i>Overall Thermal Transfer Value</i>
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PECC	Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RAC	Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações
RNA	Redes neurais artificiais
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais
ST Edificações	Secretaria Técnica de Edificações
TMA	Temperatura média anual
TPL	<i>Textual programming language</i>
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UH	Unidade Habitacional Autônoma
UnB	Universidade de Brasília
VPL	<i>Visual programming language</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	21
1.1 Contextualização	21
1.2 Motivação da pesquisa	22
1.3 Objetivos	25
1.3.1 Objetivo geral	25
1.3.2 Objetivos específicos	25
1.4 Justificativa	25
1.5 Delimitações da pesquisa.....	27
1.6 Estrutura do trabalho.....	28
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA	29
2.1 Desempenho de edificações	29
2.1.1 Norma de desempenho de edificações habitacionais (NBR 15575).....	30
2.1.1.1 Procedimento para análise do desempenho térmico.....	31
2.2 Eficiência energética de edificações	33
2.2.1 Instrução Normativa Inmetro para a classe de eficiência energética de edificações residenciais (INI-R)	36
2.2.1.1 Procedimento para determinação da eficiência.....	38
2.2.1.2 Nível de eficiência e consumo energético da envoltória.....	40
2.2.1.3 Estudos	41
2.2.1.4 Atualizações da INI-R	43
2.3 Processo de projeto e análise termo energética da edificação	45
2.4 Building Information Modeling (BIM).....	49
2.4.1 Interoperabilidade	53
2.5 Linguagem de programação visual na análise de projetos	55
2.6 Considerações finais	59
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA	61

3.1	Estruturação da pesquisa.....	61
3.2	Gestão de requisitos.....	63
3.3	Desenvolvimento da solução	65
3.3.1	<i>Template Revit.....</i>	66
3.3.2	Modelo BIM 3D	67
3.3.3	<i>Scripts VPL.....</i>	67
3.4	Estudo de caso	72
3.4.1	Projeto piloto	72
3.4.1.1	<i>Modelo Base.....</i>	72
3.4.1.2	<i>Ensaios</i>	74
3.4.2	Projeto de implementação.....	77
3.5	Avaliação da solução.....	80
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS.....		81
4.1	Gestão de requisitos.....	81
4.2	Desenvolvimento da solução	87
4.2.1	<i>Template Revit.....</i>	87
4.2.1.1	<i>Informações de projeto e ambientes.....</i>	90
4.2.1.2	<i>Famílias de sistema (paredes, pisos, forros e telhados).....</i>	90
4.2.1.3	<i>Famílias carregáveis (janelas e portas).....</i>	92
4.2.1.4	<i>Tabelas de entrada e saída de dados</i>	92
4.2.1.5	<i>Vistas e pranchas de projeto</i>	93
4.2.2	Modelo BIM 3D	96
4.2.3	<i>Scripts VPL.....</i>	101
4.2.3.1	<i>Verificação dos dados</i>	104
4.2.3.2	<i>Informações de localização.....</i>	107
4.2.3.3	<i>Orientação das fachadas.....</i>	109
4.2.3.4	<i>Análise de desempenho térmico</i>	111
4.2.3.5	<i>Análise de eficiência energética.....</i>	114

4.2.3.6	Exportar os dados para o Excel.....	123
4.2.3.7	Reset dos dados	124
4.3	Estudo de caso	126
4.3.1	Projeto piloto	126
4.3.1.1	Modelo Base.....	127
4.3.1.2	Ensaios	130
4.3.2	Projeto de implementação.....	135
4.4	Avaliação da solução.....	140
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES		146
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	148
REFERÊNCIAS		150
APÊNDICE A - Parâmetros <i>template</i>		160
APÊNDICE B - Tabelas <i>template</i>		164
APÊNDICE C - Scripts VPL		169
APÊNDICE D - Código Python de verificação dos dados		177
APÊNDICE E - Tabelas Excel.....		180
APÊNDICE F - Resultados validação (Projeto piloto - Modelo Base)		189
APÊNDICE G - Resultados validação (Projeto piloto - Ensaios)		192
APÊNDICE H - Resultados validação (Projeto de implementação).....		226

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Essa dissertação 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 Prof^ª. Dra. Michele Tereza Marques Carvalho e se situa na linha de pesquisa Gestão e Sustentabilidade na Construção Civil, podendo este estudo ser considerado uma interface entre estas duas vertentes.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O uso eficiente da energia elétrica é hoje uma das grandes questões mundiais. À medida que as economias se desenvolvem a demanda por energia tende a ser cada vez maior, aumentando assim a preocupação com os recursos disponíveis para suprir a necessidade humana. Para atender a essas necessidades e estando fortemente ligada ao crescimento econômico de uma região, a produção de eletricidade aumentou consideravelmente e, de acordo com International Energy Agency (2021), está caminhando para o seu crescimento mais acelerado em mais de 10 anos.

O setor de edifícios, incluindo a fase de construção, é responsável por quase 40% do total de emissões de gás carbônico e mais de um terço do consumo global de energia final (IEA, 2019, 2020a). Só no Brasil, o consumo de energia elétrica em 2020, segundo dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2021) foi de aproximadamente 540 TWh. Desse total, o consumo referente as parcelas do setor residencial, comercial e público representam cerca de 50% do consumo total de energia elétrica do país, o que corrobora com outras pesquisas que indicam que o setor de edificações responde por aproximadamente um sexto do consumo de energia (MME; EPE, 2020), sendo a eletricidade a principal fonte utilizada (EPE, 2020a).

Considerando os acontecimentos mais recentes, a crise gerada pela Covid-19 influenciou, de modo global, a necessidade energética no setor de edifícios, alterando os perfis de consumo. As medidas de distanciamento social, além da incorporação do teletrabalho, levaram a redução do uso de edifícios comerciais e ao aumento das atividades domésticas, deslocando, assim, as atividades e o uso de energia para o subsector residencial. Por outro lado, nos casos em que as atividades comerciais não puderam ser suspensas e à medida que mais pessoas voltam ao trabalho, a demanda por taxas de ventilação mais altas se tornaram

necessárias por questões de saúde, o que também tende a levar a picos no consumo de energia (IEA, 2020c).

De modo geral, a demanda de energia no setor de edificações continua a crescer devido a fatores como o aumento populacional, a redução do número de pessoas por domicílio, o rápido crescimento no número de edificações construídas e a melhora no acesso à energia nos países em desenvolvimento (EDUARDO *et al.*, 2014; IEA, 2020a). De forma mais pontual, a melhora no poder aquisitivo da população, levando a maior apropriação e uso de dispositivos que consomem energia, é um dos fatores que tendem a elevar a demanda por serviços de energia em edifícios (EDUARDO *et al.*, 2014; EPE, 2020; MME; EPE, 2020).

O processo de geração de energia elétrica traz grandes impactos ambientais, mostrando a importância de utilizá-la de maneira mais eficiente possível, uma vez que é mais barato economizar energia do que fornecê-la. Deste modo, sendo o crescimento do consumo de energia uma realidade mundial, de acordo com o World Energy Council (2021), a busca por eficiência energética continua sendo um tema importante, com um alto poder de impacto a custos de implementação relativamente baixos. Para muitos países a eficiência está na lista de prioridades de ações políticas de longo prazo, com o setor energético buscando melhorias contínuas, inclusive no que diz respeito ao desempenho de edifícios. Além disto, a pandemia destacou ainda mais a importância do desenvolvimento de edifícios mais eficientes e até o momento o setor de edificações tem se mostrado como o principal alvo a receber investimentos governamentais de estímulo a esta eficiência (IEA, 2020b).

1.2 MOTIVAÇÃO DA PESQUISA

Os maiores custos com energia na edificação ocorrem durante o seu uso e operação (CBCS, 2015), sendo uma parcela significativa da demanda de energia utilizada para o condicionamento ambiental, de modo a propiciar, entre outros, a melhora do conforto térmico (ELETROBRAS/PROCEL; INMETRO; CB3E/UFSC, 2013). De acordo com a International Energy Agency (2019), a demanda para refrigeração de ambientes aumentou mais de 33% entre 2010 e 2018. No setor residencial brasileiro, estima-se que o consumo de energia elétrica por condicionares de ar aumentou 237% de 2006 a 2017 (MME, 2018). Durante a pandemia, devido as medidas de isolamento, em algumas partes dos Estados Unidos, por exemplo, a média de consumo de energia elétricas, nos dias da semana, aumentou de 20% a 30%, principalmente para resfriar as residências em climas mais quentes. Já na Europa, o uso de energia para

aquecimento nos domicílios levou a um consumo 40% maior de eletricidade em relação ao ano de 2019 (IEA, 2020b).

Considerando essa necessidade por edifícios que sejam cada vez mais eficientes, sustentáveis e que sejam capazes de aproveitarem, da melhor maneira possível, os recursos naturais existentes, é que existe atualmente uma demanda por pesquisas e ferramentas que avaliem o desempenho termo energético das edificações. Pelo fato deste desempenho ser fortemente influenciado pelas características dos diversos componentes construtivos que compõem os edifícios, a envoltória tende a ser o principal elemento avaliado.

O foco dos estudos desenvolvidos na área consiste, normalmente, na investigação de diferentes tipologias empregadas nos envelopes da edificação, seja avaliando tipologias específicas, como as fachadas adaptativas (ATTIA *et al.*, 2018; SHEIKH; ASGHAR, 2019) e fachadas duplas (AYDIN; MIHLAYANLAR, 2020; LI *et al.*, 2019; MACIEL; CARVALHO, 2019; PASTORI *et al.*, 2021), ou analisando comparativamente os diferentes tipos de envoltórias, como no estudo desenvolvido por Yaman (2021), em que distintas tipologias de fachadas foram avaliadas quanto ao seu desempenho em projetos de edifícios energeticamente eficientes.

A influência no desempenho e eficiência da edificação devido aos diferentes materiais empregados na envoltória também costumam ser avaliados nas pesquisas desenvolvidas na área. No estudo realizado por Alrashidi *et al.* (2020), por exemplo, foi avaliado o desempenho térmico e a economia de energia elétrica ao se utilizar vidros semitransparentes à base de telureto de cádmio nas janelas das fachadas. O estudo desenvolvido por Strzałkowski *et al.* (2021) é outro exemplo, onde foi realizada uma análise comparativa dos efeitos de concretos leves de diferentes densidades no desempenho térmico de uma edificação residencial multifamiliar.

De modo geral, todos estes estudos indicam que a importância da envoltória, no que diz respeito ao desempenho térmico e como um dos principais elementos que influenciam no consumo energético da edificação, se dá pelo fato da envoltória ser responsável pelas trocas termo energéticas que ocorrem entre os ambientes internos e externos da edificação, uma vez que é através dela que os limites entre estes ambientes são definidos. Deste modo, além de desempenhar um papel importante na regulação da temperatura interior, tendo um impacto direto no nível de conforto dos usuários, a depender de suas características construtivas, a envoltória é capaz de minimizar ou potencializar a quantidade de energia necessária para refrigeração e aquecimento dos ambientes.

Outro ponto importante referente ao desempenho termo energético da edificação diz respeito ao processo de projeto. São nas etapas iniciais de projeto que a maioria das decisões sobre a edificação são tomadas, fazendo com que o projeto se torne um item de fundamental importância dentro da construção civil. Um projeto bem desenvolvido é capaz de reduzir custos, minimizar possíveis imprevistos no decorrer da obra, garantir melhores condições de uso e manutenção, além de permitir que edifícios mais sustentáveis sejam construídos. Quanto a este último, no entanto, devido a quantidade de informações solicitadas, a necessidade de equipe técnica especializada e o tempo demandado para realizar estes estudos, o que normalmente ocorre é que a avaliação do desempenho e eficiência energética da edificação seja realizada após a fase de projeto, quando a maioria das decisões projetuais já foram definidas, e a edificação já se encontra, por vezes, em fase de construção. Com isto, a avaliação do desempenho da construção não é integrada ao processo de tomada de decisão que ocorre nas fases iniciais, acarretando em edificações que muitas vezes não possuem o adequado desempenho termo energético, devido as dificuldades e custos em se alterar um projeto em execução.

Deste modo é importante que as questões de desempenho térmico e eficiência energética sejam avaliadas desde a fase de projeto para as novas construções e, para isto, a incorporação de um suporte para análise de desempenho baseado no processo do *Building Information Modeling* (BIM) tem sido cada vez mais utilizado. Vários estudos, como os desenvolvidos por Seghier *et al.* (2020), Sena (2019), Negendahl (2015a) e Schlueter; Thesseling (2009), demonstraram sucesso no uso do BIM, juntamente com outras ferramentas computacionais, para auxiliar e acelerar o processo de projeto e otimizar o desempenho de construção com custo relativamente baixo, o que motivou o desenvolvimento desta dissertação. O intuito foi desenvolver um mecanismo computacional que fosse de rápida e fácil utilização e que permitisse que a avaliação do desempenho termo energético da envoltória de edificações residenciais pudesse estar integrada ao processo de projeto, auxiliando, assim, no desenvolvimento e construção de edificações mais eficientes.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Automatizar o fluxo de informações BIM permitindo análises de desempenho térmico e eficiência energética de edificações residenciais por meio da linguagem de programação visual (VPL) e com base nas especificações da NBR 15575 (2021) e INI-R (2018), respectivamente.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver um método que permita, através do Dynamo, a integração de modelos BIM desenvolvidos no Revit a um metamodelo de predição das cargas térmicas do edifício.
- Desenvolver uma solução de análise de desempenho termo energético que seja generalizável, possibilitando que a ferramenta possa ser aplicada em variadas composições e tipologias de edificações, além de permitir que diferentes alternativas de design da envoltória do edifício possam ser avaliadas ainda nas fases iniciais de projeto.
- Avaliar a possibilidade de integração BIM-VPL na análise de desempenho térmico e eficiência de edificações.

1.4 JUSTIFICATIVA

São nas etapas iniciais de projeto que a maioria das decisões sobre a edificação são tomadas. Processos de simulação muitas vezes são fundamentais para realizar a análise de desempenho energético do edifícios e verificar a adequação do projeto. No entanto, o processo de modelagem da edificação normalmente não está incorporado ao processo de modelagem energética, tornando necessário o intercâmbio manual de informações entre um *software* e outro, o que tende a onerar e elevar ainda mais o tempo de execução dos projetos, além de aumentar as chances de erro (GAO; KOCH; WU, 2019). De modo geral, no processo de projeto de edifícios mais eficientes, a tomada de decisão tende a ser mais complexa e, muitas vezes, mais demorada, pois vários parâmetros precisam ser considerados durante o processo de coleta, gerenciamento, documentação e análise desses dados.

Considerando o grande desenvolvimento de ferramentas e tecnologias na atualidade, o BIM é um elemento que vem ganhando cada vez mais destaque no cenário da construção civil.

O processo de projeto BIM é baseado em um modelo digital que, a depender do seu nível de desenvolvimento (LOD, do inglês *level of development*), pode conter inúmeras informações que descrevem as características e a geometria de cada elemento do projeto. Isso permite que em um único modelo possam ser reunidos dados que vão desde a definição da geometria e características físicas do edifício até parâmetros de custo e desempenho dos componentes (LIM *et al.*, 2016), tornando o BIM uma importante ferramenta de apoio a tomada de decisão.

Considerando o contexto referente a desempenho e eficiência das edificações, estudos vem sendo desenvolvidos buscando otimizar estas análises através do BIM. Seghier *et al.* (2017) desenvolveu um fluxo de trabalho para avaliação e classificação de projetos de edifícios verdes com base na integração do VPL ao BIM. A métrica de desempenho utilizada na pesquisa foi o valor de transferência térmica do envelope (ETTV, do inglês *Envelope Thermal Transfer Value*), que é um pré-requisito de eficiência energética adotado nas certificações de edifícios verdes, Green Mark e GreenRE, desenvolvidos em Singapura e na Malásia, respectivamente. Natephra; Yabuki; Fukuda (2018) também utilizaram uma abordagem baseada em VPL e BIM para fornecer uma avaliação automática do requisito referente ao valor global de transferência térmica (OTTV, do inglês *Overall Thermal Transfer Value*) de envelopes de construções. Esse requisito é utilizado em normativas de eficiência energética e desempenho da construção adotadas em diversos países asiáticos, como o *Building Energy Code*, na Tailândia, e o *Building Energy Efficiency Regulation*, em Hong Kong.

No que se refere aos estudos desenvolvidos no Brasil, Gonçalves (2018), utilizou a integração BIM-VPL para a avaliação do desempenho térmico e acústico das vedações verticais de acordo com os critérios e parâmetros exigidos pela norma NBR 15575 (2013). Oliveira (2019), por sua vez, automatizou o processo de avaliação o nível de eficiência energética da edificação de acordo com especificações do regulamento técnico RTQ-R (2012).

Estes estudos demonstraram que o BIM, atrelado a outras tecnologias, como o VPL, possibilita otimizar as análises de desempenho e eficiência das edificações, auxiliando para que as empresas e profissionais da área da construção civil sejam capazes de personalizar seus fluxos de trabalho, desenvolvendo ferramentas de análise próprias (SEGHIER *et al.*, 2017) e estendendo, assim, a capacidade do BIM no que diz respeito ao acesso e extração de informações (NATEPHRA; YABUKI; FUKUDA, 2018b).

No entanto, apesar desta integração BIM-VPL já ter sido estudada considerando-se os métodos de análise do desempenho térmico e eficiência energética adotadas no Brasil, a possibilidade de unificar estas duas análises em uma única ferramenta ainda não foi realizada. Além disto, a norma de desempenho térmico utilizada na pesquisa de Gonçalves (2018) foi

atualizada em 2021 e o regulamento técnico para análise de eficiência energética adotado na pesquisa de Oliveira (2019) encontra-se em processo de revisão, sendo a INI-R o novo método em desenvolvimento para a etiquetagem de edificações residenciais brasileiras. Baseado nisso, o presente trabalho buscou avaliar a possibilidade de integração BIM-VPL para automatizar a análise do desempenho e eficiência da envoltória das edificações com base nas normativas mais recentes.

Cabe destacar que, no que se refere a eficiência energética, o estudo desenvolvido por Bracht; Melo; Lamberts (2021), utilizou o esquema gbXML (*Green Building XML*) para integrar o BIM com o metamodelo de previsão de cargas térmicas adotado na Instrução Normativa INI-R (2018). No entanto, este estudo limita-se apenas a integração deste metamodelo ao BIM, não sendo realizado todo o processo de obtenção da classe de eficiência energética da envoltória do edifício e cálculo do seu consumo de energia, sendo esse, portanto, um dos avanços desta dissertação.

1.5 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

O foco deste trabalho é a análise de desempenho térmico e eficiência energética da envoltória de edificações residenciais. No que diz respeito ao desempenho térmico, apesar de serem dois os procedimentos especificados na NBR 15575 (2021), neste estudo foi adotado apenas o procedimento simplificado, sendo verificado o atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedações verticais externas e coberturas. Quanto a eficiência energética, apesar da INI-R (2018) avaliar a edificação a partir da análise das envoltórias e dos sistemas de aquecimento de água, para o contexto deste trabalho, apenas a avaliação da envoltória foi realizada, sendo utilizado o método simplificado da instrução normativa como referência. Vale ressaltar também, que a INI-R ainda está em processo de desenvolvimento, sendo utilizada nesta pesquisa a versão de 2018 (CB3E, 2018b).

Além disso, cabe destacar que o presente estudo limita-se a aspectos ligados ao fluxo de informações dentro do processo BIM para que seja possível verificar, de modo automatizado, se a edificação atende aos requisitos de desempenho térmico, assim como obter a classe de eficiência energética da edificação. Esta pesquisa não aborda os conceitos de tratamento e avaliação dos resultados de desempenho termo energético obtidos pelas edificações em estudo, não sendo discutidos, por tanto, as melhores estratégias construtivas e bioclimáticas a serem adotadas.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente pesquisa foi estruturada em cinco capítulos, descritos a seguir:

- **Capítulo 1 – Introdução:** apresenta a introdução sobre o tema, onde é feita uma contextualização sobre o assunto abordado, seguida pela motivação da pesquisa, os objetivos gerais e específicos, justificativa, delimitações da pesquisa, além de uma síntese da estrutura da dissertação.
- **Capítulo 2 - Revisão da literatura:** comenta a literatura pertinente ao tema de pesquisa, sendo os principais temas abordados: desempenho e eficiência energéticas de edificações e as normativas brasileiras existentes, processo de projeto e a análise termo energética, BIM e programação visual.
- **Capítulo 3 – Metodologia:** descreve os passos metodológicos da pesquisa a fim de alcançar o objetivo geral e objetivos específicos citados.
- **Capítulo 4 – Resultados:** expõe e discute sobre os resultados obtidos com o desenvolvimento do projeto, sendo detalhado o processo de desenvolvimento da ferramenta de integração BIM-VPL utilizada para a análise do desempenho termo energético das envoltórias de edificações residenciais, além de ser apresentado e discutido os resultados encontrados na etapa de estudo de caso, onde é realizada a validação e implementação da ferramenta.
- **Capítulo 5 – Conclusões:** apresenta as conclusões do trabalho, indicando as contribuições da pesquisa e sugestões de trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção foi realizada a revisão da literatura abordando as principais temáticas discutidas ao longo do desenvolvimento deste trabalho, permitindo, assim, maior embasamento teórico e melhor compreensão dos temas, além da obtenção do panorama da pesquisa científica na área.

Inicialmente este capítulo aborda os aspectos gerais referentes ao desempenho e eficiência energética de edificações, apresentando também um breve histórico no contexto brasileiro, assim como as normativas existentes e adotadas no país. Na sequência são abordadas as questões relacionadas ao processo de projeto e análise termo energética das edificações, além do BIM e do VPL como aliados no processo de criação de edificações mais sustentáveis.

2.1 DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES

Uma das funções básicas de uma edificação é a de garantir abrigo ao homem. De modo a desempenhar esta função a estrutura construída, além de permitir a habitação, também deve ser capaz de atender as exigências e necessidades dos usuários. Baseado nisso é que surge o conceito de desempenho, que pode ser definido como o comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas. Este conceito está fortemente associado ao termo durabilidade, entendido como a capacidade da edificação em desempenhar suas funções ao longo do tempo e sob condições específicas de uso e manutenção (ABNT, 2021a). Buscando garantir, portanto, boas condições de usabilidade é que surgem as normas de desempenho como referência a ser adotada no processo de construção e uso das edificações.

“As normas de desempenho de edificações avaliam e regulamentam o setor da construção civil, garantindo um padrão mínimo de qualidade e desempenho das edificações residenciais.” (SORGATO; MELO; LAMBERTS, 2014, p. 13). A abordagem deste desempenho nas normas é estabelecida por meio da definição de requisitos, critérios e métodos de avaliação, permitindo, deste modo, a mensuração clara do seu atendimento.

No Brasil, a norma responsável pela avaliação do desempenho em edificações habitacionais é a NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho. Os primeiros estudos sobre a norma datam de 2000 através de uma iniciativa da Caixa Econômica Federal juntamente com a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). Apesar de ter sua primeira versão publicada em 2008, a norma só entrou em vigor em julho de 2013. Nos últimos anos, buscando corrigir

algumas limitações, como as identificadas nos métodos de avaliação do desempenho térmico (SORGATO *et al.*, 2012), a norma passou por processos de revisão, resultando em uma nova versão que foi publicada recentemente, em 2021. Nessa versão, os requisitos e critérios referentes ao desempenho térmico e acústico foram atualizados.

2.1.1 NORMA DE DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS (NBR 15575)

A norma de desempenho NBR 15575 estabelece requisitos e critérios mínimos de desempenho, vida útil e de garantia para os sistemas que compõem as edificações. Esta norma não tem o intuito de estabelecer ou prescrever como os sistemas devem ser construídos, seu foco é voltado para as exigências dos usuários, buscando garantir o seu bem-estar. Para isso, a edificação deve ser avaliada de forma conjunta, considerando seus componentes e elementos de forma única, a fim de obter um resultado satisfatório ao fim da construção.

As exigências dos usuários (Quadro 2.1), utilizadas como referência na determinação dos requisitos da norma, devem ser atendidos de forma a promover segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Essas exigências são apresentadas e descritas, quando cabível, nas seis partes na qual a norma está dividida: requisitos gerais, sistemas estruturais, sistemas de piso, sistemas de vedações verticais internas e externas, sistemas de coberturas e sistemas hidrossanitários.

Quadro 2.1 – Exigências dos usuários na norma NBR 15575 (2021)

Área	Exigências do usuário
Segurança	Segurança estrutural
	Segurança contra o fogo
	Segurança no uso e na operação
Habitabilidade	Estanqueidade
	Desempenho térmico
	Desempenho acústico
	Desempenho lumínico
	Saúde, higiene e qualidade do ar
	Funcionalidade e acessibilidade
	Conforto tátil e antropodinâmico
Sustentabilidade	Durabilidade
	Manutenibilidade
	Impacto ambiental

Fonte: A autora (2021)

2.1.1.1 Procedimento para análise do desempenho térmico

No que diz respeito a análise de desempenho térmico da edificação, um dos focos desta pesquisa, prever qual a melhor forma de funcionamento da estrutura e demais elementos que irão influenciar nesse desempenho envolve a manipulação de um grande número de requisitos inter-relacionados, como: tipos de sistemas construtivo adotados para as paredes e coberturas da habitação, quantidade de áreas envidraçadas e de ventilação, cargas térmicas internas existentes (pessoas, iluminação e equipamentos), maneira como se operam as aberturas e o clima da cidade em que a edificação está localizada.

Historicamente, a manutenção do conforto no ambiente construído vinha sendo obtida através da prática da arquitetura regionalista. Com a adequação da edificação ao clima e à paisagem do local de construção verificava-se o baixo emprego de mecanismos artificiais para a garantia do conforto ambiental. (MME, 2011, p. 68)

Pelo fato do Brasil possuir uma grande variedade de climas, estratégias bioclimáticas surgem como um dos principais artifícios a serem adotados nas edificações de modo que as habitações não dependam de equipamentos de condicionamento artificial. Considerando isto, a NBR 15575 (2021) busca avaliar o desempenho da habitação quando operada sem condicionamento do ar, possibilitando também, a análise da carga térmica quando condicionada artificialmente.

As unidades habitacionais (UHs) avaliadas seguindo as diretrizes da NBR 15575 (2021) podem ser classificadas em três níveis de desempenho térmico: mínimo, intermediário e superior. Atingir o nível mínimo de desempenho é de caráter obrigatório, tornando facultativo os outros dois. Outro ponto a ser considerado é que apenas os ambientes de permanência prolongada (APP) das UHs são avaliados, ou seja, ambientes em que ocorrem a ocupação contínua por um ou mais indivíduos, como salas e dormitórios.

Segundo recomenda a norma, a avaliação do desempenho térmico da edificação pode ser realizada por meio de dois procedimentos: simplificado e simulação computacional. No método simplificado, parâmetros referentes as características geométricas e propriedades térmicas dos sistemas construtivos dos APPs são comparados com valores de referência estabelecidos pela norma, sendo avaliado o atendimento dos critérios para os sistemas de vedações verticais externas e coberturas. Neste método é possível avaliar o desempenho da UH apenas para o nível mínimo. Caso se deseje avaliar o atendimento aos critérios de desempenho intermediário e superior ou caso alguns dos critérios do procedimento simplificado não sejam

atendidos, por um ou mais APPs, a avaliação do desempenho térmico de toda UH deve ser realizada pelo procedimento de simulação computacional.

Comparado a versão de 2013, o novo texto da NBR 15575 (2021) trouxe com principal inovação para o procedimento simplificado a implementação do critério “Elementos transparentes”. Este critério, além de limitar a área de superfície de elementos transparentes em relação à área de piso dos APPs, permite que a existência de sombreamento horizontal, o fator solar do vidro ou a etiqueta da esquadria sejam levados em consideração na determinação desta proporção. Outro avanço a ser considerado é que, apesar de ainda ser de caráter informativo, a atual versão passa a recomendar que a degradação da absorvância à radiação solar seja considerada nas análises (LABEEE, 2022).

Quanto ao procedimento de simulação, a NBR 15575 (2021) avalia o desempenho térmico anual da envoltória da edificação através da comparação de um modelo real da edificação, desenvolvido em um programa de simulação, com um modelo de referência.

Em relação a este procedimento, na versão de 2013 a norma de desempenho fazia algumas simplificações em seus critérios de avaliação que não condiziam com a realidade, como o fato de considerar a edificação desocupada, desconsiderando assim possíveis fontes de calor interno. Deste modo, conforme estudo desenvolvido por Krelling *et al.* (2020), o novo método de simulação adotado na NBR 15575 (2021) possibilita uma avaliação mais abrangente do desempenho térmico das edificações, sendo as principais contribuições da nova proposta: consideração de simulações anuais; adoção de cargas internas; análise com o uso da ventilação natural e com o condicionamento artificial; e a comparação da edificação real com uma de referência. No Quadro 2.2 são apresentados os critérios avaliados em ambos os procedimentos adotados na NBR 15575 (2021).

Quadro 2.2 – Critérios de desempenho térmico adotados na NBR 15575 (2021)

Critérios procedimento simplificado	Critérios procedimento simulação
Transmitância térmica paredes externas	Percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa
Capacidade térmica paredes externas	Temperatura operativa anual máxima
Percentual de abertura ventilação	Temperatura operativa anual mínima
Percentual ou área de elementos transparentes	Carga térmica total
Transmitância térmica cobertura	-

Fonte: A autora (2022)

2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES

Com a chegada da Revolução Industrial, o chamado “estilo internacional” proliferou-se na arquitetura, ou seja, a mesma solução arquitetônica passou a ser reproduzida em diferentes lugares, sem sofrer readaptações às características climáticas e culturais do local de destino. A dependência de sistemas artificiais de condicionamento para garantia do conforto tornou-se marca deste estilo e, como consequência, os projetistas passaram a ter uma posição mais cômoda e menos preocupada frente aos problemas de adequação do edifício ao clima. Como resultado, a quantidade de energia necessária para manutenção deste modelo de edificação se tornou cada vez maior (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; MME, 2011).

A situação energética mundial agravou-se nos anos 70 devido à crise petrolífera de 1973 e 1979. Para superar a crise, a produção de energia teve que crescer, gerando impactos econômicos e ambientais. Com isso todo o modelo de desenvolvimento mundial passou a ser questionado, onde hábitos de consumo, equipamentos e a própria arquitetura passaram a ser analisados em termos de conservação de energia. Em busca de um novo enfoque para este desenvolvimento, o termo sustentável entrou em pauta, sendo entendido como um modelo capaz de satisfazer as necessidades de consumo das gerações atuais, mas sem comprometer os recursos para as gerações futuras. Neste sentido, a arquitetura que se insere no contexto do desenvolvimento sustentável é aquela capaz de garantir a qualidade e desempenho da edificação, porém com baixo impacto ambiental, fazendo com que desempenho ambiental e eficiência energética se tornem premissas deste novo modelo construtivo.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) a eficiência energética na arquitetura pode ser entendida como um atributo inerente à edificação representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.

Devido o papel que as edificações desempenham em relação ao consumo de energia, é nesta área que se encontra o maior potencial para se atingir eficiência energética, ressaltando a importância de existirem políticas e iniciativas que busquem promovê-la, seja por meio de normas, certificações e programas aplicados não apenas aos equipamentos que consomem energia, mas também ao desempenho dos edifícios.

Em 17 de outubro de 2001, em resposta a crise energética pela qual o país estava passando, o Brasil promulgou a Lei nº 10.295, sendo regulamentada em 19 de dezembro de 2001, através do Decreto nº 4.059. Tal Lei, mais conhecida como a Lei de Eficiência Energética,

dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia Elétrica, tendo como objetivo a alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente. Em seu Art. 4º, foi definido que o Poder Executivo ficaria responsável por desenvolver mecanismos que promovessem a eficiência energética nas edificações construídas no País (BRASIL, 2001).

No Brasil, diversas iniciativas sistematizadas vêm sendo empreendidas há mais de 20 anos (EPE, 2012) com o intuito de promover a eficiência energética no país. Entre essas iniciativas é possível destacar o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL).

O PBE, criado em 1984 e coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), fornece informações sobre o desempenho dos produtos, considerando atributos como a eficiência energética. Cada produto que passa pelo processo de etiquetagem recebe uma Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) que, além de apresentar os dados de desempenho e a classe de eficiência energética obtida pelo produto, garante que ele foi aprovado em uma série de testes de segurança e operação. Tal instrumento permite que os consumidores efetuem compras mais conscientes e estimula a competitividade da indústria para fabricação de produtos cada vez melhores (ADABO, 2021; INMETRO, 2021).

O Procel é um programa do Governo Federal, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), tendo sido implementado em 30 de dezembro de 1985 com o objetivo de promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício (PROCEL, c2006).

Com a crise energética de 2001, além da promulgação da Lei de Eficiência Energética, houve também um maior desenvolvimento do Procel, induzindo a criação, em 2003, do subprograma Procel Edifica. O objetivo deste subprograma consistia na elaboração de planos de ação para eficiência energética em edificações. Buscava incentivar a conservação e uso eficiente dos recursos naturais nas edificações, reduzindo assim o consumo de energia, os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente.

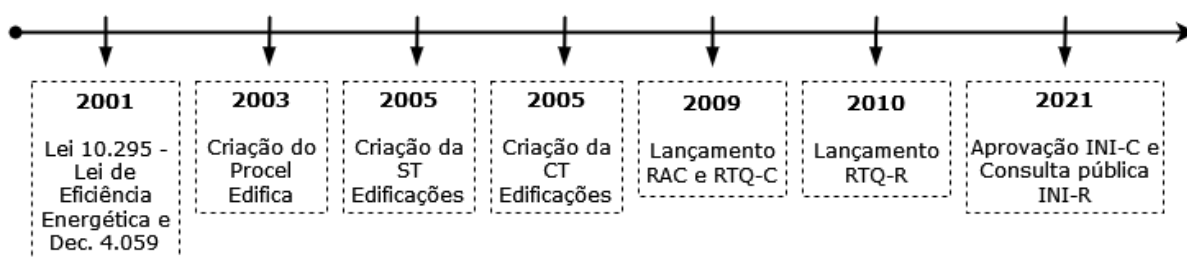
Em 2005 foi instituída a Secretária Técnica de Edificações (ST Edificações), com competência para discutir as questões técnicas envolvendo os indicadores de eficiência energética e sendo coordenada pela Procel Edifica. Em seguida foi criado o CT Edificações, onde era discutido e definido o processo para obtenção da ENCE. Em parceria com o Inmetro e no âmbito do PBE, o ST Edificações promoveu a elaboração do Regulamento Técnico da Qualidade que apresentava os requisitos necessários para a classificação do nível de eficiência energética das edificações. Em 2009 foi publicado este regulamento para edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C), em 2010 para os edifícios residenciais (RTQ-R). Além disso,

também foi publicado os Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações (RAC) que indica como este procedimento de classificação deve ser feito, apresentando a metodologia de avaliação do programa, os trâmites do processo e os documentos necessários.

No entanto, buscando desenvolver ações para melhoria dos métodos de avaliação do nível de eficiência energética das edificações, desde 2014, estes métodos vem sendo revisados pelo Procel Edifica juntamente com o Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), no âmbito do convênio ECV DTP 001-2012, firmado entre a Eletrobras e a Universidade Federal de Santa Catarina (CB3E, 2020). Este novo método, ao invés de Regulamento Técnico da Qualidade, passa a ser chamado de Instrução Normativa Inmetro, tendo sido aprovado em 2021 a instrução para edifícios comerciais, de serviços e públicos (INI-C). Com relação as edificações residências, a nova proposta ainda não foi publicada oficialmente, mas em 2021 já passou por consulta pública e se encontra em processo de consolidação do texto final. Na Figura 2.1 é possível visualizar a linha do tempo do processo de construção do PBE Edifica. (ELETROBRAS/PROCEL; INMETRO; CB3E/UFSC, 2013; MME, 2011; TAVARES, 2011).

Além da obtenção da ENCE é possível que a edificação receba o Selo Procel Edificações. Este Selo identifica as edificações que apresentam as melhores classificações de eficiência energética, motivando o mercado consumidor a adquirir e utilizar imóveis mais eficientes. Para se obter o selo é necessário que a edificação receba etiquetagem com nível de eficiência A para todos os sistemas avaliados.

Figura 2.1 - Linha do tempo do processo de construção do PBE Edifica



Fonte: Adaptado ELETROBRAS/PROCEL; INMETRO; CB3E/UFSC (2013)

De acordo com a ELETROBRAS/PROCEL, INMETRO e CB3E/UFSC (2013) as edificações novas construídas de acordo com os padrões instituídos pela Etiquetagem PBE Edifica podem alcançar uma economia de energia de até 50%, enquanto as edificações existentes que passam pelo processo de *retrofit*, seguindo a estes mesmos padrões, podem alcançar até 30% de economia. Com isso é possível perceber a importância de se conceber

projetos que estejam alinhados com a arquitetura bioclimática, permitindo que se tenha um melhor uso da eletricidade sem renunciar ao desempenho da edificação e conforto dos usuários. Além disto, a longo prazo, a energia conservada devido a ações de eficiência energética terá papel importante no atendimento à demanda futura de energia pela sociedade brasileira (EPE, 2012).

2.2.1 INSTRUÇÃO NORMATIVA INMETRO PARA A CLASSE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS (INI-R)

“A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) é obtida mediante a avaliação da edificação a partir dos requisitos contidos nos regulamentos técnicos RTQ-C e RTQ-R e segundo as regras estabelecidas no RAC.” (ELETROBRAS/PROCEL; INMETRO; CB3E/UFSC, 2013, p. 7)

O RTQ-R é um regulamento que tem como objetivo criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais. Durante o processo de etiquetagem é feita a avaliação da envoltória e do sistema de aquecimento de água das UHs, sendo possível realizar o processo segundo dois métodos: prescritivo ou simulação.

No caso da análise das envoltórias pelo método prescritivo a eficiência energética é estabelecido por meio de um equivalente numérico, referente à eficiência da edificação quando naturalmente ventilada, calculado a partir de equações que fornecem como resultado o indicador de desempenho “graus-hora”. Estas equações são baseadas em um metamodelo oriundo de regressões lineares múltiplas, porém apresentavam limitações, como o fato de impossibilitar o uso conjunto da ventilação natural e do condicionamento artificial, além de subestimar os efeitos da primeira, uma vez que o método tende a superestimar o consumo de aquecimento. (MAZZAFERRO *et al.*, 2018; MELO; LAMBERTS, 2018).

Outro ponto importante é que o indicador “graus-hora” utilizado no RTQ-R é um indicador de desempenho de difícil compreensão, pois não permite que o consumidor consiga associá-lo ao consumo da edificação ou a economia de energia gerada por medidas de eficiência energética empregadas na mesma.

Deste modo, buscando o aprimoramento do RTQ-R a fim de tornar a avaliação da eficiência energética da edificação mais precisa, desde 2014 o atual método vem sendo revisado (CB3E, 2020). Na nova proposta o RTQ-R passa a ser chamado de Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R). Entre as ações de melhoria que vem sendo desenvolvidas, destaca-se a forma como o desempenho energético da

edificação será avaliada, com base no consumo de energia primária, onde será feita a comparação entre a edificação que se deseja avaliar (edificação real) e a mesma edificação dotada de certas características de referência (edificação de referência).

Energia primária é a energia disponível na natureza e que pode ser transformada em fontes de energia secundárias, como eletricidade e calor (CB3E, 2018). Ao se optar por utilizar o consumo de energia primária como indicador de eficiência, três pontos podem ser destacados. Primeiro, tanto a energia elétrica quanto a térmica, oriundas de diversas fontes, passam a ser contabilizadas, sendo transformadas em energia primária a partir da sua multiplicação por fatores de conversão. Segundo, a nova proposta prevê que o cálculo destes fatores sejam refeitos a cada 5 anos (CB3E, 2020). Isto permite que a INI-R consiga se adaptar a novos cenários da matriz energética nacional que possam vir a surgir, permitindo, com isto, que as edificações residências sejam avaliadas de forma mais adequado ao contexto nacional em que estiverem inseridas. Terceiro, adotar o consumo de energia primária como indicador de desempenho permite que o consumidor passe a ter uma ideia de grandeza relacionada ao consumo real da edificação.

Com relação ao metamodelo adotado para as análises, este também sofreu alterações na nova proposta. Ao invés de utilizar regressões multilíneas, na INI-R (2018) os resultados gerados são baseados em Redes Neurais Artificiais (RNA), que além de se mostrar mais precisa para a avaliação das envoltórias, permite que a ventilação natural e o uso de sistemas de condicionamento artificial do ar sejam analisados de forma conjunta, gerando como resultado as cargas térmicas de aquecimento e refrigeração dos ambientes. Este metamodelo, baseado nos resultados de diversas simulações, engloba grande parte das tipologias arquitetônicas encontradas em edificações residências brasileiras de acordo com as características climáticas do local que está inserida (MELO; LAMBERTS, 2018).

Na INI-R (2018) a classificação de grupos climáticos adotado é baseada na proposta desenvolvida por Roriz (2014) que divide o Brasil em 24 grupos climáticos (GC), sendo o grupo 1, subdividido nos subgrupos “1-A” e “1-B”, a zona mais fria e o grupo 24 a zona mais quente. Neste método os parâmetros utilizados para a classificação são:

- Temperatura média anual (TMA);
- Desvio padrão da temperatura média (dpT), representando a diferença entre a maior e a menor temperatura média mensal;
- Amplitude média anual (AMA);

- Desvio padrão da amplitude (dpA), representando a diferença entre a maior e a menor amplitude térmica mensal.

Considerando que as características climáticas dentro desta nova divisão tendem a ser mais homogêneas quando comparadas ao zoneamento definido na NBR 15220 (2005) e adotado no RTQ-R, acredita-se que os resultados obtidos com a avaliação de eficiência energética pela nova proposta são mais precisos, uma vez que o clima é um fator determinante ao se estimar o consumo energético da edificação.

Por fim, vale destacar que a INI-R (2018) adota quatro classes de eficiência energética, variando de “A” (mais eficiente) a “D” (menos eficiente).

2.2.1.1 Procedimento para determinação da eficiência

A INI-R destina-se a classificação da eficiência energética de edificações residenciais para fins de etiquetagem da edificação, sendo aplicável a edificações residenciais unifamiliares e unidades habitacionais autônomas (UHs) de edificações multifamiliares e edifícios de uso misto, em projeto ou construídos.

Assim como no RTQ-R, independentemente do método utilizado, dois sistemas são avaliados: envoltórias e os sistemas de aquecimento de água. Além destes, também são descritos critérios para avaliação do potencial de geração local de energia renovável, percentual de horas ocupadas em conforto térmico quando ventilada naturalmente, uso racional de água e emissões de dióxido de carbono, sendo o desempenho dos três últimos de caráter informativo, pois estes não influenciam na classificação da UH avaliada.

A avaliação do consumo energético da edificação pode ser realizada por meio de três métodos: prescritivo, simplificado e simulação. No caso do método prescritivo e simplificado, a INI-R especifica certos limites de aplicação que devem ser respeitados e que caso a edificação se enquadre fora destes limites, a utilização do método se torna impossibilitada, fazendo-se necessário o uso do método seguinte. Vale considerar que o grau de complexidade dos métodos tende a aumentar do primeiro ao último, fazendo com que, conseqüentemente, a diversidade de soluções arquitetônicas abrangidas por cada método seja diferente.

O método prescritivo foi desenvolvido para avaliar residências unifamiliares de até 60 m² e funciona como um *checklist* que avalia o cumprimento de cinco requisitos referentes tanto a envoltória da edificação quanto o seu sistema de aquecimento de água. Caso todos os requisitos sejam atendidos, a edificação recebe classe A de eficiência energética, não sendo

possível obter um nível de eficiência menor caso apenas alguns dos requisitos não seja alcançado. Deste modo, caso a residência não cumpra com todos os requisitos do *checklist* outro método de avaliação deve ser utilizado.

No caso do método simplificado, foco desta pesquisa, este consiste na comparação entre a edificação real e de referência. Para a envoltória, a avaliação é realizada através das cargas térmicas de refrigeração e aquecimento para cada APP. Essas cargas são obtidas por meio do metamodelo em redes neurais a partir da inserção das variáveis em um interface digital disponibilizada pelo PBE Edifica (PBE EDIFICA, [s. d.]). O modelo funciona com base em 32 parâmetros de entrada (Quadro 2.3), 28 referentes a edificação, envolvendo as características geométrica e térmicas dos componentes construtivos e 4 relacionados com as variáveis climáticas, representando a influência do clima no metamodelo (MELO; LAMBERTS, 2018). Os limites de aplicação do método simplificado são apresentados na Tabela 2.1.

Quadro 2.3 – Parâmetros de entrada do metamodelo da INI-R (2018)

Parâmetros edificação	Parâmetros climáticos
Tipo de ambiente	Temperatura média anual (TMA)
Fator de vidro fachada norte	Desvio padrão da temperatura média (dpT)
Fator de vidro fachada leste	Amplitude média anual (AMA)
Fator de vidro fachada sul	Desvio padrão da amplitude (dpA)
Fator de vidro fachada oeste	
Área de fachada norte	
Área de fachada leste	
Área de fachada sul	
Área de fachada oeste	
Área do ambiente	
Capacidade térmica da parede externa	
Transmitância térmica da parede externa	
Capacidade térmica da cobertura	
Transmitância térmica da cobertura	
Transmitância térmica do vidro	
Fator solar vidro	
Tipo de piso do pavimento	
Pé direito	
Absortância solar parede externa	
Absortância solar cobertura	
Tamanho da projeção	
Altura do pavimento	
Veneziana	
Fator de altura da abertura	
Fator de abertura para ventilação	
Pilotis	
Exposição do piso	
Exposição da cobertura	

Fonte: Adaptado INI-R (2018)

Tabela 2.1 - Limites de aplicação método simplificado da INI-R (2018)

Parâmetro	Limites do método	
	Mínimo	Máximo
Absortância solar da cobertura	0.30	0.80
Absortância solar das paredes externas	0.30	0.80
Altura do pavimento em relação ao solo	0	50 m
Área de fachada	0	150 m ²
Área do ambiente	6 m ²	300 m ²
Capacidade térmica da cobertura	20 kJ/m ² .K	250 kJ/m ² .K
Capacidade térmica das paredes externas	30 kJ/m ² .K	290 kJ/m ² .K
Capacidade térmica do piso	50 kJ/m ² .K	200 kJ/m ² .K
Fachadas expostas a ambientes externos	1	2 (dormitório) 3 (sala)
Fator de abertura para ventilação	0.50	1.00
Fator de vidro na fachada	0.10	0.90
Fator solar do vidro	0.22	0.87
Pé-direito	2.50 m	5.00 m
Percentual de abertura zenital	0	0
Proporção de área de fachada em relação à área de piso (por orientação de fachada e por ambiente)	0	1.50
Sombreamento das aberturas	Sem veneziana	Com veneziana
Tamanho da projeção horizontal da sacada ou marquise	0	2 m
Transmitância térmica da cobertura	0.50 W/m ² .K	3.50 W/m ² .K
Transmitância térmica das paredes externas	0.50 W/m ² .K	3.65 W/m ² .K
Transmitância térmica do piso	2.00 W/m ² .K	3.00 W/m ² .K
Transmitância térmica do vidro	2.80 W/m ² .K	5.70 W/m ² .K

Fonte: Adaptado INI-R (2018)

Quando a edificação não atende aos limites de aplicação do método prescritivo e/ou simplificado, o método de simulação deve ser utilizado, sendo este o mais complexo e que exige maior atenção e capacidade técnica dos analistas. Este método aplica-se somente para a avaliação da envoltória da edificação, onde a estimativa da carga térmica para a condição real e de referência é realizada por meio de programas de simulação termo energética, como o *EnergyPlus*.

2.2.1.2 Nível de eficiência e consumo energético da envoltória

Uma vez obtidas as cargas térmicas de refrigeração e aquecimento de cada APP é possível realizar os cálculos para determinação da classe de eficiência energética da envoltória da edificação. Inicialmente deve ser realizado o cálculo do percentual de redução das cargas térmicas, onde a carga térmica da edificação real é comparada com a carga do edifício de

referência. Quanto maior for este percentual, mais eficiente será a edificação, pois significa que a edificação real foi capaz de reduzir o consumo de energia em relação ao edifício de referência. Este percentual é calculado para cada APP na condição de refrigeração e aquecimento e, a partir dele, são calculados os equivalentes numéricos, sendo este cálculo dividido em três etapas:

- Cálculo do equivalente numérico de refrigeração e aquecimento dos APPs;
- Cálculo do equivalente numérico de refrigeração e aquecimento da UH;
- Cálculo do equivalente numérico global da UH.

A classificação final de eficiência da envoltória é dada de acordo com o equivalente numérico global da UH, a partir da escala de classificação apresentada na Figura 2.2.

Figura 2.2 - Escala de classificação da eficiência energética da envoltória da UH

A	B	C	D
$\text{EqNumUH} \geq 3$	$3 > \text{EqNumUH} \geq 2$	$2 > \text{EqNumUH} \geq 1$	$\text{EqNumUH} < 1$

Fonte: INI-R (2018)

Em relação ao consumo energético da envoltória, este também é calculado com base nas cargas térmicas de refrigeração e aquecimento dos APPs. Primeiramente, é determinado, de forma separada, o consumo energético para refrigeração e para aquecimento da UH, levando-se em consideração, além das respectivas cargas térmicas, a área dos APPs e o uso de sistemas condicionadores de ar, representados pelo coeficiente de performance. Em seguida é calculado o consumo final de energia elétrica, sendo este consumo representado pelo somatório dos consumos para refrigeração e aquecimento. Para transformar este consumo em energia primária basta multiplicar o consumo elétrico por seu respectivo fator de conversão.

2.2.1.3 Estudos

Apesar da instrução normativa INI-R ainda estar em processo de desenvolvimento, alguns estudos já foram realizados utilizando-a como referência. Grande parte destas pesquisas tiveram como objetivo avaliar a eficiência energética da envoltória ou da UH como um todo, buscando com estas análises aplicar medidas de eficiência energética que gerassem uma redução no consumo energético e uma melhora no nível de classificação da edificação. Além disso, estes estudos buscaram avaliar também a viabilidade financeira, verificando se as medidas de eficiência propostas eram possíveis de serem empregadas e quais teriam os melhores custos-benefícios (ELI, 2017; NETO, 2018; ROSA, 2018). Outro estudo similar, além

de utilizar o INI-R para avaliar o desempenho da edificação, buscou também aplicar a nova proposta na tentativa de obter um edifício de energia zero, ou seja, um edifício capaz de gerar energia suficiente para superar os gastos anuais da energia importada da rede (PACHECO, 2018). Tal estudo se tornou possível com o uso da normativa, uma vez que ela permite estimar o potencial de geração de energia local de fontes renováveis.

Partindo para uma análise mais específica da instrução normativa, Veiga (2018) buscou realizar uma análise de sensibilidade dos parâmetros de entrada considerados no método simplificado. Os resultados obtidos indicaram que nos pavimentos de cobertura, a absorvância da cobertura foi o parâmetro mais influente para a predição da carga térmica, já nos pavimentos intermediários e térreos seria o uso de venezianas nas aberturas. Além disso, como o estudo avaliou o comportamento de uma tipologia padrão de uma edificação em 4 grupos climáticos distintos, foi observado que o clima pode ser considerado com um dos fatores mais relevantes, uma vez que nos climas mais quentes e úmidos (Cuiabá, Salvador e Manaus) os edifícios apresentaram comportamentos muito próximos, diferentemente do clima mais frio e seco (São Paulo), que apresentou outro tipo de comportamento. Outro estudo, desenvolvido por Olinger *et al.* (2019), apresentou a metodologia aplicada para a definição das escalas de eficiência energética da envoltória de edificações residenciais avaliadas pelo método simplificado. Essa pesquisa também concluiu que o clima é um fator influente no potencial de redução de carga térmica de um APP, juntamente com outros fatores, como a área do APP e os padrões de uso da edificação.

Como a RNA é um método capaz de prever um valor a partir do aprendizado de diversas combinações de entradas e resultados, podem existir certas simplificações que precisam ser analisadas. Por isso, com o desenvolvimento desse novo metamodelo em redes neurais para análise da eficiência energética da edificação, Eli *et al.* (2018) realizou um estudo que, por meio de uma análise de sensibilidade, avaliou a precisão dos resultados obtidos com esse novo método. A pesquisa concluiu que o metamodelo responde de forma satisfatória a influência dos dados de entrada nos dados de saída; a combinação dos dados de entrada de um edificação pode representar um aumento ou diminuição da carga térmica da UH e que a economia de energia irá depender do clima e das combinações entre os parâmetros da edificação avaliada.

Vale destacar também que a utilização de metamodelos para previsão do consumo de energia em edifícios não é algo recente. Nos últimos anos um grande número de abordagens de previsão, que utilizam desde métodos de engenharia a métodos estatísticos e de inteligência artificial, foram propostas e aplicadas a uma ampla gama de componentes da edificação. Zhao

e Magoulès (2012) e Fouquier *et al.* (2013) revisam e discutem estes métodos, apresentando alguns dos estudos que já foram realizados. No que diz respeito a metodologia proposta na INI-R, esta incentiva o uso de estratégias bioclimáticas nos projetos a serem desenvolvidos, o que tende a reduzir a necessidade de utilização de mecanismos artificiais de condicionamento do ar. Comparado a outros métodos usados ao redor do mundo que são baseados na redução do consumo de energia e das emissões de gases, o metamodelo brasileiro apresenta um grande diferencial (MELO *et al.*, 2016).

2.2.1.4 Atualizações da INI-R

A INI-R é um regulamento que ainda se encontra em processo de aperfeiçoamento. A versão que estava disponível, e que foi utilizada como base de desenvolvimento desta dissertação e demais estudos citados anteriormente, é a versão de 2018. No segundo semestre de 2021 uma nova versão passou por consulta pública (INMETRO, 2021b), mas ainda se encontra em processo de consolidação do texto final, não tendo sido publicada oficialmente (PBE EDIFICA, 2021).

No que diz respeito a avaliação da envoltória das edificações, um dos principais objetivos desta nova versão é obter um maior alinhamento do método adotado na instrução normativa com o método adotado na NBR 15575 (2021), principalmente depois que os requisitos e critérios de desempenho térmico da norma foram atualizados. Tal alinhamento tende a facilitar as análises por parte dos projetistas, construtores e consultores (FOSSATI, 2021).

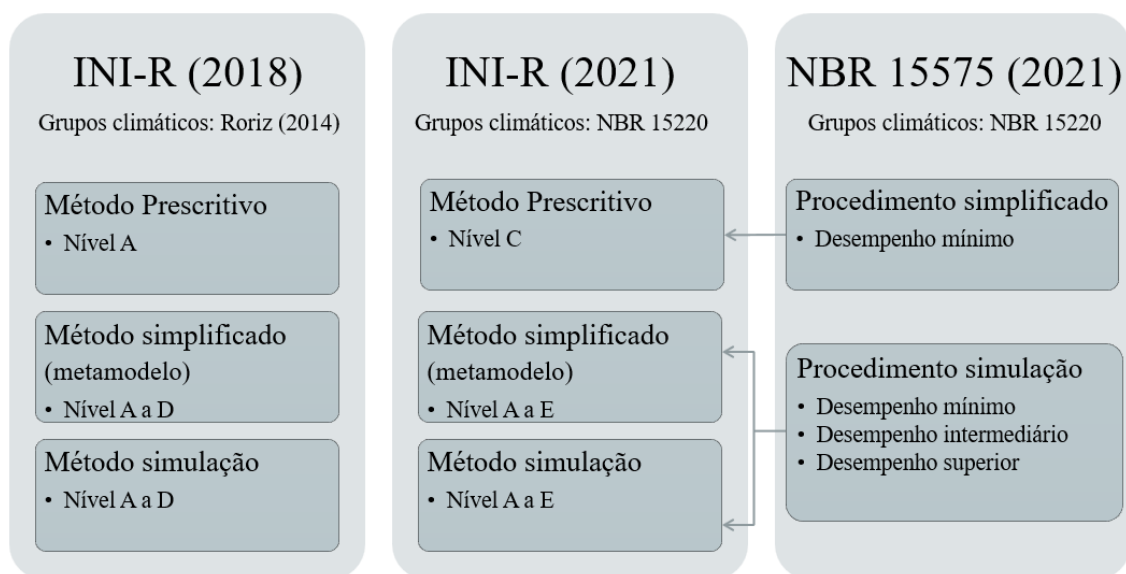
Cabe destacar também que na versão de 2021 da INI-R passam a ser adotadas cinco classes de eficiência energética, ou seja, as classes de eficiência passam a variar de “A” a “E”. Com relação a classificação de grupos climáticos, a divisão adotada é baseada no zoneamento bioclimático definido na NBR 15220 (2005), que divide o território brasileiro em 8 zonas.

Nesta nova versão da INI-R, os métodos para a determinação da classificação de eficiência energética de edificações residenciais continuam sendo os mesmos da versão de 2018: prescritivo, simplificado e simulação. No caso do método prescritivo, este passa a ser equivalente ao procedimento simplificado da NBR 15575 (2021), uma vez que os parâmetros de referência adotados na instrução normativa são os mesmos determinados no procedimento simplificado da norma de desempenho (Quadro 2.2). Diferentemente da versão de 2018 da INI-R, que garante que a edificação receba classe A de eficiência energética caso todo os

requisitos sejam atendidos, na versão de 2021 a obtenção do nível mínimo de desempenho pelo método simplificado da NBR 15575 (2021) conduz à classificação C de eficiência energética.

Para obter classificação A ou B de eficiência, o que equivaleria aos níveis de desempenho superior e intermediário, respectivamente, é necessário que a edificação seja avaliada pelo método simplificado ou de simulação. Nestes métodos é realizada a comparação do consumo da edificação real com a mesma edificação com características de referência. Em ambos os casos, os parâmetros de avaliação adotados são os mesmos estipulados no procedimento de simulação da norma de desempenho (Quadro 2.2). Apesar dos critérios adotados nesses dois métodos serem os mesmos, o que os difere é que no método simplificado os parâmetros de avaliação são obtidos por meio de um metamodelo e no método de simulação os parâmetros são obtidos através da simulação computacional propriamente dita. Na Figura 2.3 é apresentado um resumo comparando as duas versões da INI-R com a NBR 15575 (2021).

Figura 2.3 – Comparação versões INI-R e NBR 15575 (2021)



Fonte: A autora (2022)

Como o desenvolvimento desta pesquisa é baseada no método simplificado da INI-R é apresentado na Figura 2.4 algumas diferenças existentes entre as versões de 2018 e 2021. Vale citar que os critérios e métodos de cálculo para determinação da classe de eficiência energética entre as duas versões são diferentes, uma vez que os parâmetros avaliados não são os mesmos.

Figura 2.4 – Comparação entre o método simplificado das versões de 2018 e 2021 da INI-R

INI-R (2018)	INI-R (2021)
<p><u>Método Simplificado</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Nível A a D • Edifício real e de referência • Resultado Metamodelo (APP): <ul style="list-style-type: none"> • Carga térmica de resfriamento (CgTR) • Carga térmica de aquecimento (CgTA) • Percentual de horas ocupadas em conforto térmico (PHOCT) • Parâmetros para análise: <ul style="list-style-type: none"> • Equivalente Numérico da UH (EqNum UH) 	<p><u>Método Simplificado</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Nível A a E • Edifício real e de referência • Resultado Metamodelo (UH): <ul style="list-style-type: none"> • Percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT) • Temperatura operativa anual máxima (Tomáx) • Temperatura operativa anual mínima (Tomín) • Cargas térmica de aquecimento (CgTA) • Cargas térmica de refrigeração (CgTR) • Parâmetros para análise: <ul style="list-style-type: none"> • Mesmos adotados no método de simulação da NBR 15575/2021 (Quadro 2.2)

Fonte: A autora (2022)

No que se refere a análise de desempenho térmico, é importante ressaltar que esta pesquisa foi desenvolvida utilizando o procedimento simplificado adotado na versão mais recente da NBR 15575 (2021), de modo que, uma vez atendidos os critérios estabelecidos na norma, paralelamente serão atendidos os critérios do método prescritivo da INI-R (2021).

2.3 PROCESSO DE PROJETO E ANÁLISE TERMO ENERGÉTICA DA EDIFICAÇÃO

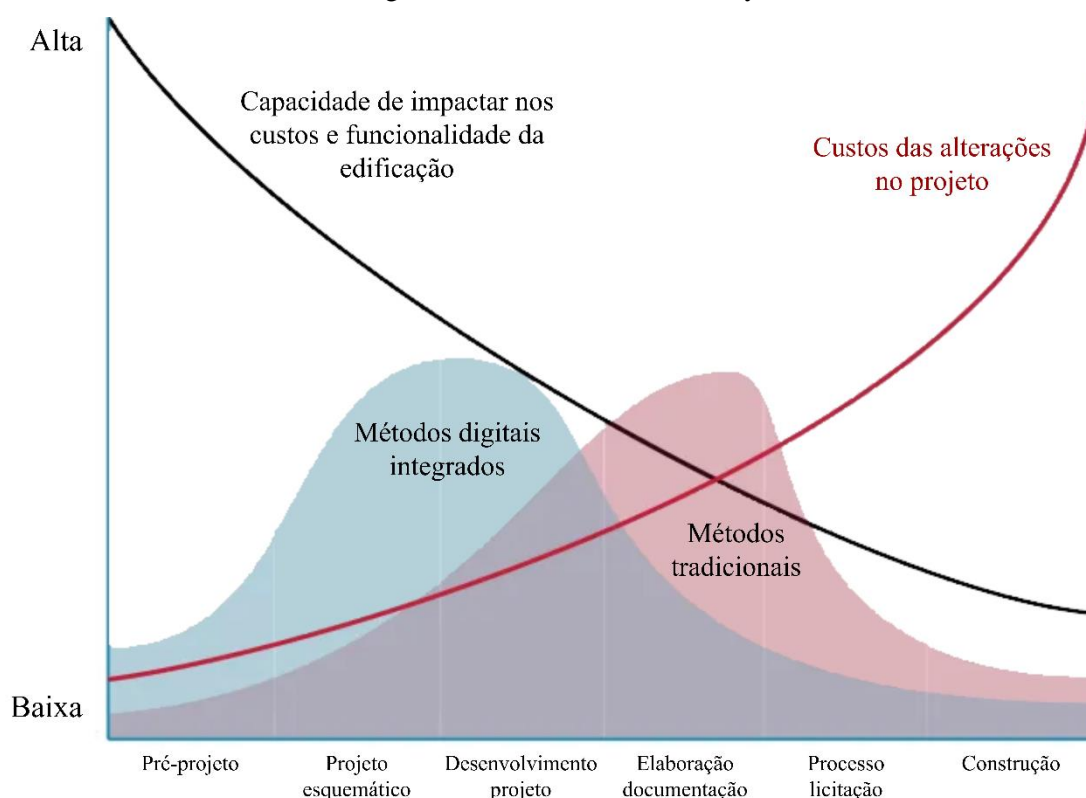
O termo projeto pode ser entendido na construção civil de diferentes maneiras, a depender do contexto em que é aplicado. Numa visão mais ampla, o projeto pode ser entendido como um empreendimento, resultado de uma análise de negócios e que pode gerar como produto uma nova edificação. De modo mais específico, como a fase que antecede a execução da obra, caracterizando a concepção do projeto em si e, por fim, como desenho técnico, cujo objetivo é orientar a execução das construções (CAMPESTRINI *et al.*, 2015).

Considerando, aqui, projeto como a fase que antecede a execução da obra, é nesta etapa que a maioria das decisões sobre a edificação são tomadas, tendo esta fase um grande impacto nas funcionalidades, custos e desempenho do empreendimento. Quanto mais avançado se encontra o estágio de desenvolvimento da edificação maiores serão os custos para alteração do projeto e menores serão as possibilidades de se alterar as características da edificação, sendo

cada vez mais difícil melhorar a qualidade do projeto e adequá-lo à condições específicas (ABDI, 2017; CBIC, 2016; EASTMAN *et al.*, 2014).

Na Figura 2.5, mais conhecida como curva de MacLeamy (DAVIS, 2011), fica melhor evidenciado a importância das etapas iniciais de projeto e seu impacto nos custos, qualidade e funcionalidades gerais da edificação. Além disso, é apresentada uma comparação entre os processos de projeto desenvolvidos com base em métodos tradicionais e métodos digitais integrados. Os processos tradicionais, por se caracterizarem como métodos mais manuais, necessitam que um maior esforço seja despendido na fase de elaboração de toda documentação requerida pelo projeto. Já nos processos digitais integrados, como o BIM, devido a capacidade de automatização, o tempo requerido na produção dos documentos da construção são reduzidos significativamente, permitindo que maior esforço possa ser dedicado às etapas iniciais de projeto (EASTMAN *et al.*, 2014).

Figura 2.5 – Curva de MacLeamy



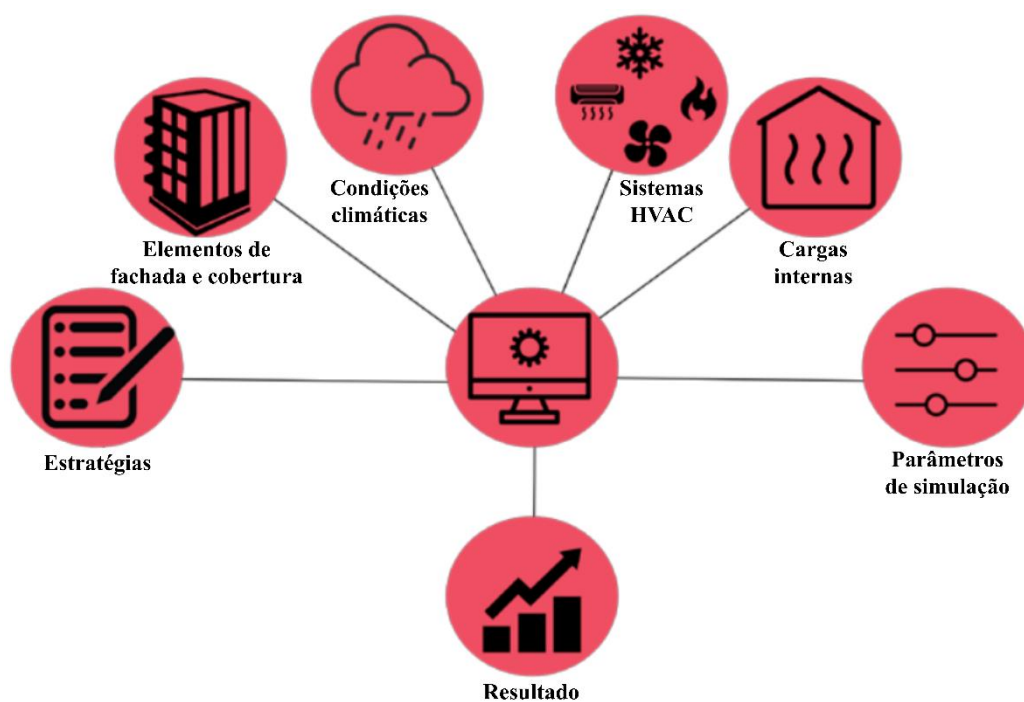
Fonte: Adaptado de Davis (2011)

Cabe destacar que a elaboração de um projeto é um processo complexo e que envolve diversas especialidades técnicas, de modo que a coordenação de um projeto deve considerar a necessidade de integração de equipes, conhecimento e experiências. Além disso, a dinâmica atual da industrial da arquitetura, engenharia e construção tem exigido projetos cada vez mais

otimizados, de forma a garantir um melhor planejamento e controle das obras (CAMBIAGHI; AMÁ, 2019).

No que diz respeito a análise termo energética, esta pode ser realizada a partir da representação digital da edificação em um *software* específico para simulação termo energética ou a partir de metamodelos, que permitem, de modo mais rápido e simplificado, que parâmetros de entradas sejam correlacionados aos resultados obtidos por modelos matemáticos mais complexos, como os utilizados nas ferramentas de simulação (ØSTERGÅRD; JENSEN; MAAGAARD, 2017). De modo geral, essas análises são o resultado da interação de diferentes parâmetros, como os apresentados na Figura 2.6, representando a influência do ambiente externo, do ambiente interno e dos componentes da construção nos resultados termo energéticos da edificação (ABDI, 2017b).

Figura 2.6 – Parâmetros de entrada necessários para análises termo energéticas de uma edificação



Fonte: ABDI (2017b)

Há mais de 20 anos a necessidade de análise de energia em edifícios já era discutida, sendo este uma temática ainda muito atual. De acordo com o estudo desenvolvido por Al-Homoud (2001) esta necessidade pode ser resumida da seguinte maneira:

- Edifícios são elementos que possuem uma vida útil grande e, conseqüentemente, as decisões tomadas em projeto, como os componentes da edificação, terão impacto por um longo período de tempo;

- Os custos de alteração para melhorar o desempenho energético da edificação, quando tomadas em estágios posteriores as etapas iniciais de projeto, tendem a ser mais caras e, nem sempre, são eficazes;
- Muitos edifícios, para conseguirem controlar as suas condições ambientais internas, necessitam operar com sistemas mecânicos de ventilação, tornando importante a avaliação de energia;
- Os preços da energia não são estáveis e uma análise e projeto adequados podem facilitar o retorno do investimento de forma antecipada;
- Edifícios são grandes consumidores de energia, sendo a conservação a melhor abordagem para reduzir este consumo. Para tal é necessário que sejam realizadas análises de energia adequadas.

De modo geral, as análises termo energéticas da edificação podem ser consideradas como uma ferramenta de auxílio na tomada de decisão de projetos, uma vez que permitem que sejam avaliados os impactos de cada alteração realizada. Quanto mais cedo essas análises estiverem incorporadas ao processo de projeto, mais fácil será a obtenção de edificações mais eficientes (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Vale ressaltar, no entanto, que apesar de ser no estágio de projeto que os profissionais da área possuem a oportunidade de avaliar as melhores alternativas para obterem construções mais sustentáveis, na prática, geralmente não ocorre esta integração entre o processo projetual e análise de desempenho. Os estudos termo energéticos acabam sendo realizados apenas quando decisões arquitetônicas e decisões fundamentais já foram definidas (BAZJANAC, 2008; JALAEI; JRADE, 2014; SCHLUETER; THESELING, 2009), o que resulta em um processo ineficiente e de retrabalhos para se conseguir alterar o projeto.

O desenvolvimento de projetos, por si só, já é complexo, pois normalmente envolve uma grande quantidade de profissionais, de diferentes áreas, assim como a necessidade de atender a uma série de critérios construtivos e de lidar com objetivos que são ao mesmo tempo multidisciplinares e contrastantes (MÉNDEZ ECHENAGUCIA *et al.*, 2015). Quando objetivos específicos precisam ser alcançados, como a projeção de edificações mais eficientes, a situação pode ser um pouco mais complicada. De acordo com Yu *et al.* (2011) os fatores que influenciam o consumo total de energia de um edifício pode ser dividido em sete categorias, que vão desde a características climáticas do local onde a edificação será construída, características relacionadas a construção, uso e operação do edifício, assim como características relacionadas ao usuário. Com um número significativo de variáveis que afetam o desempenho dos edifícios

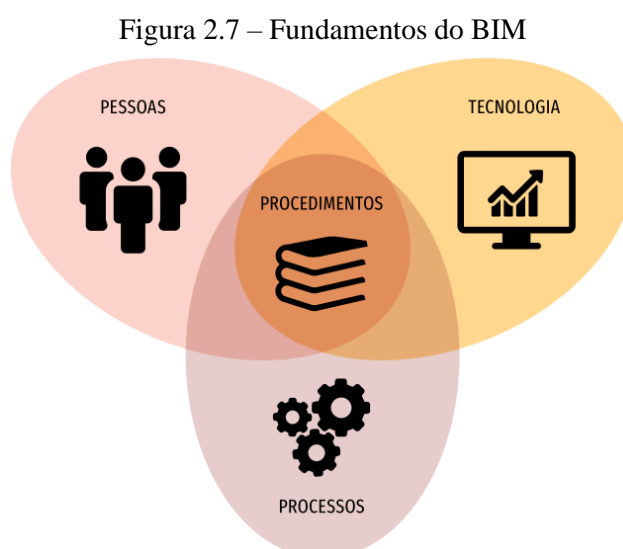
e que precisam ser levadas em consideração, um vasto campo de possibilidade de projeto passam a existir (ØSTERGÅRD; JENSEN; MAAGAARD, 2017), tornando o BIM um importante aliado no processo de criação de edificações mais sustentáveis.

2.4 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

O *Building Information Modeling*, em português, Modelagem da Informação da Construção é definido pela ISO 29481 (2010) como sendo uma representação digital compartilhada das características físicas e funcionais de qualquer objeto construído (incluindo edifícios, pontes, estradas etc.), que forma uma base confiável para decisões.

Com a tecnologia BIM, um modelo virtual preciso de uma edificação é construído de forma digital. Quando completo, o modelo gerado computacionalmente contém a geometria exata e os dados relevantes, necessários para dar suporte à construção, à fabricação e ao fornecimento de insumos necessários para a realização da construção. [...] Quando implementado de maneira apropriada, o BIM facilita um processo de projeto e construção mais integrado que resulta em construções de melhor qualidade com custo e prazo de execução reduzidos (EASTMAN *et al.*, 2014, p. 1)

De acordo com Succar (2009), o BIM não deve ser entendido apenas como uma tecnologia, mas sim como o conjunto de tecnologias, processos e pessoas que se encontram vinculados entre si por meio de procedimentos, normas e boas práticas (Figura 2.7). Isto demonstra o poder o BIM em gerar grandes mudanças na cultura das organizações ao ser implementado.



Fonte: ABDI (2017a)

O BIM consiste em dois componentes principais: um modelo digital tridimensional da geometria da edificação e um banco de dados onde são armazenadas todas as informações, propriedades e relacionamentos dos elementos que compõem este modelo digital (COSTA *et al.*, 2013 *apud* SIMPSON, 2008). São essas informações que o BIM permite que sejam adicionados aos modelos virtuais que o diferencia do *Computer-Aided Design* (CAD). Neste último, os dados inseridos são apenas entidades gráficas, como linhas, arcos e círculos, em contraste com a semântica contextual inteligente dos modelos BIM, onde os objetos são definidos em termos de elementos e sistemas de construção, como paredes, vigas e estacas (CRC CONSTRUCTION INNOVATION, 2007). De modo mais claro, essa inteligência contextual semântica, conhecida como objetos paramétricos ou modelagem paramétrica, permite que um objeto seja representado por parâmetros, que incluem desde a sua geometria até as suas características e propriedades não geométricas, possibilitando, por exemplo, que dados sejam extraídos destes objetos para a formulação de relatórios.

Considerando que além da geometria da construção o BIM pode conter numerosas informações sobre seus diferentes aspectos, vários são os benefícios obtidos ao adotá-lo, uma vez que ele possibilita a criação de um modelo de informações que represente todo o ciclo de vida da edificação, conforme apresentado na Figura 2.8 (BAIA, 2015). Na fase de pré-construção os benefícios estão relacionados a um aumento da qualidade e desempenho da construção, além dos estudos de viabilidade que podem ser realizados. Durante o projeto é possível ter uma visualização antecipada e mais precisa do mesmo, a ocorrência de correções automáticas de baixo nível quando mudanças são feitas, a colaboração multidisciplinar facilitada, assim como a extração da estimativa de custos e a possibilidade de se realizar análises de eficiência energética. Na construção, as vantagens do BIM estão na sincronização de projeto e planejamento da construção, detecção de interferências, permitindo uma reação rápida a problemas de projeto ou do canteiro, além de permitir uma melhor implementação das técnicas de construção enxuta, como a sincronização da aquisição de materiais com o projeto e a construção. Por fim, na pós-construção, os benefícios vão desde um melhor gerenciamento e operação das edificações até a integração com sistemas de operação e gerenciamento de facilidades (EASTMAN *et al.*, 2014). Além disso tudo, a maioria dos pacotes de *software* BIM oferecem ao usuário a capacidade de adicionar parâmetros ou funções personalizadas para adicionar mais informações e expandir os recursos do modelo baseado em BIM (MARZOUK; ABDELATY, 2014).

Figura 2.8 - BIM no ciclo de vida das edificações



Fonte: ABDI (2017a)

A integração do conceito BIM ao processo projetual vem ganhando interesse cada vez maior por parte dos estudiosos e profissionais da área (GONÇALVES, 2018). Correlacionado a isto, análises de eficiência energética, desempenho e conforto térmico vem ganhando cada vez mais espaço nos estudos que vem sendo desenvolvidos na área do BIM, a fim de se conseguir otimizar e melhorar a qualidade dos projetos.

Habibi (2017) buscou avaliar, através de estudos de caso, os benefícios da aplicação do BIM para melhorar o desempenho energético e ambiental de edifícios. De modo mais específico, o objetivo foi estruturar a implementação do BIM a fim de obter uma visão detalhada das condições ambientais existentes, ou seja, condições térmicas, lumínicas e acústicas e fazer estratégias de melhoria da eficiência energética dos edifícios. No estudo o BIM demonstrou ter benefícios consideráveis para uma melhor compreensão das condições ambientais e embora seja incapaz de simular o comportamento real do usuário do edifícios, o BIM é um processo eficaz e eficiente para avaliação de projetos e construção de edificações com maior desempenho.

No estudo realizado por Natephra *et al.* (2017) foi desenvolvido um método para integrar dados de sensores térmicos e ambientais com o modelo BIM. O sistema proposto

convertia as imagens térmicas coletadas em temperaturas numéricas da superfície, integrava ao BIM os dados ambientais coletados, permitindo que os usuários visualizassem as alterações nas informações térmicas mapeadas, calculava automaticamente as variáveis de conforto e, por fim, avaliava o nível de conforto térmico para vários locais dentro do edifício. Além de ajudar os usuários a examinarem as condições de conforto térmico dos edifícios, o sistema desenvolvido possibilitava identificar possíveis problemas a fim de alcançar maior conforto para os ocupantes. No entanto, o método proposto permitia apenas a análise visual da temperatura superficial dos envelopes de construção para identificar padrões de perda excessiva ou geração de calor ao longo do tempo. Para analisar melhor o desempenho térmico da envoltória do edifício, deveria ser desenvolvido um sistema no qual o valor total da transferência térmica (OTTV) pudesse ser calculado usando um banco de dados de propriedades térmicas BIM, o que foi realizado no estudo de Natephra, Yabuki e Fukuda desenvolvido em 2018.

kotisuryam e Sharanappa (2019) utilizaram o BIM e a Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD, do inglês *Computational Fluid Dynamics*) para desenvolverem um método que buscava minimizar o consumo de energia do edifício a partir da automatização dos sistemas de condicionamento do ar. A proposta da pesquisa foi proporcionar conforto térmico e economia de energia, controlando de maneira inteligente as duas saídas de ar-condicionado instaladas no edifício em estudo. A inteligência se baseou na conscientização da presença dos ocupantes na sala e de sua localização, para decidir qual sistema de ar-condicionado deveria ser mantido ou desativado. Nesta pesquisa o *software* BIM foi utilizado como uma plataforma para integrar todas as informações de padrões do edifício e, usando o *software* CFD, verificar os níveis de conforto térmico interno e distribuição de energia no interior dos ambientes. Deste modo, o BIM auxiliou na avaliação automática de regras de desempenho estabelecidas na certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), fornecendo uma maneira eficiente de avaliar diferentes cenários e realizar análises espaciais durante o projeto, de modo a evitar retrabalhos e melhorar o nível de sustentabilidade do edifício, além de permitir prever e diagnosticar o consumo de energia da edificação.

Na pesquisa desenvolvida por Kim *et al.* (2019) foi proposto um método para avaliar o desempenho de janelas a partir de dados contidos nos modelos BIM. Como resultado as informações do BIM necessárias para a simulação do coeficiente de transferência de calor das janelas puderam ser extraídas e convertidas automaticamente, possibilitando uma redução da mão de obra e tempo necessário para executar as simulações.

De modo geral, estes estudos apontam que a integração do BIM nas análises de desempenho termo energético pode contribuir para a redução dos custos e tempo de

planejamento relacionados, uma vez que permite que avaliações de desempenho sejam desenvolvidas a partir das informações da edificação já disponíveis no BIM. Além disso, permite promover o desenvolvimento e a otimização do projeto colaborativo, facilitando o gerenciamento mais inteligente das informações. Por fim, auxiliam no desenvolvimento de edificações de maior desempenho e eficiência. No entanto, pelo fato das simulações muitas vezes terem que ser realizadas em diferentes *softwares*, a interoperabilidade é uma questão a ser prestada atenção, uma vez que dados podem se perder durante estes processos.

2.4.1 INTEROPERABILIDADE

Tratando-se do BIM, a interoperabilidade é um ponto importante a ser considerado. Essa interoperabilidade pode ser entendido, de maneira geral, como o desenvolvimento integrado, independentemente do *software* utilizado, entre todas as partes envolvidas no processo. Mais especificamente, refere-se a capacidade de diferentes *softwares* em utilizar, comunicar e trocar dados entre si (BAHAR *et al.*, 2013; KENSEK, K., 2015; REZAEI *et al.*, 2014). Segundo Eastman *et al.* (2014), a interoperabilidade identifica a necessidade de passar dados entre aplicações, permitindo que vários especialistas e aplicações consigam contribuir em conjunto com o trabalho a ser feito. Deste modo, a replicação de dados de entrada que já foram gerados torna-se desnecessária, o que tende a facilitar e agilizar os fluxos de trabalho entre os diferentes *softwares* utilizados durante o processo de projeto.

Atualmente existem diversas ferramentas BIM disponíveis no mercado. Cada *software* apresenta capacidades distintas e características específicas que os diferem um dos outros. A escolha do tipo de ferramenta mais adequada a ser utilizada irá depender da tipologia do projeto, dos resultados que se pretende obter e dos conhecimentos que a organização possui para utilizar a tecnologia, o que influenciará diretamente na interoperabilidade e nas práticas de produção.

No entanto, no que diz respeito a avaliação termo energética, ainda existem problemas de interoperabilidade entre os *softwares* BIM e as ferramentas de simulação. Estes problemas, que vão desde a perda de dados e inconsistência nas transformações geométricas da envoltória da edificação, podem existir devido as ferramentas de autoria BIM não conseguirem gerar os dados adequadamente, seja pela ausência de informações necessárias ou pela inconsistência dos dados gerados, ou devido as ferramentas de simulação não serem capazes de recuperar esses dados de forma correta (KAMEL; MEMARI, 2019).

O intercâmbio de dados entre aplicativos pode ser feito de algumas maneiras, como ligações diretas entre ferramentas BIM ou os formatos de intercâmbio baseado em arquivo,

como o XML ou IFC. No primeiro caso, que será melhor discutido na seção 2.5 dessa dissertação, com o uso de *plug-ins* é possível vincular ferramentas de design paramétrico e simulação. Um exemplo seria o Dynamo, um *software* de programação visual, que é vinculado ao *software* de modelagem BIM, neste caso, o Revit.

Com relação aos formatos de intercâmbio baseado em arquivo, o XML (*eXtensible Markup Language* - Linguagem de Marcação Extensível) é uma extensão para o HTML, uma linguagem de programação base da web. Este formato permite a definição da estrutura e do significado de algum dado de interesse, suportando o intercâmbio de muitos tipos de dados, variando conforme a informação intercambiada e os fluxos de trabalho suportados. Tal formato é especialmente bom para o intercâmbio de pequenas quantidades de dados comerciais entre duas aplicações que estão preparadas para este tipo de interoperabilidade, sendo assim, acabou tornando-se muito popular para intercâmbio de informações entre aplicações web (EAN *et al.*, 2014). Vale destacar que o XML permite que programas de *software* comuniquem informações independente de interferência humana, além de garantir uma fácil visualização e compreensão dos dados armazenados nele (gbXML, 2021).

Dentre as estruturas desenvolvida em XML, destaca-se o gbXML, que consiste em um esquema desenvolvido para transferir informações da edificação para análises e simulações de energia (EASTMAN *et al.*, 2014). Seu objetivo é restrito a este processo específico de troca de informações, o que torna este um esquema padrão na indústria para a interoperabilidade entre programas BIM e de simulação energética (ABDI, 2017b). O gbXML possui mais de 500 tipos de elementos e atributos que permitem descrever as características da edificação no que diz respeito a simulação energética, possuindo, hoje, o suporte da indústria e ampla adoção pelos principais fornecedores BIM, incluindo Autodesk, Trimble, Graphisoft e Bentley (gbXML, 2021).

Em relação ao *Industry Foundation Classes* (IFC), este é um formato público de intercâmbio que envolve o uso de um padrão aberto para o modelo de construção. O IFC é um padrão reconhecido internacionalmente, sendo um modelo adotado por vários governos em diversas partes do mundo, apresentando um número crescente de uso no setor público e privado. O IFC foi desenvolvido especificamente para a indústria da construção civil, com o objetivo de criar um grande conjunto de representações de dados consistentes para projetos e para o ciclo de vida completo das construções (viabilidade, planejamento, construção, ocupação e operação) (EASTMAN *et al.*, 2014).

Vale ressaltar que todos os métodos de interoperabilidade precisam ter suas versões bem gerenciadas, uma vez que a atualização dos *softwares* pode causar falhas nos mecanismo de

intercâmbio caso estas revisões não sejam mantidas. Neste sentido, o padrão do modelo de dados IFC está continuamente evoluindo, onde uma nova versão com extensões é lançada a cada dois anos. Apesar destas atualizações, a gama de informações a serem intercambiadas na indústria da construção civil é enorme, e mesmo o IFC sendo capaz de representar uma grande quantidade de dados, é na área da geometria, relações e propriedades associadas aos objetos representados que o formato IFC apresenta as maiores limitações (EASTMAN *et al.*, 2014).

Comparando o gbXML com o IFC, no Quadro 2.4 algumas características de ambos os métodos de intercâmbio são apresentadas.

Quadro 2.4 – Comparação entre os esquemas gbXML e IFC

Características	gbXML	IFC
Geometria da edificação	Apenas geometria retangular	Qualquer geometria
Estrutura dos dados	XML	IFC, PKZIP e XML
Abordagem da estrutura de dados	Abordagem de cima para baixo com representação relativamente mais complexa	Abordagem de baixo para cima com representação relativamente mais direta
Domínio de aplicação	Principalmente simulação de energia	Variado, desde construção civil a operação de edifícios
Compatibilidade na definição de zonas térmicas	Sim	Sim
Localização (dados climáticos)	Sim	Não
Padrão para conteúdo mínimo para um determinado tipo de modelo e usando subconjuntos	Não	Sim
Espessura do material	Sim	Sim
Dados limitados sobre sistema AVAC	Sim	Sim

Fonte: Adaptado Kamel e Memari (2019)

Apesar do IFC ser um formato de intercâmbio que possui um domínio de aplicação mais amplo, nos casos específicos em que se objetiva esse intercâmbio de dados para a execução de simulações energéticas, o estudo desenvolvido por Gao, Koch e Wu (2019) concluiu que o gbXML se encontra em um estágio mais avançado de desenvolvimento, apesar de ainda não possuir um nível totalmente automatizado de integração, fazendo com que alguns dados, como propriedade dos materiais, ainda precisem ser inseridos manualmente nos *softwares* de simulação.

2.5 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO VISUAL NA ANÁLISE DE PROJETOS

De acordo com Leitão e Santos (2011) a linguagem de programação pode ser entendida como um meio formal para expressar ideias e não apenas uma maneira de fazer com que um

computador realize operações. Em outras palavras, isso significaria dizer que as linguagens de programação devem conseguir ser equivalentes ao processo de pensamento humano, que inclui desde a capacidade de combinar ideias simples para formar ideias compostas até a capacidade de abstrair ideias complexas para que se tornem mais gerais.

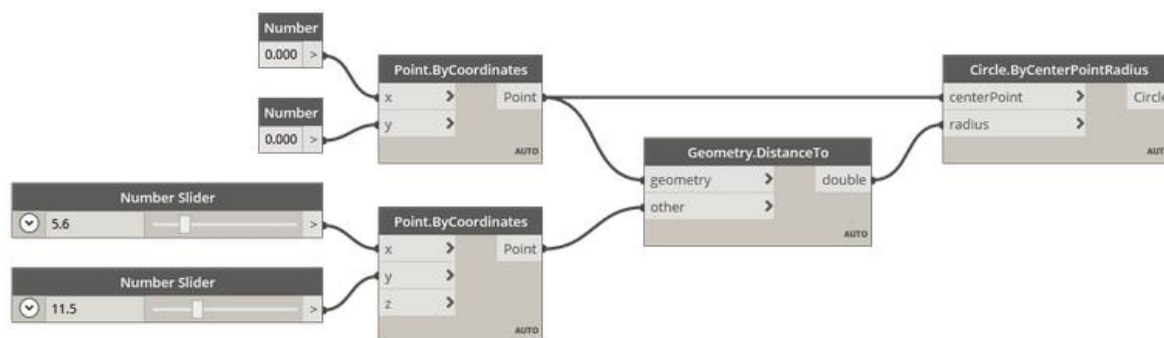
A linguagem de programação pode ser do tipo textual (TPL, do inglês *textual programming language*) ou gráfica/visual (VPL, do inglês *visual programming language*). O TPL consiste basicamente na formalização de uma série de ações em um programa executável para gerar uma ação por meio de uma sequência linear de caracteres. Essa sequência da origem aos códigos de programação, que podem ser do tipo Python, Java e C, por exemplo. Na programação visual, a estrutura de formalização utilizada é a mesma, no entanto ela é obtida por meio de uma interface gráfica ou visual, ou seja, ao invés de digitar códigos, o programador conecta nós predefinidos. Estes nós nada mais são que caixas com códigos de programação em Python, com entradas e saídas que uma vez conectados uns aos outros, em uma sequência lógica, geram como resultado um *script* ou, em outras palavras, uma ação no *software*. O VPL permite que o usuário trabalhe dentro de um processo visual gerando algoritmos customizados que podem ser utilizados em uma grande quantidade de aplicações, que vão desde o processamento de dados até a geração de geometria (DYNAMO, 2019; GONÇALVES, 2018). Na Figura 2.9 e Figura 2.10 é apresentado um mesmo algoritmo (conjunto abstrato de etapas) para o desenho de um círculo através de um ponto. Ambos possuem as mesmas entradas e saídas, realizam a mesma operação, porém um foi definido por meio de programação textual e outro por meio de programação visual.

Figura 2.9 - 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: Dynamo (2019)

Figura 2.10 - Exemplo de programação visual



Fonte: Dynamo (2019)

De acordo com Leitão e Santos (2011) algumas das vantagens da programação visual em relação as programações textuais mais antigas são o fato do VPL necessitar de uma quantidade de conhecimento menor e possuir um ambiente de desenvolvimento mais amigável, com todos os elementos para a programação já presentes neste ambiente, não necessitando que o programador tenha que se lembrar ou ler uma documentação extensa de alguma funcionalidade específica.

Em decorrência destas facilidades, na última década aumentou o número de profissionais da construção (especialmente arquitetos e engenheiros) com interesse pelas ferramentas de programação visual, uma vez que estas permitam criar algoritmos de trabalho que sejam personalizados, flexíveis e poderosos sem a necessidade de precisar aprender a escrever códigos de programação para isso (KENSEK, K., 2015). Além disso, Kensek (2015) afirmou que as linguagens de programação visual podem apoiar a análise de construções sustentáveis nos estágios iniciais do processo de projeto. Segundo o autor, vários estudos implementaram ferramentas de programação visual para criar estruturas e fluxos de trabalho relacionados a análise de desempenho, no entanto, apenas alguns desses estudos integram o conceito BIM computacional a esses fluxos.

No campo do VPL integrado ao BIM, os principais *softwares* utilizados são o Grasshopper e o Dynamo. Na indústria da construção o Grasshopper é uma importante ferramenta de programação visual, se mostrando muito potente para a geração de geometrias complexas. Este *software* é uma ferramenta de código aberto, sendo utilizado por meio de um *plug-in* vinculado ao Rhinoceros (*software* baseado em CAD), se conectando mais recentemente ao BIM através do ArchiCAD. O Dynamo, da mesma forma que o Grasshopper, funciona por meio de um *plug-in*, sendo também uma ferramenta de código aberto. Porém, um de seus diferenciais é que desde o princípio já foi lançado como uma ferramenta integrada ao BIM por meio do seu vínculo direto com o *software* de criação 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 (SEGHIER *et al.*, 2017).

Segundo Sgambelluri (2015) o Dynamo pode ser separado em duas tarefas principais: a criação de relações paramétricas dentro da geometria do design e a capacidade de leitura a partir de bancos de dados externos. Deste modo, o Dynamo é capaz, por exemplo, de ler e gravar informações no banco de dados do Revit por meio da interface Revit API (Interface de programação de aplicativos), que permite construir *links* com programas externos.

O Dynamo, ao estender os recursos de modelagem paramétrica do Revit, adicionou um nível extra de associatividade ao *software* de modelagem, permitindo novas possibilidades de colaboração entre plataformas e disciplinas (KENSEK, 2014). Esta ferramenta de programação visual permite que vários tipos de dados possam ser manipulados, como valores de parâmetros e geometria dos modelos desenvolvidos no Revit (SEGHIER *et al.*, 2017 *apud* SHARON JAMISON, 2014). Além disso, esses algoritmos personalizados que podem ser criados pelos projetistas possibilitam que os dados numéricos compilados das propriedades dos elementos sejam exibidos em um formato virtual facilmente compreensível. No entanto, estender a capacidade do BIM para suportar o acesso e a extração dos parâmetros necessários para avaliar o desempenho dos materiais de fachadas ainda é um desafio para melhorar a eficiência energética no projeto de edifícios. (NATEPHRA; YABUKI; FUKUDA, 2018b).

Com base na pesquisa realizada por Negendahl (2015b), que teve como objetivo revisar criticamente as diferentes maneiras pelas quais projetistas e analistas realizam as simulações de desempenho da construção no estágio inicial do projeto, foram identificados vários estudos publicados utilizando modelos dinâmicos integrados. Segundo o autor, estes modelos combinam as ferramentas de projeto, VPL e as ferramentas de simulação da construção para realizar avaliação do desempenho simultaneamente a execução do projeto. Estes métodos fornecem resultados de desempenho diretamente na ferramenta de projeto, abrindo novas possibilidades ao processo de projetar.

Fora do contexto de análise do desempenho dos edifícios, outros estudos buscaram implementar a ferramenta de programação visual vinculada ao BIM, como: análise de conformidade da construção (DIMYADI *et al.*, 2016; GHANNAD *et al.*, 2019); otimização do consumo de energia e níveis de luz do dia (RAHMANI ASL *et al.*, 2015a); avaliação do ciclo de vida e dos custos associados (SARIDAKI; PSARRA; HAUGBOLLE, 2019); gerenciamento de canteiro de obras (TAGLIABUE; CIRIBINI, 2018); comparação de diferentes opções de design da edificação de acordo com o uso concreto (SEGHIER; AHMAD; LIM, 2019);

planejamento das atividades de escavação (KHAN *et al.*, 2019); integração de sensores ambientais com o BIM para testar sistemas de fachadas inteligentes (KENSEK, K M, 2014); entre outros.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tema desenvolvimento sustentável está cada vez mais em pauta na atualidade. Os impactos ambientais gerados pelo uso descontrolado dos recursos energéticos fizeram com que os métodos para se alcançar o desenvolvimento econômico fossem repensados. A nova era anseia por um desenvolvimento mais harmônico e que traga equilíbrio entre os interesses econômicos, sociais e ambientais. É nesse sentido que surge a necessidade da análise de desempenho e eficiência energética de uma edificação, a partir de projetos que busquem atender as necessidades dos usuários por meio do aproveitamento dos recursos naturais disponíveis, reduzindo, assim, os impactos ambientais e os gastos energéticos da edificação. Para isto, as normas de desempenho e eficiência, como a NBR 15575 (2021) e a INI-R (2018), respectivamente, desempenham um importante papel ao estabelecer padrões que reduzirão a demanda de energia a longo prazo nas edificações ao mesmo tempo em que melhoram o seu desempenho ambiental.

Considerando isto, a análise do desempenho termo energético de um edifício é tão importante quanto todos os outros elementos avaliados durante o projeto, se tornando um critério determinante nas decisões a serem tomadas. Toda decisão de projeto impacta direta ou indiretamente em outra, sendo necessário existir uma integração e multidisciplinaridade entre todas as partes constituintes. Todos estes conceitos devem estar presentes desde as etapas iniciais do projeto, passando pela construção, até a utilização final. Deste modo, torna-se imprescindível que a arquitetura de uma edificação seja bem planejada e projetada, pois uma arquitetura bem concebida será capaz de propiciar, por meio de seus próprios elementos e ao longo da vida útil do edifício, as condições favoráveis de habitação, influenciando não apenas nas questões de conforto, mas também no desempenho da edificação, consumo de energia e, conseqüentemente, na eficiência energética.

Novas formas de integrar as ferramentas de projeto com as ferramentas de simulação vem sendo desenvolvidas nos últimos anos, de modo a permitir a avaliação termo energética da edificação simultaneamente a execução do projeto. Estes métodos fornecem resultados de desempenho diretamente na ferramenta projetual, abrindo novas possibilidades ao processo de projetar. Esta integração muda a forma de se conceber os projetos, uma vez que facilita a

produção de múltiplas alternativas de design, tornando este um processo mais rápido, eficiente e que possibilita que os projetistas dediquem mais tempo no processo de desenvolvimento de novas soluções para a construção de edificações mais sustentáveis.

A adoção do BIM na avaliação destes edifícios demonstrou ter um grande potencial de aplicação devido a sua multidisciplinaridade, capacidade de coordenação e quantidade de informações contidas nos seus modelos. Isto possibilita maior facilidade na extração dos dados e capacidade de integração a diferentes processos de análise termo energética e de desempenho das construções, apesar de ainda existirem problemas que precisam ser solucionados quanto a interoperabilidade entre os vários aplicativos BIM.

O VPL surge como uma alternativa a essa interoperabilidade. O BIM associado ao VPL permite a manipulação dos dados geométricos e metadados incorporados ao modelo. Deste modo possibilita aos usuários acessarem diretamente e de modo mais eficiente os dados e parâmetros da construção, permitindo a criação de algoritmo e fluxos de trabalho personalizados que podem servir de apoio as equipes de projeto nas análises termo energéticas dos edifícios.

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA

A base epistemológica desta dissertação é o *Design Science* (DS). Como a condução da pesquisa teve como um de seus objetivos o desenvolvimento de uma ferramenta que fosse capaz de auxiliar os profissionais da construção na análise do desempenho termo energético da edificação, o método utilizado foi o *Design Science Research* (DSR).

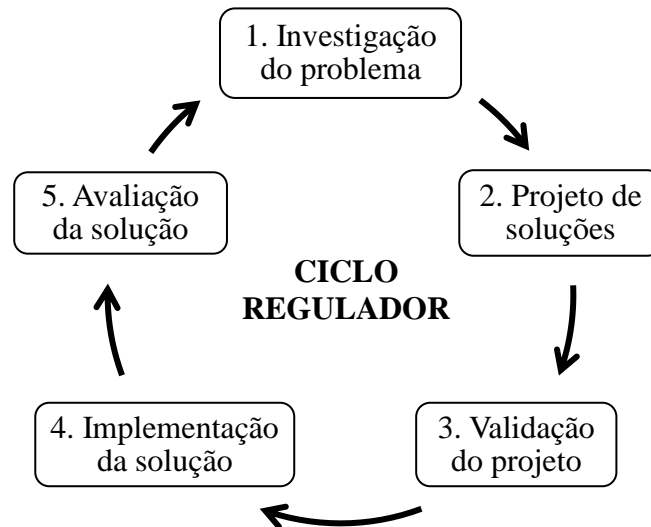
Tal escolha se deve pelo fato do DSR ser considerado um método para a condução de pesquisas de cunho tecnológico que busca, a partir do entendimento do problema, construir e avaliar artefatos que permitam melhorar a problemática identificada inicialmente. Uma característica fundamental deste método é que ele é orientado à solução de problemas específicos, buscando não uma solução ótima, mas sim uma solução que seja satisfatória e passível de ser generalizada para uma determinada classe de problemas. De modo geral, o DSR busca diminuir o distanciamento, que muitas vezes existe, entre teoria e prática, mas mantendo o rigor necessário para garantir a confiabilidade dos resultados das pesquisas (LACERDA *et al.*, 2013).

3.1 ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA

A condução da pesquisa pelo método DSR foi realizado com o uso da gestão integrada da informação por meio da aplicação do ciclo regulador proposto por Wieringa (2009), que consiste em uma estrutura lógica para a resolução de problemas, sendo dividido em cinco etapas: investigação do problema, projeto de soluções, validação do projeto, implementação da solução e avaliação da solução (Figura 3.1).

- **Investigação do problema:** Nesta etapa é onde se obtém um melhor entendimento do problema que está sendo estudado, sendo feita a definição do problema de pesquisa e da importância e valor da solução abordada. Os resultados desta etapa foram apresentados no Capítulo 1 desta dissertação, assim como no Capítulo 2, onde foi investigado o panorama atual do tema estudado, sendo fornecido a base de conhecimento necessário a respeito da participação das edificações no cenário energético; critérios e requisitos de desempenho e eficiência energética de edificações adotados no Brasil; análise termo energética no processo de projeto; avaliação de desempenho e eficiência dentro do contexto BIM; e a integração BIM-VPL. Esses tópicos estão diretamente relacionados aos objetivos apresentados e desenvolvidos nesta pesquisa.

Figura 3.1- Ciclo regulador



Fonte: Adaptado de Wieringa (2009)

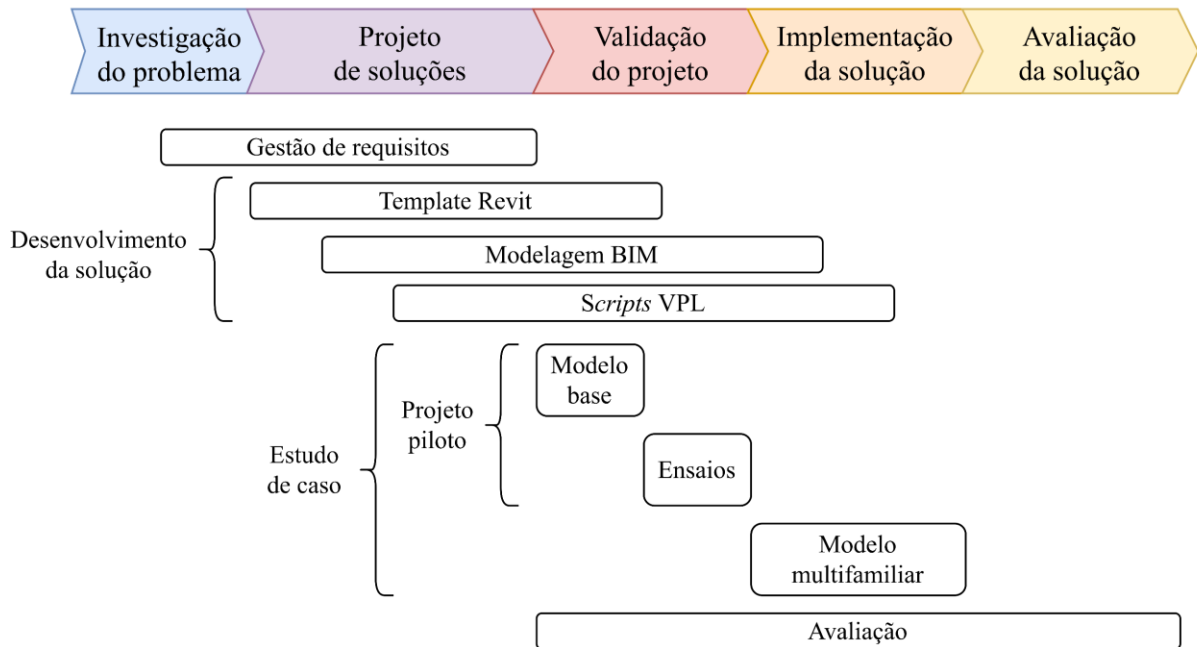
- **Projeto de soluções:** Uma vez que o problema prático foi definido, o sistema deve ser projetado com base nos objetivos definidos na etapa anterior. Wieringa (2009) chama a atenção para o fato de que nesta etapa é elaborado um projeto inicial, mas não necessariamente é preciso fazer o projeto completo da solução, pois parte desta solução pode ser encontrada ou construída nas fases de validação e implementação. Nesta etapa o protótipo começou a ser desenvolvido de modo a testar a sua utilidade geral e permitir o levantamento dos requisitos necessários.
- **Validação do projeto:** Consiste na verificação se o projeto irá atender aos objetivos propostos, caso seja corretamente implementado. Sendo assim, foi nesta etapa que foram realizados os testes para verificar o funcionamento do protótipo desenvolvido.
- **Implementação da solução:** Uma vez que o artefato foi desenvolvido e validado, foi realizada a sua implementação utilizando-se variações de soluções do projeto piloto. Isto permitiu que diferentes resoluções do problema investigado fossem geradas a fim de demonstrar a utilidade do sistema projetado.
- **Avaliação da solução:** Avaliação dos resultados, sendo observado e medido se a solução proposta foi útil e capaz de resolver os problemas identificados nas etapas anteriores.

De acordo com Barbosa e Bax (2017) a decomposição do método permite que o pesquisador reflita mais sobre o seu estudo, identificando e organizando quais são as etapas e as dificuldades a serem trabalhadas. Isso garante que, apesar do esforço intelectual que deve ser

despendido inicialmente, existe a recompensa posterior de se possuir uma estrutura lógica a ser seguida no restante do trabalho.

Cabe ressaltar que a metodologia de desenvolvimento desta pesquisa não foi um processo linear, com várias atividades sendo desenvolvidas paralelamente ao longo de diferentes etapas do ciclo regulador. Deste modo, na Figura 3.2, é indicada a estrutura metodológica geral característica deste estudo, sendo apresentada as subetapas que constituíram o processo: gestão de requisitos, desenvolvimento da solução, estudo de caso e avaliação. Esta estrutura foi baseada em estudos similares, como os desenvolvidos por Wu (2010), Lim *et al.* (2016) e Seghier *et al.* (2017).

Figura 3.2 - Estrutura metodológica da pesquisa



Fonte: A autora (2022)

3.2 GESTÃO DE REQUISITOS

A gestão de requisitos teve como objetivo determinar as condições necessárias para que o desempenho termo energético das edificações pudesse ser avaliado de modo automatizado dentro do ambiente BIM. Portanto, nesta etapa foi identificado o que de fato deveria ser desenvolvido, sendo investigado os requisitos necessários para realizar as análises termo energéticas, os parâmetros necessários para alimentar as equações avaliativas e quais as funcionalidades disponíveis no BIM.

Deste modo, a gestão de requisitos foi desenvolvida com base em uma estrutura de integração genérica, que buscou combinar as funcionalidades do BIM com os requisitos de desempenho térmico e eficiência energética adotados nos métodos simplificados da NBR 15575 (2021) e INI-R (2018), respectivamente. Essa estrutura de integração permitiu mapear todos os dados que seriam utilizados, assim como esses dados seriam obtidos e gerenciados dentro dos fluxos de trabalho da solução proposta, construindo toda base teórica necessária para integrar o BIM a análise termo energética.

Com base nisto, a construção da estrutura de integração iniciou-se com a avaliação de todos os requisitos normativos, sendo especificado todos os parâmetros necessários para avaliar os critérios de desempenho térmico estabelecidos na NBR 15575 (2021), assim como os dados necessários para a análise de eficiência energética, nesse caso os parâmetros de entrada do metamodelo da INI-R (2018) e aqueles que seriam utilizados nos cálculos para determinar o nível de eficiência e o consumo energético da envoltória. Esta etapa consistiu em interpretar todos os parâmetro relevantes para as análises termo energéticas, permitindo identificar todos os dados brutos que deveriam ser extraídos do modelo BIM 3D, sejam estes dados referentes a geometria da construção, como área dos ambientes, ou dados não geométricos, como propriedade térmica das paredes.

A etapa seguinte consistiu em investigar as funcionalidades disponíveis no *software* BIM, sendo verificado se as solicitações da norma de desempenho e da instrução normativa poderiam ser extraídas automaticamente do modelo BIM. Nos casos em que isto não fosse possível, as lacunas foram identificadas e foi verificada a possibilidade de se obter uma solução através do próprio *software* BIM ou através do desenvolvimento de um *script* de programação visual.

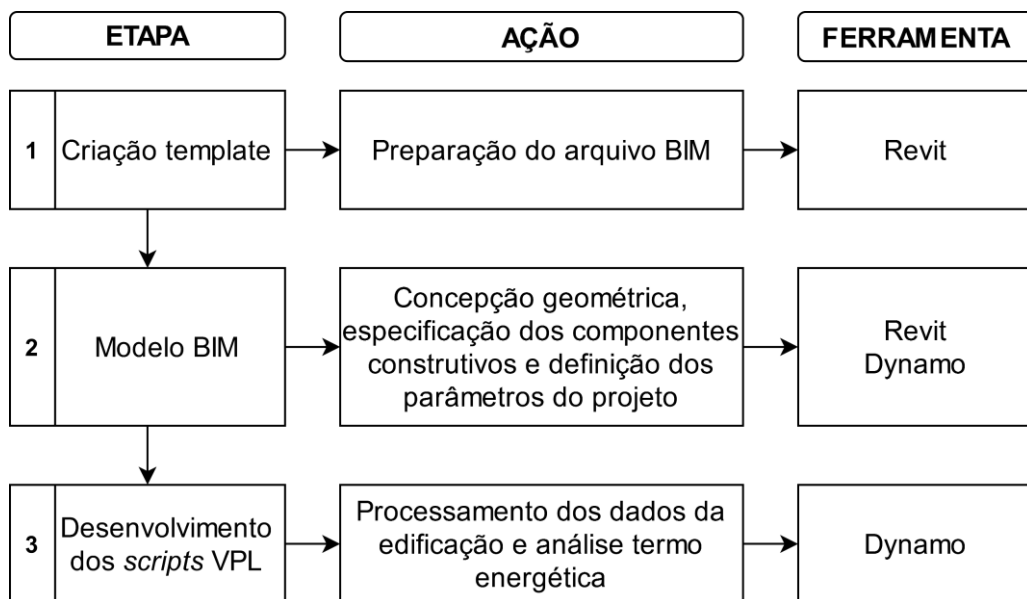
Para o desenvolvimento da solução proposta o *software* BIM utilizado na projeção do modelo 3D foi o Revit 2021.1.1 e para o desenvolvimento dos *scripts* VPL foi utilizado o Dynamo 2.6.1. A escolha do Revit para modelagem é justificada pelo fato deste ser um dos *softwares* BIM mais populares na indústria da construção (EASTMAN *et al.*, 2014), assim como a quantidade de pesquisas que vem sendo realizadas utilizando este *software* como base. Já o uso do Dynamo como ferramenta de programação visual é justificado devido a sua flexibilidade no gerenciamento de dados e por sua integração com o Revit, por meio de um *plug-in*, garantindo uma maior facilidade na integração BIM-VPL. Buscando ampliar as possibilidades de visualização dos resultados, além do *software* BIM, também foi utilizado o *software* Excel versão 2110.

Cabe destacar que com a tecnologia existente nos dias de hoje e o desenvolvimento de novas versões acontecendo de forma muito rápida, certas funcionalidades existentes nas versões atuais possam não estar disponíveis em versões anteriores ou futuras dos *softwares* utilizados nesta dissertação.

3.3 DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

A solução proposta nesta dissertação foi desenvolvida com o intuito de automatizar a maior quantidade de processos possíveis, necessários para a avaliação do desempenho termo energético da edificação, de modo a permitir que os projetistas possam obter um *feedback* quase que simultâneo deste desempenho durante a etapa de elaboração do projeto, reduzindo, assim, o tempo necessário para testar e verificar diferentes alternativas de design da edificação. Na Figura 3.3 é apresentado um esquema simplificado do processo de desenvolvimento do protótipo da solução.

Figura 3.3 – Esquema simplificado para o desenvolvimento do protótipo da solução



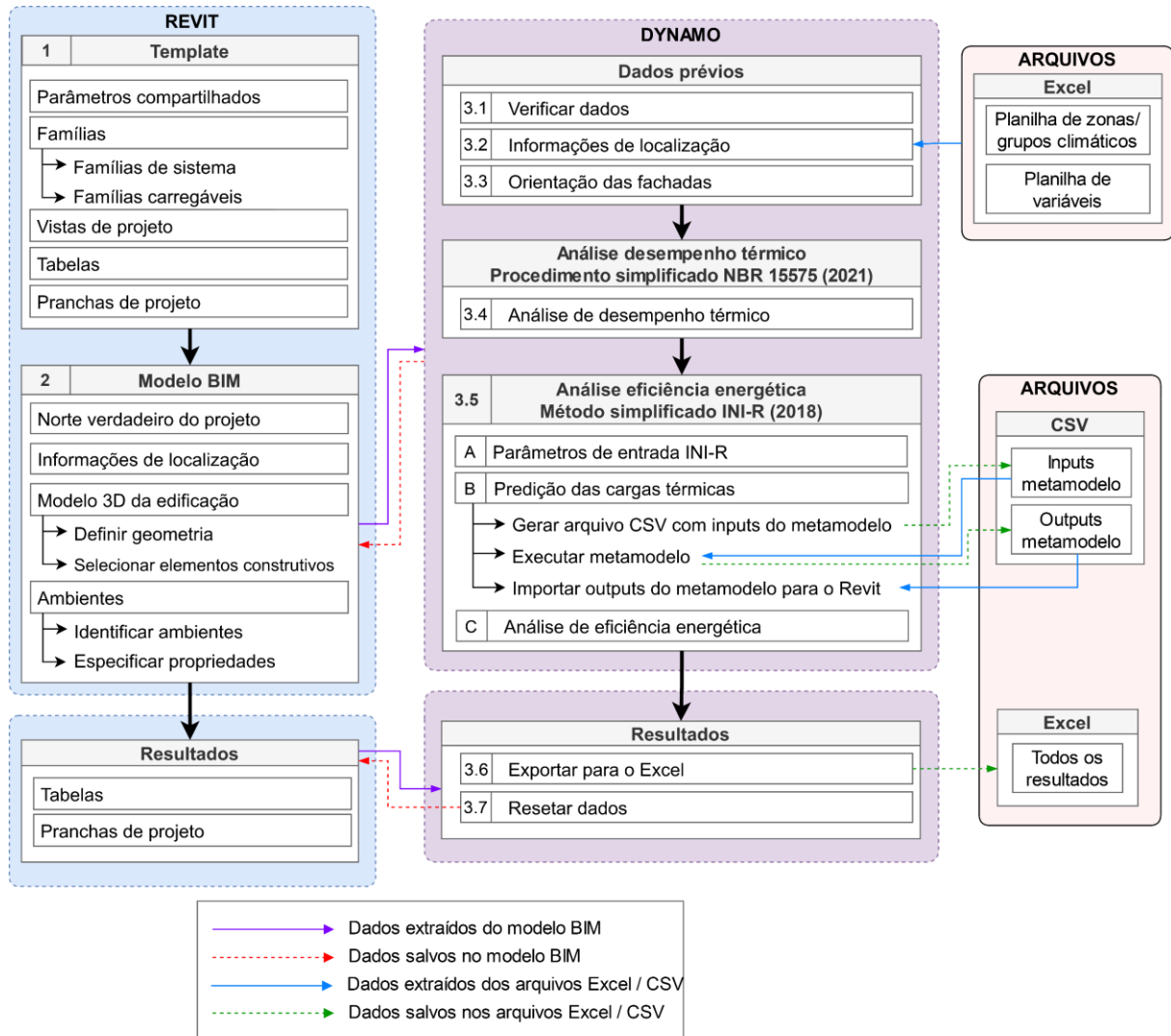
Fonte: A autora (2022)

Esse desenvolvimento foi dividido em três etapas principais:

- Criação de um arquivo modelo (*template*) do Revit, que foi utilizado como documento padrão para o desenvolvimento dos projetos BIM;
- Concepção da edificação por meio de um modelo virtual BIM 3D;
- Desenvolvimento, no Dynamo, dos *scripts* VPL.

De forma mais detalhada, na Figura 3.4 é apresentado o fluxo geral para o desenvolvimento da solução.

Figura 3.4 – Fluxo de trabalho geral do processo de desenvolvimento do protótipo



Fonte: A autora (2022)

3.3.1 *TEMPLATE* REVIT

A estrutura da solução proposta baseia-se na integração do BIM, modelagem paramétrica e programação visual. Para que esta modelagem paramétrica seja realizada de maneira correta, é essencial que seja criado um *template*, arquivo Revit em formato “rte”, onde é executada toda a personalização do ambiente de trabalho virtual, de modo a criar um modelo base onde será realizada a concepção da geometria do projeto e a inserção dos parâmetros de entrada necessários. A criação deste *template* visa garantir que todas as informações a serem

processadas pelo protótipo da solução possam ser obtidas do modelo BIM, assim como permitir maior velocidade e fluidez na análise final do desempenho termo energético.

3.3.2 MODELO BIM 3D

Para servir como base e auxiliar no desenvolvimento dos *scripts* VPL, um modelo de construção genérico foi criado no Revit utilizando o *template* desenvolvido. A adequada modelagem da edificação é imprescindível para o desenvolvimento dos *scripts*, pois garante que todos os parâmetros de entrada necessários ao processamento dos dados tenham sido informados no modelo virtual BIM. Em cima deste modelo é que foram realizados todos os testes para avaliar a correta extração e importação dos dados pelos *scripts* VPL, assim como o processamento destes dados e resultados gerados.

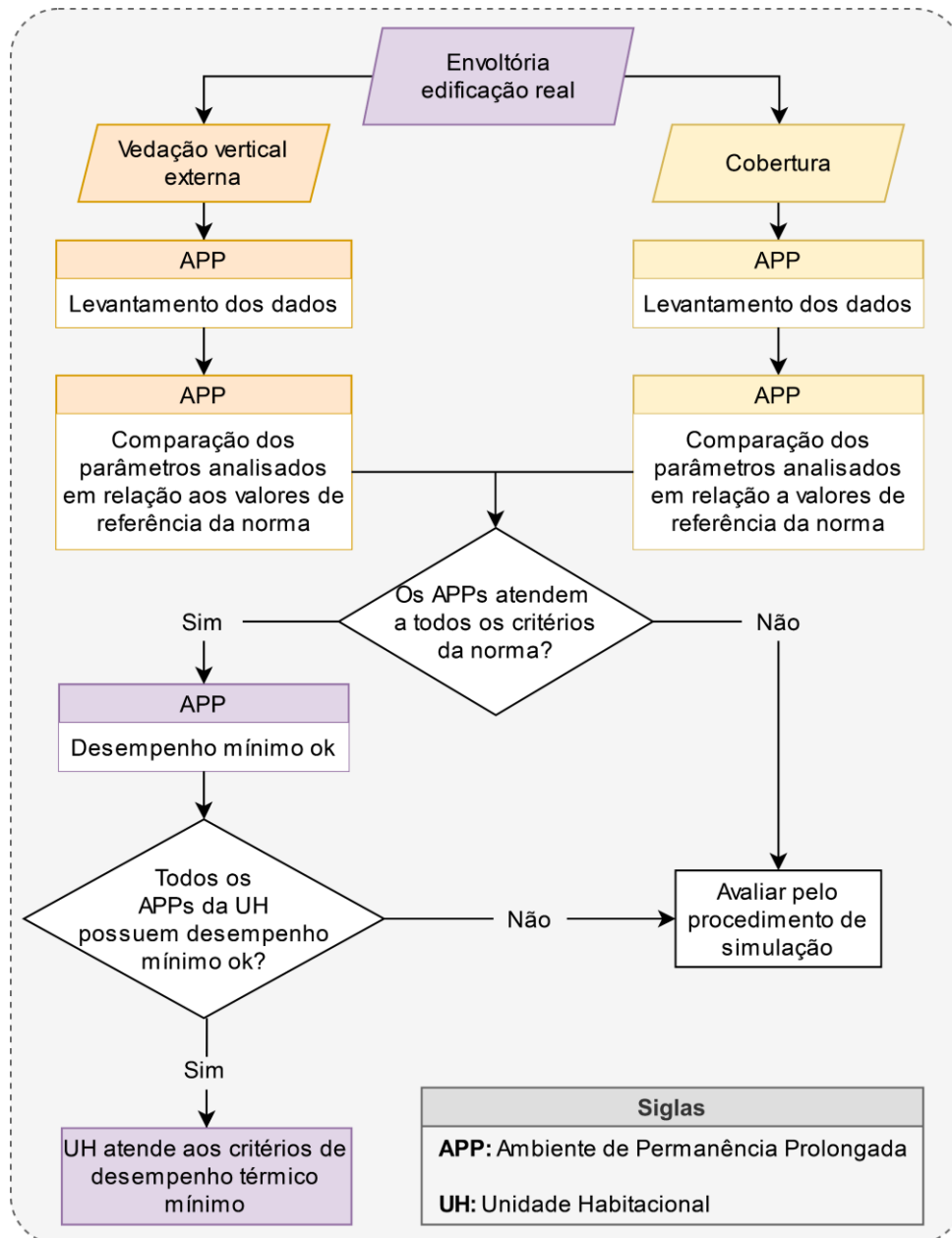
3.3.3 SCRIPTS VPL

A etapa seguinte de desenvolvimento da solução consistiu em criar uma interoperabilidade entre o modelo BIM 3D e o seu banco de dados por meio da interface de programação visual do Dynamo. Os *scripts* VPL desenvolvidos no Dynamo são construídos a partir de nós, que são conectados uns aos outros, sendo cada nó responsável por executar uma operação. Esta conexão entre nós é realizada por meio de fios que conectam a porta de saída de um nó à porta de entrada de outro nó, permitindo estabelecer, assim, o fluxo de dados do programa.

São estes *scripts* VPL os mecanismos responsáveis por estabelecer o fluxo de informações dentro do processo BIM de modo a permitir a análise de desempenho termo energético das envoltórias de edificações residenciais. No caso do desempenho térmico, na Figura 3.5 é apresentado um fluxograma demonstrando de maneira simplificado o processo de avaliação da edificação.

A análise é realizada para cada APP da UH, sendo definidos os parâmetros necessários para avaliar cada um dos cinco critérios (Quadro 2.2) estabelecidos no procedimento simplificado da NBR 15575 (2021). Estes parâmetros são então comparados com os valores de referência estabelecidos na norma e uma vez que todos os APPs atendem aos cinco critérios, considera-se que o desempenho mínimo da envoltória da edificação foi atingido.

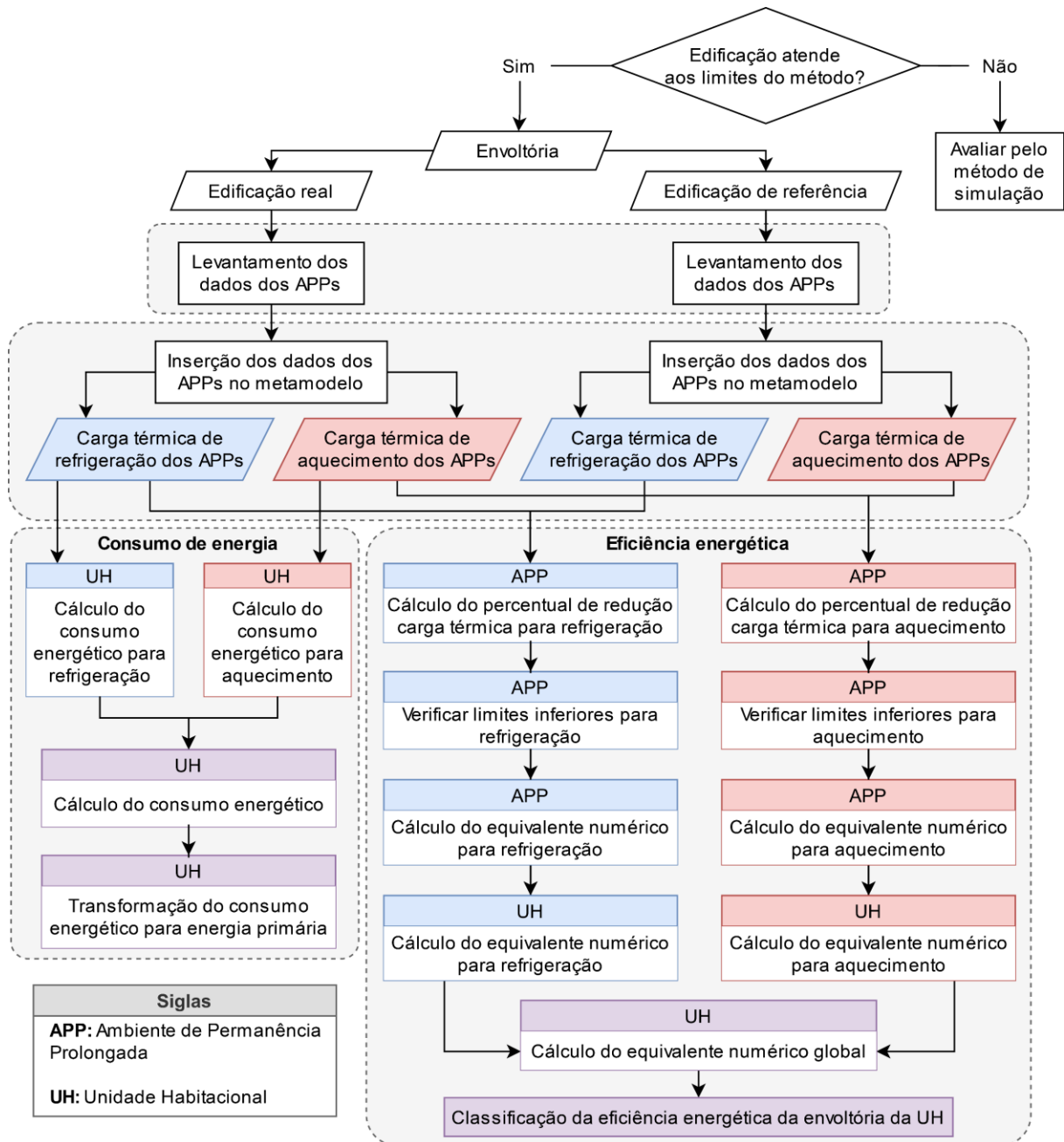
Figura 3.5 - Fluxograma para avaliação do desempenho térmico pelo procedimento simplificado da NBR15575 (2021)



Fonte: Adaptado da NBR 15575 (2021)

Para a análise de eficiência energética, na Figura 3.6 é apresentado o fluxograma para classificação da envoltória pelo método simplificado da INI-R (2018) e para o cálculo do consumo de energia. Inicialmente, devem ser definidos todos os parâmetros a serem inseridos no metamodelo (Quadro 2.3). A partir deste metamodelo são obtidas as cargas térmicas de refrigeração e aquecimento de cada APP e, com estes dados, são feitos os cálculos que irão determinar o consumo energético e a classe de eficiência energética da envoltória da UH.

Figura 3.6 - Fluxograma para a classificação de eficiência e cálculo do consumo energético da envoltória pelo método simplificado da INI-R (2018)



Fonte: Adaptado da INI-R (2018)

O processo de desenvolvimento dos *scripts* do Dynamo foi baseado nestes fluxogramas, podendo este processo ser subdividido em sete etapas, conforme apresentado na Figura 3.4.

- **Verificação dos dados:** É de fundamental importância que durante o processo de modelagem virtual da edificação, todas as informações necessárias para a análise do desempenho termo energético sejam fornecidas, principalmente ao que se refere as características das vedações e dos ambientes. O correto preenchimento destes dados é

que garantirá o adequado funcionamento da solução proposta. Com base nisto, foi desenvolvido um *script* responsável por verificar se os parâmetros do modelo BIM a serem processados no protótipo foram preenchidos pelo projetista ou não, sendo exibida uma mensagem de alerta nos casos negativos.

- **Informações de localização:** Para que o desempenho termo energético da edificação possa ser analisado é necessário que as informações de projeto referentes a localização da edificação sejam definidas. Uma vez que o usuário especifica no modelo BIM 3D a cidade, estado e região geográfica da construção, os demais dados necessários para as análises termo energéticas são obtidos automaticamente através do *script* VPL desenvolvido. A partir de uma planilha Excel que contém os dados climáticos para diversas cidades brasileiras, este *script* obtém os parâmetros climáticos do local, assim como determina a zona bioclimática e o grupo climático da cidade em que o projeto será construído. Cabe ressaltar que esses dois últimos parâmetros referem-se as classificações de clima adotadas na NBR 15575 (2021) e INI-R (2018), respectivamente.
- **Orientação da fachada:** A orientação das fachadas possui um impacto direto no estudo termo energético da edificação, uma vez que tanto na análise de desempenho quanto de eficiência, alguns parâmetros são definidos e avaliados em função desta orientação. Apesar do Revit permitir informar a direção do norte verdadeiro do projeto, o *software* não consegue detectar de forma automática a orientação das paredes, sendo necessário, portanto, que esta tarefa seja executada com o auxílio do VPL.
- **Análise de desempenho térmico:** Para a avaliação do desempenho térmico é realizado, inicialmente, a extração das propriedades da edificação que foi modelada virtualmente no *software* BIM. Estes dados são então processados, sendo verificado, posteriormente se eles atendem aos requisitos da NBR 15575 (2021). Os resultados obtidos são registrados no Revit, de modo que eles possam ser visualizados através das tabelas e pranchas do projeto ou até mesmo na aba de propriedade dos ambientes.
- **Análise de eficiência energética:** O processo de análise de eficiência energética foi subdividido em três *scripts* diferentes, conforme apresentado a seguir:
 - a) **Parâmetros de entrada INI-R:** Assim como na etapa anterior, inicialmente é realizada a extração das propriedades da edificação que foi modelada virtualmente. Estas informações, que estão armazenadas no banco de dados BIM, podem ser dados primários, ou seja, dados requisitados pelo metamodelo e que podem ser

obtidos diretamente das informações contidas na modelagem BIM, como a altura estimada do pavimento em relação ao solo, ou são dados secundários, onde juntamente com outros parâmetros, são processados para calcular as variáveis de entrada do metamodelo, como a área e volume dos ambientes, utilizados para o cálculo do pé direito.

Feita a extração e processamento dos dados da edificação real, partiu-se para a verificação destes dados, sendo analisado se eles atendem aos limites de aplicação da norma. Por fim, foram desenvolvidos os *scripts* para realizar a caracterização da edificação na condição de referência.

Todos os dados processados e gerados nesta fase, tanto da edificação real quanto da edificação de referência, são exportados do Dynamo para o Revit, sendo possível que o projetista visualize os resultados através das tabelas do Revit que já foram previamente configuradas no *template* desenvolvido.

- b) Predição das cargas térmicas:** Para realizar o processo de predição das cargas térmicas, três *scripts* diferentes precisaram ser criados. O primeiro deles exporta para um arquivo, no formato “csv”, todos os parâmetros de entrada obtidos na etapa anterior. O segundo é responsável pela execução do metamodelo. É nesta fase que são obtidas as cargas térmicas de refrigeração e aquecimento dos APPs do edifício real e do edifício na condição de referência. Como os resultados gerados pelo metamodelo são armazenados em um arquivo externo no formato “csv”, o terceiro *script* é responsável por importar para o modelo virtual BIM os resultados obtidos com o metamodelo, de modo que a análise de eficiência energética possa ser realizada posteriormente.
- c) Análise de eficiência energética:** Uma nova extração de dados é realizada no modelo BIM, desta vez para obter as informações referentes as cargas térmicas dos APPs. Estas variáveis são processadas através de diferentes equações avaliativas até se obter o valor do equivalente numérico da UH, valor este utilizado como referência para definição da classe de eficiência energética da envoltória. Assim como na etapa anterior, os resultados gerados no Dynamo são exportados para o Revit. Como o *template* desenvolvido já está pré-configurado para receber estes dados, uma vez que estes são armazenados no Revit, uma prancha de projeto contendo os resultados da análise de eficiência energética é gerada.

- **Exportar os dados para o Excel:** Apesar dos resultados obtidos ao longo de todo o processo de análise do desempenho térmico e eficiência energética serem apresentados diretamente no Revit, estes dados também foram gravados no Excel, permitindo que o projetista possa trabalhar com estas informações da maneira que melhor lhe convir.
- **Reset dos dados:** Caso os resultados de desempenho termo energético da envoltória da edificação não sejam satisfatórios, o projetista poderá realizar alterações no projeto e iniciar uma nova análise. Com a função de *reset* dos dados, ele poderá apagar todos os dados gerados no estudo anterior, de modo a dar início a uma nova avaliação.

3.4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso abrange as etapas três e quatro do ciclo regulador, validação e implementação, respectivamente. Para validar os resultados gerados pelo protótipo, estes foram comparados com os valores coletados e calculados manualmente de acordo com os métodos estipulados na NBR 15575 (2021) e INI-R (2018), sendo verificada a diferença de valor entre os resultados obtidos. Este processo de realizar manualmente a coleta dos dados da edificação e, posteriormente, os cálculos e análises de desempenho e eficiência, representa o processo no qual os projetistas teriam que trabalhar para realizar os estudos de desempenho termo energético sem o auxílio da solução desenvolvida.

3.4.1 PROJETO PILOTO

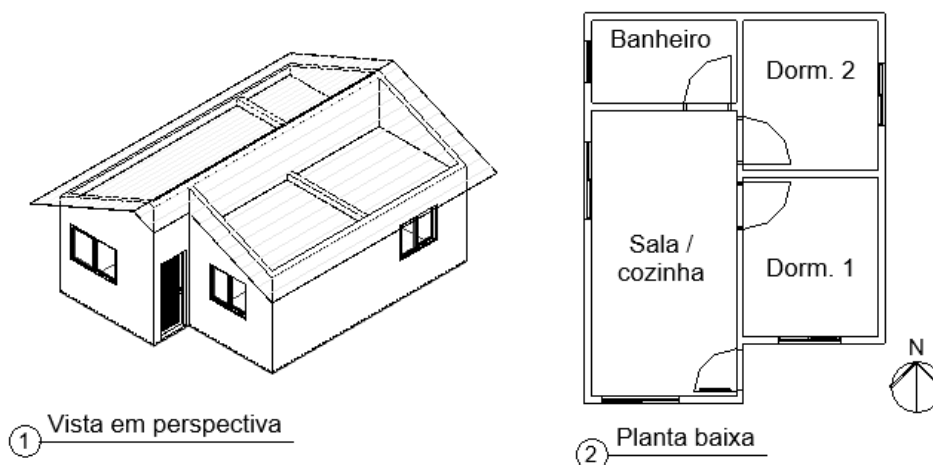
Nesta fase todo o fluxo de trabalho desenvolvido foi testado através de um projeto piloto, sendo avaliado, assim, o funcionamento geral da solução proposta. Deste modo, em um primeiro momento foi avaliado o funcionamento do protótipo em um modelo de construção digital, chamado de Modelo Base, utilizado como referência ao longo de todo projeto piloto. Posteriormente, a partir de ensaios que consistiram em variações de soluções do Modelo Base, o protótipo pôde ser testado considerando-se diferentes condições de projeto.

3.4.1.1 Modelo Base

O projeto amostral utilizado para validação do sistema proposto foi baseado em uma tipologia representativa, descrito por Triana, Lamberts e Sassi (2015), de projetos de habitação de interesse social no Brasil. Este projeto foi utilizado apenas como referência, tendo sido

adaptado de forma a melhor se adequar ao estudo realizado. Deste modo, o Modelo Base, ilustrado na Figura 3.7, é caracterizado como um edifício residencial unifamiliar, localizado na cidade de São Paulo/SP e com norte do projeto na direção 0° (zero graus).

Figura 3.7 - Vista em perspectiva e planta baixa do projeto de arquitetura do Modelo Base



Fonte: A autora (2022)

A UH é composta de sala e cozinha integradas, dois quartos e um banheiro social, sendo este último considerado um ambiente de permanência transitória (APT). As características geométricas dos ambientes da UH são descritos na Tabela 3.1 e os elementos construtivos adotados são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.1 – Características geométricas dos ambientes do Modelo Base

Ambiente	Descrição	Largura (m)	Comprimento (m)	Área (m ²)	Pé direito (m)
Dormitório 1	APP	2.6	3.09	8.03	2.50
Dormitório 2	APP	2.6	2.9	7.54	2.50
Sala / cozinha	APP	2.8	5.55	15.53	2.50
Banheiro	APT	1.6	2.8	4.48	2.50

Fonte: A autora (2022)

Tabela 3.2 – Especificação do componentes construtivos do Modelo Base

Elemento	Localização	Características	Dimensões (m)
Piso	-	Contrapiso de concreto (5 cm) Argamassa (2 cm) Piso cerâmico (1 cm)	-
Cobertura	-	Forro PVC (1 cm) Câmara de ar (> 5 cm) Telha cerâmica	-

(Continua)

Tabela 3.2 – Especificação do componentes construtivos do Modelo Base (Continuação)

Elemento	Localização	Características	Dimensões (m)
Parede	Externa	Argamassa externa (2.5 cm) Bloco cerâmico (9 x 14 x 24 cm) Argamassa interna (2.5 cm) Pintura cor areia (03)	-
	Interna	Argamassa externa (2.5 cm) Bloco cerâmico (9 x 14 x 24 cm) Argamassa interna (2.5 cm)	-
Portas	Externa	Metálica	0.80 x 2.10
	Interna	Madeira	0.80 x 2.10
Janelas	APP - Dormitórios	De correr 2 folhas sem veneziana Vidro transparente (3 mm)	1.20 x 1.00
	APP - Sala	De correr 2 folhas sem veneziana Vidro transparente (3 mm)	1.50 x 1.00
	APT	Maxim air Vidro transparente (3 mm)	0.80 x 0.60

Fonte: A autora (2022)

3.4.1.2 Ensaios

Os ensaios foram realizados a partir de alterações no projeto de arquitetura do Modelo Base, sendo modificada a composição dos elementos e/ou dos sistemas construtivos da envoltória, assim como alterações na geometria, na localização e orientações do norte verdadeiro de projeto. A escolha deste itens para a realização dos ensaios é justificada por estes serem elementos que impactam direta ou indiretamente na avaliação do desempenho termo energético. Na Tabela 3.3 é indicado, de modo resumido, o quantitativo de ensaios realizados.

Tabela 3.3 – Quantitativo de ensaios realizados

Modificação	Número de ensaios
Localização	4
Orientação	3
Geometria	2
Sistema construtivo	7
Aberturas	3
TOTAL DE ENSAIOS	19

Fonte: A autora (2022)

A. Localização

Buscando avaliar o adequado funcionamento da ferramenta frente a diferentes localizações, foram escolhidas para a realização dos ensaios cidades localizadas em cada umas das cinco regiões geográficas do Brasil (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 – Ensaio com variações na localização do projeto

Alteração	Modelo	Cidade	Região	GC	ZB
Localização	Modelo Base (MB)	São Paulo/SP	Sudeste	1A	3
	Modelo Loc. PR	Curitiba/PR	Sul	2	1
	Modelo Loc. DF	Brasília/DF	Centro-oeste	10	4
	Modelo Loc. PA	Belém/PA	Norte	17	8
	Modelo Loc. BA	Salvador/BA	Nordeste	21	8

Fonte: A autora (2022)

B. Orientação

Nesses ensaios a orientação do norte de projeto foi variada em 90° a partir da orientação adotada no Modelo Base (Tabela 3.5), de modo que a orientação das fachadas pudessem ser testadas em cada umas das quatro principais orientações cardeais: norte, sul, leste e oeste.

Tabela 3.5 – Ensaio com variações na orientação do projeto

Alteração	Modelo	Orientação
Orientação	Modelo Base (MB)	0°
	Modelo Orien. 90	90°
	Modelo Orien.180	180°
	Modelo Orien. 270	270°

Fonte: A autora (2022)

C. Geometria

Variações na geometria da edificação também foram avaliadas, sendo modificado o pé direito e a área dos ambientes (Tabela 3.6).

Tabela 3.6 - Ensaio com variações na geometria do projeto

Elemento	Modelo	Alteração	Ambiente	Largura (m)	Comprimento (m)	Área (m²)	Pé direito (m)
Geometria	Modelo Base (MB)	-	Dormitório 1	2.60	3.09	8.03	2.50
			Dormitório 2	2.60	2.90	7.54	2.50
			Sala / cozinha	5.55	2.80	15.53	2.50
	Modelo Geo. 1	Aumentar pé direito	Dormitório 1	2.60	3.09	8.03	2.80
			Dormitório 2	2.60	2.90	7.54	2.80
			Sala / cozinha	5.55	2.80	15.53	2.80
	Modelo Geo. 2	Aumentar área	Dormitório 1	3.00	3.20	9.60	2.50
			Dormitório 2	3.00	3.00	9.00	2.50
			Sala / cozinha	6.03	3.00	18.09	2.50

Fonte: A autora (2022)

D. Sistema construtivo

Alterações nos sistemas construtivos das vedações (parede externa, cobertura e piso) foram adotadas (Tabela 3.7), buscando avaliar o comportamento da solução proposta quando diferentes propriedades térmicas dos elementos são variados.

Tabela 3.7 - Ensaio com variações dos sistemas construtivos das vedações do projeto

Elemento	Modelo	Alteração	Sistema construtivo	U (W/m ² .K)	CT (kJ/m ² .K)	Absortância
Paredes externas	Modelo Base (MB)	-	Argamassa (2.5 cm) Bloco cerâmico (9 x 14 x 24 cm) Argamassa (2.5 cm) Pintura externa cor areia	2.46	150.00	0.45
	Modelo Par. 1	Pintura	Argamassa (2.5 cm) Bloco cerâmico (9 x 14 x 24 cm) Argamassa (2.5 cm) Pintura externa cor concreto	2.46	150.00	0.75
	Modelo Par. 2	Elemento construtivo	Argamassa (2.5 cm) Bloco concreto (9 x 19 x 39 cm) Argamassa (2.5 cm) Pintura externa cor areia	2.78	209.00	0.45
	Modelo Par. 3	Elemento construtivo e pintura	Placa de gesso (1.25 cm) Lã de rocha (7.5 cm) Placa cimentícia (1 cm) Pintura externa cor branco gelo	0.53	32.00	0.30
Cobertura	Modelo Base (MB)	-	Forro PVC (1 cm) Câmera de ar (> 5 cm) Telha cerâmica	1.75	21.00	0.75
	Modelo Cob. 1	Telha	Forro PVC (1 cm) Câmera de ar (> 5 cm) Telha fibrocimento	1.76	16.00	0.65
	Modelo Cob. 2	Forro	Laje maciça (10 cm) Câmera de ar (> 5 cm) Telha cerâmica	2.05	238.00	0.75
	Modelo Cob. 3	Telha e forro	Laje maciça (10 cm) Câmera de ar (> 5 cm) Telha metálica (0.1 cm) Poliuretano (4 cm) Telha metálica (0.1 cm) Pintura telha cor branco gelo	0.55	230.00	0.30
Elemento	Modelo	Alteração	Sistema construtivo	U (W/m ² .K)	CT (kJ/m ² .K)	Inércia
Piso	Modelo Base (MB)	-	Laje maciça (5 cm) Contrapiso (2 cm) Piso cerâmico (1cm)	3.77	168.00	Alta inércia térmica
	Modelo Piso 1	Acabamento	Laje maciça (5 cm) Contrapiso (2 cm) Piso de madeira (1cm)	3.10	158.00	Baixa inércia térmica

Fonte: A autora (2022)

E. Aberturas

Nesses ensaios foram realizados, inicialmente, alterações nas aberturas quanto as suas dimensões: largura e altura. Além disso, foi testado o funcionamento do protótipo quando uma nova abertura, com dimensões diferentes das existentes no Modelo Base, foi adicionada aos ambientes (Tabela 3.8).

Tabela 3.8 - Ensaio com variações das aberturas do projeto

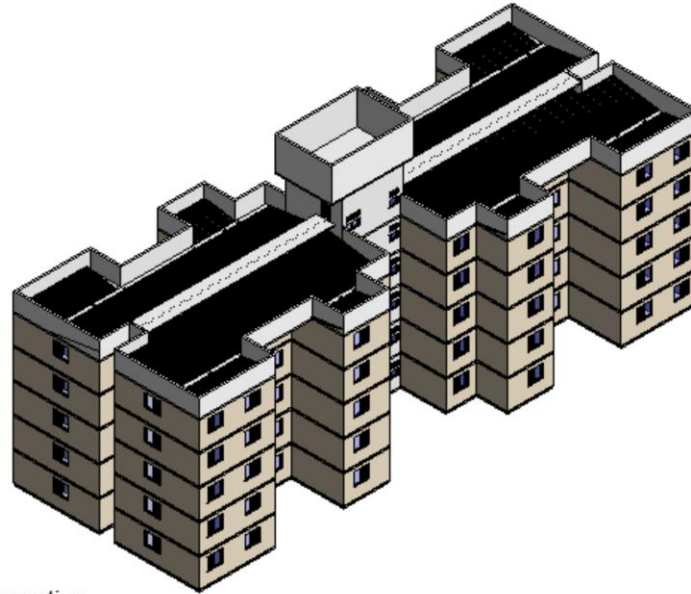
Elemento	Modelo	Alteração	Ambiente	Tipo	Quantidade	Dimensões (m)
Abertura	Modelo Base (MB)	-	Dormitório 1	Janela	1	1.2 x 1.0
			Dormitório 2	Janela	1	1.2 x 1.0
			Sala / cozinha	Janela	2	1.5 x 1.0
	Modelo Aber. 1	Aumentar largura	Dormitório 1	Janela	1	1.5 x 1.0
			Dormitório 2	Janela	1	1.5 x 1.0
			Sala / cozinha	Janela	2	1.8 x 1.0
	Modelo Aber. 2	Aumentar altura	Dormitório 1	Janela	1	1.2 x 1.2
			Dormitório 2	Janela	1	1.2 x 1.2
			Sala / cozinha	Janela	2	1.5 x 1.2
	Modelo Aber. 3	Adicionar abertura com dimensões diferentes do MB	Dormitório 1	Janela	1	1.2 x 1.0
				Janela	1	1.5 x 1.0
			Dormitório 2	Janela	1	1.2 x 1.0
				Janela	1	1.5 x 1.0
			Sala / cozinha	Janela	2	1.5 x 1.0
				Porta	1	0.8 x 2.1

Fonte: A autora (2022)

3.4.2 PROJETO DE IMPLEMENTAÇÃO

O processo de implementação buscou consolidar a generalização da solução proposta, possibilitando o uso do protótipo desenvolvido em projetos diferentes do projeto piloto. Deste modo, para a implementação foi utilizado como referência um modelo BIM 3D de uma habitação de interesse social multifamiliar (Figura 3.8). Este modelo, direcionado ao programa de habitação Minha Casa Minha Vida – MCMV (atualmente substituído pelo programa Casa Verde e Amarela) do Governo Federal, possui livre acesso e foi desenvolvido pelo escritório Contier Arquitetura a pedido do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (CONTIER ARQUITETURA, 2011).

Figura 3.8 - Vista em perspectiva do projeto de implementação

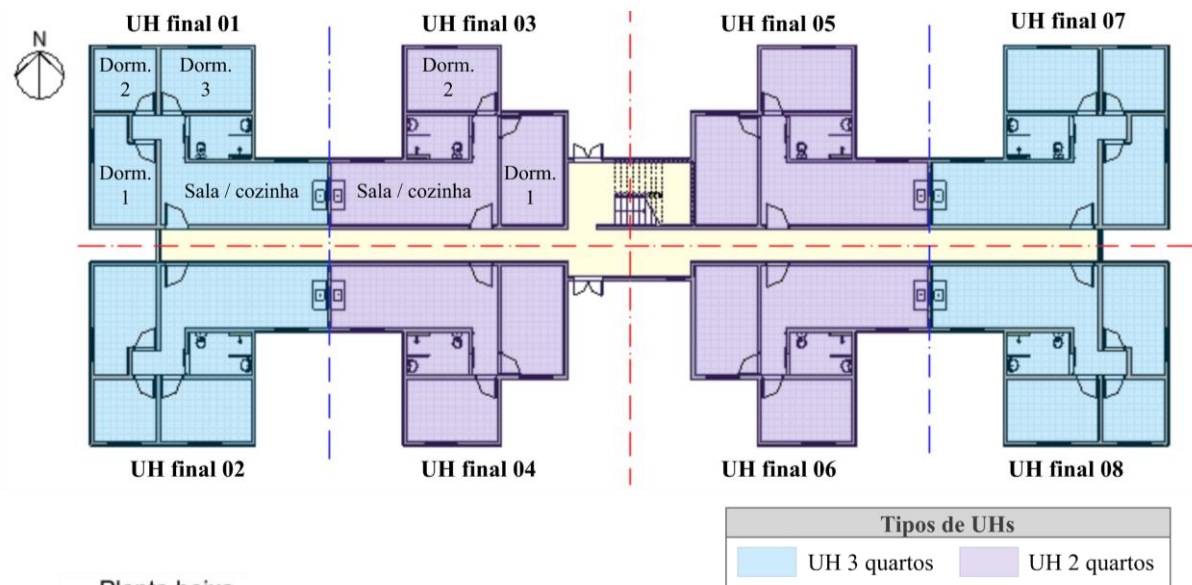


① Vista em perspectiva

Fonte: Adaptado Contier Arquitetura (2011)

O modelo utilizado no projeto de implementação é caracterizado como um edifício residencial multifamiliar, composto por 40 UHs divididas em cinco pavimentos (térreo + 4 pavimentos), sendo que cada pavimento possui 4 unidades de 3 quartos (unidades de canto) e 4 unidades de 2 quartos (unidades centrais). Todas as unidades possuem sala e cozinha integradas e banheiro social. Na Figura 3.9 é possível visualizar a planta baixa do edifício.

Figura 3.9 - Planta baixa do projeto de implementação



② Planta baixa

Fonte: Adaptado Contier Arquitetura (2011)

A descrição das características geométricas e dos elementos construtivos adotados são apresentados na Tabela 3.9 e Tabela 3.10, respectivamente. Assim como no Projeto Piloto, o Modelo de Implementação foi avaliado considerando a localização na cidade de São Paulo/SP e norte do projeto na direção 0° (zero graus).

Tabela 3.9 - Características geométricas dos ambientes do Modelo de Implementação

Ambiente	Descrição	Pé direito (m)	Área (m ²)
UH 3 quartos			
Dormitório 1	APP	2.51	10.81
Dormitório 2	APP	2.51	6.96
Dormitório 3	APP	2.51	10.15
Sala / cozinha	APP	2.51	21.97
Banheiro	APT	2.51	4.69
UH 2 quartos			
Dormitório 1	APP	2.51	12.26
Dormitório 2	APP	2.51	10.15
Sala / cozinha	APP	2.51	20.72
Banheiro	APT	2.51	4.68

Fonte: A autora (2022)

Tabela 3.10 - Especificação do componentes construtivos do Modelo de Implementação

Elemento	Localização	Características	Propriedades térmicas
Piso	Todos os pavimentos	Laje protendida alveolar sem preenchimento e sem capa (15 cm)	CT = 369.00 kJ/m ² .K U = 2.48 W/m ² .K Absortância = 0
		Contrapiso (5 cm) Piso cerâmico (0.75 cm)	
Cobertura	Térreo 1° ao 3° pavimento	Laje protendida alveolar sem preenchimento e sem capa (15 cm) Contrapiso (5 cm) Piso cerâmico (0.75 cm)	CT = 369.00 kJ/m ² .K U = 2.48 W/m ² .K Absortância = 0
	4° pavimento	Laje protendida alveolar sem preenchimento e sem capa (15 cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Telha de fibrocimento	
Parede	Externa	Gesso interno (0.2 cm) Bloco de concreto (14 x 19 x 39 cm) Argamassa externa (2.5 cm)	CT = 222.00 kJ/m ² .K U = 2.86 W/m ² .K Absortância = 0.45
	Interna	Gesso interno (0.2 cm) Bloco de concreto (14 x 19 x 39 cm) Gesso interno (0.2 cm)	
Elemento	Localização	Características	Dimensões (m)
Portas	Dormitórios	Madeira de abrir	0.80 x 2.10
	Sala / cozinha	Madeira de abrir	0.90 x 2.10
	Banheiro	Madeira de correr	0.80 x 2.10
Janelas	APP	De correr 3 folhas com veneziana Vidro transparente (3 mm)	1.40 x 1.20
	APT	Maxim air Vidro transparente (3 mm)	0.80 x 0.60

Fonte: A autora (2022)

3.5 AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO

O processo de avaliação consistiu em analisar a eficácia da solução proposta com base nos resultados obtidos nas etapas anteriores. Esta fase consistiu em avaliar e discutir os resultados levando-se em consideração quatro aspectos: precisão dos resultados, suporte ao projeto, manuseio da ferramenta e integração BIM-VPL. Para cada um destes aspectos, critérios qualitativos e quantitativos foram avaliados, conforme apresentado no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Critérios de avaliação da solução proposta

Aspectos avaliados	Critérios
Precisão dos resultados	Diferença percentual entre os resultados obtidos
Suporte ao projeto	Possibilita que diferentes opções de design da edificação possam ser avaliadas? Possibilita a análise termo energética de diferentes tipologias? Auxilia no processo de tomada de decisão? Tempo de processamento
Manuseio da ferramenta	Nível de conhecimento no VPL ou Dynamo Nível de facilidade para executar os <i>scripts</i> Nível de conhecimento no Revit
Integração BIM-VPL	Nível de usabilidade do VPL Tempo de resposta a alterações Interoperabilidade Capacidade de executar um metamodelo de predição de carga térmicas Capacidade de operação e gerenciamento dos dados

Fonte: A autora (2022)

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados referentes as etapas propostas na metodologia, sendo elas: gestão de requisitos, desenvolvimento da solução, estudo de caso e avaliação da solução.

4.1 GESTÃO DE REQUISITOS

A estrutura de integração genérica foi a base utilizada para o desenvolvimento da solução proposta. Inicialmente, todos os parâmetros de entrada para as análises de desempenho térmico e eficiência energética foram categorizados. Para todos os parâmetros foi investigada as funcionalidades existentes no Revit, sendo verificado se os dados estariam disponíveis para serem extraídos automaticamente do modelo virtual e, caso sim, se a forma como estariam disponíveis atendiam as solicitações. Para as lacunas identificadas foram definidas as possíveis soluções a serem adotadas e as ferramentas necessárias para o desenvolvimento das soluções propostas. No Quadro 4.1 são apresentados os parâmetros que precisam ser analisados para atender aos critérios de desempenho térmico estabelecidos pela NBR 15575 (2021).

Quadro 4.1 – Correlação entre os parâmetros requisitados pela NBR 15575 (2021) e as funcionalidades BIM

Parâmetros de entrada NBR	Disponível no Revit?	Atende aos requisitos?	Solução	Ferramenta
VEDAÇÕES VERTICAIS EXTERNAS				
Transmitância térmica parede externa	Sim	Não	Criar parâmetro	Revit
			Calcular ponderação	Dynamo
Capacidade térmica parede externa	Sim	Não	Criar parâmetro	Revit
			Calcular ponderação	Dynamo
Percentual de abertura para ventilação	Não	Não	Calcular	Dynamo
Percentual ou área de elementos transparentes	Não	Não	Calcular	Dynamo
COBERTURA				
Transmitância térmica cob.	Sim	Não	Criar parâmetro	Revit
			Calcular ponderação	Dynamo

Fonte: A autora (2022)

Já o Quadro 4.2 diz respeito aos dados de entrada necessários para a execução do metamodelo, pois é a partir dele que são geradas as cargas térmicas dos APPs utilizados nas análise de eficiência energética da edificação, conforme especifica a INI-R (2018).

Quadro 4.2 - Correlação entre os parâmetros requisitados pelo metamodelo da INI-R (2018) e as funcionalidades BIM

Parâmetros de entrada INI-R	Disponível no Revit?	Atende aos requisitos?	Solução	Ferramenta
INFORMAÇÕES DE PROJETO				
Temperatura média anual (TMA)	Não	Não	Obter parâmetro	Dynamo
Desvio padrão da temperatura média (dpT)	Não	Não	Obter parâmetro	Dynamo
Amplitude média anual (AMA)	Não	Não	Obter parâmetro	Dynamo
Desvio padrão da amplitude (dpA)	Não	Não	Obter parâmetro	Dynamo
AMBIENTES				
Tipo de ambiente	Sim	Não	Criar parâmetro	Revit
Área	Sim	Sim	-	-
Pé direito	Não	Não	Calcular	Dynamo
Altura do pavimento	Sim	Sim	-	-
Tamanho da projeção	Não	Não	Criar parâmetro	Revit
Pilotis	Não	Não	Criar parâmetro	Revit
Exposição do piso	Não	Não	Criar parâmetro	Revit
Exposição da cobertura	Não	Não	Criar parâmetro	Revit
PAREDES				
Absortância solar par. ext.	Sim	Não	Criar parâmetro	Revit
			Calcular ponderação	Dynamo
Capacidade térmica par. ext.	Sim	Não	Criar parâmetro	Revit
			Calcular ponderação	Dynamo
			Verificar	Dynamo
			Criar parâmetro	Revit
Transmitância térmica par. ext.	Sim	Não	Calcular ponderação	Dynamo
			Criar parâmetro	Revit
Área de fachada por orientação	Não	Não	Calcular	Dynamo
COBERTURAS				
Absortância solar cob.	Sim	Não	Criar parâmetro	Revit
			Calcular ponderação	Dynamo
Capacidade térmica cob.	Sim	Não	Criar parâmetro	Revit
			Calcular ponderação	Dynamo
			Verificar	Dynamo
			Criar parâmetro	Revit
Transmitância térmica cob.	Sim	Não	Calcular ponderação	Dynamo
			Verificar	Dynamo
PISOS				
Tipo de piso do pavimento	Não	Não	Criar parâmetro	Revit
ABERTURAS				
Transmitância térmica vidro	Sim	Não	Criar parâmetro	Revit
			Calcular ponderação	Dynamo
Fator solar vidro	Sim	Não	Criar parâmetro	Revit
			Calcular ponderação	Dynamo
Fator de altura da abertura p/ ventilação	Não	Não	Calcular	Dynamo
Fator de abertura p/ ventilação	Não	Não	Criar parâmetro	Revit
			Calcular ponderação	Dynamo
Veneziana	Não	Não	Criar parâmetro	Revit
			Verificar	Dynamo
Fator de vidro na fachada por orientação	Não	Não	Calcular	Dynamo

Fonte: A autora (2022)

Nem todos os parâmetros de entrada apresentados nos Quadros 4.1 e 4.2 são dados primários, ou seja, dados que podem ser obtidos de forma direta. Alguns deles necessitam de

outros parâmetros para serem calculados. Estes outros parâmetros, aqui chamados de parâmetros secundários, são apresentados no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Correlação entre os parâmetros secundários e as funcionalidades BIM

Parâmetros secundários	Disponível no Revit?	Atende aos requisitos?	Solução	Ferramenta
NBR 15575 (2021)				
Região geográfica	Não	Não	Criar parâmetro	Revit
Latitude	Sim	Não	Obter parâmetro	Dynamo
Zona bioclimática	Não	Não	Obter parâmetro	Dynamo
Área abertura para ventilação	Não	Não	Calcular	Dynamo
Área elementos transparente	Não	Não	Calcular	Dynamo
Desempenho esquadria	Não	Não	Criar parâmetro	Revit
Ângulo vertical de sombreamento	Não	Não	Criar parâmetro	Revit
Altura abertura ventilação ático	Não	Não	Criar parâmetro	Revit
INI-R (2018)				
Estado	Não	Não	Criar parâmetro	Revit
Cidade	Sim	Não	Criar parâmetro	Dynamo
Grupo climático	Não	Não	Obter parâmetro	Dynamo
APP	Não	Não	Criar parâmetro	Revit
Volume ambiente	Sim	Sim	-	-
Área ambiente	Sim	Sim	-	-
Função paredes (se é parede externa ou interna)	Sim	Sim	-	-
Norte verdadeiro do projeto	Sim	Não	-	-
Orientação par. ext.	Não	Não	Verificar	Dynamo
Exposição cobertura (se é entre pavimentos ou exposta)	Não	Não	Criar parâmetro	Revit
Transmitância térmica piso	Sim	Não	Criar parâmetro	Revit
			Calcular ponderação	Dynamo
Capacidade térmica piso	Sim	Não	Criar parâmetro	Revit
			Calcular ponderação	Dynamo
Altura abertura	Sim	Sim	-	-
Largura abertura	Sim	Sim	-	-
Área abertura por orientação	Não	Não	Calcular	Dynamo

Fonte: A autora (2022)

As possíveis soluções adotadas para as lacunas identificadas são apresentadas a seguir:

- **Criar parâmetro:** Vários parâmetros precisaram ser criados ao longo do processo de desenvolvimento do protótipo, como será apresentado mais adianta ao longo desta dissertação. Porém, neste ponto, criar parâmetro refere-se apenas aos casos em que o projetista necessita inserir manualmente a informação no projeto, sendo necessário, portanto, criar o parâmetro, não existente no Revit, para que o dado seja armazenado;
- **Calcular:** Para os casos em que o parâmetro é definido a partir de outras variáveis, precisando ter seu valor calculado;

- **Calcular ponderação:** Alguns parâmetros precisam que seu valor final seja ponderado. Isto é necessário, por exemplo, nos casos de existirem dois diferentes tipos de paredes externas sendo utilizadas, possuindo, portanto, propriedades térmicas distintas e que precisam ser ponderadas de acordo com a área que as respectivas paredes ocupam;
- **Obter parâmetro:** Quando o valor do parâmetro é obtido a partir de um arquivo externo que contém as informações a serem utilizadas no projeto;
- **Verificar:** Determinados parâmetros necessitam passar por um processo de verificação para estabelecer o seu valor final. No caso da transmitância térmica da cobertura, por exemplo, é necessário verificar se a cobertura é exposta ou encontra-se entre pavimentos, pois, de acordo com a INI-R (2018), caso esteja entre pavimentos deve-se considerar a transmitância igual a zero.

Ainda sobre os resultados obtidos com a estrutura de integração genérica, alguns pontos podem ser discutidos. O primeiro deles diz respeito as informações de projeto. No caso da análise de desempenho termo energético, estas informações devem conter os dados referentes a localização do edifício, como região geográfica, estado, cidade, latitude, ZB e GC, assim como as variáveis climáticas do local. Na guia “Gerenciar” do Revit é possível definir a localização do projeto, e, com isto, a latitude do local seria obtida automaticamente. Esta definição do local através do Revit pode ser realizada de duas formas: lista padrão de cidades, que permite selecionar uma cidade principal na lista fornecida pelo Revit ou inserir uma longitude e latitude; ou serviço de mapeamento na internet, que requer uma conexão com a Internet e permite selecionar uma localização utilizando um mapa interativo ou inserido um endereço (AUTODESK, 2019).

Porém, para o estudo termo energético a ser realizado, alguns problemas puderam ser identificados ao se tentar definir a localização no próprio *software* de modelagem. Quanto ao primeiro método, pode ocorrer de a cidade não ser encontrada na lista padrão ou, considerando que o estudo seja realizado nas etapas iniciais de projeto, pode ser que ainda não se tenha os dados de longitude e latitude para serem inseridos do Revit. Quanto ao serviço de mapeamento na internet, pode acontecer de a cidade ser selecionada de forma errada. No Brasil existem cidades com mesmo nome, mas localizadas em estados diferente. Ao se digitar o nome da cidade no campo de busca do mapeamento no Revit, o resultado apresentado (informando apenas o nome da cidade e país) pode não representar o estado desejado. Além disto, se a seleção do local for realizada diretamente no mapa, são fornecidas apenas as informações de longitude e latitude do local selecionado, sendo que a definição da cidade é primordial para que

os demais parâmetros, associados a localização e necessários para análises de desempenho e eficiência, sejam definidos.

Deste modo, optou-se que os parâmetros “Região geográfica”, “Estado” e “Cidade” fossem criados, possibilitando aos projetistas inserirem de modo direto estas informações no projeto e permitindo, com o auxílio do Dynamo, que os dados referentes a latitude, ZB, GC e variáveis climática possam ser obtidos, automaticamente, de arquivos externos, como a planilha Excel disponibilizada pelo CB3E (2018a) e que contém os dados de localização de 5.564 cidades brasileiras.

Para os ambientes, tanto a norma de desempenho quanto a instrução normativa especificam que para as análises da envoltória da edificação, apenas os APPs devem ser analisados. Deste modo, apesar do Revit permitir a identificação de cada ambiente do projeto e já possuir alguns parâmetros pré-definidos para caracterizá-los, para as análises de desempenho termo energético, o parâmetro “APP” precisou ser criado, permitindo que os ambientes sejam classificados como sendo de permanência prolongada ou não. Além disto, a INI-R (2018) solicita que seja definido se o ambiente é sala ou dormitório. Para atender tal solicitação o campo do Revit para inserir o nome do ambiente poderia ser utilizado, no entanto optou-se pela adição do parâmetro “Tipo de ambiente”. Esta escolha foi feita como uma forma de padronizar a inserção dos dados referentes ao tipo de uso (função) do ambiente, deixando que o nome do ambiente possa ser definido de forma livre pelo projetista, conforme o que ele considerar mais adequado para o projeto.

A orientação das fachadas e as propriedades térmicas dos componentes construtivos são um dos principais requisitos nos estudos de desempenho termo energético da edificação. No que diz respeito a orientação, apesar de ser possível definir o norte verdadeiro do projeto, nenhuma funcionalidade está disponível no Revit para detectar a orientação da fachada, portanto este recurso foi desenvolvido utilizando o Dynamo.

Com relação as propriedades térmicas, como capacidade e transmitância térmica, os sistemas construtivos, como pisos e paredes, já possuem parâmetros referentes a estas propriedades, sendo estes calculados automaticamente pelo Revit a partir da determinação das propriedades de cada material que compõem estes sistemas. No entanto, para atender aos requisitos, tanto da norma de desempenho quanto da instrução normativa, novos parâmetros precisaram ser criados de modo a atender ao método de cálculo estabelecido pela norma brasileira NBR 15220 (2005).

Além disto, o Revit apresenta os resultados de propriedade térmica para cada elemento e não para o sistema construtivo como um todo. Um exemplo é o sistema de cobertura, que pode ser composto por um único elemento construtivo, como o telhado, ou pelo conjunto de diferentes elementos, como forro mais o telhado. Com os novos parâmetros criados, as informações das propriedades térmicas podem ser adicionadas pelos projetistas respeitando a metodologia de cálculo da normativa brasileira, assim como as informações referentes ao sistema construtivo como um todo. Ainda sobre as propriedades térmicas, *scripts* VPL também precisaram ser criados para realizar algumas verificações, assim como o cálculo ponderado destas propriedades, caso os ambientes apresentem diferentes composições de paredes, coberturas, pisos e/ou aberturas. No Quadro 4.4 são apresentados os dados de saída do protótipo obtidos após as análises de desempenho termo energético terem sido realizadas.

Quadro 4.4 – Parâmetros de saída do protótipo referentes as análises de desempenho termo energético

Parâmetros de saída NBR (2021)	Parâmetros de saída INI-R (2018)
APP	
Status de desempenho térmico para cada um dos 5 critérios avaliados pela norma (Quadro 2.2)	Carga térmica de refrigeração e aquecimento (edifício real e de referência)
Status final de desempenho térmico do APP	Equivalente numérico do APP para refrigeração e aquecimento
Status final de desempenho térmico do APP considerando 3 anos de degradação	Classe de eficiência energética da envoltória do APP para refrigeração e aquecimento
UH	
Status final de desempenho térmico da UH	Equivalente numérico da UH para refrigeração e aquecimento
Status final de desempenho térmico da UH considerando 3 anos de degradação	Equivalente numérico global da UH
-	Classe de eficiência energética da envoltória da UH
-	Consumo de energia da UH para refrigeração e aquecimento
-	Consumo de energia global da envoltória da UH
-	Consumo de energia primária da envoltória da UH

Fonte: A autora (2022)

Todos estes dados são armazenados diretamente no Revit, a partir dos novos parâmetros que foram criados, possibilitando, assim, a visualização dos resultados obtidos diretamente no *software* de modelagem BIM.

4.2 DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

4.2.1 *TEMPLATE* REVIT

O desenvolvimento da solução proposta iniciou-se com a criação do *template* do Revit. Este *template* teve como base inicial de desenvolvimento o *template* MCMV elaborado pelo escritório Contier Arquitetura. A partir de diversas configurações e ajustes, o modelo adotado no projeto MCMV foi adaptado para as necessidades da análise de desempenho termo energético, dando origem, assim, ao *template* adotado no protótipo.

Nesse *template* novos parâmetros foram criados, seja para suprir a lacuna de parâmetros de entrada não existentes originalmente no Revit, seja para permitir que os dados obtidos com o protótipo pudessem ser analisados diretamente no *software* de modelagem BIM. Ao invés de utilizar a função de parâmetros do projeto, os novos parâmetros foram criados utilizando a função de parâmetros compartilhados, permitindo que estas novas variáveis pudessem ser utilizadas em múltiplas famílias ou projetos.

Ao se criar os parâmetros compartilhados, estes são armazenado em um arquivo do tipo “.txt” onde ficam armazenadas as definições dos parâmetros. A primeira etapa para criar estes parâmetros é definir o grupo onde serão alocados, facilitando, assim, a organização de todos os novos parâmetros gerados. Os grupos são criados pelos próprios usuários do Revit, permitindo que ele atribua o nome que melhor lhe convir. No Quadro 4.5 estão dispostos os grupos criados para a elaboração do *template*.

Quadro 4.5 – Grupos de parâmetros compartilhados do *template* desenvolvido

GRUPO	NOME
1	Dados de localização
2	Propriedades térmicas envoltória
3	Propriedades térmicas aberturas
4	Propriedades dos ambientes
5	Propriedades dos ambientes_INI-R dados ed. real
6	Propriedades dos ambientes_INI-R limites de aplicação
7	Propriedades dos ambientes_INI-R dados ed. ref.
8	Propriedades dos ambientes_INI-R dados saída metamodelo
9	Propriedades dos ambientes_INI-R nível de EE
10	Propriedades dos ambientes_NBR

Fonte: A autora (2022)

No Quadro 4.6 são apresentados alguns dos parâmetros criados. Estes parâmetros referem-se as informações que devem ser inseridas pelo projetista durante a elaboração do

projeto e que são necessários para que a análises de desempenho térmico e eficiência energética possam ser realizadas de forma adequada.

Quadro 4.6 – Parâmetros criados para o *template* desenvolvido (dados adicionados pelo projetista)

Grupo	Parâmetro	Categoria	Tipo de propriedade	Tipo de parâmetro
INFORMAÇÕES DO PROJETO				
1	Região geográfica	Informações do projeto	Instância	Texto
1	Estado	Informações do projeto	Instância	Texto
1	Cidade	Informações do projeto	Instância	Texto
FACHADAS E COBERTURA				
2	Absortância solar	Paredes	Tipo	Número
		Pisos	Tipo	Número
		Telhados	Tipo	Número
		Forros	Tipo	Número
2	Capacidade térmica	Paredes	Tipo	Número
		Pisos	Tipo	Número
		Telhados	Tipo	Número
		Forros	Tipo	Número
2	Transmitância térmica	Paredes	Tipo	Número
		Pisos	Tipo	Número
		Telhados	Tipo	Número
		Forros	Tipo	Número
2	Tipo de piso do pavimento	Pisos	Tipo	Texto
2	Exposição	Pisos	Tipo	Texto
		Forros	Tipo	Texto
ABERTURAS				
3	Transmitância térmica vidro	Janelas	Tipo	Número
		Portas	Tipo	Número
3	Fator solar vidro	Janelas	Tipo	Número
		Portas	Tipo	Número
3	Fator de abertura p/ ventilação	Janelas	Tipo	Número
		Portas	Tipo	Número
3	Fator de abertura p/ iluminação	Janelas	Tipo	Número
		Portas	Tipo	Número
3	Nível desempenho esquadria	Janelas	Tipo	Texto
		Portas	Tipo	Texto
3	Veneziana	Janelas	Tipo	Sim/Não
		Portas	Tipo	Sim/Não
3	Sombreamento horizontal	Janelas	Instância	Sim/Não
		Portas	Instância	Sim/Não
3	Ângulo vertical de sombreamento	Janelas	Instância	Ângulo
		Portas	Instância	Ângulo
3	Possui fechamento translúcido ou transparente	Portas	Tipo	Sim/Não
AMBIENTES				
4	Ambiente de permanência prolongada	Ambientes	Instância	Sim/Não
4	Tipo de ambiente	Ambientes	Instância	Texto
4	Tamanho da projeção	Ambientes	Instância	Número
4	Pilotis	Ambientes	Instância	Texto
4	Exposição do piso	Ambientes	Instância	Texto
4	Exposição da cobertura	Ambientes	Instância	Texto
4	Área closet	Ambientes	Instância	Área
4	Altura abertura ventilação ático	Ambientes	Instância	Comprimento

Fonte: A autora (2022)

As categorias em que esses parâmetros foram alocados estão correlacionados aos elementos do projeto de onde as informações devem ser obtidas. Cada categoria possui uma família de elementos, ou seja, a família agrupa elementos que possuem um conjunto de propriedades em comum. Estas propriedades são chamadas de propriedades de tipo, de modo que quando é modificado, todos os elementos do projeto que sejam do mesmo tipo também são modificados. Paralelamente, por meio dos parâmetros de instância, é possível alterar as propriedades de um elemento específico, de modo que os demais elementos do mesmo tipo não tenham suas propriedades alteradas. Baseado nestes conceitos é que foi definido o tipo de propriedade de cada novo parâmetro criado no *template*. Vale ressaltar que as propriedades de “tipo” de um determinado elemento precisam ser especificadas pelo usuário uma única vez, de acordo com as características e propriedades deste elemento, não sendo necessário redefinir estes parâmetros a cada novo projeto.

O tipo de parâmetro especifica o formato das informações que podem ser atribuídas aos parâmetros, texto ou número, por exemplo. Desta forma, o tipo de parâmetro foi especificado de acordo com o tipo de dado a ser armazenado.

Além das informações contidas no Quadro 4.6, ao se adicionar um novo parâmetro no Revit, é solicitado que seja informado também a disciplina do parâmetro e sob qual grupo de propriedades do elemento ele ficará locado. Este grupo, diferente do grupo de parâmetros compartilhados, representa o local do Revit em que o parâmetro será exibido na aba ou caixa de propriedades do elemento. O grupo no qual os novos parâmetros foram alocados não possui influência significativa para o funcionamento do protótipo, mas buscou-se alocar estes parâmetros em grupos de fácil identificação e que não estivessem sendo utilizados por outros parâmetros já existentes no *software*. Quanto a disciplina, essa representa o tipo de projeto que está sendo desenvolvido no Revit, sendo as opções disponíveis ao se criar um novo parâmetro: comum, estrutural, AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado), elétrica, tubulação e energia. Os tipos de parâmetros que podem ser selecionados dependem diretamente da disciplina adotada. Para o desenvolvimento do *template* optou-se por definir todos os parâmetros com a disciplina “comum”.

Juntamente dos parâmetros apresentados no Quadro 4.6, mais 135 parâmetros foram criados para armazenar os dados gerados com os *scripts* VPL. Estes dados referem-se tanto aos resultados dos dados de entrada a serem utilizados nas análises de desempenho e eficiência, quanto dos dados de saída com os resultados termo energéticos obtidos. Gravar estes dados no *software* de modelagem BIM permite o gerenciamento, visualização e análise, diretamente no

Revit, de todos os dados utilizados e processados pelo protótipo. Todos estes parâmetros são apresentados no APÊNDICE A. Na Tabela 4.1 é apresentado o quantitativo geral de parâmetros criados. No total, 160 novos parâmetros utilizados e gerados no processo de análise de desempenho termo energético foram adicionados ao *template* desenvolvido.

Tabela 4.1 – Quantitativo de parâmetros adicionados ao *template* Revit

Grupo	Nome grupo	Quantidade de parâmetros	
		Definido pelo projetista	Gerado com o Dynamo
1	Dados de localização	3	8
2	Propriedades térmicas envoltória	5	1
3	Propriedades térmicas aberturas	9	0
4	Propriedades dos ambientes	8	0
5	Propriedades dos ambientes_INI-R dados ed. real	0	22
6	Propriedades dos ambientes_INI-R limites de aplicação	0	30
7	Propriedades dos ambientes_INI-R dados ed. ref.	0	28
8	Propriedades dos ambientes_INI-R dados saída metamodelo	0	4
9	Propriedades dos ambientes_INI-R nível de EE	0	14
10	Propriedades dos ambientes_NBR	0	28
TOTAL		25	135
		160	

Fonte: A autora (2022)

Além da criação de novos parâmetros, diversas configurações foram realizadas de modo a adequar o arquivo base de projeto as necessidades do processo de análise termo energética. Deste modo, o *template* desenvolvido contém todos os componentes de construção que o projetista usará no projeto, já com os dados relacionados a NBR 15575 (2021) e INI-R (2018) configurados. O *template* criado conta com as seguintes configurações:

4.2.1.1 Informações de projeto e ambientes

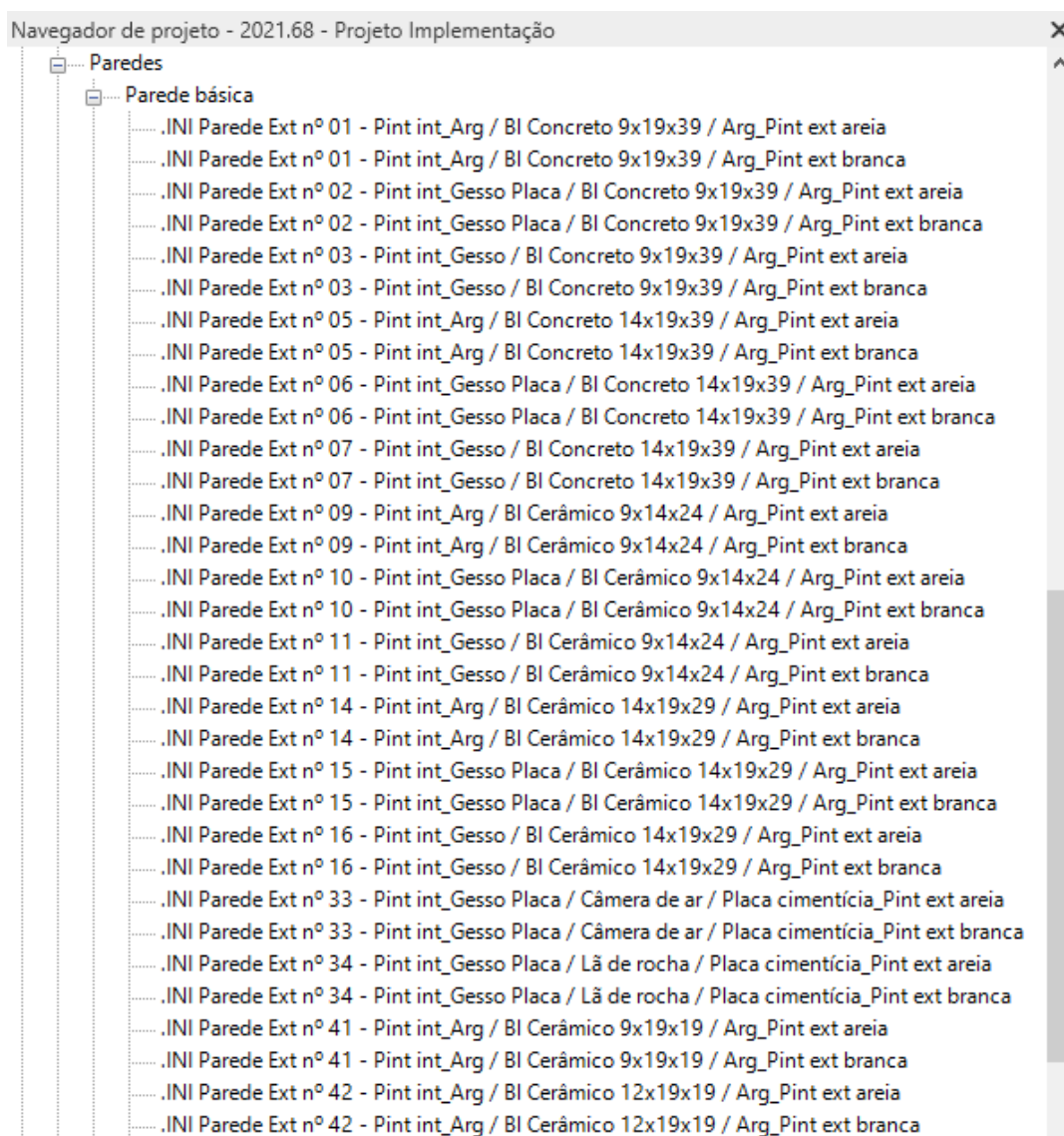
Os ambientes modelados, assim como as informações gerais do projeto, precisam de dados específicos necessários para o funcionamento do protótipo. Para isto novos parâmetros foram adicionados a estes componentes, como já apresentado anteriormente.

4.2.1.2 Famílias de sistema (paredes, pisos, forros e telhados)

As famílias do sistema são famílias próprias do *software* Revit que permitem criar elementos básicos de construção, como paredes, pisos e tetos. Para o *template* desenvolvido modelos de paredes, pisos e coberturas mais comumente utilizados no Brasil foram

pré-configurados com os parâmetros necessários para as análises. As propriedades térmicas referente a estas famílias, como capacidade e transmitância térmica, foram obtidos de acordo com o especificado na norma brasileira NBR 15.220 (2005) e modelos apresentados no Anexo V da Portaria INMETRO N°50/2013 (Catálogo de Propriedade Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros). Na Figura 4.1 é apresentado um exemplo do navegador de projeto com diferentes tipos de paredes externas criadas.

Figura 4.1 – Navegador de projeto do *template* desenvolvido com diferentes modelos de paredes externas



Fonte: A autora (2022)

4.2.1.3 Famílias carregáveis (janelas e portas)

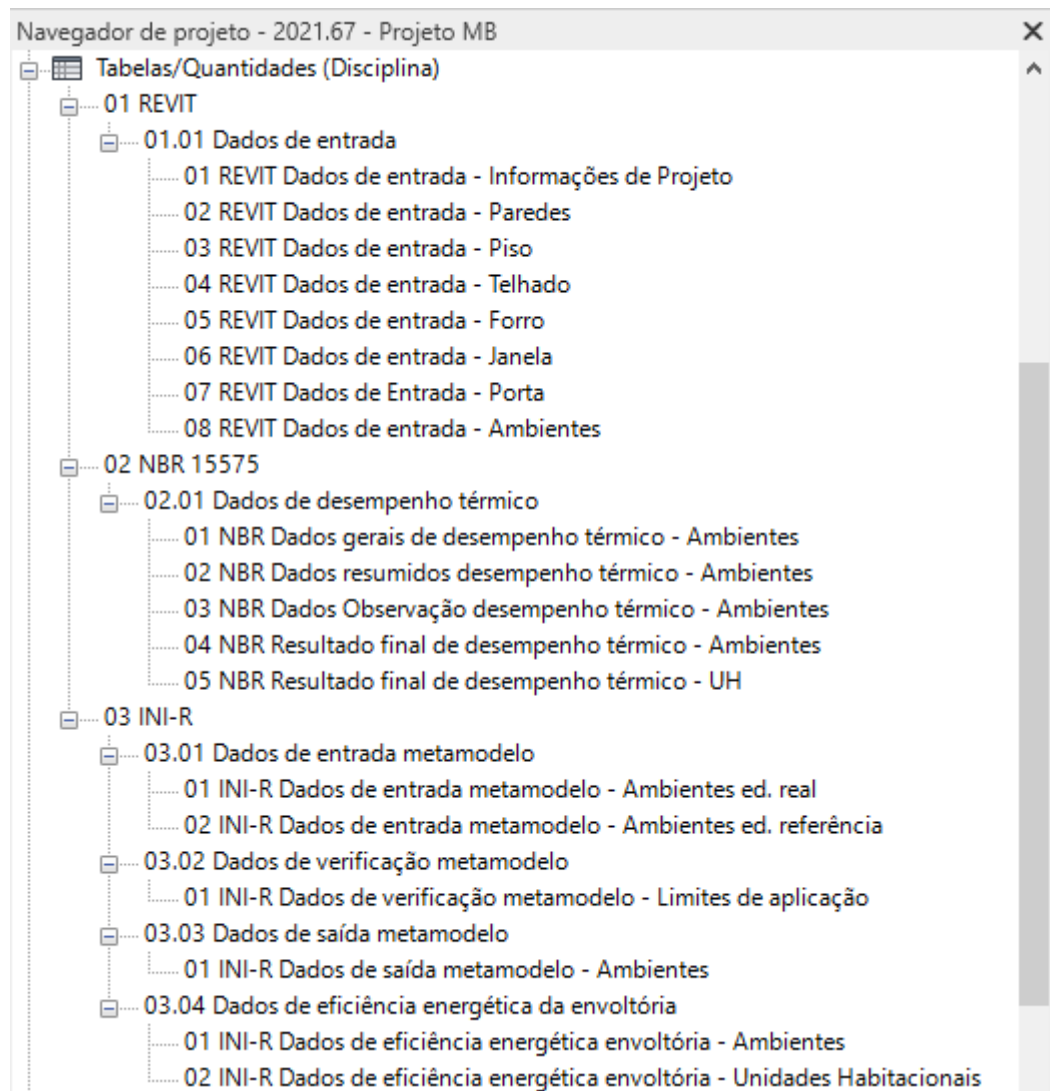
Diferentemente das famílias do sistema, as famílias carregáveis são criadas em arquivos externos e importadas para os projetos. Para o *template* desenvolvido modelos de portas e janelas mais utilizados no Brasil foram pré-configurados com os parâmetros necessários para as análises. As propriedades térmicas dos vidros foram obtidas a partir do ProjetEEE – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes (UFSC, 2021), que é uma plataforma pública nacional onde podem ser obtidos dados das propriedades térmicas de uma variedade de componentes construtivos. Além disso, a própria INI-R (2018) foi utilizada como referência para especificação das propriedades destes elementos.

4.2.1.4 Tabelas de entrada e saída de dados

Diferentes tabelas foram criadas e pré-configuradas de modo a auxiliar na visualização de todos os dados gerados. De modo a facilitar a organização destas tabelas, essas foram separadas em três grupos: tabelas Revit, tabelas NBR 15575 e tabelas INI-R. O primeiro grupo tem o intuito de simplificar a visualização das informações de cada elemento utilizado no projeto, informações estas que serão utilizadas como dados de entrada nas análises de desempenho termo energético a serem realizadas. Por meio das tabelas Revit é possível que o projetista verifique se todas as informações necessárias para o funcionamento do protótipo estão definidas. Além disto, caso algum parâmetro não tenha sido preenchido, é possível que os dados que estejam faltando sejam adicionados diretamente por meio das tabelas, permitindo, também, que as informações sejam inseridas após o processo de modelagem da edificação. Com relação aos outros dois grupos, tabelas NBR 15575 e tabelas INI-R, estas foram criadas de modo a apresentar todos os dados gerados pelo protótipo, permitindo assim a visualização dos resultados obtidos. Na Figura 4.2 é apresentado o navegador de projeto com todas as tabelas criadas.

Além da organização por grupos, as tabelas foram coloridas de modo a melhorar a identificação dos dados. As cores foram atribuídas a depender da forma de obtenção dos dados: dados definidos pelo próprio Revit, dados obtidos automaticamente através do Dynamo ou dados definidos manualmente pelo projetista, sendo esses separadas por parâmetros de tipo ou instância. No Quadro 4.7 são definidas as cores utilizadas e no APÊNDICE B são apresentadas algumas das tabelas criadas.

Figura 4.2 - Navegador de projeto do *template* desenvolvido com todas as tabelas criadas



Fonte: A autora (2022)

Quadro 4.7 – Relação de cores utilizadas nas tabelas de projeto do *template* desenvolvido

Cor	Característica
Branco	Parâmetro definido pelo próprio Revit
Laranja	Parâmetro de instância a ser definido pelo projetista
Amarelo	Parâmetro de tipo a ser definido pelo projetista
Azul	Parâmetro definido através do Dynamo

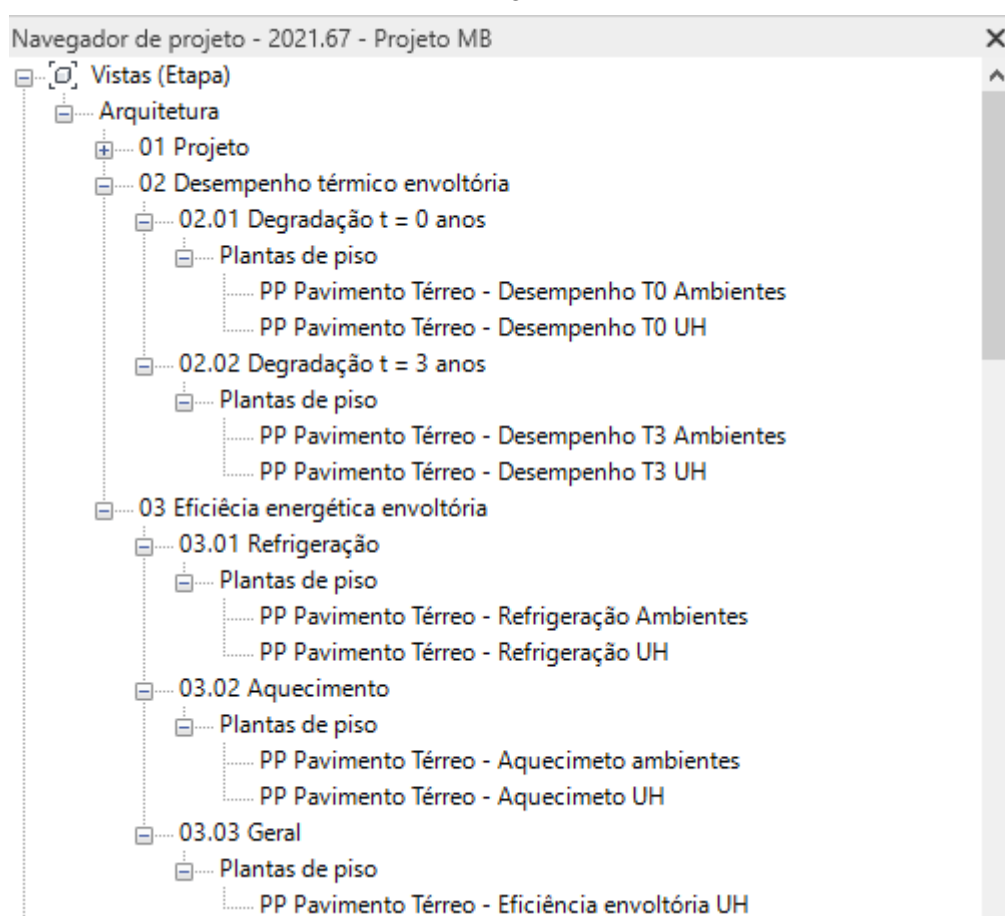
Fonte: A autora (2022)

4.2.1.5 Vistas e pranchas de projeto

Vistas e pranchas específicas de projeto foram desenvolvidas de modo a apresentar os resultados de desempenho térmico e eficiência energética da edificação. A partir dos resultados

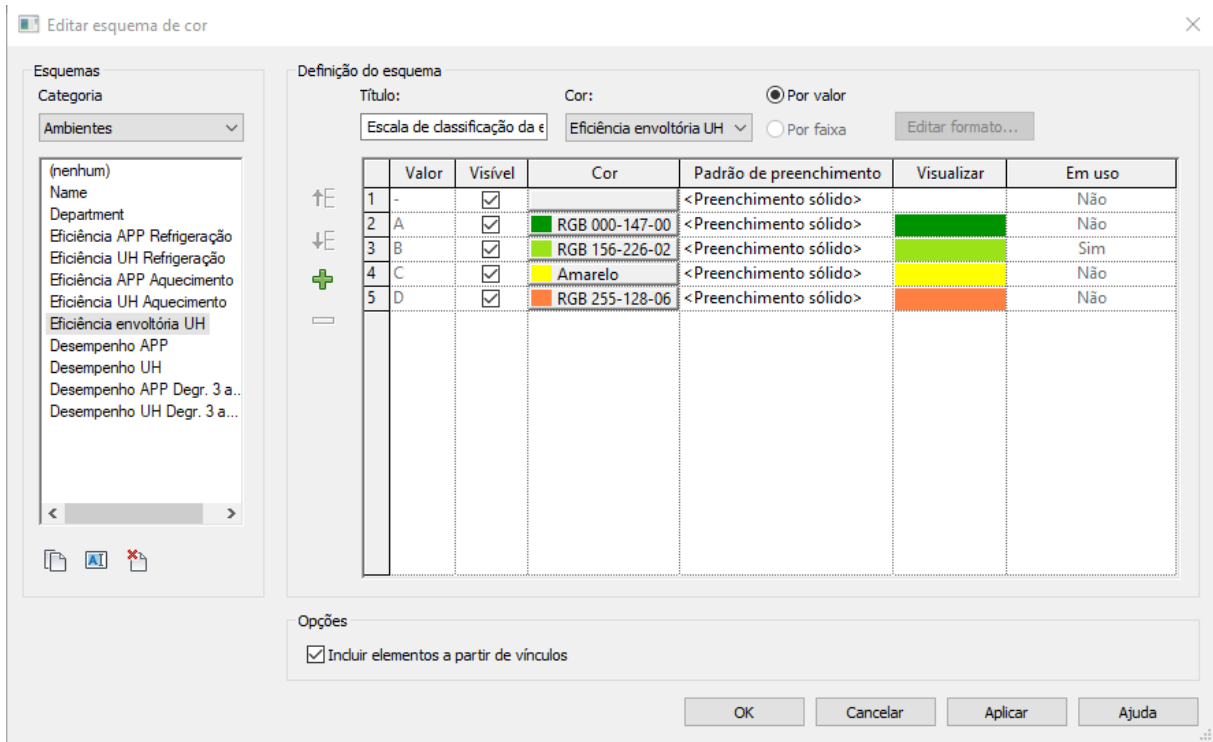
obtidos com o protótipo, esquemas de cores são atribuídas as plantas baixas e pranchas pré-configuradas são exibidas, permitindo que os resultados obtidos possam ser analisados não apenas pelas tabelas de dados, mas também de modo mais visual. Na Figura 4.3 são apresentadas as vistas de projeto e na Figura 4.4 um exemplo do esquema de cores atribuída as plantas baixas. Já na Figura 4.5 e Figura 4.6 são apresentadas as pranchas com os resultados de desempenho térmico e eficiência energética, respectivamente, geradas através do *template* desenvolvido.

Figura 4.3 – Vistas de projeto do *template* pré-configuradas para as análises de desempenho termo energético



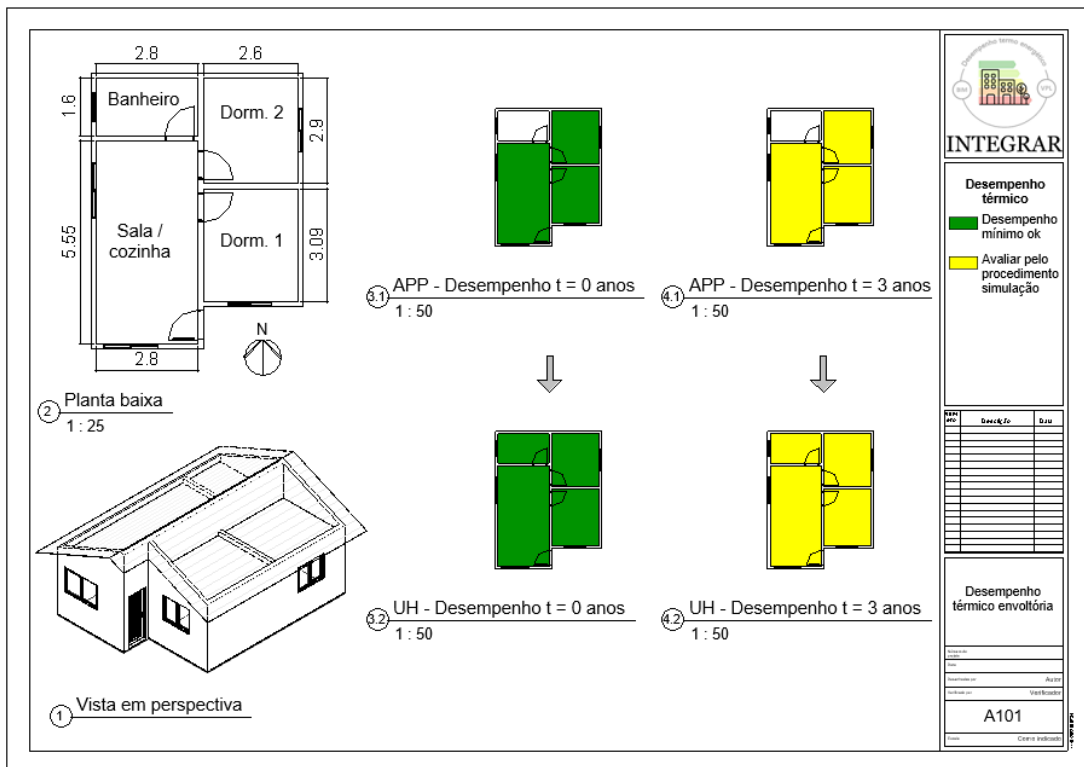
Fonte: A autora (2022)

Figura 4.4 – Exemplo do esquema de cores atribuído as vistas de projeto do *template* desenvolvido



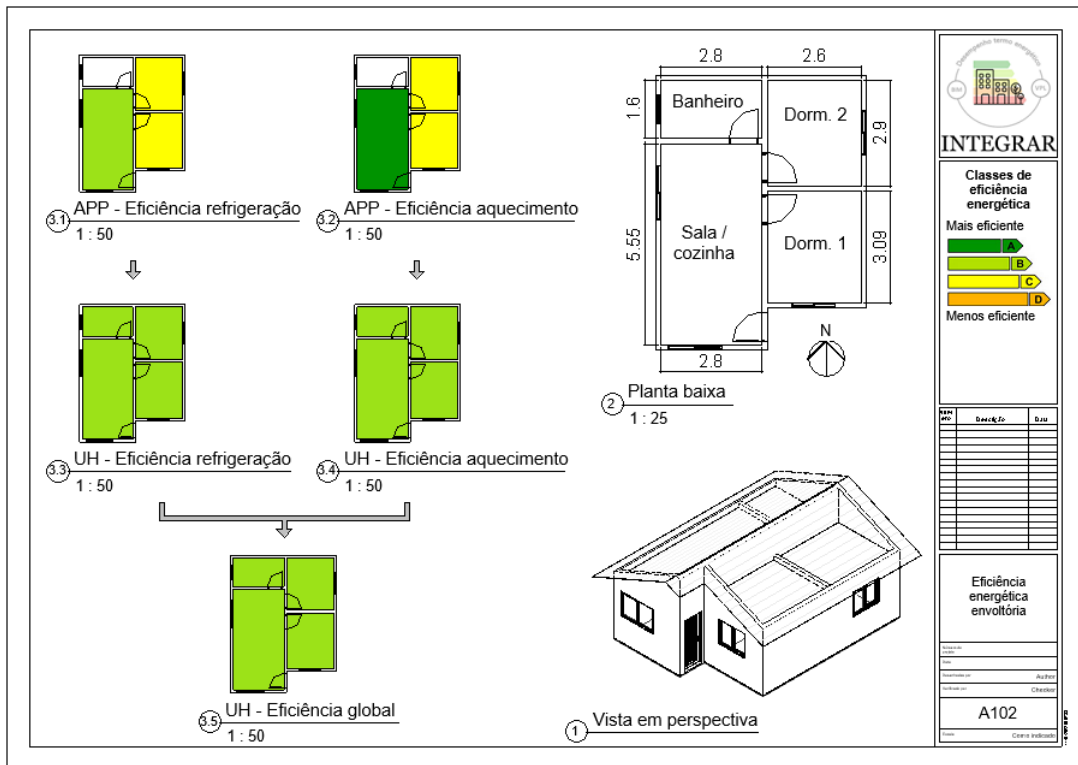
Fonte: A autora (2022)

Figura 4.5 – Prancha de projeto do *template* desenvolvido com os resultados de desempenho térmico obtidos a partir do procedimento simplificado da NBR 15575 (2021)



Fonte: A autora (2022)

Figura 4.6 – Prancha de projeto do *template* com os resultados de eficiência energética obtidos a partir do método simplificado da INI-R (2018)

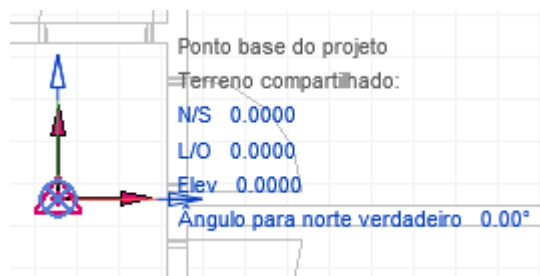


Fonte: A autora (2022)

4.2.2 MODELO BIM 3D

A etapa seguinte de desenvolvimento do protótipo foi a criação do modelo BIM 3D. O modelo foi gerado utilizando o *template* desenvolvido e o método de execução consistiu em um processo normal de modelagem. O primeiro passo para a elaboração do modelo virtual foi a definição do norte verdadeiro do projeto, que pode ser determinado a partir do ponto base do projeto, e o preenchimento das informações de localização, conforme exposto na Figura 4.7 e Figura 4.8, respectivamente.

Figura 4.7 – Definição do norte verdadeiro do modelo BIM 3D



Fonte: A autora (2022)

Figura 4.8 – Informações de projeto do modelo BIM 3D

Informações do projeto

Família: Família do sistema: Informações do projeto Carregar...

Tipo: Editar tpo...

Parâmetros de instância - Controlam a instância selecionada ou a ser criada

Parâmetro	Valor
Dados de identidade	
Análise da energia	
Propriedades do modelo	
Subgrupo climático	a
Grupo climático	1
Zona bioclimática	3
Latitude	-23.55°
TMA	21.130000
dpT	1.840000
AMA	6.560000
dpA	0.650000
Dados	
Região geográfica	Sudeste
Estado	SP
Cidade	São Paulo
Análise da rota	
Outros	

OK Cancelar

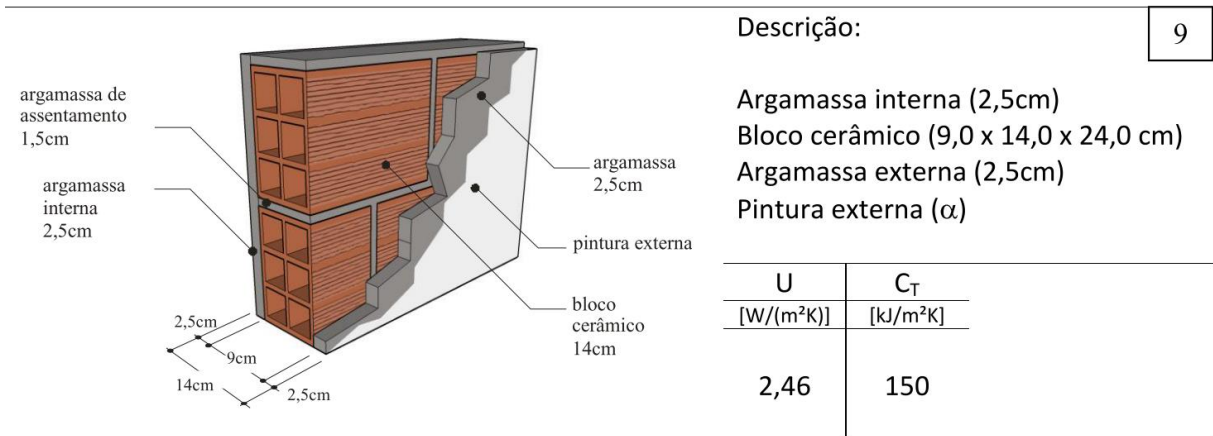
Definido através do Dynamo

Definido pelo usuário

Fonte: A autora (2022)

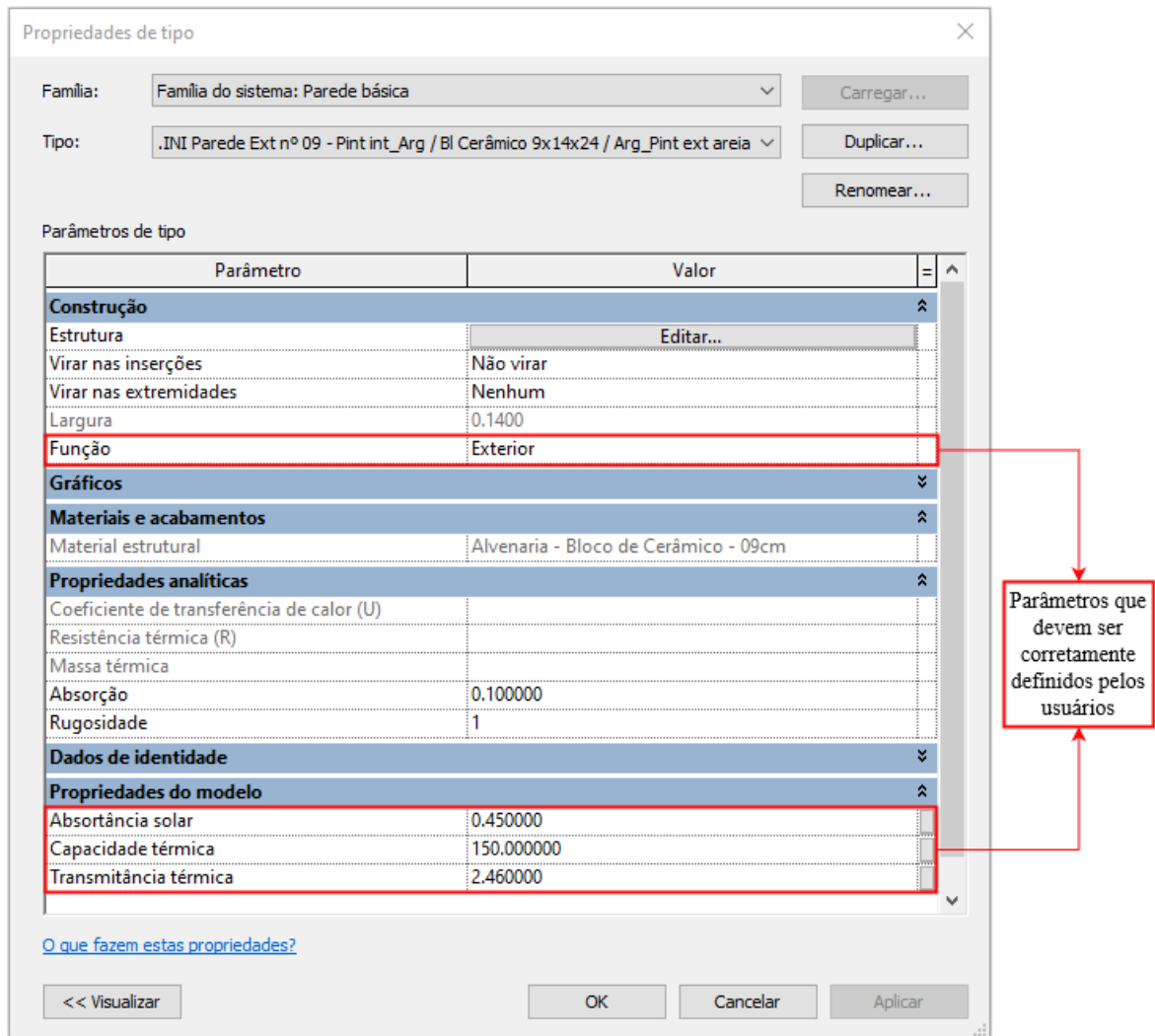
Em seguida foi definida a geometria da edificação, assim como os componentes desta geometria, ou seja, o tipo de parede, piso, cobertura e aberturas a serem utilizados. Vale lembrar que algumas características e propriedades térmicas destes elementos precisam ser corretamente definidas pelo usuário para que a análise de desempenho termo energético ocorra de forma efetiva. No entanto, como foi utilizado o *template* desenvolvido na etapa anterior, estes elementos já foram pré-configurados com os dados necessários, sendo preciso apenas definir quais componentes construtivos seriam adotados no modelo. Na Figura 4.9 é exposto um exemplo de parede especificado no Anexo V da Portaria INMETRO N°50/2013 e na Figura 4.10 a respectiva parede já pré-configurada com as informações que precisam estar preenchidas.

Figura 4.9 – Modelo de parede



Fonte: Anexo V da Portaria INMETRO N°50 (2013)

Figura 4.10 – Exemplo de parede pré-configurada para ser utilizada no modelo BIM 3D



Fonte: A autora (2022)

Uma vez definida a geometria e os elementos da construção, a próxima fase consistiu em realizar a identificação dos ambientes e a determinação dos seus parâmetros, conforme exposto na Figura 4.11.

Figura 4.11 – Painel de propriedades dos ambientes do modelo BIM 3D

The screenshot shows the 'Propriedades' (Properties) panel for a room. The panel is divided into several sections:

- Ambientes (1)**: A dropdown menu showing the selected room.
- Restrições**: A section containing 'Texto', 'Cotas', and 'Dados de identidade'.
- Dados de identidade**: A table with the following data:

Número	37
Nome	Dorm. 2
Imagem	
Comentários	
Ocupação	
Departamento	UH 1
Acabamento base	
Acabamento do forro	
Acabamento da parede	
Acabamento do piso	
Occupant	
Floor Finish 2	
Floor Finish 3	
Wall Finish 3	
Ceiling Finish 2	
Ceiling Finish 3	
- Fase**: A section containing 'Análise da energia', 'Resultados da análise', and 'Propriedades do modelo'.
- Propriedades do modelo**: A table with the following data:

Tipo de ambiente	Dormitório
Exposição do piso	Contato com o solo
Exposição da cobertura	Exposta
APP	<input checked="" type="checkbox"/>
Pilotis	Sem pilotis
Tamanho da projeção	0.0000
Altura abertura ventilação ático	0.0000
Área closet	0.000 m ²
- Geral**: A section containing 'Outros'.

At the bottom of the panel, there is a link for 'Ajuda de propriedades' and an 'Aplicar' button.

A red box highlights the 'Departamento' field in the 'Dados de identidade' section and the 'Propriedades do modelo' section. A red arrow points from the 'Departamento' field to a text box on the right that says 'Parâmetros que devem ser corretamente definidos pelos usuários'.

Durante o processo de modelagem dois pontos merecem atenção. Uma vez definida a geometria da construção é preciso verificar se os elementos de piso, parede e cobertura estão definidos como elementos que delimitam os ambientes. Caso esta delimitação não seja estabelecida, os *scripts* VPL para a análise da eficiência não serão processados de maneira apropriada. Além disso, deve ser analisado se as paredes estão com suas faces internas e externas orientadas na direção correta, pois isto afetará diretamente na determinação da orientação das fachadas pelo *script* VPL.

Para as análises termo energéticas realizadas através do protótipo desenvolvido o nível de detalhamento do modelo BIM não precisa ser muito elevado, no entanto é necessário que informações básicas referente as propriedades dos elementos sejam fornecidas, conforme especificado a seguir:

- **Informações de localização:** Região geográfica, estado, cidade e norte verdadeiro do projeto;
- **Paredes:** Função (interna ou externa), absorvância solar, capacidade térmica e transmitância térmica;
- **Coberturas:** Absorvância solar, capacidade térmica, transmitância térmica e exposição;
- **Pisos:** Capacidade térmica, transmitância térmica, tipo de piso (de alta ou baixa inércia térmica) e exposição;
- **Janelas:** Fator de abertura para ventilação, fator de abertura para iluminação, fator solar do vidro, transmitância térmica do vidro e se possui ou não veneziana;
- **Portas:** Fator de abertura para ventilação, fator de abertura para iluminação, fator solar do vidro, transmitância térmica do vidro, se possui ou não veneziana e se possui fechamento translúcido ou transparente.
- **Ambientes:** Departamento (para informar o número da UH na qual aquele ambiente pertence), se o ambiente é de permanência prolongada ou não, tipo de ambiente (sala ou dormitório no caso dos APPs), exposição do piso (se é uma laje entre pavimentos ou piso em contato com o solo), exposição da cobertura (se é uma laje entre pavimentos ou uma cobertura exposta), se possui pilotis, tamanho da projeção horizontal da sacada ou marquise, caso exista, altura da abertura de ventilação do ático, caso o ambiente possua ático ventilado, e área do *closet*;

4.2.3 SCRIPTS VPL

Esta etapa teve como objetivo construir, por meio dos *scripts* VPL desenvolvidos no Dynamo, um fluxo lógico de extração e importação dos dados, assim como o ordenamento e gestão destes dados para que a correta análise do desempenho termo energético da edificação pudesse ser realizada.

A depender da quantidade de informações a serem gerenciadas nos programas, o Dynamo disponibiliza alguns mecanismos que permitem melhor organizar o código criado. As notas, por exemplo, permitem incluir descrições e rótulos, o que tende a facilitar a leitura e entendimento do programa visual. Além disso, é possível agrupar nós que fazem parte de uma mesma etapa a ser executada. Neste agrupamento, além de ser possível adicionar títulos, é possível também definir cores a cada grupo criado. Estas cores permitem que se tenha uma visão geral das etapas do programa, principalmente quando se tem uma quantidade de relações entre os nós muito grande.

A modo de demonstração, na Figura 4.12 é apresentado o *script* desenvolvido para obter os parâmetros de entrada do metamodelo da INI-R (2018). As cores foram atribuídas de acordo com ações ou elementos que estavam sendo trabalhados no programa. Devido a dimensão e quantidade de nós utilizados, não é possível visualizar com clareza as informações e relações estabelecida entre os nós. Deste modo, a título de exemplificação mais detalhada, na Figura 4.13 é apresentado o sistema inicial onde são identificados e selecionados os APPs da edificação.

A execução do código VPL nesta etapa seguiu a seguinte lógica de processamento:

- 1) **Categories:** Este nó permite selecionar as categorias de elementos que estão incorporadas ao modelo BIM. É por meio dele que a categoria de “ambientes” é selecionada.
- 2) **All Elements of Category:** Cada categoria é composta por elementos que fazem parte do projeto. O uso deste nó permite obter todos estes elementos da categoria, neste caso, todos os ambientes definidos no modelo BIM.
- 3) **Element.GetParameterValueByName:** Como já citado, para identificar se os ambientes são de permanência prolongada ou não, foi criado o parâmetro “APP” no Revit. Através do nó *Element.GetParameterValueByName* é que o valor atribuído a este parâmetro foi obtido. Como se trata de um parâmetro do tipo sim/não, o resultado retornado com o

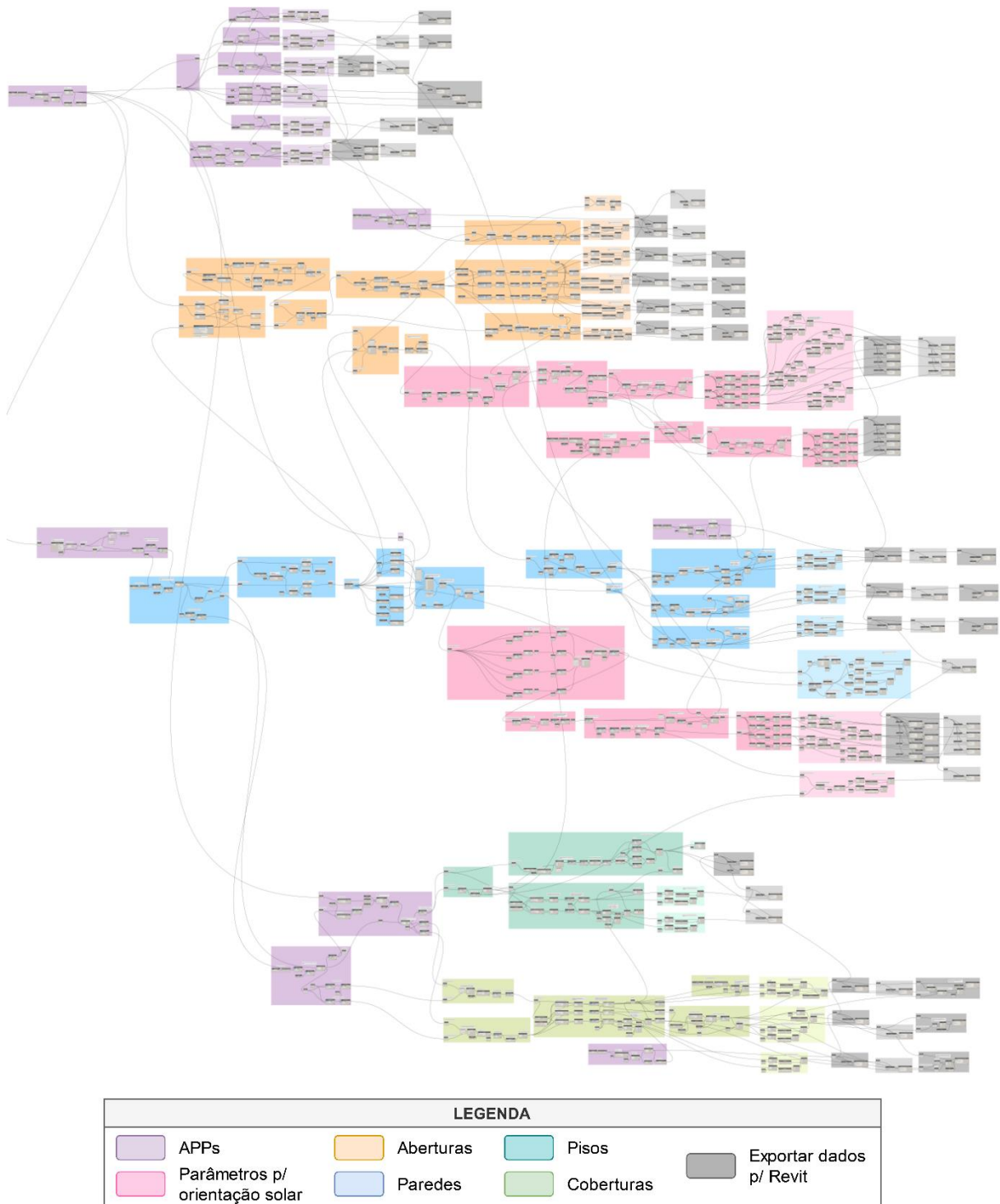
VPL é 1, no caso dos ambientes serem de permanência prolongada, e 0 nos demais casos.

- 4) **==:** Este nó tem a função de verificar se os dados são iguais a regra estabelecida. Neste caso o objetivo era avaliar se o valor do parâmetro “APP” era igual a 1, retornando como resultado *true*, nos casos positivos, ou *false*, quando a igualdade não era estabelecida.
- 5) **List.FilterByBoolMask:** Por fim este nó é utilizado para realizar a filtragem e separação dos ambientes. Neste momento duas listas de saída são geradas: a porta de saída “in” representa os valores retornados como *true* pelo nó anterior, agrupando todos os ambientes definidos como APPs. Na porta de saída “out” foi gerada a lista com os demais ambientes.

Para a construção dos *scripts* VPL, além dos nós internos disponibilizados no próprio Dynamo, foram utilizados também pacotes de nós externos desenvolvidos por terceiros, como o bimorphNodes (3.0.3) e Clockwork for Dynamo 2.x (2.3.0). O *download* destes pacotes foi realizado diretamente no Dynamo e uso deles auxiliaram no desenvolvimento de algumas operações onde a utilização dos comandos internos do Dynamo tornaria o processamento mais difícil e trabalhoso. Para identificar os elementos e as áreas das paredes externas dos APPs, por exemplo, foi utilizado o nó “Room.Finishes” do pacote Clockwork. Este nó recebe como entrada os ambientes definidos no Revit e retorna como saída todas as superfícies que delimitam estes ambientes, identificando a qual elemento (parede, piso, forro ou telhado) do projeto esta superfície esta associada, a área destas superfícies e seus materiais de acabamento.

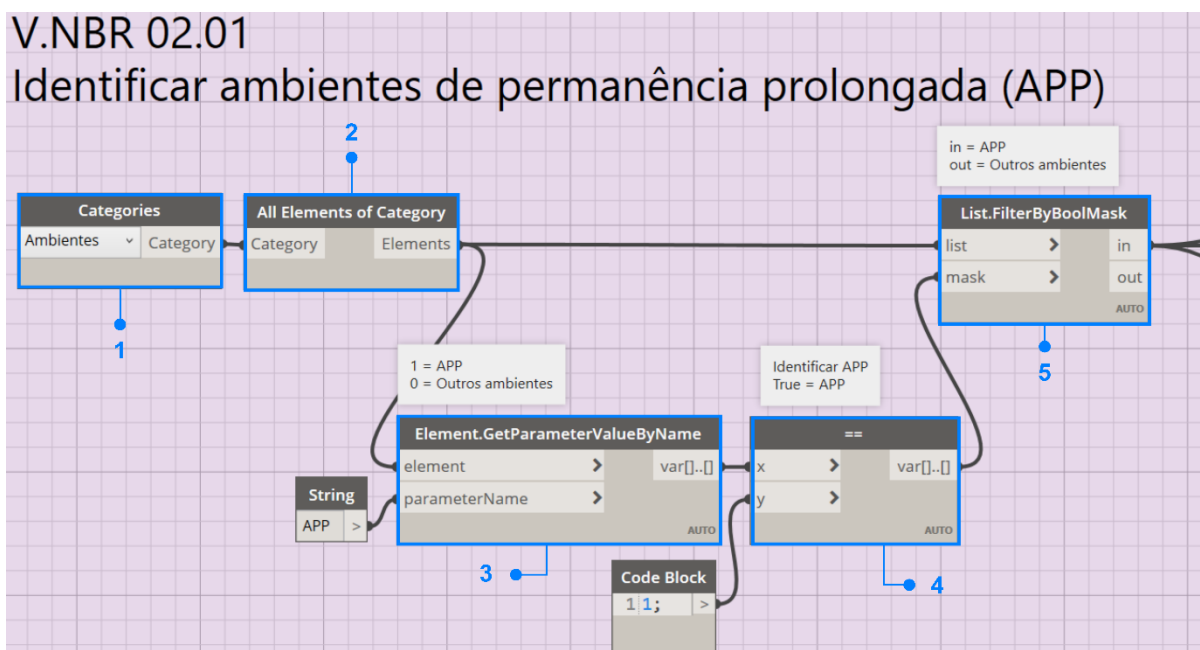
Como já mencionado na metodologia, a lógica da ferramenta e o processo de desenvolvimento dos *scripts* foi subdividido em sete etapas, que serão descritas de forma mais detalhada a seguir. Devido a quantidade de informações gerenciadas nos *scripts* e a impossibilidade das relações entre os nós serem visualizados de forma clara, estas etapas serão explicadas de forma mais ampla a partir de fluxogramas elaborados com o intuito de ilustrar o fluxo de informações de cada programa desenvolvido. Buscou-se utilizar nos fluxogramas o mesmo sistema de cores aplicado aos *scripts*, de modo a melhor correlacionar os códigos VPL com os fluxogramas criados. Adicionalmente, todos os *scripts* VPL construídos durante o desenvolvimento do protótipo podem ser visualizados no APÊNDICE C.

Figura 4.12 - *Script VPL desenvolvido para obter os parâmetros de entrada do metamodelo da INI-R (2018)*



Fonte: A autora (2022)

Figura 4.13 – Grupo de comando criado no Dynamo para identificar e selecionar os APPs



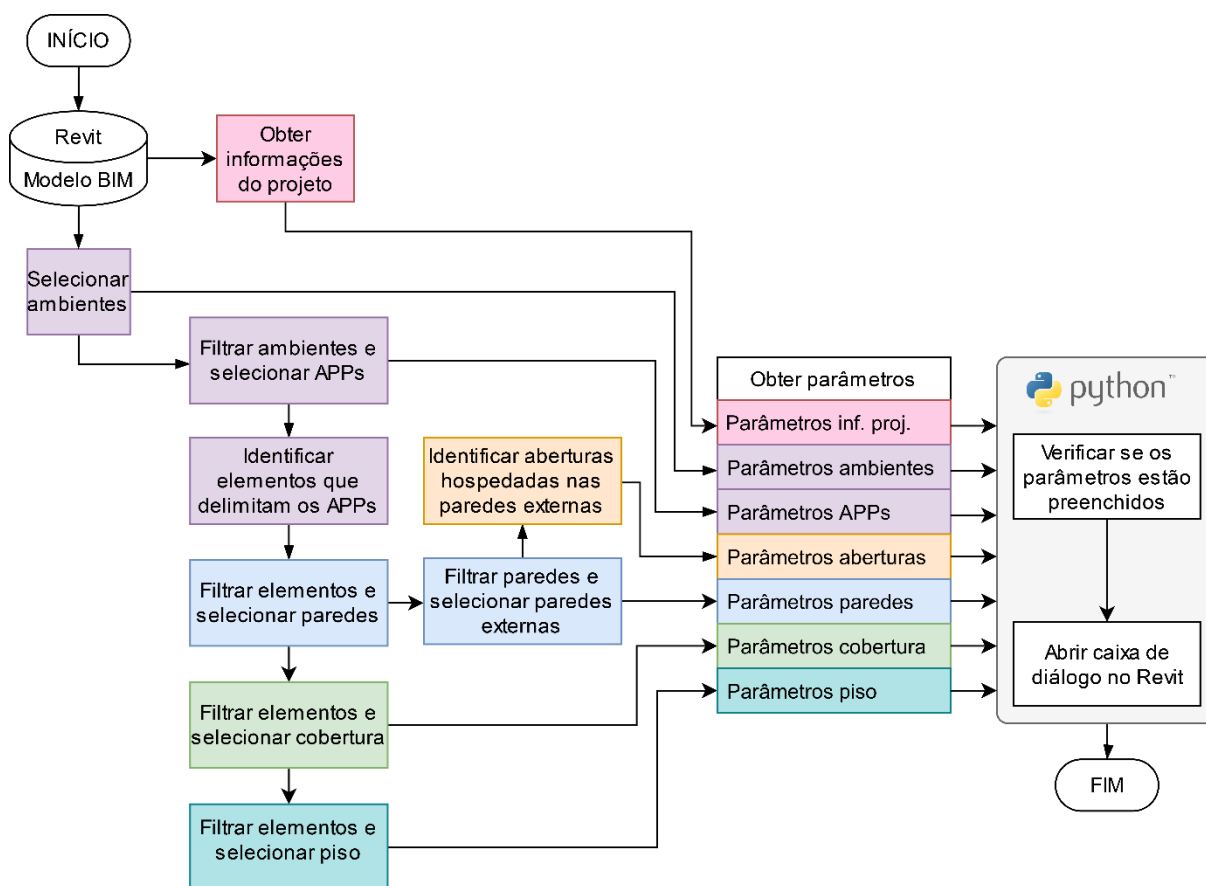
Fonte: A autora (2022)

4.2.3.1 Verificação dos dados

O Dynamo é um *software* que possui uma grande quantidade de funções disponíveis em sua biblioteca de nós e que permite a criação de diversas rotinas através do uso do VPL. Porém, caso as rotinas geradas sejam mais complexas, sejam utilizadas com frequência ou caso se deseje obter gráficos mais claros, limpos e concisos, o Dynamo oferece a opção de criação de nós personalizados ou de *scripts* Python, que podem ser gerados a partir do acesso à API do Revit. Estes nós representam um interface de *scripts* textuais dentro do ambiente de programação visual (DYNAMO, 2019).

Para realizar a verificação dos dados, nós Python foram utilizados de modo a possibilitar o acesso a função “*TaskDialog*”, responsável pela criação de caixas de diálogo na tela do Revit. Essas caixas foram utilizadas para exibir mensagens de erro ao usuário caso parâmetros necessários para as análises de desempenho termo energético não tenham sido preenchidas pelo projetista durante o processo de modelagem virtual da edificação. Na Figura 4.14 é apresentado o fluxo de informações do *script* VPL desenvolvido.

Figura 4.14 - Fluxo de informações do *script* VPL para verificação dos dados do modelo virtual BIM



Fonte: A autora (2022)

A execução do código VPL nesta etapa seguiu a seguinte lógica de processamento:

- 1) Para realizar a verificação dos dados é necessário, inicialmente, que todos os elementos do projeto a serem verificados sejam identificados e selecionados, para, posteriormente, ser examinado se os seus parâmetros estão preenchidos. Deste modo, a primeira ação a ser realizada pelo programa é a identificação e seleção das informações de projeto, assim como de todos os ambientes existentes.
- 2) Como a NBR 15575 (2021) e a INI-R (2018) especificam que apenas os APPs sejam avaliados, alguns parâmetros precisam estar preenchidos apenas para estes ambientes. Portanto, para identificação e seleção dos APPs, foi utilizado o grupo de comando já apresentado na Figura 4.13, onde após a identificação de todos os ambiente definidos no modelo BIM, a filtragem e seleção dos APPs é realizada.
- 3) Cada APP é delimitado por elementos construtivos (paredes, pisos e coberturas) que precisam ser identificados para dar prosseguimento as análises a serem realizadas. Para identificar estes elementos, foi utilizado o nó “*Room.Finishes*” do pacote *Clockwork*, já

mencionado anteriormente. Este nó retorna como resultado uma lista contendo todos os elementos delimitadores do ambiente, sendo necessário, portando, filtrar estes elementos e separá-los em listas distintas de acordo com a categoria a que eles pertencem. No caso das paredes, estas ainda precisam passar por outro processo de filtragem para que apenas as paredes externas sejam selecionadas.

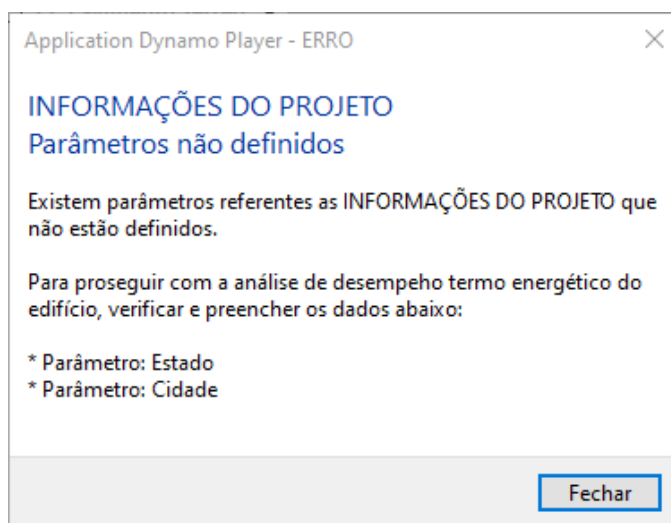
- 4) Para finalizar o processo de seleção dos elementos, falta a identificação das aberturas. Esta etapa é subdividida em três processos: identificar as aberturas existentes nos APPs, identificar todas as aberturas hospedadas nas paredes externas da edificação e, por último, correlacionar os dados para obter as aberturas de cada APP e que estejam localizadas apenas nas paredes externas.
- 5) O próximo passo é obter todos os parâmetros que precisam estar preenchidos para que as análises de desempenho termo energético possam ser executadas de forma correta. Estes parâmetros referem-se a informações que devem ser fornecidas pelo projetista durante o processo de modelagem.
- 6) Para cada categoria de elementos foi utilizado um nó Python, com exceção da categoria de “Ambientes”, em que dois nós foram utilizados: um para todos os ambientes existentes no projeto e outro apenas para os APPs. Este nó é responsável por verificar se os parâmetros estão preenchidos ou se os campos estão vazios. Caso existam campos em que o projetista não tenha inserido as informações, uma caixa de diálogo será aberta no Revit, exibindo uma mensagem de erro que indica a categoria e os parâmetros que não estão preenchidos. Um exemplo de código Python desenvolvido é apresentado no APÊNDICE D. Na Figura 4.15 é exposto um exemplo de caixa de diálogo aberta quando as informações de cidade e estado não são fornecidas no projeto.

Os parâmetros conferidos pelo *script* VPL são apresentados a seguir:

- **Informações de projeto:** Região geográfica, estado e cidade;
- **Ambientes:** Departamento e APP;
- **APPs:** Tipo de ambiente, exposição do piso, exposição da cobertura, pilotis, tamanho da projeção, altura abertura ventilação ático e área closet;
- **Paredes:** Absortância solar, capacidade térmica e transmitância térmica;
- **Coberturas:** Absortância solar, capacidade térmica, transmitância térmica e exposição;
- **Pisos:** Capacidade térmica, transmitância térmica, tipo de piso e exposição;

- **Janelas:** Fator de abertura para ventilação, fator de abertura para iluminação, fator solar do vidro, transmitância térmica do vidro e veneziana;
- **Portas:** Fator de abertura para ventilação, fator de abertura para iluminação, fator solar do vidro, transmitância térmica do vidro, veneziana e possui fechamento translúcido ou transparente.

Figura 4.15 – Caixa de diálogo do Revit



Fonte: A autora (2022)

4.2.3.2 Informações de localização

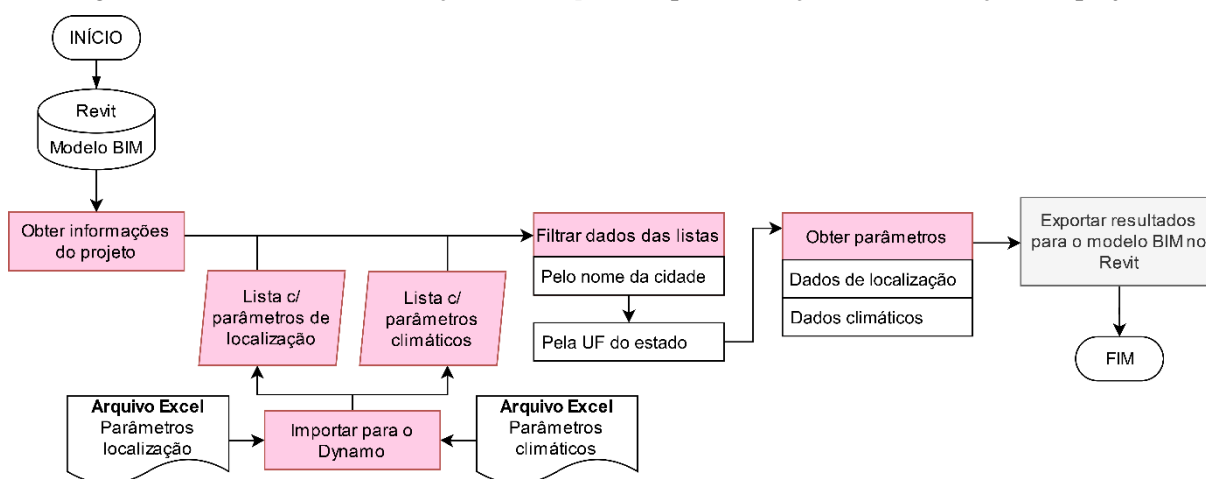
Considerando que o desempenho termo energético de um edifício é diretamente influenciado pelo local onde ele será construído, é natural que tanto a norma de desempenho quanto a instrução normativa utilizem, nos critérios de análise da edificação, de parâmetros que representem este local.

No caso da NBR 15575 (2021) é necessário que a zona bioclimática, assim como a região geográfica e a latitude do local sejam especificados, pois alguns dos valores de referência dos critérios utilizados na norma são definidos de acordo com estas variáveis. Um exemplo é a capacidade térmica das paredes externas, que deve ser igual ou superior a 130 kJ/(m².K) para as zonas bioclimáticas de 1 a 7, não existindo requisito para esse critério quando o edifício estiver localizado na zona bioclimática 8.

No caso da INI-R (2018), além da especificação do grupo climático, utilizado como parâmetro para a definição dos limites inferiores das classes de eficiência energética dos APPs, também é necessário que as variáveis climáticas sejam definidas, uma vez que elas são utilizadas como parâmetros de entrada do metamodelo.

Apesar da importância destas variáveis no processo de análise termo energético da edificação, estas são informações que por vezes o projetista não possui acesso de forma rápida e fácil, o que demandaria um esforço adicional na procura destes dados. Por outro lado, os dados referentes ao estado e a cidade em que o projeto será executado, é algo que já é definido de forma preliminar ao se iniciar o projeto. Deste modo, de forma a facilitar e automatizar a obtenção de todos os dados acima citados é que este *script* foi desenvolvido (Figura 4.16)

Figura 4.16 – Fluxo de informações do *script* VPL para obtenção das informações de projeto



Fonte: A autora (2022)

A execução do código VPL nesta etapa seguiu a seguinte lógica de processamento:

- 1) A partir do modelo virtual BIM desenvolvido no Revit são obtidos os dados referentes as informações de projeto, neste caso a cidade e o estado onde o edifício estará localizado. Paralelamente a isto, dois arquivos do Excel são importados para o Dynamo, o primeiro contendo os parâmetros de localização e o segundo com os dados referentes as variáveis climáticas. O processo de importação destes arquivos retorna como resultado listas contendo todos os dados que estavam presentes nas planilhas do Excel.
- 2) Para cada uma das listas geradas e realizada a filtragem dos dados. O primeiro filtro é realizado de acordo com a cidade do projeto. Como podem existir cidades com o mesmo nome em diferentes estados, uma nova filtragem dos dados é realizada, desta vez de acordo com a UF do estado. Este processo retorna como resultado listas contendo todos os parâmetros de localização e variáveis climáticas associados a cidade e ao estado estabelecidos no projeto.
- 3) A partir das listas geradas na etapa anterior é realizada a coleta dos dados necessários. No caso dos parâmetros de localização foram obtidas informações de latitude, zona

bioclimática e grupo climático. Já para as variáveis climáticas obteve-se os valores de TMA, dpT, AMA e dpA.

- 4) A etapa final é a exportação dos dados para o modelo BIM.

4.2.3.3 Orientação das fachadas

Assim como alguns dos valores de referência da NBR 15575 (2021) são definidos de acordo com variáveis referentes a localização, a orientação das paredes também é um parâmetro utilizado durante o processo de análise do desempenho térmico da envoltória. Já na instrução normativa INI-R (2018) as orientações das paredes externas influenciam diretamente na determinação de dois parâmetros de entrada do metamodelo: área de fachada e fator de vidro na fachada. Este último representa a razão entre a área das aberturas em relação à área da fachada correspondente. Para ambos os parâmetros os cálculos são realizados de acordo com a orientação da fachada, sendo apresentados os resultados, caso existente, para as orientações norte, sul, leste e oeste.

O Revit ainda não possui a funcionalidade de detectar, de forma automática, a orientação das paredes. Além disto, a orientação foi um parâmetro criado no *template* desenvolvido como sendo de instância, uma vez que um mesmo tipo de parede pode ser definida para todas as fachadas da edificação, mas não necessariamente, todas elas terão a mesma orientação. Com isto, a depender da quantidade de paredes existentes no projeto, analisar e definir a orientação de cada parede pode ser um processo demorado e propenso a erros. Deste modo, também foi adicionada as funcionalidades do protótipo a obtenção automatizada da orientação das fachadas. O fluxo de informações do *script* VPL desenvolvido é apresentado na Figura 4.17.

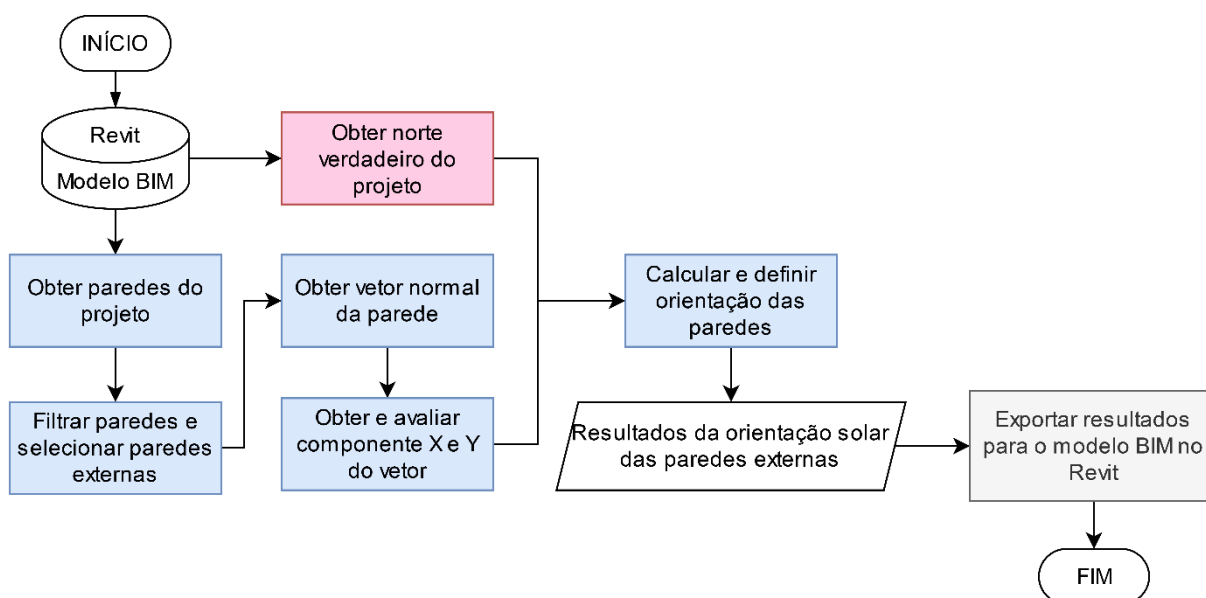
No Revit, cada parede possui um vetor posicionado perpendicularmente a superfície externa da parede. Este vetor, denominado de vetor normal, é o principal elemento para que o processo de obtenção da orientação das fachadas seja automatizado. Por este motivo é tão importante que ainda na etapa de modelagem virtual da edificação seja dada atenção para a direção em que estão orientadas as faces internas e externas destas paredes.

A execução do código VPL nesta etapa seguiu a seguinte lógica de processamento:

- 1) Inicialmente o *script* VPL seleciona todas as paredes utilizadas no modelo BIM, sendo realizado, em seguida, a filtragem e seleção das paredes externas. As paredes modeladas no Revit já possuem de forma nativa um parâmetro de tipo chamado “função”. Com este parâmetro é possível especificar se a parede é externa ou interna. A partir deste

parâmetro é que foi possível identificar, no Dynamo, quais eram as paredes externas do projeto.

Figura 4.17 – Fluxo de informações do *script* VPL para obtenção da orientação solar das fachadas

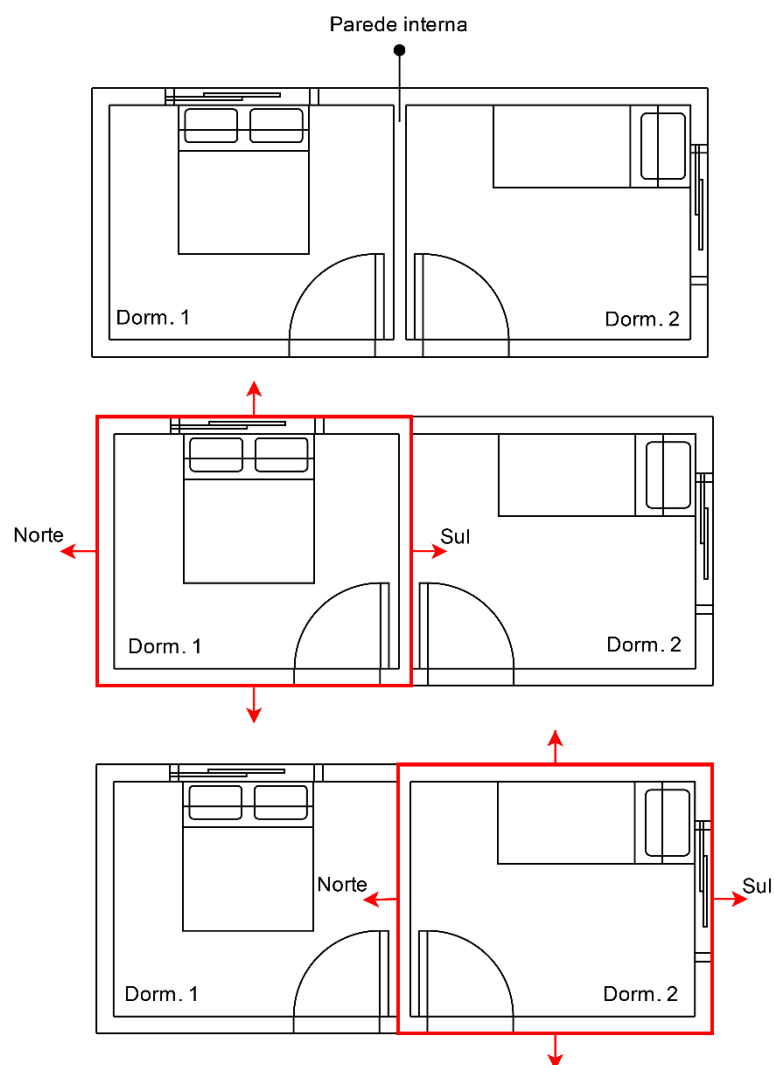


Fonte: A autora (2022)

- 2) Para cada parede externa selecionada foi detectado o vetor normal localizado na direção da superfície externa da parede. Esses vetores foram decompostos, sendo obtidos os seus componentes “x” e “y”.
- 3) A partir das coordenadas (x e y) de cada vetor, e utilizando funções trigonométricas para as análises, foram atribuídos ângulos específicos a estes vetores, que correlacionados com o norte verdadeiro de projeto, permitiram que fossem definidas as direções cardinais norte, sul, leste ou oeste de cada fachada.
- 4) A etapa final é a exportação dos dados para o modelo BIM.

Vale ressaltar que este *script* é utilizado para obter apenas a orientação das paredes externas. Caso fosse necessário identificar a orientação das paredes internas, teriam que ser realizadas adaptações no código desenvolvido. Como as paredes internas realizam a divisão entre os ambientes, neste caso, a principal questão a ser solucionada seria o fato de que uma mesma parede apresentaria orientações diferentes a depender do ambiente que se está analisando, como exemplificado na Figura 4.18.

Figura 4.18 – Orientação paredes internas



Fonte: A autora (2022)

Como o *script* desenvolvido utiliza a face externa da parede como referência para verificação da orientação, apenas uma orientação é definida, independentemente do ambiente a que a parede pertença.

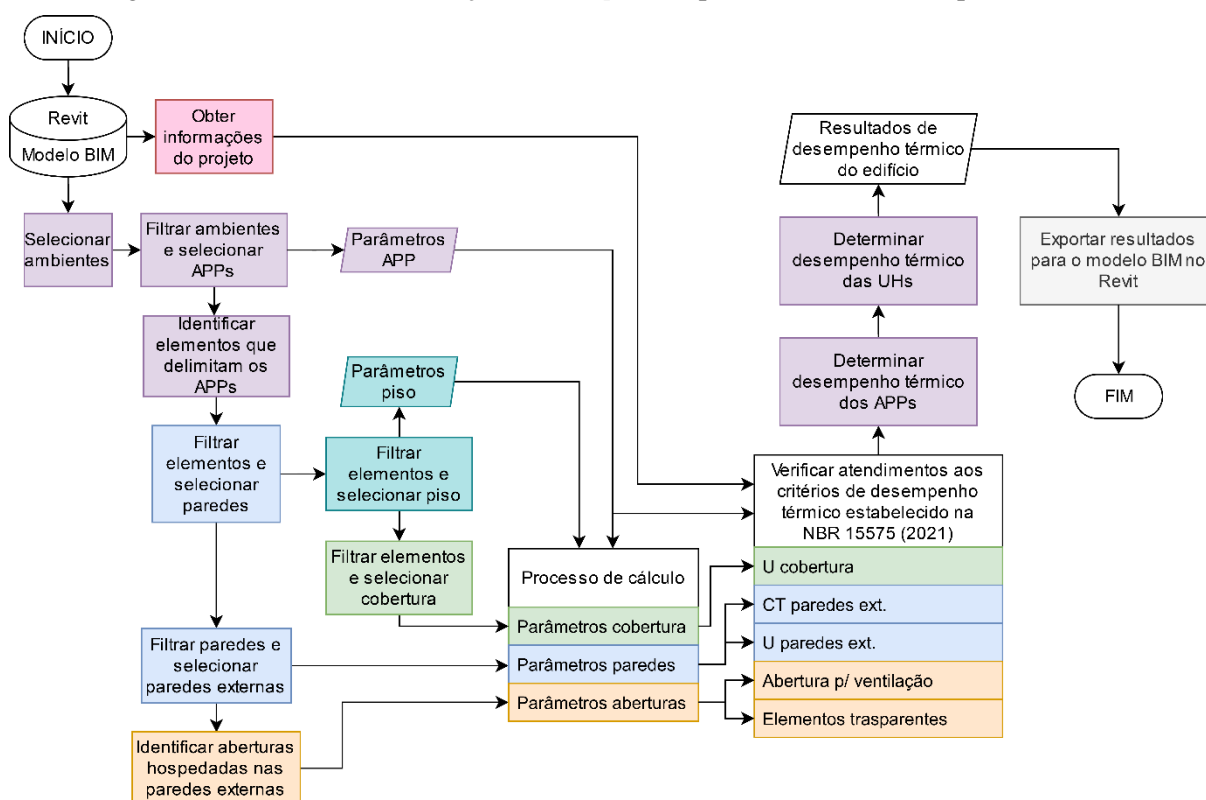
4.2.3.4 Análise de desempenho térmico

Uma vez que todos os dados iniciais necessários para o estudo termo energético da edificação já foram especificados, seja pelo projetista durante o processo de modelagem da edificação ou através da execução dos códigos VPL citados anteriormente, a etapa de análise do desempenho pode ser efetivamente iniciada.

A NBR 15575 (2021) especifica cinco critérios para análise do desempenho térmico, quatro deles referentes as vedações verticais externas e um para cobertura (Quadro 4.1). Para uma melhor organização do fluxo de informações do *script*, os critérios das vedações verticais

foram subdivididos em duas categorias: critérios relacionados diretamente com as propriedades térmicas das paredes externas e critérios relacionadas as aberturas. Na Figura 4.19 é apresentado o fluxo de informações do *script* VPL desenvolvido para análise do desempenho térmico. Este fluxo foi elaborado com base no procedimento simplificado de avaliação de desempenho térmico especificado na NBR 15575 (2021) e conforme apresentado na Figura 3.7 da metodologia.

Figura 4.19 - Fluxo de informações do *script* VPL para análise do desempenho térmico



Fonte: A autora (2022)

A execução do código VPL nesta etapa seguiu a seguinte lógica de processamento:

- 1) Como a NBR 15575 (2021) especifica que apenas os APPs sejam avaliados, a primeira ação a ser realizada pelo programa é a identificação e seleção destes ambientes, conforme exemplificado na Figura 4.13.
- 2) Para dar prosseguimento a análise é necessário identificar e selecionar os elementos construtivos que delimitam os APPs. O processo é realizado conforme já descrito nas etapas 3 e 4 do *script* de verificação dos dados.
- 3) O próximo passo é calcular os parâmetros que serão analisados ou que serão utilizados no processo de análise do desempenho térmico. No caso da capacidade térmica e transmitância térmica, por exemplo, apesar destes parâmetros já terem sido definidos

pelo usuário, caso exista mais de um tipo de parede ou cobertura sendo utilizado em um mesmo ambiente, é realizado o cálculo ponderado destes valores de acordo com a área que cada elemento ocupa. Vale ressaltar também que parâmetros auxiliares são utilizados durante o processamento dos cálculos, como a área de piso dos APPs. Todo esse processo foi realizado conforme os métodos de cálculo estabelecidos na NBR 15575-1/2021: Requisitos gerais, NBR 15575-4/2021: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE e NBR 15575-5/2021: Requisitos para os sistemas de coberturas.

- 4) Uma vez que todos os parâmetros foram calculados, é executada a verificação ao atendimento dos critérios de desempenho térmico estabelecidos na norma. Esta verificação é realizada comparando-se os parâmetros da edificação com os valores de referência da norma. Na maioria dos casos, estes valores de referência são estabelecidos de acordo com outros parâmetros, como a zona bioclimática e região geográfica, que são parâmetros referentes a localização do projeto.
- 5) Caso o APP atenda aos cinco critérios de desempenho da norma, é definido que aquele ambiente apresenta desempenho térmico mínimo, caso contrário é indicado que o procedimento de simulação seja utilizado para a análise. Sendo avaliado os APPs, o próximo passo é verificar as UHs. Para isto, é necessário que os APPs sejam organizados de acordo com a UH a que pertencem, possibilitando que projetos com mais de uma UH, como edifícios multifamiliares, possam ser avaliados corretamente. Nesta etapa, caso algum dos APPs das UHs não tenha recebido desempenho térmico mínimo é informado que toda a UH seja avaliada pelo procedimento de simulação.
- 6) Por fim é realizada a exportação para o modelo BIM de todos os dados gerados. Neste caso, não é só o resultado final de desempenho que é gravado no Revit, mas também os parâmetros calculados, permitindo assim que o projetista possa melhor avaliar estes parâmetros caso o desempenho mínimo não seja alcançado.

A norma de desempenho NBR 15575 (2021) recomenda que seja considerada a degradação das superfícies dos elementos construtivos, o que afeta diretamente o valor da absorvância, parâmetro este utilizado nas avaliações e que influencia diretamente nos resultados finais de desempenho térmico. Deste modo, duas análises de desempenho térmico foram realizadas, a primeira considerando o valor inicial de projeto da absorvância e a segunda considerando valor da absorvância calculado após degradação de três anos.

Com relação ao desenvolvimento deste *script*, alguns pontos precisam ser considerados. O primeiro deles diz respeito a identificação dos elementos que delimitam os APPs. O *script* busca os elementos que estão em contato direto com o ambiente, deste modo é preciso atentar para os valores atribuídos as propriedades térmicas da cobertura, quando esta for composto por mais de um elemento construtivo, como forro e telhado ou laje e telhado, por exemplo. Nestes casos, o primeiro elemento em contato com o ambiente, forro ou laje, precisa que seus parâmetros térmicos sejam especificados com o valor que representa as propriedades de todo o conjunto. Na construção do *template*, os modelos de pisos, forros e telhados já foram pré-configurados levando estes critérios em consideração.

Outro ponto importante diz respeito ao uso das lajes nas coberturas. No Revit a modelagem desta laje, seja ela de cobertura ou não, é realizada utilizando elementos que pertencem a categoria de piso. Deste modo, durante o processo de filtragem dos elementos, para ser possível separar o que era piso do chão do que era piso de cobertura, foi verificado o nível em que o elemento estava associado. Caso o elemento estivesse no mesmo nível do ambiente ele era selecionado como piso do chão, caso estivesse em um nível superior ele era adicionado à lista de elementos da cobertura.

Por fim, é importante esclarecer o conceito de aberturas. De acordo com a NBR 15575 (2021) e INI-R (2018) abertura são todos os vãos da envoltória da edificação, abertos ou com fechamento transparente/translúcido, que permitam a entrada de luz e/ou ar. Neste caso, além das janelas, portas podem ser consideradas como aberturas desde que possuam mais da metade de sua área composta por material transparente ou translúcido. Por este motivo o parâmetro “Possui fechamento translúcido ou transparente” foi criado, permitindo que dentro do *script* VPL as portas possam ser filtradas, de modo a serem selecionadas apenas as portas consideradas como aberturas.

4.2.3.5 *Análise de eficiência energética*

Diferentemente da etapa de análise do desempenho térmico, em que todo o processo de obtenção e cálculo dos parâmetros a serem avaliados, assim como a análise do desempenho em si, foram realizados através de um único *script* VPL, para o estudo de eficiência energética da edificação, os *scripts* desenvolvidos tiveram que ser desmembrados em diferentes etapas devido a grande quantidade de dados que precisam ser processados e gerenciados. Além disto, para que alguns destes *scripts* possam ser executados, é necessário que outros já tenham sido

finalizados, deste modo, a separação dos processos facilitou este sequenciamento. A análise se inicia com a obtenção dos parâmetros de entrada solicitados pela INI-R, seguindo para predição das cargas térmica, e, por fim, a execução da análise de eficiência energética da envoltória das edificações, que inclui a determinação da classe de eficiência energética da envoltória, assim como o cálculo do consumo energético. Este fluxo de trabalho foi elaborado com base no procedimento para classificação da envoltória pelo método simplificado e cálculo do consumo energético especificado pela INI-R (2018) e conforme apresentado na Figura 3.6 da metodologia.

A. Parâmetros de entrada INI-R

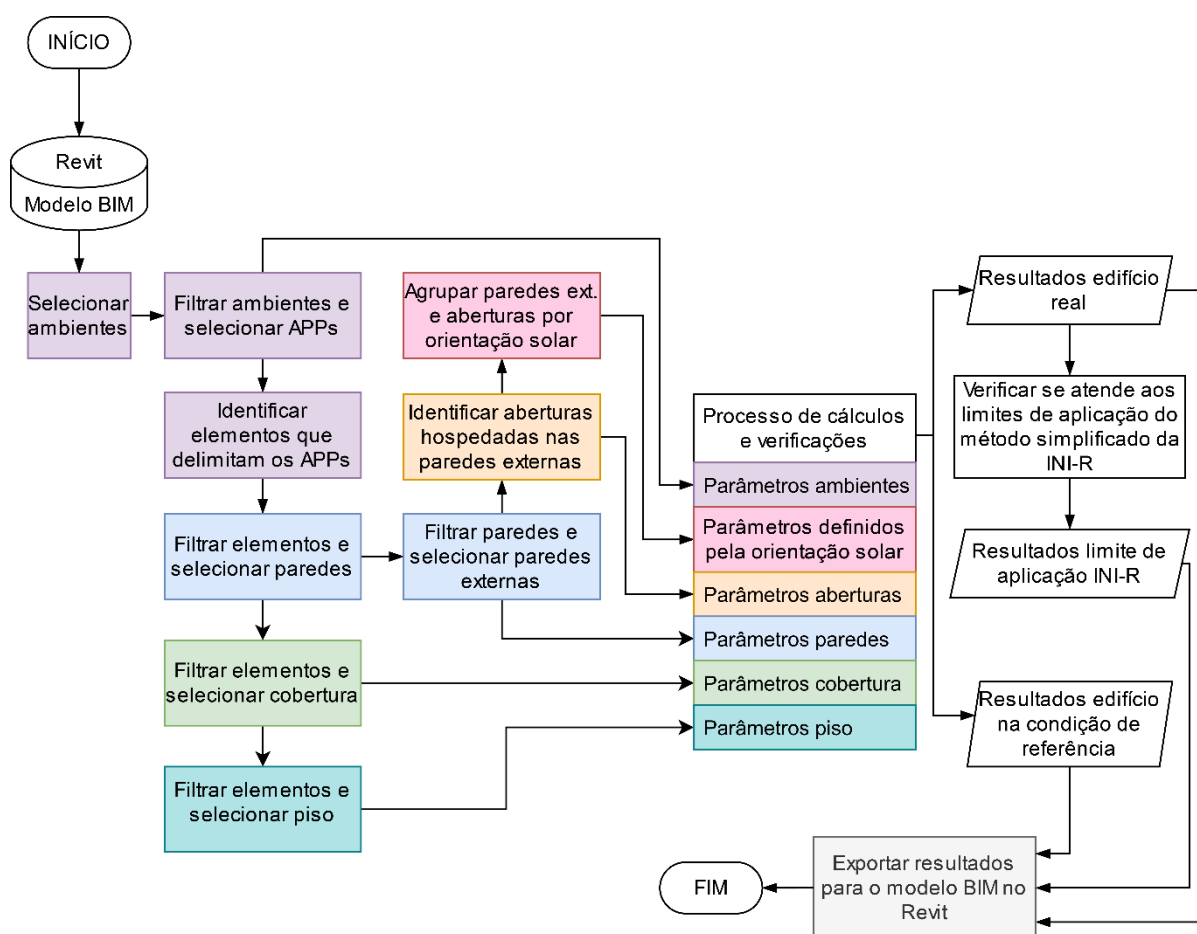
A primeira etapa para que a análise de eficiência energética possa ser realizada é a obtenção de todos os parâmetros necessários para a execução do metamodelo de predição das cargas térmicas. Como comentado no capítulo de Revisão da Literatura, o metamodelo funciona com base em 32 parâmetros de entrada (Quadro 4.2), 28 referentes a edificação e 4 relacionados com as variáveis climáticas. Com o *script* “Informações de localização” os parâmetros climáticos já são obtidos automaticamente a partir de um arquivo externo, sendo, posteriormente, armazenados no Revit. Deste modo, o *script* “Parâmetros de entrada INI-R” destina-se a obter e calcular apenas os parâmetros referentes a edificação, dados estes definidos pela INI-R (2018) e obtidos a partir do modelo virtual BIM criado no Revit. Na Figura 4.20 é apresentado o fluxo de informações do *script* VPL desenvolvido.

A execução do código VPL nesta etapa seguiu a seguinte lógica de processamento:

- 1) Como a INI-R (2018) especifica que apenas os APPs sejam avaliados, a primeira ação a ser realizada pelo programa é a identificação e seleção destes ambientes, conforme exemplificado na Figura 4.13.
- 2) Para dar prosseguimento a análise é necessário identificar e selecionar os elementos construtivos que delimitam os APPs. O processo é realizado conforme já descrito nas etapas 3 e 4 do *script* de verificação dos dados.
- 3) O próximo passo é calcular os parâmetros de entrada do metamodelo. Nesta etapa dois processos foram desenvolvidos. O primeiro deles consistiu em obter os parâmetros de entrada referentes ao edifício real, neste caso, o edifício modelado virtualmente no Revit. Como o método para a classificação da eficiência energética da edificação é baseado na comparação do edifício real com um edifício na condição de referência, é

necessário que os dados referentes a esta edificação de referência também sejam determinados. De acordo com a INI-R (2018) a edificação de referência possui as mesmas características geométricas e orientação solar do modelo real, porém adotando valores de referência, estabelecidos na própria instrução normativa, para as características construtivas e das aberturas. Deste modo, os parâmetros de entrada do metamodelo para a edificação de referência também são definidos.

Figura 4.20 - Fluxo de informações do *script* VPL para obtenção dos parâmetros de entrada do metamodelo



Fonte: A autora (2022)

- 4) Uma vez que todos os parâmetros foram obtidos, é verificado se os parâmetros de entrada do edifício real atendem aos limites de aplicação do método simplificado, pois uma vez que não atendam é indicado que o método de simulação seja utilizado para realizar a análise de eficiência energética. Esta verificação é realizada comparando-se os parâmetros da edificação real com os valores estabelecidos na instrução normativa, sendo indicado, para cada parâmetro, se eles atendem ou não aos limites.

- 5) Por fim é realizada a exportação para o modelo BIM de todos os dados gerados, desde os parâmetros de entrada do edifício real e de referência até o resultado de atendimento aos limites de aplicação do método simplificado.

Cabe destacar que as considerações realizadas no *script* “Análise de desempenho térmico” quanto aos elementos construtivos do modelo BIM também se aplicam aqui.

B. Predição das cargas térmicas

Para ser possível executar o metamodelo, em redes neurais, de predição das cargas térmicas, o nó Python teve que ser utilizado. Para executar o metamodelo é necessário que os parâmetros de entrada estejam em um arquivo no formato “csv”. Além disso, os resultados retornados pelo metamodelo também são apresentados neste formato. Deste modo, para a execução do metamodelo, três *scripts* VPL foram criados. O primeiro deles para exportar os parâmetros de entrada para o arquivo “csv”, o segundo para executar o metamodelo e o terceiro para importar os resultados do arquivo “csv” para o Revit. Os três algoritmos não foram implementados em um único código devido a lógica de execução do VPL. Quando existem nós que não estão interligados, eles são executados no Dynamo de forma simultânea. Ao tentar executar os três algoritmos em um mesmo *script*, o metamodelo começava a ser executado antes dos arquivos com os parâmetros de entrada terem sido criados, gerando, conseqüentemente falha na predição das cargas térmicas.

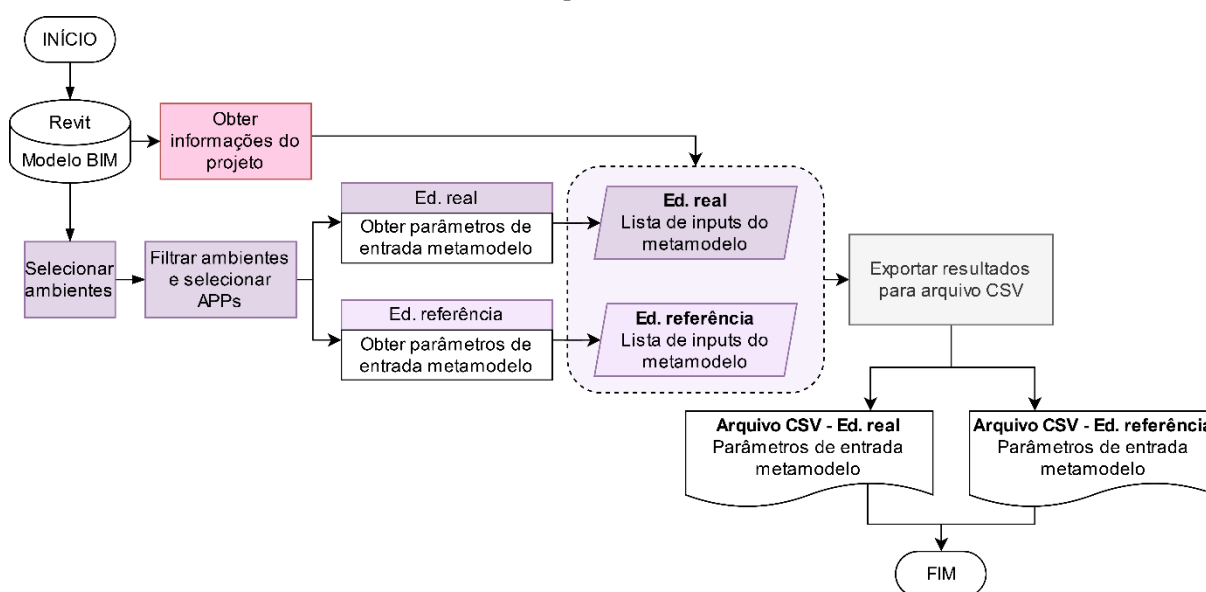
B.1 Gerar arquivo “csv” contendo os parâmetros de entrada do metamodelo

O fluxo de informações do *script* VPL para exportar os parâmetros de entrada para o arquivo “csv” é apresentada na Figura 4.21. A execução do código VPL nesta etapa seguiu a seguinte lógica de processamento:

- 1) Identificação e seleção dos APPs. Esta etapa utiliza o grupo de comando já apresentado na Figura 4.13. Neste momento inicial também são obtidas as variáveis climáticas, que foram gravadas no Revit na categoria de “Informações do projeto”, conforme processo descrito no *script* “Informações de localização”.
- 2) Para cada APP são obtidos os *inputs* do metamodelo referentes a edificação real e a edificação na condição de referência. Além dos parâmetros de entrada solicitados para a execução do metamodelo, o nome e o ID de cada APP também foram obtidos para

serem transferidos para o arquivo. O Revit ID é um código numérico único atribuído a cada elemento pertencente ao modelo virtual BIM. Registrar esse parâmetro no arquivo de *inputs* será importante no processo posterior de importação dos resultados do metamodelo, que será explicado mais à frente.

Figura 4.21 - Fluxo de informações do *script* VPL para exportar os parâmetros de entrada para um arquivo “csv”



Fonte: A autora (2022)

- 3) Como cada parâmetro de entrada é obtido de forma isolada, é necessário unir todos os dados em uma única lista. Deste modo, duas listas são geradas: parâmetros de entrada da edificação real e parâmetros de entrada da edificação de referência. Adicionalmente, em cada uma das listas, foram adicionados os quatro parâmetros que representam as variáveis climáticas.
- 4) Para finalizar, cada uma das listas são exportadas para um arquivo “csv” distinto.

B.2 Execução do metamodelo

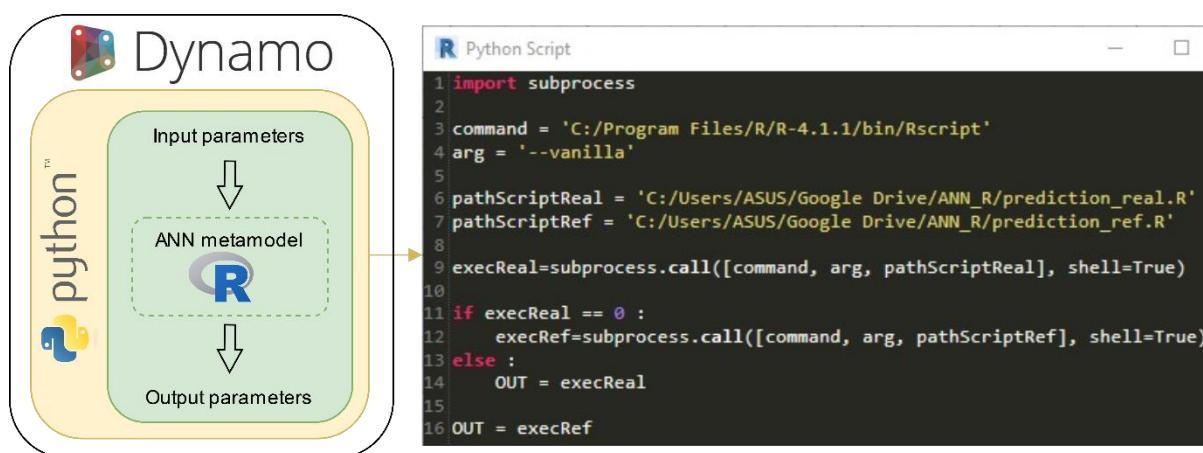
O algoritmo de predição das cargas térmicas, apresentado no trabalho de Bracht, Melo e Lamberts (2021) e aqui utilizado, foi desenvolvido usando a linguagem de programação R. O programa R possui diversos pacotes e funções para RNA, sendo o pacote “caret” utilizado para treinamento e gerenciamento dos metamodelos utilizados na instrução normativa (MELO, A. P. *et al.*, 2016). Portanto, para que o algoritmo de predição das cargas térmicas possa ser executado, é necessário que este pacote esteja instalado na máquina (computador) em que se está trabalhando. Para facilitar o uso do protótipo por terceiros, foi adicionado ao *script* R o

comando para a instalação automática deste pacote, não sendo necessário que o usuário da ferramenta precise fazer isto de modo manual. Além do pacote, o *software* R também precisa ser instalado para executar o metamodelo. No desenvolvimento deste trabalho foi utilizado a versão 4.1.1 (2021-08-10) do referido *software*.

De modo resumido, o *script* VPL desenvolvido utiliza a função do nó Python do Dynamo para executar o algoritmo em R, que por sua vez executa os metamodelos de predição das cargas térmicas. É o *script* em R que realiza a leitura dos parâmetros de entrada do metamodelo armazenados no arquivo “csv” e retorna como resultado, ao fim do processo, um novo arquivo “csv” contendo as cargas térmicas de refrigeração e aquecimento de cada APP.

De modo a não sobrecarregar o processamento do computador, o *script* Python foi criado para executar, primeiramente, o metamodelo com os dados da edificação real e, em seguida, com os dados da edificação na condição de referência. Na Figura 4.22 é apresentado o fluxo de trabalho associado a execução do metamodelo e o código Python utilizado para integrar o metamodelo em redes neurais ao BIM. Cabe destacar que este *script* foi desenvolvido utilizando apenas o nó “Python Script”.

Figura 4.22 - Fluxo de trabalho do *script* VPL para executar o metamodelo de predição das cargas térmicas



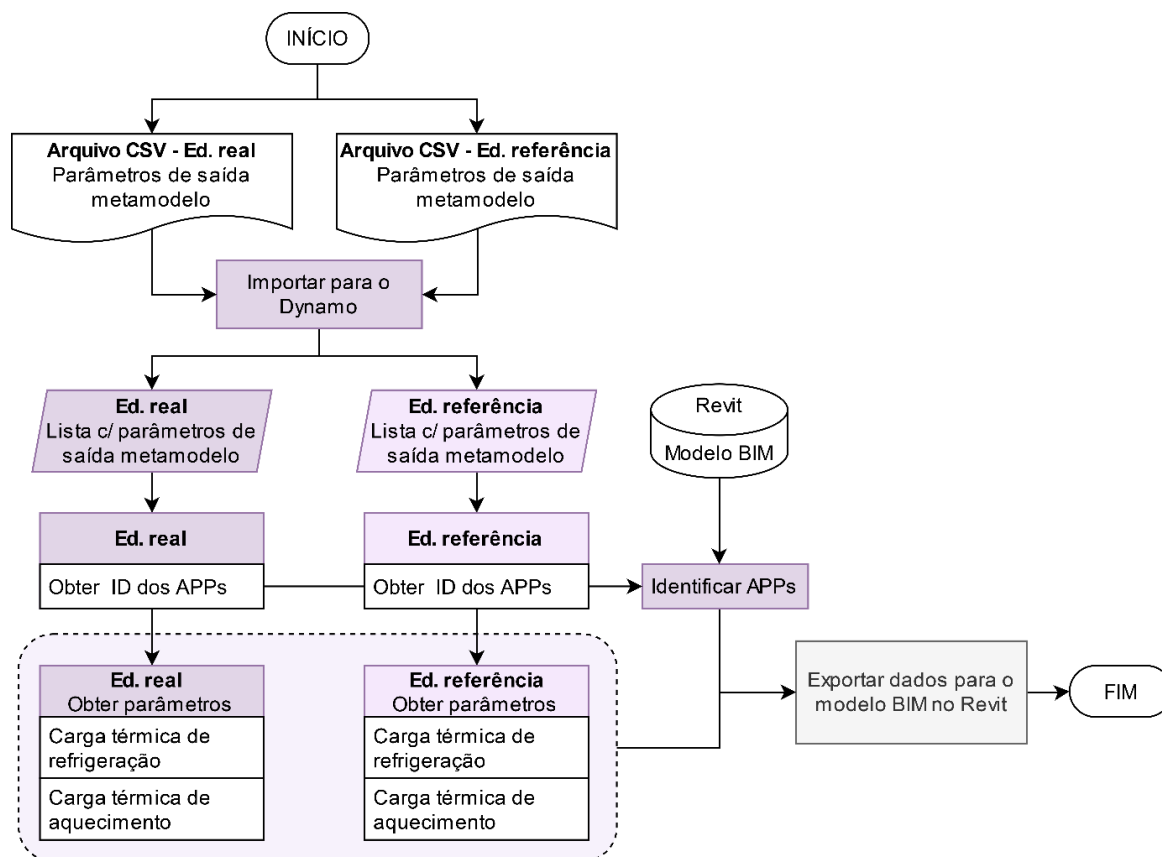
Fonte: A autora (2022)

B.3 Importar para o Revit arquivo “csv” contendo os resultados do metamodelo

A execução do algoritmo de predição das cargas térmicas gera como resultado um arquivo “csv” contendo os dados de saída do metamodelo. Este arquivo *output* deve ser importado para o Dynamo para que os dados de carga térmica de refrigeração e aquecimento dos ambientes possam ser armazenados no Revit. Na Figura 4.23 é apresentado o fluxo de

informações do *script* VPL para importar para o Revit os dados de saída do metamodelo armazenados no arquivo “csv”.

Figura 4.23 - Fluxo de informações do *script* VPL para importar, do arquivo “csv” para o Revit, os resultados do metamodelo



Fonte: A autora (2022)

A execução do código VPL nesta etapa seguiu a seguinte lógica de processamento:

- 1) De forma inversa ao fluxo de trabalho utilizado para criar os arquivos “csv” (Figura 4.21), neste caso o fluxo de dados se inicia com a obtenção dos arquivos “csv” onde estão armazenados os parâmetros de saída do metamodelo. Estes arquivos, são importados para o Dynamo na forma de listas, sendo, por tanto, geradas duas listas distintas, uma com os resultados da edificação real e outra para a edificação de referência.
- 2) Para que os resultados possam ser armazenados de forma correta no modelo virtual do Revit é necessário identificar o ID dos APPs, pois é através dele que a correta correlação entre os APPs e os parâmetros de saída do metamodelo pode ser realizada. O arquivo de *outputs* “csv” gerado pelo metamodelo contém não apenas os dados referentes as cargas térmicas de refrigeração e aquecimento dos APPs. Ele apresenta novamente os

dados de entrada que foram utilizados no metamodelo e adiciona, ao final, os resultados de predição das cargas térmicas. Dentre esses parâmetros de entrada, como já foi citado, encontra-se o ID de cada APP.

- 3) Por fim, após obter as cargas térmicas de refrigeração e aquecimento de cada APP, os dados são exportados para o modelo BIM.

C. Análise de eficiência energética

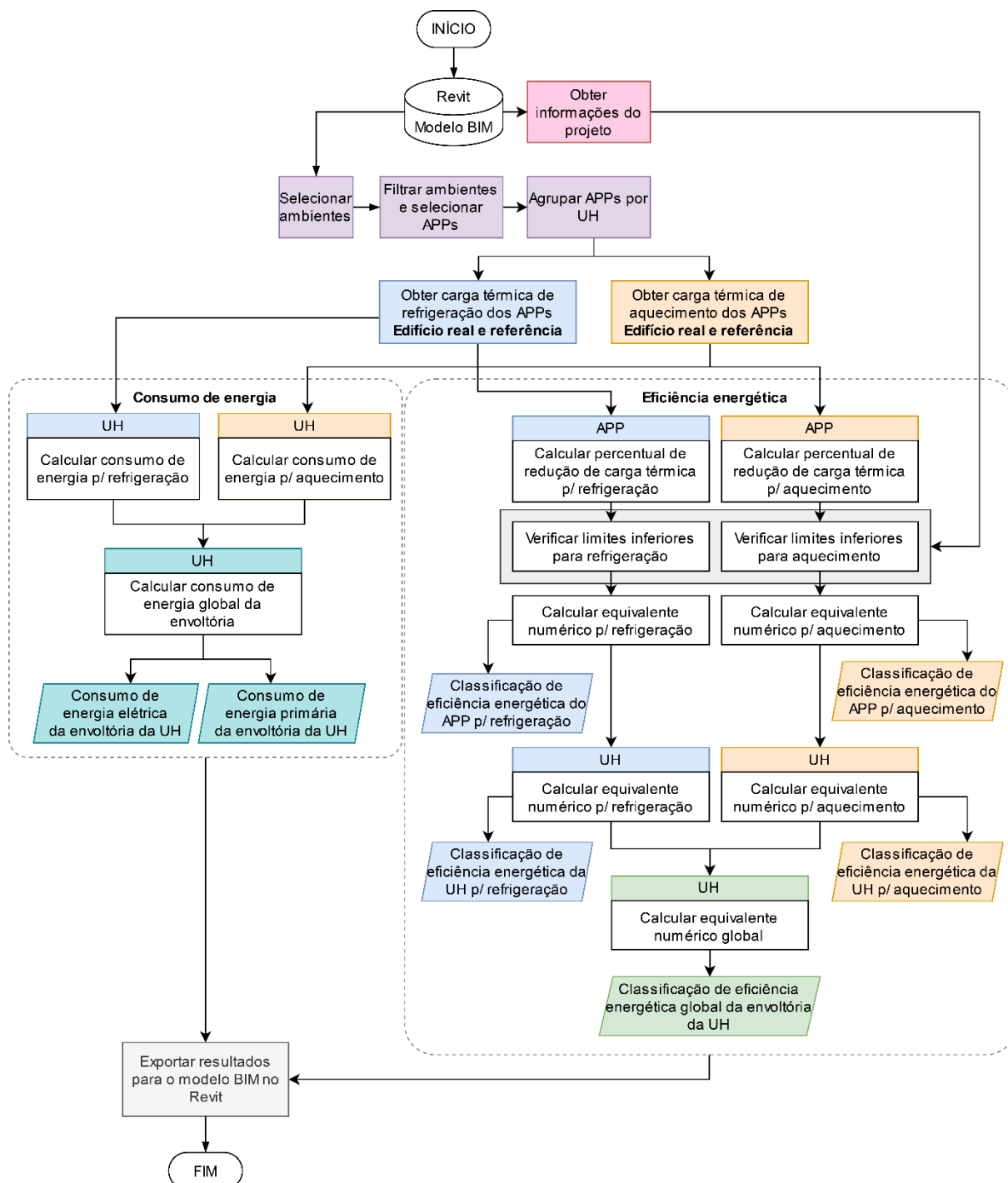
A determinação da classe de eficiência energética da envoltória da edificação e o cálculo do consumo de energia são realizados a partir das cargas térmicas de refrigeração e aquecimento obtidos através do metamodelo. Na Figura 4.24 é apresentado o fluxo de informações do *script* VPL desenvolvido para realizar estas análises. Este fluxo foi elaborado com base no método simplificado da INI-R (2018) e conforme apresentado na Figura 3.6 da metodologia.

A execução do código VPL nesta etapa seguiu a seguinte lógica de processamento:

- 1) Assim como na maioria dos *scripts* desenvolvidos, o processo se inicia com a identificação e seleção dos APPs, conforme exemplificado na Figura 4.13. A diferença, neste caso, é que os APPs já são organizados de acordo com a UH a que pertencem.
- 2) Como os resultados do metamodelo foram importados do arquivo “csv” diretamente para o Revit, neste momento é realizada a extração destas informações diretamente do modelo virtual BIM. Deste modo, para cada APP são obtidas as cargas térmicas de refrigeração e aquecimento referentes tanto a edificação real quanto a edificação de referência. A partir deste ponto, dois processos distintos são realizados de modo paralelo: determinação da classe de eficiência energética e obtenção do consumo de energia.
- 3) **Eficiência energética:** O processo é inicialmente separado em duas vertentes, refrigeração e aquecimento. Deste modo, a análise de eficiência inicia-se com o cálculo, para cada APP, do percentual de redução da carga térmica. Este cálculo é realizado a partir dos dados de carga térmica da edificação real e de referência. Após isto, é realizada a verificação dos limites inferiores, utilizados na determinação do equivalente numérico dos APPs. Com base nestes equivalentes numéricos é obtida a classificação de eficiência energética de cada APP para refrigeração e aquecimento. Uma vez que os resultados dos APPs foram obtidos, é iniciada a análise da UH propriamente dita. Neste

ponto são calculados os equivalentes numéricos de refrigeração e aquecimento da UH, para, em seguida, ser calculado o equivalente global da UH. Como resultado são obtidas as classes de eficiência da UH para refrigeração e aquecimento, assim como a classificação final de eficiência energética da envoltória da UH. Todo esse processo foi realizado conforme os métodos de cálculo estabelecidos na INI-R (2018).

Figura 4.24 - Fluxo de trabalho do *script* VPL para análise de eficiência energética e consumo de energia



Fonte: A autora (2022)

- 4) **Consumo de energia:** Assim como na análise de eficiência, o cálculo do consumo é realizado de forma separada, refrigeração e aquecimento, para depois ser obtido o resultado final da UH. Deste modo, primeiramente é calculado o consumo energético anual da UH para condição de refrigeração e aquecimento. Em seguida é realizado o cálculo do consumo global. Estes consumos referem-se ao consumo de energia elétrica da envoltória. Para obter o consumo de energia primária, os resultados do consumo de energia elétrica são multiplicados por um fator de conversão especificado na INI-R (2018). Nesta etapa, apenas o consumo referente a edificação real foi calculado sendo considerado o uso de sistemas de condicionamento do ar do tipo *split* com COP de 3,24. Todo esse processo foi realizado conforme os métodos de cálculo estabelecidos na INI-R (2018).
- 5) Por fim todos os dados gerados são exportados para o modelo BIM. Neste caso, não são só os resultados finais de eficiência e consumo de energia da UH que são gravados no Revit, mas também os parâmetros de equivalente numérico que foram calculados, permitindo assim que o projetista possa melhor avaliar estes parâmetros caso o resultado desejado não seja alcançado.

4.2.3.6 Exportar os dados para o Excel

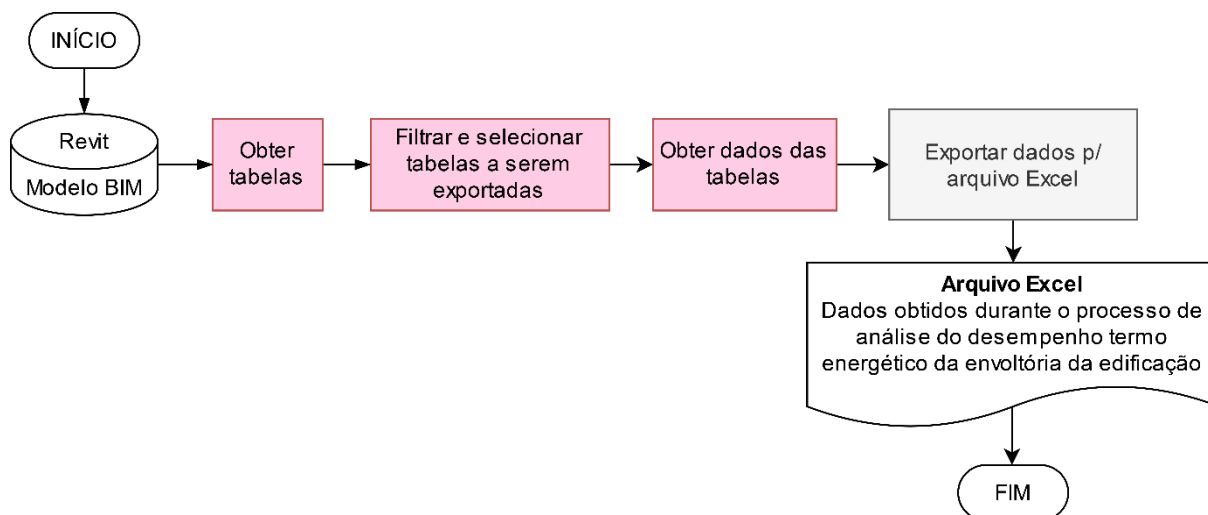
Apesar de todos os resultados gerados ao longo do processo de análise do desempenho termo energético da envoltória das edificações serem armazenadas diretamente no modelo BIM, é possível que o projetista prefira trabalhar com os dados de forma separada, a partir de planilhas do Excel, devido a flexibilidade de uso e as possibilidades de análise de dados que esta ferramenta oferece. Na Figura 4.25 é apresentado o fluxo de informações do *script* VPL desenvolvido para exportar para o arquivo Excel todos os resultados obtidos ao longo do processo de análise do desempenho térmico e da eficiência energética da edificação.

A execução do código VPL nesta etapa seguiu a seguinte lógica de processamento:

- 1) O primeiro processo consiste em importar para o Dynamo todas as tabelas de projeto existentes no modelo virtual BIM desenvolvido no Revit.
- 2) Como já explicitado, as tabelas de projeto do modelo BIM foram divididas em três grupos: tabelas Revit, tabelas NBR 15575 e tabelas INI-R. Os dados a serem exportados para o Excel são aqueles obtidos com o uso do protótipo, neste caso, as tabelas com os

resultados da análise de desempenho térmico (tabelas NBR 15575) e as tabelas com os resultados da análise de eficiência energética (Tabelas INI-R), além da tabela Revit contendo as informações de projeto. Deste modo, após importar todas as tabelas para o Dynamo, é necessário filtrar e selecionar as tabelas que serão exportadas para o arquivo Excel. Este processo é realizado a partir do título que foi atribuído a cada tabela.

Figura 4.25 - Fluxo de trabalho do *script* VPL para exportar os resultados da análise de desempenho termo energético para um arquivo Excel



Fonte: A autora (2022)

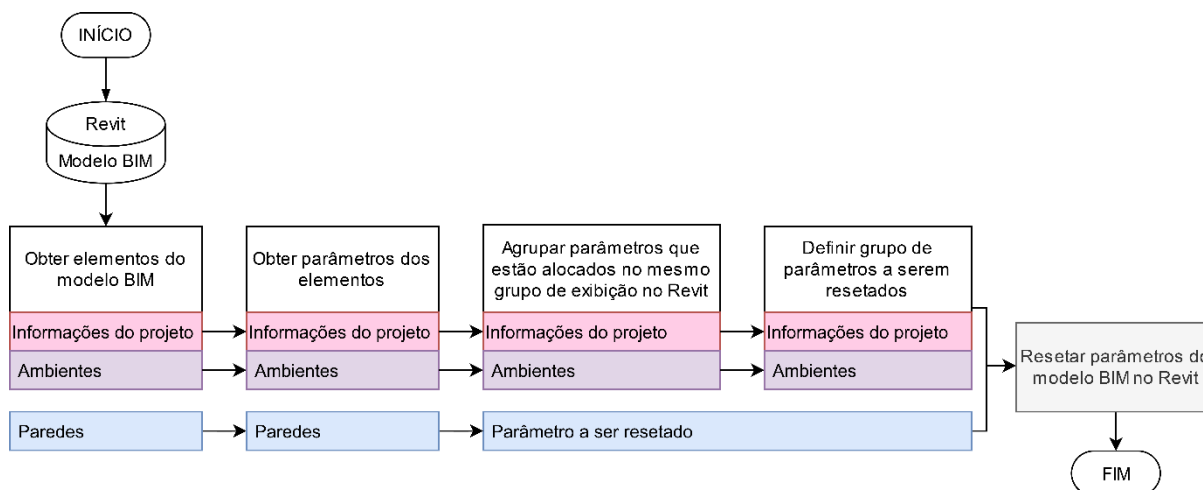
- 3) Uma vez definidas as tabelas a serem exportadas, é necessário obter os dados contidos nas tabelas. Este processo retorna como resultado uma lista de dados para cada tabela.
- 4) A etapa final é exportar estes dados para o arquivo Excel. Todas as tabelas são salvas em um único arquivo Excel, sendo atribuída uma guia/aba diferente para cada tabela exportada. No APÊNDICE E - é apresentado um exemplo das tabelas do Excel geradas.

4.2.3.7 Reset dos dados

De modo geral, o processo de análise do desempenho termo energético da envoltória da edificação pode ser definido em três etapas: modelagem virtual da edificação, execução do protótipo e análise dos resultados. Caso os resultados de desempenho não tenham sido satisfatórios, o projetista poderá realizar alterações no projeto e iniciar uma nova análise. No entanto, para realizar estas modificações, não é necessário que uma nova modelagem da edificação seja iniciada do zero. O projetista pode utilizar o mesmo arquivo onde foi realizada a modelagem inicial e salvá-lo com um outro nome. Como este novo arquivo foi originado de

um modelo que já passou pelo processo de análise do desempenho termo energético, os resultados obtidos anteriormente continuam salvos neste modelo. Sendo assim, é necessário resetar os dados, ou seja, apagar todos os dados gerados no estudo anterior, de modo a dar início a nova avaliação. O fluxo de trabalho desenvolvido para resetar estes dados é apresentado na Figura 4.26.

Figura 4.26 - Fluxo de trabalho do *script* VPL para resetar os dados do modelo virtual BIM



Fonte: A autora (2022)

A execução do código VPL nesta etapa seguiu a seguinte lógica de processamento:

- 1) Os parâmetros a serem resetados referem-se apenas aqueles que são preenchidos automaticamente através do Dynamo, neste caso, as informações de projeto (zona bioclimática, grupo climático e variáveis climáticas), orientação solar das fachadas e resultados das análises de desempenho térmico e eficiência energética que ficam armazenados na categoria “Ambientes”. Com base nisto, são obtidos do modelo virtual BIM todos os elementos pertencentes as categorias de “Informações de projeto”, “Ambientes” e “Paredes”.
- 2) Para cada elemento foram obtidos todos os parâmetros a serem resetados. Para não ter que selecionar os parâmetros um a um, todos os parâmetros foram agrupados de acordo com o grupo em que são exibidos no painel de propriedades do Revit.
- 3) Por fim, foram definidos e selecionados os grupos de parâmetros a serem resetados, para, em seguida, apagar no modelo BIM os dados selecionados.

No Revit, ao se criar um novo parâmetro, estes aparecem com campos vazios, que ainda não foram preenchidos. Uma vez que dados são armazenados nestes campos, alguns deles não permitem que se retorne para um campo vazio novamente. Isto ocorre com os parâmetros que

apresentam como resultados valores numéricos. Nestes casos, a única forma de resetar estes parâmetros foi atribuindo-os valor “0”. Para os parâmetros do tipo “texto” este tipo de problema não ocorre, podendo ser atribuído um valor vazio, o que retorna no Revit campos não preenchidos.

4.3 ESTUDO DE CASO

A seguir são apresentados os resultados obtidos no processo de validação e implementação da solução proposta. Ao longo de todo o processo de desenvolvimento do protótipo testes foram realizados de modo a garantir que os resultados retornados correspondessem aos resultados esperados. Um exemplo destes testes foi a utilização de dois tipos diferentes de paredes externas em um mesmo projeto de modo a verificar se o cálculo ponderado das propriedades térmicas estava sendo realizado de forma correta. Uma vez concluído o processo de desenvolvimento do protótipo, foram realizados os estudos de caso de modo a formalizar estes testes e garantir a aplicação da solução em diferentes tipologias e condições de projeto.

A etapa de validação, executada a partir do projeto piloto, teve como principal objetivo verificar a confiabilidade dos dados gerados pelo protótipo. Uma vez validada, na etapa de implementação foi verificada a capacidade de utilização da solução desenvolvida em uma tipologia de projeto diferente, neste caso, a aplicação em um edifício multifamiliar, ampliando assim as possibilidades de uso da solução desenvolvida.

4.3.1 PROJETO PILOTO

Como já mencionado na Metodologia, a etapa de validação foi realizada a partir de um projeto piloto e consistiu em comparar os dados gerados pelo protótipo com os dados obtidos de modo manual. O processo manual foi realizado com base em três etapas principais, descritas a seguir:

- **Coleta dos dados no Revit:** A coleta manual dos dados no Revit foi realizada a partir da inserção de cotas no modelo virtual ou através do painel de propriedades dos elementos, de modo a obter o valor dos parâmetros desejados.

- **Interface web do metamodelo:** Para a análise de eficiência energética, a obtenção das cargas térmicas foi realizada a partir da inserção manual dos dados de entrada na interface web do metamodelo, disponibilizada pelo PBE Edifica ([s. d.]).
- **Cálculos e análise:** Para a realização de todos os cálculos e análises de desempenho termo energético, conforme orientam a NBR 15575 (2021) e a INI-R (2018), foram utilizadas planilhas do Excel.

4.3.1.1 Modelo Base

Nesta etapa, a validação dos resultados foi realizada comparando-se todos os dados gerenciados na ferramenta. Porém, devido a quantidade da informações, foram apresentados aqui apenas os resultados referentes a análise do desempenho térmico (Tabela 4.2) e os dados de saída da análise de eficiência energética (Tabela 4.3). Os dados de entrada do metamodelo para a edificação real e de referência, assim como a verificação dos limites de aplicação da INI-R (2018) são apresentados no APÊNDICE F.

Tabela 4.2 – Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Base

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)						
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)						
CTpar	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Abertura ventilação (Av)						
Área Av	0.600	0.600	0.600	0.600	1.500	1.500
Av (%)	7.47	7.47	7.96	7.96	9.66	9.66
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Elementos transparentes (Et)						
Área Et	0.960	0.960	0.960	0.960	2.400	2.400
Et (%)	11.95	11.95	12.73	12.73	15.46	15.46
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok

(Continua)

Tabela 4.2 – Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Base (Continuação)

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica cob. (Ucob)						
Abs. cob.	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Abs. cob. (t = 3)	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
Ucob	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
Status Ucob	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status Ucob (t = 3)	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Desempenho térmico t = 0						
Desempenho APP	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Desempenho UH	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok				
Desempenho térmico t = 3 anos deg.						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				

Fonte: A autora (2022)

Tabela 4.3 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Base

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	15.650	15.650	17.860	17.860	61.470	61.470
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	1.690	1.690	1.190	1.190	0.270	0.270
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	23.660	23.660	27.210	27.210	108.320	108.320
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	2.140	2.140	1.620	1.620	0.200	0.200
ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - APP						
APP - EqNumAPP _r	1.677	1.677	1.687	1.687	2.413	2.413
APP - Eficiência APP _r	C	C	C	C	B	B
APP - EqNumAPP _a	1.701	1.701	1.885	1.885	3.000	3.000
APP - Eficiência APP _a	C	C	C	C	A	A
ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - UH						
UH - EqNumUH _r	2.047	2.047	CR UH _{real}		374.932	374.932
UH - Eficiência UH _r	B	B	CA UH _{real}		11.752	11.752
UH - EqNumUH _a	2.394	2.394	C UH _{real}		386.684	386.684
UH - Eficiência UH _a	B	B	C energia prim. UH		618.694	618.694
UH - EqNumUH	2.054	2.054				
UH - Eficiência UH	B	B				

Fonte: A autora (2022)

Como é possível observar nas tabelas, todos os resultados obtidos com o protótipo foram os mesmos daqueles calculados manualmente, representando uma diferença de 0.00% entre os resultados, demonstrando a precisão dos dados gerados pela solução desenvolvida. Considerando que as diretrizes estabelecidas pela NBR 15575 (2021) e INI-R (2018) representam a mesma base de cálculo e análise utilizado nos dois casos, este era o resultado esperado.

Como mencionado na Metodologia, a norma de desempenho recomenda que seja considerada a degradação das superfícies dos elementos construtivos para a análise do desempenho térmico. Deste modo, optou-se, no desenvolvimento do protótipo, que as duas análises fossem realizadas, ou seja, avaliação do desempenho com tempo de exposição das superfícies igual a zero ($t = 0$), o que representaria a edificação assim que ela é construída, e avaliação do desempenho com tempo de exposição das superfícies igual a três anos ($t = 3$), representando a ação do tempo na degradação destas superfícies.

Apesar desta degradação ser apenas uma recomendação, e não uma obrigatoriedade imposta pela norma, é interessante observar, na Tabela 4.2, que apesar da edificação atender a todos os critérios de desempenho mínimo para a edificação recém construída, considerando-se o período de 3 anos de degradação, o critério de transmitância térmica da cobertura deixa de ser atendido, tornando necessária que toda a edificação seja avaliada pelo procedimento de simulação. Isto demonstra a importância e eficácia da ferramenta em avaliar estas duas situações.

Além disto, mesmo considerando não ser objetivo deste trabalho avaliar os resultados obtidos pela edificação, mas sim os resultados gerados pelo protótipo, cabe esclarecer os fatos da edificação não se enquadrar dentro dos limites de aplicação do método simplificado da INI-R (2018), no que diz respeito a transmitância térmica do piso. Apesar da instrução normativa estabelecer valores limites para transmitância e capacidade térmica do piso, no metamodelo as propriedades térmicas do piso são representadas por um único parâmetro de entrada, onde é definido se o piso possui alta ou baixa inércia térmica. Caso a transmitância do piso do Modelo Base ($U_{\text{piso}} = 3,77 \text{ W/m}^2\text{.K}$) fosse ajustada para o valor limite adotado na instrução normativa ($U_{\text{piso}} = 3,00 \text{ W/m}^2\text{.K}$) este piso ainda se manteria com alta inércia térmica. Portanto, neste caso, mesmo estando fora dos limites de aplicação, ainda é possível utilizar o método simplificado para a análise de eficiência energética da envoltória.

4.3.1.2 *Ensaios*

Nesta fase, para simplificar a apresentação dos resultados, apenas os resultados finais de desempenho e eficiência foram comparados aos resultados obtidos por meio do processo manual. Uma vez que os resultados de desempenho termo energético dependem dos dados de entrada utilizados, caso a comparação dos resultados gerados pelo protótipo e pelo processo manual retornassem valores iguais, isto implicaria que os *inputs* utilizados também foram os mesmos, validando assim, os dados de entrada gerados pela solução proposta. Devido a quantidade de ensaios e dados avaliados, serão apresentados aqui apenas os resultados de desempenho térmico e eficiência energética referentes aos ensaios em que a geometria foi alterada. A Tabela 4.4 e Tabela 4.5 apresentam os resultados do Modelo Geo. 1 e a Tabela 4.6 e Tabela 4.7 apresentam os resultados do Modelo Geo. 2. Os resultados dos demais ensaios foram apresentadas no APÊNDICE G, conforme estabelecido no Quadro 4.8.

Tabela 4.4 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Geo. 1

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)						
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)						
CTpar	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Abertura ventilação (Av)						
Área Av	0.600	0.600	0.600	0.600	1.500	1.500
Av (%)	7.47	7.47	7.96	7.96	9.66	9.66
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Elementos transparentes (Et)						
Área Et	0.960	0.960	0.960	0.960	2.400	2.400
Et (%)	11.95	11.95	12.73	12.73	15.46	15.46
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok

(Continua)

Tabela 4.4 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Geo. 1 (Continuação)

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica cob. (Ucob)						
Abs. cob.	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Abs. cob. (t = 3)	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
Ucob	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
Status Ucob	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status Ucob (t = 3)	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Desempenho térmico t = 0						
Desempenho APP	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Desempenho UH	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok				
Desempenho térmico t = 3 anos deg.						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				

Fonte: A autora (2022)

Tabela 4.5 - Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Geo. 1

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	17.410	17.410	19.630	19.630	68.500	68.500
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	1.670	1.670	1.190	1.190	0.320	0.320
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	27.170	27.170	30.750	30.750	120.800	120.800
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	2.380	2.380	1.800	1.800	0.300	0.300
ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - APP						
APP - EqNumAPP _r	1.718	1.718	1.723	1.723	2.415	2.415
APP - Eficiência APP _r	C	C	C	C	B	B
APP - EqNumAPP _a	1.994	1.994	2.130	2.130	3.000	3.000
APP - Eficiência APP _a	C	C	B	B	A	A
ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - UH						
			CONSUMO DE ENERGIA			
UH - EqNumUH _r	2.067	2.067	CR UH _{real}		417.103	417.103
UH - Eficiência UH _r	B	B	CA UH _{real}		11.702	11.702
UH - EqNumUH _a	2.529	2.529	C UH _{real}		428.805	428.805
UH - Eficiência UH _a	B	B	C energia prim. UH		686.088	686.088
UH - EqNumUH	2.077	2.077				
UH - Eficiência UH	B	B				

Fonte: A autora (2022)

Tabela 4.6 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Geo. 2

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)						
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)						
CTpar	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Abertura ventilação (Av)						
Área Av	0.600	0.600	0.600	0.600	1.500	1.500
Av (%)	6.25	6.25	6.67	6.67	8.29	8.29
Status	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Elementos transparentes (Et)						
Área Et	0.960	0.960	0.960	0.960	2.400	2.400
Et (%)	10.00	10.00	10.67	10.67	13.27	13.27
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Transmitância térmica cob. (Ucob)						
Abs. cob.	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Abs. cob. (t = 3)	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
Ucob	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
Status Ucob	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status Ucob (t = 3)	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Desempenho térmico t= 0						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				
Desempenho térmico t = 3 anos deg.						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				

Fonte: A autora (2022)

Tabela 4.7 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Geo. 2

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	14.260	14.260	16.340	16.340	53.760	53.760
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	1.710	1.710	1.250	1.250	0.300	0.300
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	21.790	21.790	25.480	25.480	99.260	99.260
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	2.250	2.250	1.670	1.670	0.230	0.230
ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - APP						
APP - EqNumAPP _r	1.691	1.691	1.717	1.717	2.542	2.542
APP - Eficiência APP _r	C	C	C	C	B	B
APP - EqNumAPP _a	1.800	1.800	1.838	1.838	3.000	3.000
APP - Eficiência APP _a	C	C	C	C	A	A
ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA			
UH - EqNumUH _r	2.117	2.117	CR UH _{real}		387.801	387.801
UH - Eficiência UH _r	B	B	CA UH _{real}		14.122	14.122
UH - EqNumUH _a	2.401	2.401	C UH _{real}		401.923	401.923
UH - Eficiência UH _a	B	B	C energia prim. UH		643.077	643.077
UH - EqNumUH	2.124	2.124				
UH - Eficiência UH	B	B				

Fonte: A autora (2022)

Quadro 4.8 – Tabelas de validação dos resultados de desempenho térmico e eficiência energética dos ensaios do projeto piloto

Ensaio	Modelo	Eficiência	Desempenho
Localização	Modelo Loc. PR	Tabela G. 1	Tabela G. 2
	Modelo Loc. DF	Tabela G. 3	Tabela G. 4
	Modelo Loc. PA	Tabela G. 5	Tabela G. 6
	Modelo Loc. BA	Tabela G. 7	Tabela G. 8
Orientação	Modelo Orien. 90	Tabela G. 9	Tabela G. 10
	Modelo Orien.180	Tabela G. 11	Tabela G. 12
	Modelo Orien. 270	Tabela G. 13	Tabela G. 14
Sistema construtivo	Modelo Par. 1	Tabela G. 15	Tabela G. 16
	Modelo Par. 2	Tabela G. 17	Tabela G. 18
	Modelo Par. 3	Tabela G. 19	Tabela G. 20
	Modelo Cob. 1	Tabela G. 21	Tabela G. 22
	Modelo Cob. 2	Tabela G. 23	Tabela G. 24
	Modelo Cob. 3	Tabela G. 25	Tabela G. 26
	Modelo Piso 1	Tabela G. 27	Tabela G. 28
Abertura	Modelo Aber. 1	Tabela G. 29	Tabela G. 30
	Modelo Aber. 2	Tabela G. 31	Tabela G. 32
	Modelo Aber. 3	Tabela G. 33	Tabela G. 34

Fonte: A autora (2022)

Para todos os ensaios realizados não houve diferença entre os resultados obtidos manualmente e os obtidos com o protótipo, com exceção dos ensaios de localização, onde foi observado que para as cidades de Belém (Modelo Loc. PA) e Salvador (Modelo Loc. BA), ocorreram valores divergentes quanto a carga térmica de aquecimento (CgTA) dos APPs, conforme apresentado na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Resultados divergentes referentes a carga térmica dos APPs

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO - Modelo Loc. PA						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	481.900	481.900	503.160	503.160	643.700	643.700
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	0.000	-0.260	0.000	-0.250	0.000	-1.730
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	487.960	487.960	516.440	516.440	721.700	721.700
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	0.000	-0.140	0.000	-0.100	0.000	-2.480
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO - Modelo Loc. BA						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	349.370	349.370	367.630	367.630	572.170	572.170
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	0.000	-0.720	0.000	-0.740	0.000	-2.820
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	356.300	356.300	375.670	375.670	625.870	625.870
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	0.000	-0.630	0.000	-0.590	0.000	-4.160

Fonte: A autora (2022)

Enquanto no processo manual os dados de saída obtidos por meio da interface web do metamodelo retornaram valores de carga térmica iguais a 0 (zero), com o uso do protótipo os valores foram negativos. Isso ocorreu, pois a interface web foi programada para retornar valor zero para as cargas térmicas cujo resultado fosse negativo, o que não ocorre com os resultados obtidos pelo metamodelo integrado ao BIM. Tal diferença, no entanto, não interfere no cálculo e classificação de eficiência energética da edificação, uma vez que, conforme a própria INI-R (2018) estabelece, caso a carga térmica anual de aquecimento ou refrigeração da edificação real e/ou da edificação de referência resultem em valor menor do que 1,0 kWh/(m².ano), deve ser adotado o valor 1,0 e o APP recebe Equivalente Numérico de Eficiência Energética (EqNumAPP) igual a 3 ou superior, de modo que o APP seja definido como Classe A. Baseado nisso, é possível concluir que a solução proposta apresentou resultados consistentes.

A execução dos ensaios auxiliou a sanar pequenos problemas identificados no protótipo. No entanto, foi observado que na grande maioria das vezes em que os resultados obtidos pela ferramenta divergiram dos obtidos pelo processo manual, esta diferença se deu por erros

cometidos durante o processo manual, seja na coleta das informações da edificação ou nos cálculos realizados. Além disto, o tempo para análise de desempenho termo energético com o uso do protótipo foi de aproximadamente 3 min, sendo que no processo manual, apenas para obtenção dos dados de entrada no metamodelo, levou-se cerca de 1 hora.

Tais fatos corroboram a ideia de que a análise do desempenho termo energético pode ser um processo demorado e propenso a erros caso seja executado de forma manual, devido a quantidade de informações que precisam ser avaliadas. Deste modo, o uso do protótipo demonstrou ser eficaz em solucionar estes problemas devido a precisão e rapidez nas análises executadas. Além disto, considerando que nem sempre os resultados de desempenho desejados são obtidos com o primeiro projeto desenvolvido, a utilização do processo automatizado permite que o projetista dedique maior tempo no desenvolvimento de novas soluções de projeto do que no processo de coleta, cálculo e análise dos novos parâmetros a serem gerados com estas alterações.

4.3.2 PROJETO DE IMPLEMENTAÇÃO

A etapa de implementação foi realizada de modo a dar continuidade ao processo de validação da solução proposta, sendo o objetivo principal avaliar a capacidade de uso do protótipo em uma tipologia de edificação diferente da adotada no projeto piloto. Como já especificado na Metodologia, foi utilizado na implementação um edifício multifamiliar com cinco pavimentos e um total de 40 UHs. Devido a quantidade de dados, foram selecionadas 3 UHs, uma do pavimento térreo, uma do 2º pavimento e outra da cobertura (4º pavimento), para que os dados gerados pela ferramenta fossem comparados com os dados coletados manualmente. Neste caso foi possível avaliar o comportamento do protótipo quando diferentes condições de exposição do piso e da cobertura são adotadas, assim como o uso para avaliar, de forma simultânea, o desempenho termo energético de diferentes UHs, situações estas que não puderam ser avaliadas nos ensaios realizados anteriormente, por ter sido utilizado durante o processo de validação uma edificação unifamiliar térrea.

As tabelas de comparação dos resultados de eficiência energética são apresentadas na Tabela 4.9, Tabela 4.10 e Tabela 4.11, referentes as UHs 001, 201 e 401, respectivamente. A comparação dos resultados de desempenho térmico obtidos pelo protótipo e por meio do processo manual estão expostas no APÊNDICE H.

Tabela 4.9 - Validação dos resultados de eficiência energética Modelo de Implementação UH 001

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		DORMITÓRIO 3		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO								
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.290	0.290
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	0.100	0.100	0.480	0.480	0.240	0.240	24.930	24.930
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	0.000	-0.050	0.000	-0.140	0.000	-0.100	0.000	-0.710
ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - APP								
APP - EqNumAPPr	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.911	3.911
APP - Eficiência APPr	A	A	A	A	A	A	A	A
APP - EqNumAPPa	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
APP - Eficiência APPa	A	A	A	A	A	A	A	A
ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA					
UH - EqNumUhr	3.401	3.401	CR UHreal				15.401	15.401
UH - Eficiência Uhr	A	A	CA UHreal				15.401	15.401
UH - EqNumUHa	3.000	3.000	C UHreal				30.801	30.801
UH - Eficiência UHa	A	A	C energia prim. UH				49.282	49.282
UH - EqNumUH	3.369	3.369						
UH - Eficiência UH	A	A						

Fonte: A autora (2022)

Tabela 4.10 - Validação dos resultados de eficiência energética Modelo de Implementação UH 201

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		DORMITÓRIO 3		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO								
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	0.600	0.600	1.200	1.200	0.930	0.930	12.480	12.480
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	0.040	0.040	0.040	0.040	0.060	0.060	0.000	-0.010
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	17.390	17.390	24.500	24.500	20.660	20.660	112.940	112.940
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.240
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - APP								
APP - EqNumAPPPr	3.770	3.770	3.804	3.804	3.806	3.806	3.754	3.754
APP - Eficiência APPPr	A	A	A	A	A	A	A	A
APP - EqNumAPPa	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
APP - Eficiência APPa	A	A	A	A	A	A	A	A
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA					
UH - EqNumUHr	3.775	3.775	CR UHreal				93.667	93.667
UH - Eficiência UHr	A	A	CA UHreal				15.401	15.401
UH - EqNumUHa	3.000	3.000	C UHreal				109.067	109.067
UH - Eficiência UHa	A	A	C energia prim. UH				174.507	174.507
UH - EqNumUH	3.763	3.763						
UH - Eficiência UH	A	A						

Fonte: A autora (2022)

Tabela 4.11 - Validação dos resultados de eficiência energética Modelo de Implementação UH 401

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		DORMITÓRIO 3		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO								
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	11.330	11.330	13.770	13.770	12.610	12.610	17.850	17.850
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	4.110	4.110	4.040	4.040	4.230	4.230	1.650	1.650
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	26.080	26.080	31.720	31.720	27.140	27.140	78.680	78.680
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	3.630	3.630	3.440	3.440	3.740	3.740	0.450	0.450
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - APP								
APP - EqNumAPPr	2.262	2.262	2.264	2.264	2.141	2.141	3.496	3.496
APP - Eficiência APPr	B	B	B	B	B	B	A	A
APP - EqNumAPPa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.000	3.000
APP - Eficiência APPa	D	D	D	D	D	D	A	A
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA					
UH - EqNumUHr	2.781	2.781	CR UHreal				227.949	227.949
UH - Eficiência UHr	B	B	CA UHreal				46.843	46.843
UH - EqNumUHa	1.321	1.321	C UHreal				274.792	274.792
UH - Eficiência UHa	C	C	C energia prim. UH				439.666	439.666
UH - EqNumUH	2.713	2.713						
UH - Eficiência UH	B	B						

Fonte: A autora (2022)

Assim como no projeto piloto, não houve divergência entre os resultados obtidos manualmente e pelo protótipo, com exceção das cargas térmicas de aquecimento das UHs 001 e 201, sendo essas divergências já explicadas anteriormente. Portanto, para a aplicação da solução proposta em uma edificação residencial multifamiliar a consistência dos resultados foi mantida.

Durante o processo de implementação, foi verificada a necessidade de se realizar alguns ajustes e correções no protótipo, como o cálculo da absorvância da cobertura para um período de 3 anos de degradação quando a cobertura é uma laje entre pavimentos. Neste caso, tanto a absorvância no período $t = 0$ e $t = 3$ deve ser zero, no entanto, para o período $t = 3$, a equação de cálculo da absorvância estava sendo aplicada, gerando um valor diferente de zero. Apesar das alterações, o protótipo continuou mantendo sua estabilidade e o processamento dos dados se deu sem nenhuma ocorrência.

Para o edifício multifamiliar em estudo, o tempo para análise de desempenho termo energético com o uso do protótipo foi de quase 30 min, sendo que desse tempo os *scripts* de análise de desempenho térmico e levantamento dos parâmetros de entrada da INI-R foram os que mais demoraram para serem processados, cerca de 10 minutos cada. Considerando que estes são os códigos que possuem uma maior quantidade de dados gerenciados, sendo realizados diversos processos de cálculos e análises, é natural que sejam também os *scripts* que possuem um tempo de processamento mais longo.

Apesar deste aumento geral no tempo, se for considerado que foram analisadas simultaneamente 40 UHs, o uso do protótipo continua sendo uma opção mais eficaz e rápida quando comparado ao processo de análise manual, principalmente se for considerado que a execução e obtenção dos dados de saída do metamodelo levaram apenas 2:30 min, tempo este que seria infinitamente maior caso fosse necessário inserir manualmente os dados de cada UH na interface web do metamodelo para se obter as cargas térmicas de cada APP do edifício multifamiliar.

Além disto, vale ressaltar que este tempo de processamento do protótipo está diretamente relacionado as configurações do computador utilizado, neste caso um computador com processador Intel(R) Core(TM) i7-3610QM CPU 2.30 GHz com 8 GB de RAM e SSD de 480 GB. Se forem utilizados computadores mais potentes, o tempo de análise do desempenho termo energético muito provavelmente será reduzido.

De modo geral, os resultados obtidos demonstraram a capacidade de se ampliar o uso do protótipo para projetos de edificações multifamiliares, consolidando-a como uma solução versátil e segura para ser utilizada em diferentes tipologias de projetos.

4.4 AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO

Do total de 2550 parâmetros comparados durante o estudo de caso, apenas 18 apresentaram valores divergentes. Isto representa um total de 99,29% de precisão dos resultados obtidos pelo protótipo. Cabe ressaltar que os resultados divergentes, referentes as cargas térmicas de aquecimento dos ambientes, ocorreram apenas por questões de arredondamento adotados pela interface web do metamodelo e que em nada prejudicam as análises de eficiência executadas pelo protótipo. Portanto, diante da precisão e consistência dos resultados obtidos, a solução proposta demonstrou estar apta para realizar as análises de desempenho e eficiência da edificação. O uso do protótipo desenvolvido permite que o processo de avaliação termo energética possa ser facilmente integrada as etapas iniciais de projeto, oferecendo aos projetistas apoio no desenvolvimento de soluções de projeto mais eficientes.

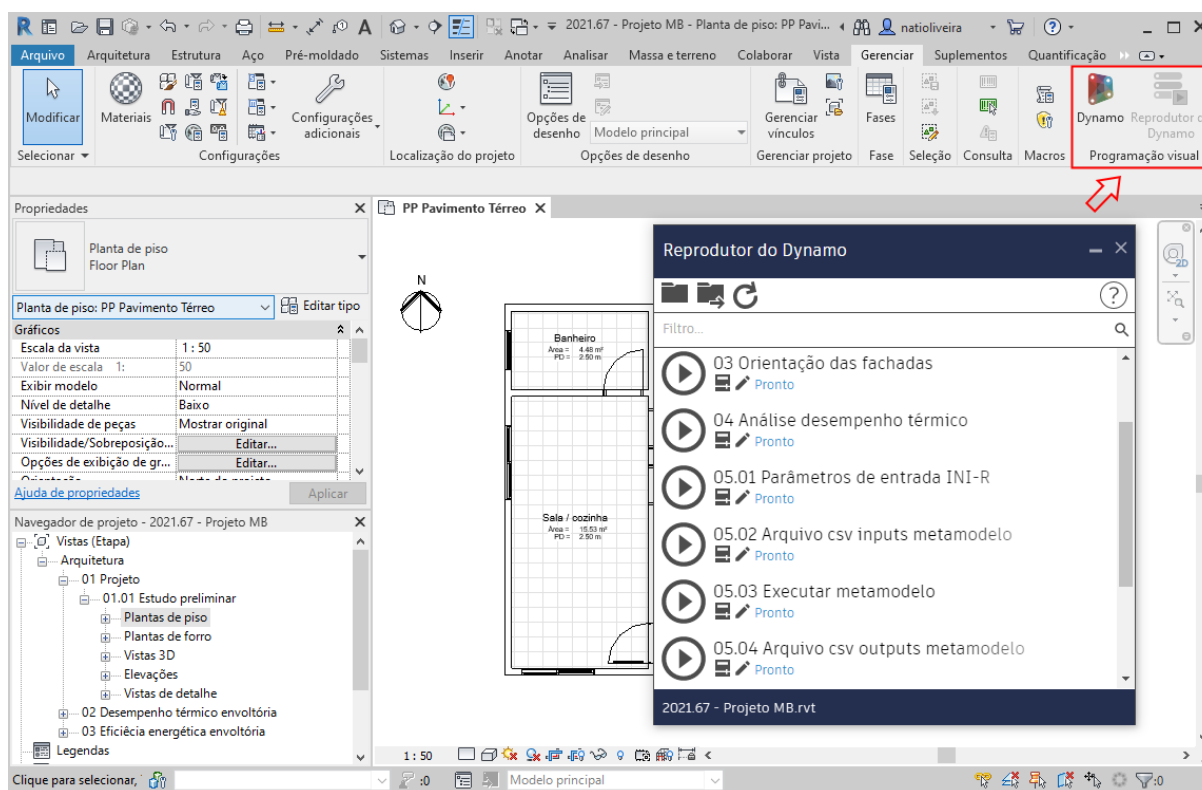
Devido a possibilidade de avaliação de diferentes opções de projeto, a solução desenvolvida acaba funcionando com uma ferramenta auxiliar para a tomada de decisão. No entanto, assim como no estudo desenvolvido por Seghier *et al.* (SEGHIER *et al.*, 2017), como o processo de tomada de decisão é baseada na comparação manual do desempenho destas diferentes opções de projeto, a ferramenta pode ser considerada como um sistema passivo de suporte a decisões.

Do ponto de vista de quem irá utilizar o protótipo, a operação da ferramenta no Revit é simples e não exige conhecimento em VPL ou Dynamo, uma vez que o projetista não terá acesso ao código em si. Neste caso, os *scripts* VPL são executados diretamente no *software* de modelagem BIM, a partir do “Reprodutor do Dynamo”. Este reprodutor abre uma caixa de diálogo (Figura 4.27) onde é possível visualizar os *scripts* existentes, assim como iniciar e verificar o *status* de execução destes *scripts*.

No entanto, embora a solução proposta facilite o processo de análise do desempenho termo energético da edificação, o fluxo de trabalho BIM-VPL desenvolvido não pode evitar a fase de preparação do modelo BIM. O modelo precisa ser enriquecido com as informações semânticas corretas, de modo que os dados necessários para o funcionamento correto dos *scripts* estejam bem estruturados e definidos. Deste modo, é necessário que o usuário do Revit tenha

conhecimento no uso do *software* e nas relações paramétricas existentes entre seus elementos, visto que estes dados representam uma das principais bases utilizadas para os estudos de desempenho realizados através da solução desenvolvida.

Figura 4.27 – Execução no Revit dos *scripts* VPL através do Reprodutor do Dynamo



Fonte: A autora (2022)

O protótipo desenvolvido é composto, de modo geral, por sete *scripts* VPL, que podem ser executados separadamente, sendo os *scripts* de análise do desempenho térmico e análise de eficiência energética os códigos responsáveis por, efetivamente, executarem a avaliação do desempenho, conforme as diretrizes estabelecidas na NBR 15575 (2021) e INI-R (2018). Os demais *scripts* desenvolvidos podem ser considerados como códigos auxiliares, pois apesar de não serem os responsáveis pela execução das análises termo energéticas, atuam de modo a facilitar ou tornar mais automatizado este processo.

Vale ressaltar que, a partir de adaptações que se façam necessárias, estes *scripts* auxiliares podem atender e serem aplicados a diferentes situações e necessidades projetuais, não sendo restritos a serem utilizados apenas para as simulações energéticas. Em um levantamento de custo do projeto, por exemplo, o fluxo de informações utilizado no *script* de verificação de dados poderia ser adaptado para verificar se os valores de custo foram

corretamente adicionados aos elementos utilizados no projeto; ou o *script* para exportar os dados no Excel poderia ser adaptado para exportar tabelas de custos geradas no Revit.

Analisando a integração das tecnologias BIM e VPL, o processo de desenvolvimento do protótipo permitiu corroborar algumas conclusões obtidas em estudos similares. Assim como na linguagem de programação baseada em texto, o VPL permite que um mesmo programa possa ser desenvolvido de várias maneiras, dependendo do nó/fluxo de trabalho que o usuário implementa (SEGHIER *et al.*, 2017). De fato, a programação visual é uma linguagem que possui um grau de facilidade de uso maior quando comparado a programação textual, permitindo que usuários iniciantes a avançados possam encontrar utilidade no uso da ferramenta e reduzindo o obstáculo para que os usuários que não são da área de tecnologia entrem no campo da programação (KENSEK, Karen M., 2018; PREIDEL; DAUM; BORRMANN, 2017). Além disto, como em qualquer processo de aprendizagem, a medida em que se ganha maior familiaridade com o VPL, a criação de novos códigos vai se tornando cada vez mais fácil.

Outra vantagem do uso do VPL é que ele fornece um *feedback* quase que instantâneo, ou seja, ele permite um processo de desenvolvimento incremental, onde cada elemento adicionado ao programa pode ser testado imediatamente (LEITÃO; SANTOS, 2011). A programação visual vinculada ao BIM permite ainda que os parâmetros da edificação sejam facilmente alterados, sendo observado seu efeito imediato no modelo fornecendo uma ligação direta entre o modelo projetado e os dados, além de permitir que um fluxo de trabalho, uma vez desenvolvido, possa ser facilmente usado para estudar outros edifícios (KENSEK, K., 2015). Vale ressaltar também a importância da comunidade de desenvolvedores do Dynamo que permite que conjuntos de ferramentas desenvolvidas por terceiros estejam disponíveis a todos os usuários do *software*, permitindo, assim, estender as funcionalidades do Dynamo.

A interoperabilidade também é uma questão importante a ser considerada. Os modelos virtuais BIM contam com uma quantidade muito grande de dados armazenados, sendo a troca de dados entre aplicativos muitas vezes realizado por meio de arquivos de intercâmbio, como os arquivos no formato IFC ou gbXML. No entanto, o IFC e gbXML atuais cobrem apenas parte das informações necessárias para simulações de energia (GAO; KOCH; WU, 2019), principalmente no que diz respeito a dados semânticos da edificação (LU *et al.*, 2017), ou seja, informações referentes as propriedades e características dos elementos que compõem o edifício. O uso do VPL como ferramenta para o gerenciamento dos dados reduz esses problemas ao permitir, por meio do Dynamo, um acesso mais direto a biblioteca de dados BIM, facilitando a troca e compartilhamento destes dados semânticos.

Além disso, conforme estudo desenvolvido por Bracht, Melo e Lamberts (2021), foi observado que ao exportar para um arquivo gbXML as paredes de um modelo criado no Revit, as paredes internas são consideradas justapostas, sendo desconsiderada as suas espessuras. Deste modo, o arquivo gbXML gerado pelo Revit considera a linha de centro das paredes para a definição dos pontos de contorno. Isso afeta diretamente nos resultados de desempenho e eficiência, uma vez que a área das paredes não são consideradas de forma correta. Com o uso do VPL este tipo de problema não ocorre, uma vez que a área das paredes são calculadas a partir da superfície da parede que está em contato direto com o ambiente.

No entanto, vale observar que, conforme abordado por Kensek (KENSEK, K., 2015), a troca de informações usando a ferramenta de programação visual como o Dynamo ainda não é totalmente estável, fato este observado durante o desenvolvimento do protótipo, onde ocorreram situações em que resultados diferentes estavam sendo retornados por um mesmo nó, sem que tivesse ocorrido alterações no projeto ou no *script*. Além disto, também ocorreram situações em que ao tentar executar os *scripts* mais de uma vez, estes não eram executados. A maioria destes casos, porém, referem-se a situações pontuais e que foram sanadas ao longo do processo de desenvolvimento da ferramenta.

Ainda sobre o uso do VPL, um metamodelo, em redes neurais, de predição das cargas térmicas pôde ser integrado ao BIM, sendo está uma das principais contribuições científicas deste trabalho. Apesar do Revit possuir recurso para determinar as cargas de aquecimento e refrigeração do edifício, o método de cálculo não é o mesmo adotado na normativa brasileira. Portanto, o uso do VPL garante que as cargas térmicas obtidas automaticamente com a execução do metamodelo no Revit estejam de acordo com os processos brasileiros de cálculo.

Com relação a capacidade de operação e gerenciamento dos dados destacam-se dois pontos. O primeiro deles diz respeito a escalabilidade, ou seja, a capacidade de lidar com grandes quantidades de informações (PREIDEL; DAUM; BORRMANN, 2017; WORTMANN; TUNÇER, 2017). No decorrer do processo de desenvolvimento do protótipo, à medida que os *scripts* Dynamo iam sendo incrementados, o tempo para processamento dos dados foi aumentando, além de ocorrer, em alguns momentos, o travamento do sistema, sendo necessário reiniciar o *software*. Por este motivo, inclusive, optou-se por subdividir os processos no Dynamo em diferentes *scripts*, de modo a torná-los mais leves e reduzir o tempo de processamento dos dados. Além disto, devido a quantidade de informações gerenciadas, a organização dos nós ficou prejudicada, tornando a compreensão dos gráficos mais difícil.

O segundo ponto refere-se a forma como os dados são organizados no Dynamo, neste caso, em forma de listas. Nestas listas os dados são ordenados através de índices. Além disto, a depender da hierarquia dos dados, podem existir listas de listas. Uma analogia seria um edifício multifamiliar que possui “n” UHs e cada UH possui “x” ambientes. A UH representa uma lista com “x” ambientes e o edifício representa uma lista de “n” UHs com uma lista de “x” ambientes por UH, ou seja, uma lista de listas ou uma lista bidimensional. Estas listas podem ter tantas dimensões quanto possível e o conceito fundamental é que o Dynamo trata estas listas essencialmente como objetos, portanto, ao seleccionar o índice de um item da lista, este item pode ser outra lista.

Considerando isto, é importante que em cada nó utilizado seja dada a devida atenção para a correta definição da dimensão ou camada de dados que se está trabalhando, sendo esta uma das principais dificuldades encontradas ao longo do desenvolvimento dos *scripts* VPL. A depender das condições e características do modelo virtual BIM, como as aberturas possuem ou não sombreamento, por exemplo, os resultados obtidos por alguns nós retornavam listas com dimensões diferentes para cada caso, ou até mesmo resultados nulos (*null*) ou vazios (*empty*), resultando em erros nos *scripts*, uma vez que as configurações adotadas inicialmente no nó acabavam não retornando os resultados esperados para as diferentes situações de projeto do edifício. Para contornar tal problema, caminhos de nós alternativos tiveram que ser criados, de modo que diferentes configurações projetuais pudessem ser avaliados corretamente pelos *scripts* VPL. Na Figura 4.28 e Figura 4.29 é apresentado um exemplo dos resultados obtidos por um mesmo nó quando são adotadas no modelo BIM janelas com e sem sombreamento.

Figura 4.28 – Resultado retornado pelo nó quando o modelo BIM possui janelas sem sombreamento

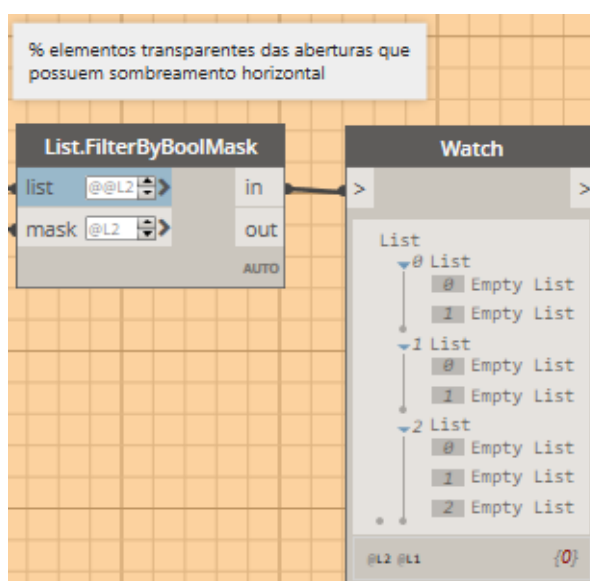
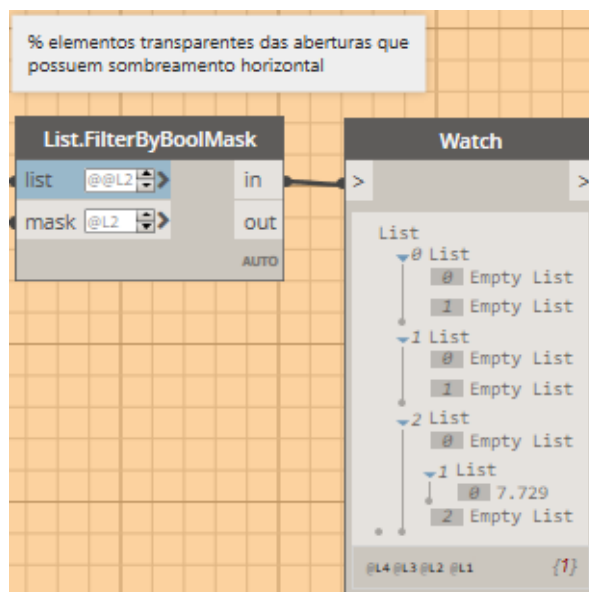


Figura 4.29 – Resultado retornado pelo nó quando o modelo BIM possui pelo menos uma janela com sombreamento



Fonte: A autora (2022)

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

O desenvolvimento desta dissertação gerou como produto uma ferramenta computacional que possibilita automatizar o fluxo de informações dentro do processo BIM de modo a permitir a análise termo energética das envoltórias de edificações residenciais. A solução proposta foi desenvolvida através de um protótipo responsável por estabelecer, através do uso do VPL, um relacionamento direto entre o modelo BIM e as normativas brasileiras de desempenho térmico e eficiência energética, NBR 15575 (2021) e INI-R (2018), respectivamente. Devido a todo o conceito de integração existente dentro dos objetivos e contexto da ferramenta, seja a integração BIM-VPL, BIM e desempenho termo energético, desempenho e dados da edificação, dados paramétricos e VPL, a solução desenvolvida foi nomeada de “Integrar” (Figura 5.1).

Figura 5.1 – Logotipo da ferramenta Integrar



Fonte: A autora (2022)

A ferramenta foi concebida utilizando o Revit como *software* BIM para projeção do modelo 3D e o Dynamo para o desenvolvimento dos *scripts* VPL. O estudo compreendeu quatro fases principais: gestão de requisitos, desenvolvimento da solução, estudo de caso e avaliação da solução proposta.

A gestão de requisitos foi utilizada para mapear todos os requisitos da NBR 15575 (2021) e INI-R (2018), assim como as funcionalidades do BIM, de modo a estabelecer a forma com que os dados seriam obtidos e gerenciados dentro do fluxo de trabalho da ferramenta Integrar. Para o desenvolvimento da ferramenta em si, inicialmente foi criado um ambiente de modelagem personalizado, em outras palavras, um *template* Revit configurado com todos os parâmetros necessários para realizar a análise de desempenho do edifício. Em seguida, foi executada a modelagem virtual 3D de um edifício genérico. Por fim, foram elaborados os *scripts* VPL de modo a criar a interoperabilidade necessária entre o modelo BIM 3D e as análises termo energéticas. Os códigos VPL permitiram construir um fluxo lógico de

extração e importação dos dados, assim como o ordenamento e gestão destes dados para que a correta análise do desempenho térmico e eficiência energética da edificação pudesse ser realizada. Após todo o processo de desenvolvimento da ferramenta, essa foi validada e implementada a partir de um estudo de caso, onde os resultados obtidos com a ferramenta foram comparados com os valores coletados manualmente de acordo com os métodos estipulados nas normativas.

Os resultados obtidos foram consistentes e permitiram validar a ferramenta desenvolvida. Apesar de ter sido identificada, durante o processo de desenvolvimento, alguns momentos de instabilidade na troca de informações entre o Revit e o Dynamo, os resultados demonstram a viabilidade e eficácia de se utilizar o conjunto BIM-VPL para a avaliação do desempenho e eficiência da edificação. Uma das vantagens desta integração se dá pelo fato do VPL permitir um acesso mais direto a biblioteca de dados BIM, facilitando a utilização e comunicação de dados semânticos necessários para os estudos termo energéticos do edifício. No entanto, deve-se considerar que, a depender da quantidade de informações a serem gerenciadas, a capacidade do VPL em lidar com estes dados pode ser prejudicada.

Como contribuição científica, essa dissertação demonstra o potencial da integração do BIM e do VPL para este tipo de análise e serve como base aos estudos que buscam desenvolver um método mais automatizado para a aplicação de normas de desempenho e eficiência de edifícios. Com a metodologia adotada, foi possível integrar um metamodelo em redes neurais ao BIM, permitindo que a predição das cargas térmicas e todo o processo de avaliação do desempenho termo energético da envoltórias das edificações pudessem ser realizadas diretamente no Revit. Esta integração do BIM a análise de desempenho térmico e eficiência energética pôde ser realizada a partir do acesso direto aos dados da edificação modelada virtualmente e pelo compartilhamento e troca de informações entre o Revit e o Dynamo. Além do desempenho termo energético, a capacidade paramétrica no uso do VPL integrado ao BIM permite a criação de diferentes ferramentas avaliativas, ampliando assim a gama de análises que podem ser realizadas de modo a auxiliar no processo de projeto.

Outro ponto a ser considerado é que o fluxo de trabalho desenvolvido possibilitou a criação de uma ferramenta de análise de fácil implantação e utilização pelos projetistas no processo projetual, que pode ser replicável em diferentes configurações e tipologias de projeto arquitetônico e que garante maior agilidade na geração dos dados. Além disto, a execução das avaliações energéticas e visualização dos resultados pode ser realizada diretamente no próprio Revit, não sendo necessário o uso de *softwares* externos.

A obtenção, cálculo e verificação manual do desempenho da edificação é um processo tedioso, demorado e propenso a erros. Portanto, o uso da ferramenta Integrar, criada a partir desta integração BIM-VPL, permite uma verificação mais eficaz e assertiva da eficiência da edificação. A ferramenta possibilita que diferentes alternativas de design da envoltória da edificação possam ser analisados em um menor espaço de tempo e com menor esforço sendo despendido, agilizando, assim, o processo de tomada de decisão e garantindo escolhas mais acertadas no que diz respeito a sustentabilidade da edificação. Além disto, o uso da ferramenta Integrar possibilita que o projetista possa dedicar maior tempo na busca por soluções de projeto mais eficientes e não no processo de obtenção e verificação dos dados propriamente dito. Esta melhora na qualidade do projeto desenvolvido nas etapas iniciais acaba por impactar nas etapas posteriores de construção, devido a maior capacidade de redução dos custos e tempo de retrabalho.

Com base no que foi exposto, pode-se concluir que além dos objetivos gerais, os objetivos específicos também foram alcançados. A partir do fluxo de trabalho desenvolvido, a integração, por meio do VPL, do metamodelo de predição das cargas térmicas ao BIM foi realizada com sucesso. Além disto, foi possível desenvolver uma solução de análise de desempenho termo energético que pode ser integrada as etapas iniciais do processo projetual e permite que diferentes composições e tipologias de projeto arquitetônico sejam avaliadas, tornando está uma solução generalizável. Por fim, foi possível explorar e avaliar as possibilidades de integração do BIM-VPL na análise de desempenho e eficiência de edificações.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante o processo de desenvolvimento desta pesquisa foram identificados novos processos que podem ser explorados em trabalhos futuros de modo a melhorar e expandir as funcionalidades da ferramenta:

- Inclusão dos custos para análise das alternativas de projeto, permitindo uma tomada de decisões que não seja baseada apenas na escolha de projetos mais eficientes, mas que também estejam associadas a análise do custo-benefício de implantação das soluções de desempenho propostas;
- Inclusão de processos de otimização, como o pacote Optimo, desenvolvido por Asl et al. (RAHMANI ASL *et al.*, 2015b), que permite explorar e fornecer um conjunto de

soluções ideais de projeto, o que transformaria a ferramenta Integrar em um sistema ativo de suporte a decisões;

- Submeter a ferramenta ao uso pela comunidade, de modo a coletar opiniões sobre as vantagens e dificuldades encontradas ao utilizá-la.
- Realizar o mesmo estudo, e comparar os mecanismos de desenvolvimento e os resultados a serem obtidos, utilizando outros *softwares* de modelagem BIM e de programação visual, como o ArchiCAD e o Grasshopper, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- ABDI - AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **GUIA 1 – Processo de Projeto BIM**. Brasília: 2017a. v. 1
- ABDI - AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **GUIA 5 - Avaliação de desempenho energético em Projetos BIM**. 2017b. v. 5
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220: 2005 Desempenho térmico de edificações**. Brasil: 2005. p. 7.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-1:2021 Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Brasil: 2021a. p. 98.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-4:2021 Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE**. Brasil: 2021b. p. 72.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-5:2021 Edificações habitacionais — Desempenho Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas**. Brasil: 2021c. p. 78.
- ADABO, G. **O que é a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE)?**. 2021. Available at: <https://iei-brasil.org/2019/05/30/o-que-e-a-etiqueta-nacional-de-conservacao-de-energia-ence/>. Acesso em: 17 nov. 2021.
- AL-HOMOUD, M. S. Computer-aided building energy analysis techniques. **Building and Environment**, v. 36, n. 4, p. 421–433, 2001. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00026-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00026-3)
- ALRASHIDI, H. *et al.* Performance assessment of cadmium telluride-based semi-transparent glazing for power saving in facade buildings. **Energy and Buildings**, v. 215, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109585>
- ATTIA, S. *et al.* Current trends and future challenges in the performance assessment of adaptive facade systems. **Energy and Buildings**, v. 179, p. 165–182, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.017>
- AUTODESK. **Especificar a localização geográfica**. 2019. Available at: <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/PTB/Revit-Model/files/GUID-EE95E55A-A600-49DB-B6F0-113C239B5F1E-htm.html>. Acesso em: 1 dez. 2021.
- AYDIN, D.; MIHLAYANLAR, E. A case study on the impact of building envelope on energy efficiency in high-rise residential buildings. **Architecture Civil Engineering Environment**, v. 13, n. 1, p. 5–18, 2020. Available at: <https://doi.org/10.21307/ACEE-2020-001>
- BAHAR, Y. N. *et al.* A thermal simulation tool for building and its interoperability through the Building Information Modeling (BIM) platform. **Buildings**, v. 3, n. 2, p. 380–398, 2013. Available at: <https://doi.org/10.3390/buildings3020380>
- BAIA, D. V. S. **Uso de ferramentas BIM para o planejamento de obras da construção civil**. 99 f. 2015. Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil, 2015.
- 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, v. 10, n. 1, p. 32–48, 2017. Available at: <https://doi.org/10.26512/rici.v10.n1.2017.2471>

BAZJANAC, V. IFC BIM-Based Methodology for Semi-Automated Building Energy Performance Simulation. *In:* , 2008. **Proceedings of the 25th International Conference on Information Technology in Construction**. 2008. Available at: <https://escholarship.org/uc/item/0m8238pj>. Acesso em: 8 set. 2021.

BRACHT, M. K.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. A metamodel for building information modeling-building energy modeling integration in early design stage. **Automation in Construction**, v. 121, n. July 2020, p. 103422, 2021. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103422>

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. **Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências**, Brasília, DF, 2001.

CAMBIAGHI, H.; AMÁ, R. **Manual de Escopo de Projetos e Serviços de Arquitetura e Urbanismo**. 3º Edição. São Paulo: Indústria Imobiliária, 2019. ISSN 1853-2365. *E-book*.

CAMPESTRINI, T. F. *et al.* **Entendendo BIM**. Curitiba, PR: Universidade Federal do Paraná, 2015.

CB3E - CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Classificação de climas brasileiros empregada na atualização dos Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações**. Florianópolis: 2017. Available at: www.cb3e.ufsc.br.

CB3E - CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Fatores de conversão de energia elétrica e térmica em energia primária e em emissões de dióxido de carbono a serem usados na etiquetagem de nível de eficiência energética de edificações**. Florianópolis: 2020. Available at: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Relatorio-atualizado-fatores_energia-primaria_CO2_28_11_2020.pdf.

CB3E - CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Lista das 5.564 cidades do território brasileiro e seus respectivos grupos climáticos**. 2018a. Available at: <https://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/desenvolvimento/atividades-2012-2016/trabalho-1/pesquisas>. Acesso em: 1 dez. 2021.

CB3E - CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Proposta de Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R)**. Brasil: 2018b. p. 70. Available at: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B02A05065->. Acesso em: 4 set. 2021.

CBCS - CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Eficiência energética no ambiente construído**. 2015. Available at: http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/posicionamentos/CBCS15_Posicionamento_E-E-ambiente-construido.pdf. Acesso em: 24 maio 2021.

CBIC - CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Fundamentos BIM - Parte 1: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras**. Brasília: 2016. v. 1

CONTIER ARQUITETURA. **Tutorial MCMV em BIM**. 2011. Available at: <http://contier.com.br/downloads>. Acesso em: 27 nov. 2021.

COSTA, A. *et al.* Building operation and energy performance: Monitoring, analysis and optimisation toolkit. **Applied Energy**, v. 101, p. 310–316, 2013. Available at:

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.10.037>

CRC CONSTRUCTION INNOVATION. **Adopting BIM for facilities management: Solutions for managing the Sydney Opera House** Cooperative Research Centre for Construction Innovation. Brisbane, Austrália: 2007. Available at: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000433](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433).

DAVIS, D. **The MacLeamy curve**. 2011. Available at: <http://www.danieldavis.com/macleamy>. Acesso em: 20 nov. 2021.

DIMYADI, J. *et al.* Towards code compliance checking on the basis of a visual programming language. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 21, p. 402–421, 2016.

DYNAMO. **The Dynamo Primer**. 2019. Available at: <https://primer.dynamobim.org/index.html>. Acesso em: 22 out. 2019.

EASTMAN, C. *et al.* **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadore**. 1. ed. Porto Alegre: 2014.

EDUARDO, C. *et al.* **Aspectos da Construção Sustentável**. 2014. v. 1 *E-book*.

ELETRONBRAS/PROCEL. **Relatório Resultados do Procel 2009**. 2010.

ELETRONBRAS/PROCEL; INMETRO; CB3E/UFSC. **Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações**. 2013. Available at: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3%7D%5Cnhttp://bit.ly/1BwjT6V>. Acesso em: 18 out. 2019.

ELETRONBRAS/PROCEL; INMETRO; CB3E. **RTQ-R: Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais** Portaria nº 18/2012, Brasil: 2012. Available at: <http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQR.pdf>. Acesso em: 10 set. 2021.

ELI, L. G. *et al.* Análise de Sensibilidade do Metamodelo da Etiquetagem Brasileira: Edificações Residenciais. *In:* , 2018, Foz do Iguaçu, Porto Alegre. **ANTAC - XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Foz do Iguaçu, Porto Alegre: 2018. p. 406–416.

ELI, L. G. **Avaliação De Medidas De Eficiência Energética Em Uma Edificação Multifamiliar Por Meio Do Regulamento Brasileiro De Etiquetagem**. 100 f. 2017. - Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Atlas da Eficiência Energética Brasil 2020: Relatório de Indicadores**. Ministério de Minas e Energia, 2020a. Available at: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2020>. Acesso em: 24 maio 2021.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2020: Ano base 2019**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2020b. Available at: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>. Acesso em: 24 maio 2021.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2021: Ano base 2020**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2021. Available at: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2021.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Nota Técnica DEA 16/12: Avaliação da Eficiência Energética para os próximos 10 anos (2012-2021)**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2012. Available at: http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Série Estudos de Energia/20121221_1.pdf.

FOSSATI, M. **Melhorias na regulamentação de eficiência energética de edificações residenciais**. 2021. Available at: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BF5EAADD6-CCB0-4E29-A0C4-482D3D66BB65%7D&Team=¶ms=itemID=%7BA9F9A82B-523A-4C10-9CF5-9D72CDE180B1%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>. Acesso em: 18 nov. 2021.

FOUCQUIER, A. *et al.* State of the art in building modelling and energy performances prediction: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 23, p. 272–288, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.004>. Acesso em: 29 set. 2021.

GAO, H.; KOCH, C.; WU, Y. Building information modelling based building energy modelling: A review. **Applied Energy**, v. 238, n. September 2018, p. 320–343, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.032>. Acesso em: 26 maio 2021.

GBXML - GREEN BUILDING XML. **About gbXML**. 2021. Available at: https://www.gbxml.org/About_GreenBuildingXML_gbXML. Acesso em: 20 nov. 2021.

GHANNAD, P. *et al.* Automated BIM data validation integrating open-standard schema with visual programming language. **Advanced Engineering Informatics**, v. 40, n. doi: 10.1016/j.aei.2019.01.006, p. 14–28, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.01.006>

GONÇALVES, P. H. **Automatização do fluxo de informações dentro do processo BIM com foco na avaliação do desempenho térmico, acústico e o custo das decisões projetuais**. 188 f. 2018. Tese de Doutorado - Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil, 2018.

HABIBI, S. The promise of BIM for improving building performance. **Energy and Buildings**, Lausanne, Switzerland, v. 153, p. 525–548, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.009>

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **2019 Global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector** **Global Alliance for Buildings and Construction**. United Nations Environment Programme, 2019. Available at: https://iea.blob.core.windows.net/assets/3da9daf9-ef75-4a37-b3da-a09224e299dc/2019_Global_Status_Report_for_Buildings_and_Construction.pdf. Acesso em: 25 maio 2021.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Buildings: A source of enormous untapped efficiency potential**. 2020a. Available at: <https://www.iea.org/topics/buildings>. Acesso em: 25 maio 2021.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Efficiency 2020**. Paris: IEA, 2020b. Available at: <https://doi.org/10.1787/dfd85134-en>. Acesso em: 25 maio 2021.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Energy Review 2021**. Paris: IEA, 2021. Available at: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>. Acesso em: 24 maio 2021.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **The Covid-19 Crisis and Clean Energy Progress: Buildings**. 2020c. Available at: <https://www.iea.org/reports/the-covid-19-crisis-and-clean-energy-progress/buildings#abstract>.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA. Anexo Geral V – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros. **Anexo da Portaria Inmetro Nº 50/ 2013**, p. 134, 2013. Available at: <http://www4.inmetro.gov.br/busca-google/?q=tabela V>

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Conheça o Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE**. 2021a. Available at: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/conheca-o-programa>. Acesso em: 17 nov. 2021.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA. Consulta Pública Nº 18, de 12 de Julho de 2021 - Proposta de Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R). 2021b. Available at: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002807.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2021.

ISO 29481-1:2010. ISO 29481-1:2010 Building information modelling — Information delivery manual — Part 1: Methodology and format. **International Organization for Standardization (ISO)**, Geneva, Switzerland, 2010.

JALAEI, F.; JRADE, A. An Automated BIM Model to Conceptually Design, Analyz , Simulate, and Assess Sustainable Building Projects. **Journal of Construction Engineering**, v. 2014, p. 21, 2014. Available at: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/672896>

KAMEL, E.; MEMARI, A. M. Review of BIM’s application in energy simulation: Tools, issues, and solutions. **Automation in Construction**, v. 97, n. November 2018, p. 164–180, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.008>

KENSEK, K. Visual programming for building information modeling: energy and shading analysis case studies. **Journal of Green Building**, v. 10, n. doi: 10.3992/jgb.10.4.28, p. 28–43, 2015. Available at: <https://doi.org/10.3992/jgb.10.4.28>

KENSEK, K. M. Integration of Environmental Sensors with BIM: Case studies using Arduino, Dynamo, and the Revit API. **Informes de la Construcción**, v. 66, n. 536, 2014. Available at: <https://doi.org/10.3989/ic.13.151>

KENSEK, K M. Integration of Environmental Sensors with BIM: case studies using Arduino, Dynamo, and the Revit API. **Informes de la Construcción**, v. 66, n. doi: 10.3989/ic.13.151, p. e044, 2014. Available at: <https://doi.org/10.3989/ic.13.151>

KENSEK, Karen M. Teaching visual scripting in BIM: A case study using a panel controlled by solar angles. **Journal of Green Building**, v. 13, n. 1, p. 113–138, 2018. Available at: <https://doi.org/10.3992/1943-4618.13.1.113>

KHAN, N. *et al.* Excavation Safety Modeling Approach Using BIM and VPL. **Advances in Civil Engineering**, v. 2019, n. doi: 10.1155/2019/1515808, p. 1–15, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1155/2019/1515808>

KIM, C. *et al.* Automated Conversion of Building Information Modeling (BIM) Geometry Data for Window Thermal Performance Simulation. **Advances in Civil Engineering**, v. 2019, p. 1–13, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1155/2019/7402089>

KOTISURYAM, M.; SHARANAPPA, G. Investigating HVAC Thermal Comfort and Energy Efficiency in Commercial Buildings. **International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development**, v. 9, n. 1, p. 319–328, 2019. Available at: <https://doi.org/10.24247/ijmpedfeb201931>

KRELLING, A. F. *et al.* Proposta de método de avaliação do desempenho térmico de

residências: NBR 15575. **ENTAC 2020 - XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, n. 1, 2020.

LABEEE - LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **NBR 15575-2020 - Desempenho térmico**. 2022. Available at: <https://labeee.ufsc.br/NBR15575-2020>. Acesso em: 10 dez. 2021.

LACERDA, D. P. *et al.* Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, p. 741–761, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2013005000014>

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Edição. 2014. *E-book*.

LEITÃO, A.; SANTOS, L. Programming Languages for Generative design - Visual or Textual? *In:* , 2011, Liubliana, Eslovênia. **Respecting Fragile Places: 29th eCAADe Conference**. Liubliana, Eslovênia: 2011. p. 549–557. Available at: http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/Show?_id=ecaade2011_118

LI, Y. L. *et al.* Phase change material blind system for double skin facade integration: System development and thermal performance evaluation. **Applied Energy**, v. 252, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113376>

LIM, Y. W. *et al.* Building Information Modelling for Building Energy Efficiency Evaluation Integration with Green Building Index (GBI) in Malaysia. *In:* , 2016. **4th Annual International Conference on Architecture and Civil Engineering (ACE 2016)**. Global Science & Technology Forum (GSTF), 2016. Available at: https://doi.org/10.5176/2301-394X_ACE16.56. Acesso em: 26 maio 2021.

LU, Y. *et al.* Building Information Modeling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions. **Automation in Construction**, v. 83, n. November, p. 134–148, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.024>

MACIEL, A. C. F.; CARVALHO, M. T. Operational energy of opaque ventilated façades in Brazil. **Journal of Building Engineering**, v. 25, n. April, p. 100775, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100775>

MARZOUK, M.; ABDELATY, A. Monitoring thermal comfort in subways using building information modeling. **Energy and Buildings**, v. 84, n. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.08.006, p. 252–257, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.08.006>

MAZZAFERRO, L. *et al.* Desenvolvimento do metamodelo para a etiquetagem de edificações residenciais. *In:* , 2018, Foz do Iguaçu, Porto Alegre. **XVII Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído**. Foz do Iguaçu, Porto Alegre: 2018.

MELO, A. P. *et al.* Development and analysis of a metamodel to represent the thermal behavior of naturally ventilated and artificially air-conditioned residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 112, p. 209–221, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.021>

MELO, Ana Paula; LAMBERTS, R. Desenvolvimento de metamodelos para a avaliação do nível de eficiência energética da envoltória em edificações residenciais. *In:* , 2018. **Internacional Building Performance Simulation Association**. 2018.

MÉNDEZ ECHENAGUCIA, T. *et al.* The early design stage of a building envelope: Multi-objective search through heating, cooling and lighting energy performance analysis. **Applied Energy**, v. 154, p. 577–591, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.090>

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Eficiência Energética - Premissas e Diretrizes Básicas**. Brasil: 2011. Available at: http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/plano-nacional-de-eficiencia-energetica?p_p_id=20&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_20_struts_action=%2Fdocument_library%2Fview_file_entry&_20_re di. Acesso em: 16 out. 2019.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética** *Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro*. 2018.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia - PNE 2050**. 2020. Available at: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: 25 maio 2021.

NATEPHRA, W. *et al.* Integrating 4D thermal information with BIM for building envelope thermal performance analysis and thermal comfort evaluation in naturally ventilated environments. **Building and Environment**, v. 124, n. doi: 10.1016/j.buildenv.2017.08.004, p. 194–208, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.004>. Acesso em: 16 set. 2019.

NATEPHRA, W.; YABUKI, N.; FUKUDA, T. **Optimizing the evaluation of building envelope design for thermal performance using a BIM-based overall thermal transfer value calculation**. Elsevier Ltd, 2018a. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.032>

NATEPHRA, W.; YABUKI, N.; FUKUDA, T. Optimizing the evaluation of building envelope design for thermal performance using a BIM-based overall thermal transfer value calculation. **Building and Environment**, v. 136, p. 128–145, 2018b. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.032>. Acesso em: 16 set. 2019.

NEGENDAHL, K. Building performance simulation in the early design stage: An introduction to integrated dynamic models. **Automation in Construction**, v. 54, p. 39–53, 2015a. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.002>

NEGENDAHL, K. Building performance simulation in the early design stage: An introduction to integrated dynamic models. **Automation in Construction**, v. 54, p. 39–53, 2015b. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.002>

NETO, A. B. **Análise da eficiência energética de uma edificação residencial através da nova proposta brasileira de etiquetagem de edificações**. 64 f. 2018. - Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

OLINGER, M. S. *et al.* Definição de Escalas de Eficiência Energética da Envoltória em Edificações Residenciais: Etiquetagem Brasileira. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, n. Esp., p. 1–8, 2019. Available at: <http://creaprw16.crea-pr.org.br/revista/sistema/index.php/revista/article/view/502/307>

OLIVEIRA, F. M. De. **Desenvolvimento de ferramenta BIM para avaliação de eficiência energética integrada ao processo de projeto**. 298 f. 2019. - Universidade Federal de Alagoas, 2019. Available at: <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/5981>

ØSTERGÅRD, T.; JENSEN, R. L.; MAAGAARD, S. E. Early Building Design: Informed decision-making by exploring multidimensional design space using sensitivity analysis. **Energy and Buildings**, v. 142, p. 8–22, 2017. Available at:

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.059>. Acesso em: 26 maio 2021.

PACHECO, F. **Análise da obtenção de edificações residenciais de energia zero na região da grande Florianópolis**. 107 f. 2018. - Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 2018.

PASTORI, S. *et al.* Energy Performance Evaluation of a Ventilated Facade System through CFD Modeling and Comparison with International Standards. **Energies**, v. 14, n. 1, 2021. Available at: <https://doi.org/10.3390/en14010193>

PBE EDIFICA. **Interface digital metamodelo INI-R (2018)**. Available at: http://pbeedifica.com.br/redes/residencial/residencial_antiga.html. Acesso em: 4 set. 2021.

PBE EDIFICA. **Sobre o PBE Edifica**. 2021. Available at: <http://pbeedifica.com.br/sobre>. Acesso em: 18 nov. 2021.

PREIDEL, C.; DAUM, S.; BORRMANN, A. Data retrieval from building information models based on visual programming. **Visualization in Engineering**, Munich, Germany, v. 5, p. 18, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1186/s40327-017-0055-0>

PROCEL INFO. **O Programa Procel**. [s. d.]. Available at: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B921E566A-536B-4582-AEAF-7D6CD1DF1AFD%7D>. Acesso em: 19 out. 2019.

RAHMANI ASL, M. *et al.* BPOpt: A framework for BIM-based performance optimization. **Energy and Buildings**, v. 108, p. 401–412, 2015a. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.011>. Acesso em: 21 out. 2019.

RAHMANI ASL, M. *et al.* BPOpt: A framework for BIM-based performance optimization. **Energy and Buildings**, v. 108, n. doi: 10.1016/j.enbuild.2015.09.011, p. 401–412, 2015b. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.011>

REZAEI, R. *et al.* Interoperability evaluation models: A systematic review. **Computers in Industry**, v. 65, n. 1, p. 1–23, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.09.001>

RORIZ, M. Classificação de Climas do Brasil – Versão 3.0. *In:* , 2014, São Carlos. **ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. São Carlos: 2014. p. 1–5. Available at: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/Climas_v3.pdf

ROSA, H. R. **Avaliação da eficiência energética de uma edificação multifamiliar por meio da INI-R**. 74 f. 2018. - Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

SARIDAKI, M.; PSARRA, M.; HAUGBOLLE, K. Implementing life-cycle costing: Data integration between design models and cost calculations. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 24, n. February, p. 14–32, 2019.

SCHLUETER, A.; THESELING, F. Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages. **Automation in Construction**, v. 18, n. 2, p. 153–163, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.07.003>

SEGHIER, T. E. *et al.* Building Envelope Thermal Performance Assessment Using Visual Programming and BIM, based on ETTV requirement of Green Mark and GreenRE. **International Journal of Built Environment and Sustainability**, Malaysia, v. 4, n. 3, p. 227–235, 2017. Available at: <https://doi.org/10.11113/ijbes.v4.n3.216>

SEGHIER, T. E. *et al.* Data management using computational building information modeling for building envelope retrofitting. *In:* SMART AND SUSTAINABLE CITIES AND BUILDINGS. Springer, Cham, 2020. p. 205–216. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-37635-2_13

SEGHIER, T. E.; AHMAD, M. H.; LIM, Y.-W. Automation of concrete usage index (CUI) assessment using computational BIM. **International Journal of Built Environment and Sustainability**, Malaysia, v. 6, n. 1, p. 23–30, 2019. Available at: <https://doi.org/10.11113/ijbes.v6.n1.319>

SENA, P. C. P. **Automação de processos de projeto e programação em BIM: Dynamo, Python e C#**. 201p. f. 2019. - Universidade de São Paulo, 2019.

SGAMBELLURI, M. **WHAT IS DYNAMO?**. 2015. Available at: <http://therevitcomplex.blogspot.com/2015/01/what-is-dynamo.html>. Acesso em: 10 dez. 2021.

SHEIKH, W. T.; ASGHAR, Q. Adaptive biomimetic facades: Enhancing energy efficiency of highly glazed buildings. **Frontiers of Architectural Research**, v. 8, n. 3, p. 319–331, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.06.001> WE - Arts & Humanities Citation Index (A&HCI)

SORGATO, Marcio José *et al.* Nota técnica referente à a desempenho NBR 15575 em consulta pública. **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE**, [s. l.], p. 23, 2012. Available at: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/notas_tecnicas/NT_15575_FINAL.pdf. Acesso em: 21 jan. 2022.

SORGATO, Márcio José; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, n. 12, p. 13–21, 2014. Available at: <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n12.2014.12205>

STRZALKOWSKI, J. *et al.* Thermal performance of building envelopes with structural layers of the same density: Lightweight aggregate concrete versus foamed concrete. **Building and Environment**, v. 196, 2021. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107799>

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357–375, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>

TAGLIABUE, L. C.; CIRIBINI, A. L. C. A BIM Based IoT Approach to the Construction Site Management. **IN BO-Ricerche e Progetti per il Territorio la Citta el Architettura**, v. 9, n. 13, p. 136–145, 2018.

TAVARES, L. R. **Eficiência energética em edificações: aplicação do RTQ-C – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - na cidade de Uberlândia-MG**. 192 f. 2011. - Universidade de Brasília, 2011.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, v. 87, n. December 2014, p. 524–541, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.041>

UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Projeteee – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes**. 2021. Available at: <http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/#vidros>. Acesso em: 26 ago. 2021.

VEIGA, R. M. K. S. **Análise dos parâmetros de entrada para a predição da carga térmica de uma residência multifamiliar através da nova proposta do regulamento brasileiro de etiquetagem**. 102 f. 2018. - Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

WIERINGA, R. Design science as nested problem solving. *In:* , 2009, New York, USA. **Proceedings of the 4th International Conference on Design Science Research in**

Information Systems and Technology. New York, USA: ACM Press, 2009. p. 1. Available at: <https://doi.org/10.1145/1555619.1555630>

WORLD ENERGY COUNCIL. **World Energy Issues Monitor 2021: Humanising Energy**. World Energy Council, 2021. Available at: https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Issues_Monitor_2021-final.pdf. Acesso em: 24 maio 2021.

WORTMANN, T.; TUNÇER, B. Differentiating parametric design: Digital workflows in contemporary architecture and construction. **Design Studies**, v. 52, n. doi: 10.1016/j.destud.2017.05.004, p. 173–197, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.05.004>

WU, W. **Integrating Building Information Modeling and green building certification: The BIM - LEED application model development**. 181 f. 2010. - University of Florida, 2010.

YAMAN, M. Different Facade Types and Building Integration in Energy Efficient Building Design Strategies. **International Journal of Built Environment and Sustainability**, v. 8, n. 2, p. 49–61, 2021. Available at: <https://doi.org/10.11113/ijbes.v8.n2.732>

YU, Z. *et al.* A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption. **Energy & Buildings**, v. 43, n. 6, p. 1409–1417, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.02.002>. Acesso em: 6 set. 2021.

ZHAO, H.; MAGOULÈS, F. A review on the prediction of building energy consumption. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 3586–3592, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.049>

APÊNDICE A - Parâmetros *template*

No Quadro A. 1 são apresentados os parâmetros adicionados ao *template* desenvolvido para armazenar os dados gerados no Dynamo.

Quadro A. 1 - Parâmetros criados para o *template* desenvolvido (dados gerados pelos *scripts* VPL)

Grupo	Parâmetro	Categoria	Tipo de propriedade	Tipo de parâmetro
DADOS PROJETO				
1	AMA	Informações de projeto	Instância	Número
1	dpA	Informações de projeto	Instância	Número
1	dpT	Informações de projeto	Instância	Número
1	Grupo climático	Informações de projeto	Instância	Inteiro
1	Latitude	Informações de projeto	Instância	Ângulo
1	Subgrupo climático	Informações de projeto	Instância	Texto
1	TMA	Informações de projeto	Instância	Número
1	Zona bioclimática	Informações de projeto	Instância	Inteiro
2	Orientação	Paredes	Instância	Texto
RESULTADOS: PARÂMETROS DE ENTRADA INI-R - ED. REAL				
5	Absortância solar cobertura	Ambientes	Instância	Número
5	Absortância solar paredes externas	Ambientes	Instância	Número
5	Altura do pavimento	Ambientes	Instância	Comprimento
5	Área fachada leste	Ambientes	Instância	Área
5	Área fachada norte	Ambientes	Instância	Área
5	Área fachada oeste	Ambientes	Instância	Área
5	Área fachada sul	Ambientes	Instância	Área
5	Capacidade térmica cobertura	Ambientes	Instância	Texto
5	Capacidade térmica paredes externas	Ambientes	Instância	Texto
5	Fator de abertura	Ambientes	Instância	Número
5	Fator de altura	Ambientes	Instância	Número
5	Fator de vidro fachada leste	Ambientes	Instância	Número
5	Fator de vidro fachada norte	Ambientes	Instância	Número
5	Fator de vidro fachada oeste	Ambientes	Instância	Número
5	Fator de vidro fachada sul	Ambientes	Instância	Número
5	Fator solar vidro	Ambientes	Instância	Número
5	Pé direito	Ambientes	Instância	Comprimento
5	Tipo de piso do pavimento	Ambientes	Instância	Texto
5	Transmitância térmica cobertura	Ambientes	Instância	Número
5	Transmitância térmica paredes externas	Ambientes	Instância	Número
5	Transmitância térmica vidro	Ambientes	Instância	Número
5	Venezianas	Ambientes	Instância	Texto

(Continua)

Quadro A. 1 - Parâmetros criados para o *template* desenvolvido (dados gerados pelos *scripts* VPL)
(Continuação)

Grupo	Parâmetro	Categoria	Tipo de propriedade	Tipo de parâmetro
RESULTADOS: VERIFICAÇÃO LIMITE DE APLICAÇÃO MÉTODO SIMPLIFICADO INI-R				
6	Status abertura zenital	Ambientes	Instância	Texto
6	Status absorvância cobertura	Ambientes	Instância	Texto
6	Status absorvância paredes externas	Ambientes	Instância	Texto
6	Status altura do pavimento	Ambientes	Instância	Texto
6	Status área ambiente	Ambientes	Instância	Texto
6	Status área fachada leste	Ambientes	Instância	Texto
6	Status área fachada norte	Ambientes	Instância	Texto
6	Status área fachada oeste	Ambientes	Instância	Texto
6	Status área fachada por área piso leste	Ambientes	Instância	Texto
6	Status área fachada por área piso norte	Ambientes	Instância	Texto
6	Status área fachada por área piso oeste	Ambientes	Instância	Texto
6	Status área fachada por área piso sul	Ambientes	Instância	Texto
6	Status área fachada sul	Ambientes	Instância	Texto
6	Status capacidade térmica cobertura	Ambientes	Instância	Texto
6	Status capacidade térmica paredes externas	Ambientes	Instância	Texto
6	Status capacidade térmica piso	Ambientes	Instância	Texto
6	Status fachadas expostas	Ambientes	Instância	Texto
6	Status fator de abertura	Ambientes	Instância	Texto
6	Status fator de vidro fachada leste	Ambientes	Instância	Texto
6	Status fator de vidro fachada norte	Ambientes	Instância	Texto
6	Status fator de vidro fachada oeste	Ambientes	Instância	Texto
6	Status fator de vidro fachada sul	Ambientes	Instância	Texto
6	Status fator solar vidro	Ambientes	Instância	Texto
6	Status pé direito	Ambientes	Instância	Texto
6	Status projeção horizontal	Ambientes	Instância	Texto
6	Status transmitância cobertura	Ambientes	Instância	Texto
6	Status transmitância paredes externas	Ambientes	Instância	Texto
6	Status transmitância piso	Ambientes	Instância	Texto
6	Status transmitância vidro	Ambientes	Instância	Texto
6	Status venezianas	Ambientes	Instância	Texto
RESULTADOS: PARÂMETROS DE ENTRADA INI-R - ED. REFERÊNCIA				
7	Ref. absorvância cobertura	Ambientes	Instância	Número
7	Ref. absorvância paredes externas	Ambientes	Instância	Número
7	Ref. altura do pavimento	Ambientes	Instância	Número
7	Ref. área ambiente	Ambientes	Instância	Área
7	Ref. área fachada leste	Ambientes	Instância	Área
7	Ref. área fachada norte	Ambientes	Instância	Área
7	Ref. área fachada oeste	Ambientes	Instância	Área
7	Ref. área fachada sul	Ambientes	Instância	Área
7	Ref. capacidade térmica cobertura	Ambientes	Instância	Texto

(Continua)

Quadro A. 1 - Parâmetros criados para o *template* desenvolvido (dados gerados pelos *scripts* VPL)
(Continuação)

Grupo	Parâmetro	Categoria	Tipo de propriedade	Tipo de parâmetro
7	Ref. capacidade térmica paredes externas	Ambientes	Instância	Texto
7	Ref. exposição da cobertura	Ambientes	Instância	Texto
7	Ref. exposição do piso	Ambientes	Instância	Texto
7	Ref. fator de abertura	Ambientes	Instância	Número
7	Ref. fator de altura	Ambientes	Instância	Número
7	Ref. fator de vidro fachada leste	Ambientes	Instância	Número
7	Ref. fator de vidro fachada norte	Ambientes	Instância	Número
7	Ref. fator de vidro fachada oeste	Ambientes	Instância	Número
7	Ref. fator de vidro fachada sul	Ambientes	Instância	Número
7	Ref. fator solar vidro	Ambientes	Instância	Número
7	Ref. pé direito	Ambientes	Instância	Comprimento
7	Ref. pilotis	Ambientes	Instância	Texto
7	Ref. tamanho da projeção	Ambientes	Instância	Comprimento
7	Ref. tipo de ambiente	Ambientes	Instância	Texto
7	Ref. tipo de piso	Ambientes	Instância	Texto
7	Ref. transmitância cobertura	Ambientes	Instância	Número
7	Ref. transmitância paredes externas	Ambientes	Instância	Número
7	Ref. transmitância vidro	Ambientes	Instância	Número
7	Ref. venezianas	Ambientes	Instância	Texto
RESULTADOS: PREDIÇÃO DAS CARGAS TÉRMICAS				
8	CgTA	Ambientes	Instância	Número
8	CgTR	Ambientes	Instância	Número
8	Ref. CgTA	Ambientes	Instância	Número
8	Ref. CgTR	Ambientes	Instância	Número
RESULTADOS: ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				
9	C energia prim. UHreal	Ambientes	Instância	Número
9	C UHreal	Ambientes	Instância	Número
9	CA UHreal	Ambientes	Instância	Número
9	CR UHreal	Ambientes	Instância	Número
9	Eficiência APPa	Ambientes	Instância	Texto
9	Eficiência APPr	Ambientes	Instância	Texto
9	Eficiência envoltória UH	Ambientes	Instância	Texto
9	Eficiência envoltória UHa	Ambientes	Instância	Texto
9	Eficiência envoltória UHr	Ambientes	Instância	Texto
9	EqNumAPPa	Ambientes	Instância	Texto
9	EqNumAPPr	Ambientes	Instância	Número
9	EqNumUH	Ambientes	Instância	Número
9	EqNumUHa	Ambientes	Instância	Texto
9	EqNumUHr	Ambientes	Instância	Número

(Continua)

Quadro A. 1 - Parâmetros criados para o *template* desenvolvido (dados gerados pelos *scripts* VPL)
(Continuação)

Grupo	Parâmetro	Categoria	Tipo de propriedade	Tipo de parâmetro
RESULTADOS: ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO				
10	Absortância cobertura 3 anos deg.	Ambientes	Instância	Número
10	Absortância parede externa 3 anos deg.	Ambientes	Instância	Número
10	Área abertura ventilação_total	Ambientes	Instância	Área
10	Área elementos transparentes_menor valor	Ambientes	Instância	Área
10	Área elementos transparentes_total	Ambientes	Instância	Área
10	AVS	Ambientes	Instância	Ângulo
10	CT paredes externas	Ambientes	Instância	Número
10	Desempenho esquadria_pior caso	Ambientes	Instância	Texto
10	NBR_Observação cobertura	Ambientes	Instância	Texto
10	NBR_Observação CTpar	Ambientes	Instância	Texto
10	NBR_Observação Upar	Ambientes	Instância	Texto
10	NBR_Status abertura ventilação	Ambientes	Instância	Texto
10	NBR_Status CTpar	Ambientes	Instância	Texto
10	NBR_Status desempenho térmico APP	Ambientes	Instância	Texto
10	NBR_Status desempenho térmico APP 3 anos deg.	Ambientes	Instância	Texto
10	NBR_Status desempenho térmico UH	Ambientes	Instância	Texto
10	NBR_Status desempenho térmico UH 3 anos deg.	Ambientes	Instância	Texto
10	NBR_Status elementos transparentes	Ambientes	Instância	Texto
10	NBR_Status tabela 17	Ambientes	Instância	Texto
10	NBR_Status tabela 18	Ambientes	Instância	Texto
10	NBR_Status Ucob	Ambientes	Instância	Texto
10	NBR_Status Ucob 3 anos deg.	Ambientes	Instância	Texto
10	NBR_Status Upar	Ambientes	Instância	Texto
10	NBR_Status Upar 3 anos deg.	Ambientes	Instância	Texto
10	Orientação abertura	Ambientes	Instância	Texto
10	Percentual abertura ventilação_total	Ambientes	Instância	Número
10	Percentual elementos transparentes_menor valor	Ambientes	Instância	Número
10	Percentual elementos transparentes_total	Ambientes	Instância	Número

Fonte: A autora (2022)

APÊNDICE B - Tabelas *template*

A seguir são apresentadas as tabelas criadas e pré-configuradas no *template* desenvolvido. Estas tabelas referem-se ao primeiro grupo, Tabelas Revit, onde os dados de entrada dos elementos do Revit podem ser visualizados.

Figura B. 1 – Tabela de informações de projeto do *template* desenvolvido

<01 REVIT Dados de entrada - Informações de Projeto>										
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Cidade	Estado	Região geográfica	Latitude	Grupo climático	Subgrupo climático	Zona bioclimática	TMA	dpT	AMA	dpA
São Paulo	SP	Sudeste	-23.55°	1	a	3	21.13	1.84	6.56	0.65

Fonte: A autora (2022)

Figura B. 2 – Tabela de paredes do *template* desenvolvido

<02 REVIT Dados de entrada - Paredes>							
A	B	C	D	E	F	G	H
Tipo	Qtd.	Área	Orientação	Função	Absortância solar	Capacidade térmica	Transmitância térmica
.INI Parede Ext nº 09 - Pint int_Arg / BI Cerâmico 9x14x24 / Arg_Pint ext areia	2	16.99 m ²	Sul	Exterior	0.45	150	2.46
.INI Parede Ext nº 09 - Pint int_Arg / BI Cerâmico 9x14x24 / Arg_Pint ext areia	1	18.83 m ²	Oeste	Exterior	0.45	150	2.46
.INI Parede Ext nº 09 - Pint int_Arg / BI Cerâmico 9x14x24 / Arg_Pint ext areia	1	18.76 m ²	Norte	Exterior	0.45	150	2.46
.INI Parede Ext nº 09 - Pint int_Arg / BI Cerâmico 9x14x24 / Arg_Pint ext areia	2	18.42 m ²	Leste	Exterior	0.45	150	2.46
Exterior: 6		73.00 m ²					
.INI Parede Int nº 09 - Pintura_Arg / BI Cerâmico 9x14x24 / Arg_Pintura	3	33.56 m ²		Interior	0	150	2.46
Interior: 3		33.56 m ²					

Fonte: A autora (2022)

Figura B. 3 – Tabela de piso do *template* desenvolvido

<03 REVIT Dados de entrada - Piso>								
A	B	C	D	E	F	G	H	I
Nível	Tipo	Qtd.	Área	Exposição	Absortância	Capacidade térmica	Transmitância térmica	Tipo de piso
Pavimento Térreo	.INI Piso entre Pav nº 01 Artigo - Laje maciça 5cm + Contrapiso + Cerâmica	1	40.20 m ²	Entre pavimentos	0	168	3.77	Alta inércia térmica
Pavimento Térreo: 1			40.20 m ²					

Fonte: A autora (2022)

Figura B. 4 – Tabela de telhado do *template* desenvolvido

<04 REVIT Dados de entrada - Telhado>				
A	B	C	D	E
Nível base	Tipo	Absortância solar	Capacidade térmica	Transmitância térmica
1º Pavimento	.INI Telha Cerâmica - Colonial 1,0 cm (SEM FORRO)	0.75	18	4.55
1º Pavimento: 1				

Fonte: A autora (2022)

Figura B. 5 – Tabela de forro do *template* desenvolvido

<05 REVIT Dados de entrada - Forro>						
A	B	C	D	E	F	G
Nível	Tipo	Área	Exposição	Absortância	Capacidade térmica	Transmitância térmica
Pavimento Térreo	.INI Forro sob telhado ARTIGO - Forro pvc (sob telha cerâmica)	35.58 m ²	Sob telhado	0.6	21.4	1.75
Pavimento Térreo: 4		35.58 m ²				

Fonte: A autora (2022)

Figura B. 6 – Tabela de janela do *template* desenvolvido

<06 REVIT Dados de							
A	B	C	D	E	F	G	H
Família	Tipo	Qtd.	Largura	Altura	Área	Altura do peitoril	Fator de abertura para ventilação
Janela Maxim-air - 1 Módulo	.INI 0800x0600 mm - Vidro 3mm - Sem veneziana	1	0.80 m	0.60 m	0.48 m ²	1.50 m	0.8
Janela de Correr - 2 Folhas	.INI 1200x1000 mm - Vidro 3mm - Sem veneziana	2	1.20 m	1.00 m	1.20 m ²	1.10 m	0.5
Janela de Correr - 2 Folhas	.INI 1500x1000 mm - Vidro 4mm - Sem veneziana	2	1.50 m	1.00 m	1.50 m ²	1.10 m	0.5

(Continua)

Figura B. 6 – Tabela de janela do *template* desenvolvido (Continuação)

entrada - Janela>						
I	J	K	L	M	N	O
Fator de abertura para iluminação	Transmitância térmica	Fator solar do vidro	Veneziana	Nível desempenho esquadria	Sombreamento horizontal	AVS
0.7	5.7	0.87	<input type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	0.00°
0.8	5.7	0.87	<input type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	0.00°
0.8	5.7	0.87	<input type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	0.00°

Fonte: A autora (2022)

Figura B. 7 – Tabela de porta do *template* desenvolvido

<07 REVIT Dados de Entrada - Porta>									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Família	Tipo	Qty.	Largura	Altura	Área	Altura do peitoril	Função	Possui fechamento translúcido ou transparente	Fator de abertura para ventilação
Porta de Abrir Metálica Veneziana	.INI 80x210cm - Externa	1	0.80 m	2.10 m	1.68 m ²	0.050 m	Exterior	<input type="checkbox"/>	0
Exterior: 1									
Porta Simples de Abrir	.INI Porta Int 80x210cm - Marco de Madeira	3	0.78 m	2.09 m	1.63 m ²	0.050 m	Interior	<input type="checkbox"/>	0
Interior: 3									

(Continua)

Figura B. 7 – Tabela de porta do *template* desenvolvido (Continuação)

K	L	M	N	O	P	Q
Fator de abertura para iluminação	Transmitância térmica do vidro	Fator solar vidro	Veneziana	Nível desempenho esquadria	Sombreamento horizontal	AVS
0	0	0	<input type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	0.00°
0	0	0	<input type="checkbox"/>	-	<input type="checkbox"/>	0.00°

Fonte: A autora (2022)

Figura B. 8 – Tabela de ambientes do *template* desenvolvido

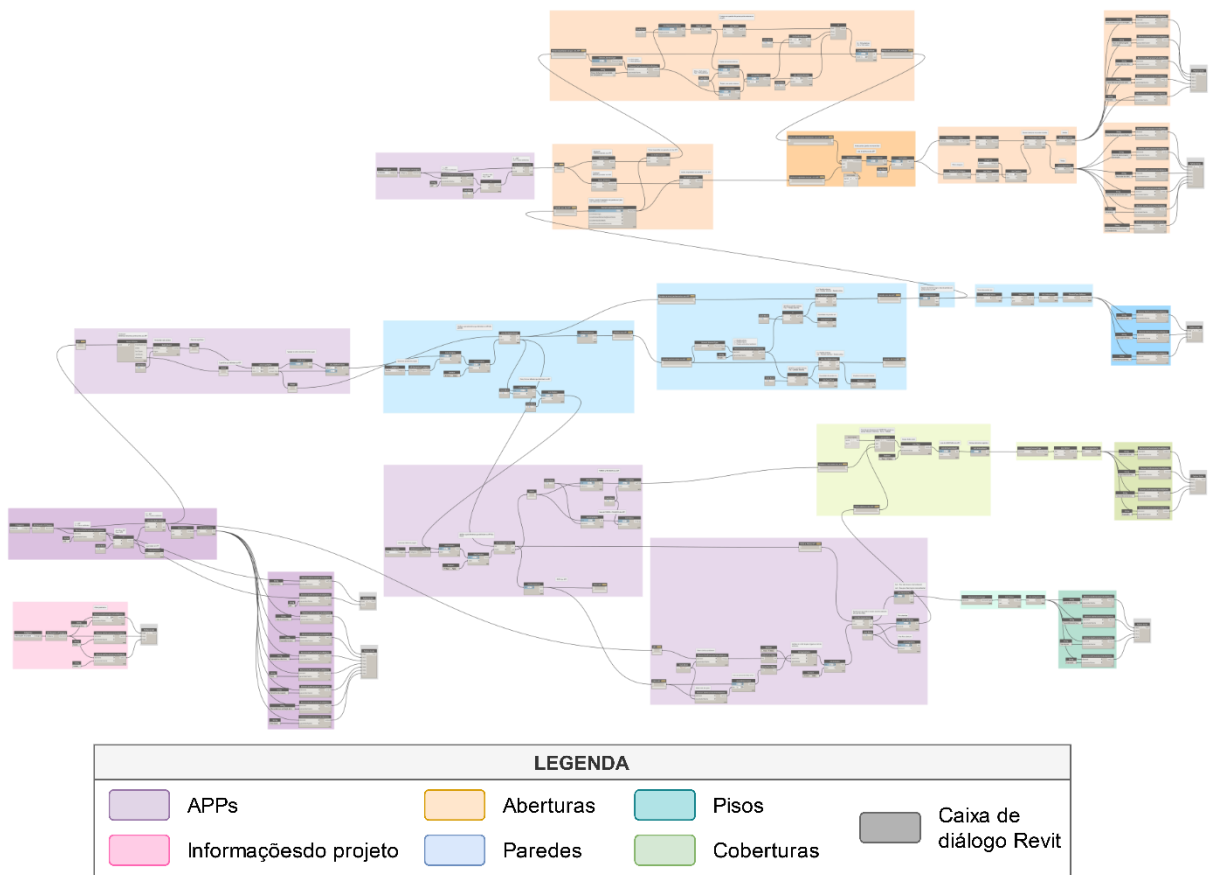
<08 REVIT Dados de entrada - Ambientes>										
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
UH	Nível	Nome	Classificação		Tamanho da projeção	Condição de exposição envoltória			Altura abertura ventilação ático	Área closet
			APP	Tipo		Pilotis	Exposição piso	Exposição cobertura		
UH 1	Pavimento Térreo	Dorm. 1	<input checked="" type="checkbox"/>	Dormitório	0.00 m	Sem pilotis	Contato com o solo	Exposta	0.00 m	0.00 m ²
UH 1	Pavimento Térreo	Dorm. 2	<input checked="" type="checkbox"/>	Dormitório	0.00 m	Sem pilotis	Contato com o solo	Exposta	0.00 m	0.00 m ²
UH 1	Pavimento Térreo	Sala / cozinha	<input checked="" type="checkbox"/>	Sala	0.00 m	Sem pilotis	Contato com o solo	Exposta	0.00 m	0.00 m ²
UH 1	Pavimento Térreo	Banheiro	<input type="checkbox"/>	Banheiro	0.00 m	Sem pilotis	Contato com o solo	Exposta	0.00 m	0.00 m ²

Fonte: A autora (2022)

APÊNDICE C - Scripts VPL

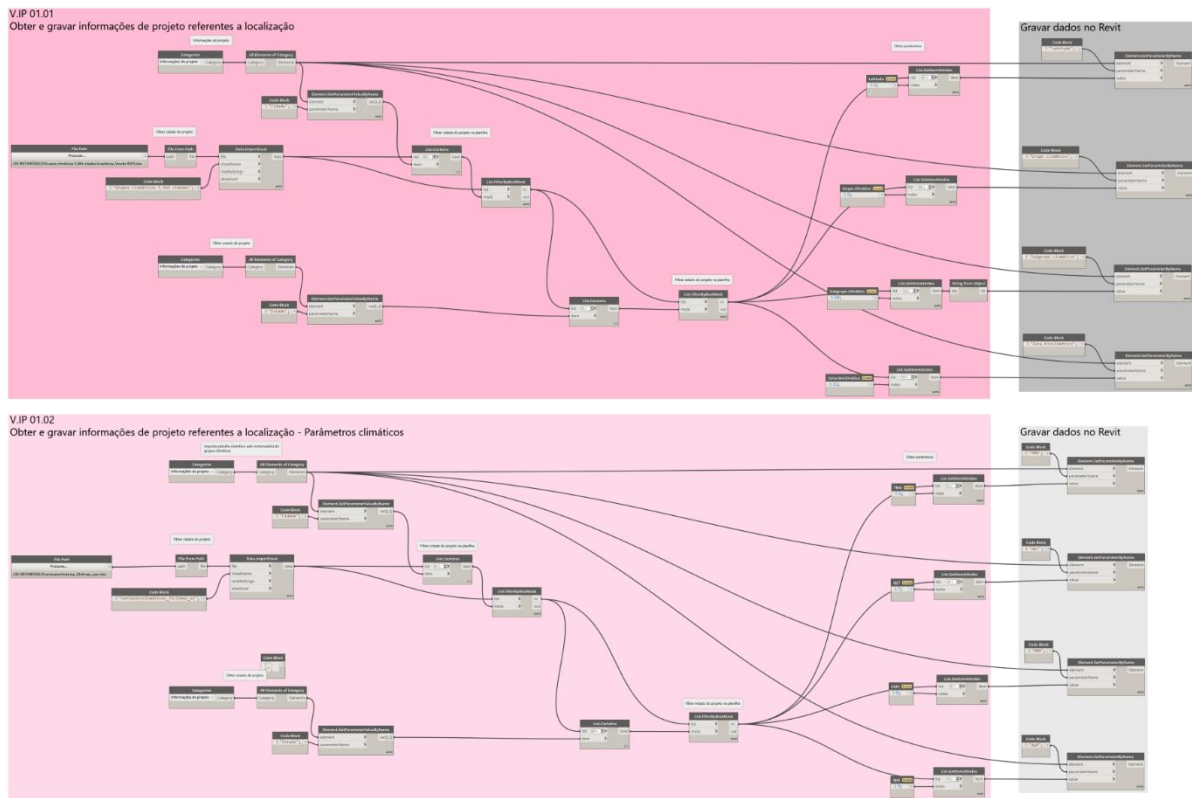
A seguir são apresentados todos os *scripts* VPL construídos durante o desenvolvimento do protótipo.

Figura C. 1 – *Script* VPL de verificação dos dados



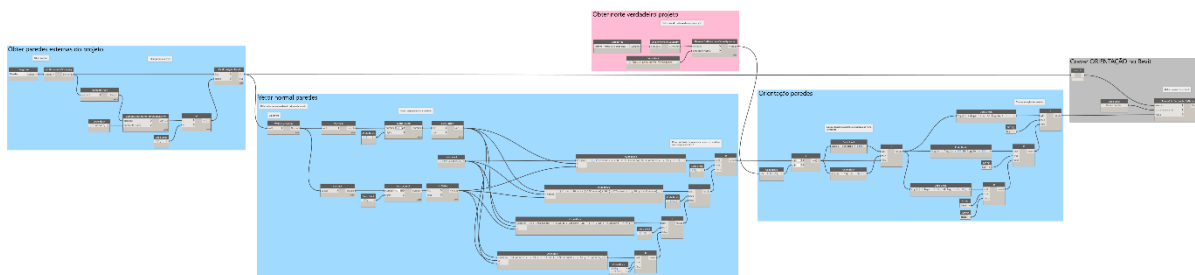
Fonte: A autora (2022)

Figura C. 2 – Script VPL para obter informações de projeto



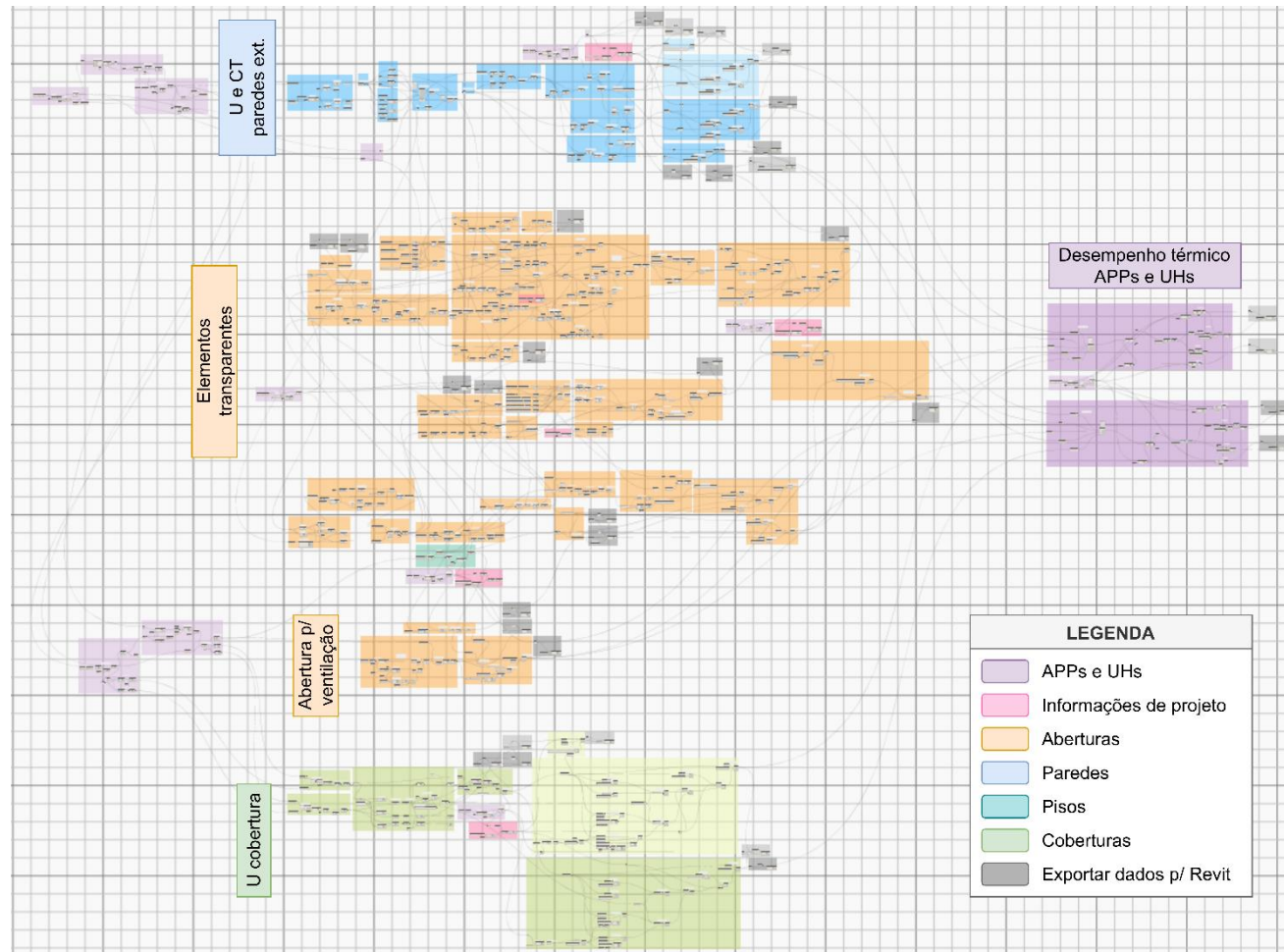
Fonte: A autora (2022)

Figura C. 3 – Script VPL para obter orientação das fachadas



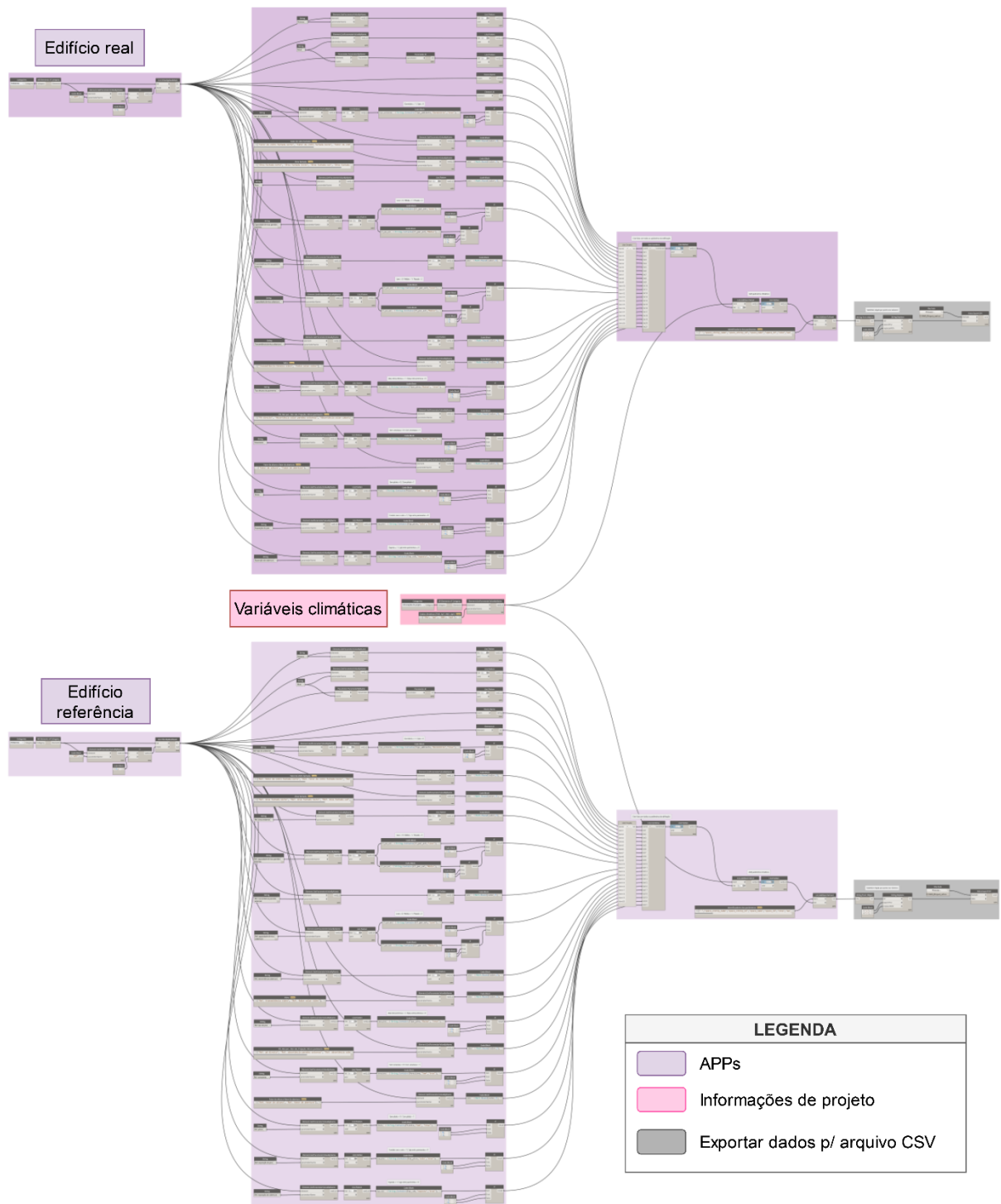
Fonte: A autora (2022)

Figura C. 4 – Script VPL para análise de desempenho térmico



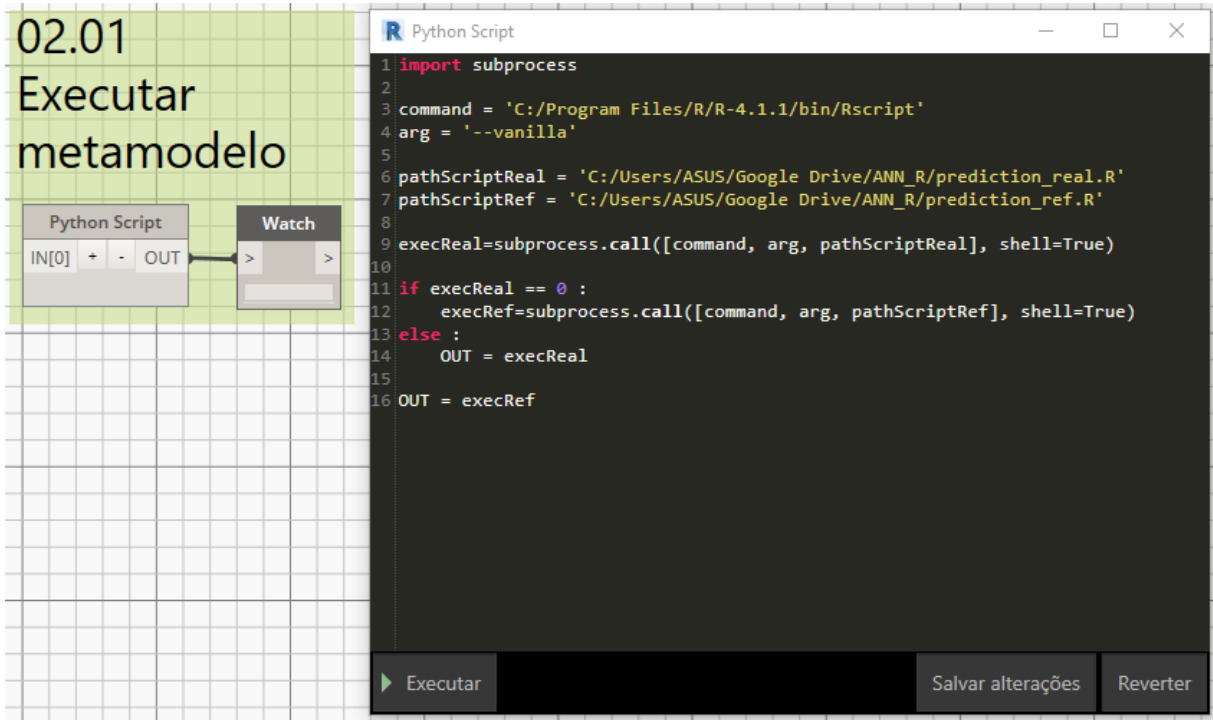
Fonte: A autora (2022)

Figura C. 5 – Script VPL para gerar arquivo “csv” contendo os parâmetros de entrada do metamodelo de predição das cargas térmicas



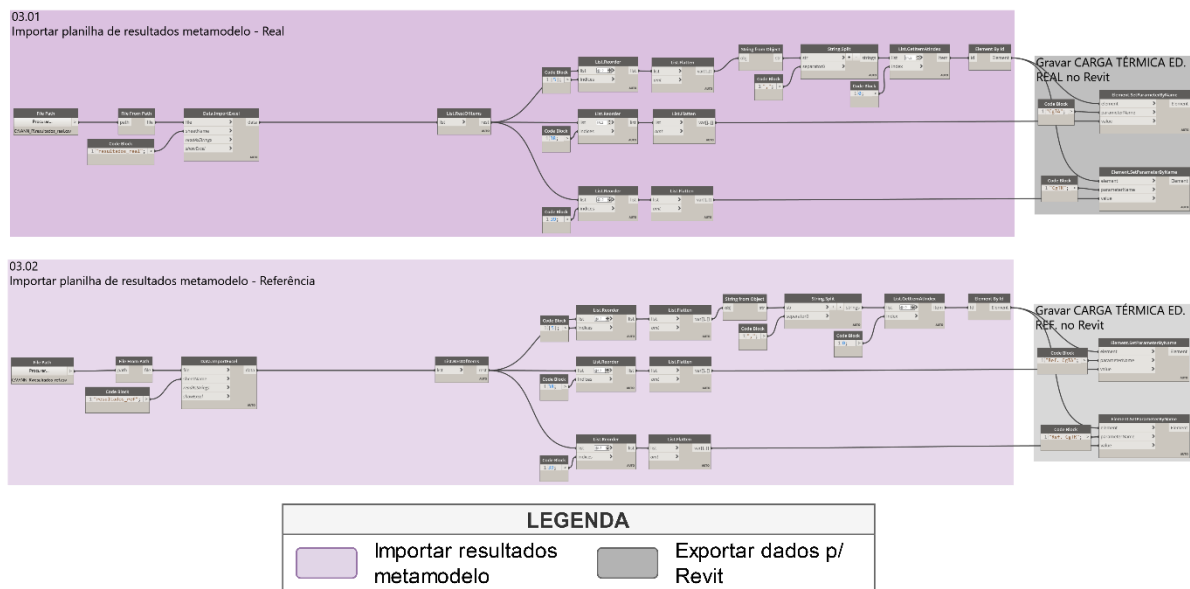
Fonte: A autora (2022)

Figura C. 6 – Script VPL para executar o metamodelo de predição das cargas térmicas



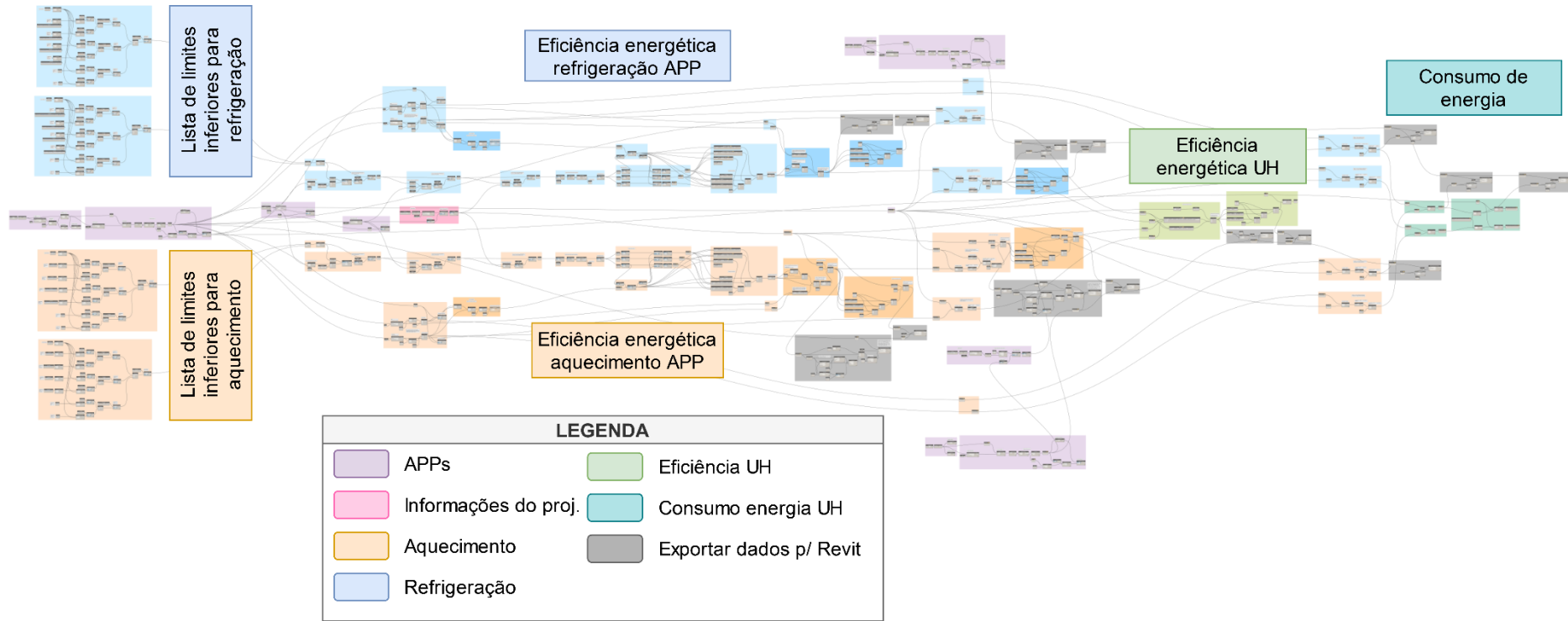
Fonte: A autora (2022)

Figura C. 7 – Script VPL para exportar para o Revit arquivo “csv” contendo os resultados do metamodelo de predição das cargas térmicas



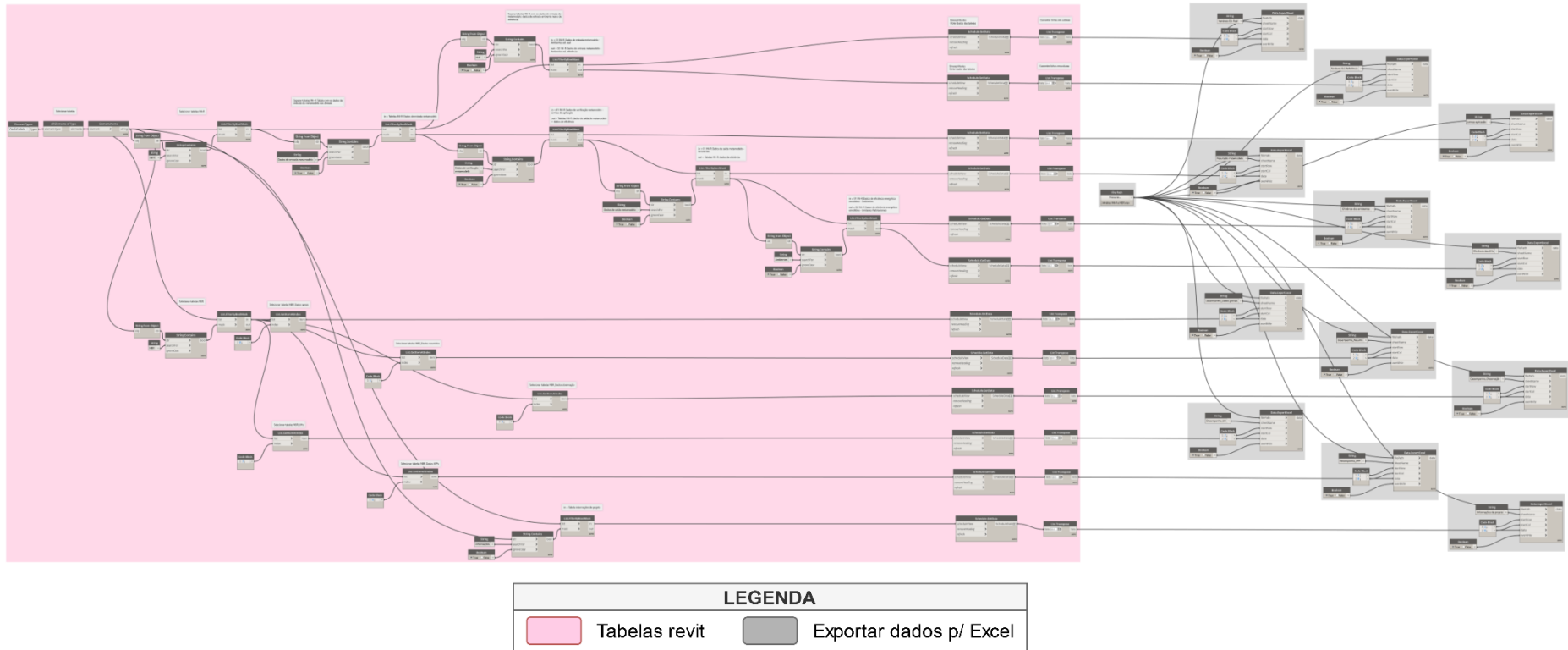
Fonte: A autora (2022)

Figura C. 8 – Script VPL para análise de eficiência energética



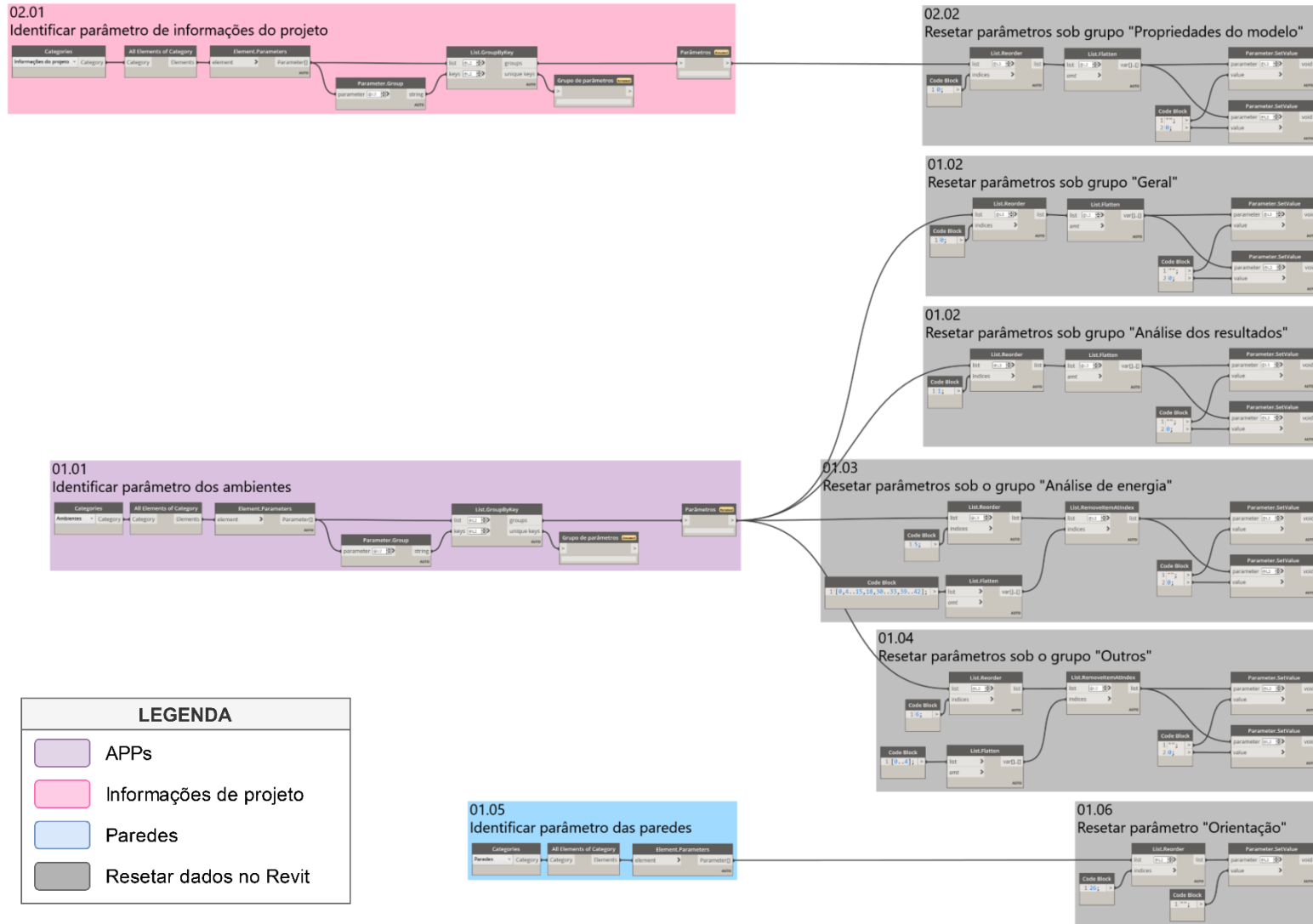
Fonte: A autora (2022)

Figura C. 9 – Script VPL para exportar resultados para o Excel



Fonte: A autora (2022)

Figura C. 10 – Script VPL para resetar os dados



Fonte: A autora (2022)

APÊNDICE D - Código Python de verificação dos dados

A seguir é apresentado o código Python desenvolvido para verificar se os parâmetros referentes a categoria de “Ambientes” estão preenchidos e, em caso negativo, abrir caixa de diálogo no Revit exibindo mensagem de erro:

```
# Carregar as bibliotecas DesignScript e padrão do Python
import clr
clr.AddReference('RevitAPIUI')
from Autodesk.Revit.UI import TaskDialog

# As entradas para este nó serão armazenadas como uma lista nas variáveis IN.
listaDepartamento = IN[0]
listaTipoAmb = IN[1]
listaExposicaoPiso = IN[2]
listaExposicaoCobertura = IN[3]
listaPilotis = IN[4]
listaApp = IN[5]
listaProjecao = IN[6]
listaAtico = IN[7]
listaCloset = IN[8]

# Configuração caixa de diálogo
mainDialog1 = TaskDialog("ERRO")
mainDialog1.MainInstruction = "AMBIENTES\nParâmetros não definidos"
textoContent = "Existem parâmetros dos AMBIENTES que não estão definidos.\n\nPara
proseguir com a análise de desempenho termo energético do edifício, verificar e preencher os
dados abaixo:\n\n"
isInvalido = 1

# Avaliar se os campos dos parâmetros estão preenchidos
for departamento in listaDepartamento:
    if departamento is None or len(departamento) == 0:
```

```
        textoContent += "* Parâmetro: Departamento\n"
        isInvalido = 0
        break

for tipoAmb in listaTipoAmb:
    if tipoAmb is None or len(tipoAmb) == 0:
        textoContent += "* Parâmetro: Tipo de ambiente\n"
        isInvalido = 0
        break

for expPiso in listaExposicaoPiso:
    if expPiso is None or len(expPiso) == 0:
        textoContent += "* Parâmetro: Exposição do piso\n"
        isInvalido = 0
        break

for expCobertura in listaExposicaoCobertura:
    if expCobertura is None or len(expCobertura) == 0:
        textoContent += "* Parâmetro: Exposição da cobertura\n"
        isInvalido = 0
        break

for pilotis in listaPilotis:
    if pilotis is None or len(pilotis) == 0:
        textoContent += "* Parâmetro: Pilotis\n"
        isInvalido = 0
        break

for app in listaApp:
    if app != 0 and app != 1:
        textoContent += "* Parâmetro: Veneziana\n"
        isInvalido = 0
        break
```

```
for projecao in listaProjecao:
    isFloat = isinstance(projecao, float)
    if projecao is None or not isFloat:
        textoContent += "* Parâmetro: Tamanho da projeção\n"
        isInvalido = 0
        break

for atico in listaAtico:
    isFloat = isinstance(atico, float)
    if atico is None or not isFloat:
        textoContent += "* Parâmetro: Altura abertura ventilação ático\n"
        isInvalido = 0
        break

for closet in listaCloset:
    isFloat = isinstance(closet, float)
    if closet is None or not isFloat:
        textoContent += "* Parâmetro: Área closet\n"
        isInvalido = 0
        break

# Apresentação resultado
mainDialog1.MainContent = textoContent
if isInvalido == 0:
    mainDialog1.Show()
    OUT = "Existem parâmetros não definidos"
else:
    OUT = "Todos os parâmetros estão ok"
```

APÊNDICE E - Tabelas Excel

A seguir são apresentadas as tabelas contendo os resultados da análise de desempenho termo energético e que são exportadas do Revit para o Excel.

Tabela E. 1 – Tabela de informações de projeto

Parâmetro	Valor
Cidade	São Paulo
Estado	SP
Região geográfica	Sudeste
Latitude	-23.55°
Grupo climático	1
Subgrupo climático	a
Zona bioclimática	3
TMA	21.13
dpT	1.84
AMA	6.56
dpA	0.65

Fonte: A autora (2022)

Tabela E. 2– Tabela de análise do desempenho térmico: resultado geral

	UH 1 Dorm. 1	UH 1 Dorm. 2	UH 1 Sala / cozinha
ZB	3	3	3
Latitude	-23.55°	-23.55°	-23.55°
Nível	Pavimento Térreo	Pavimento Térreo	Pavimento Térreo
APP	Sim	Sim	Sim
Tipo	Dormitório	Dormitório	Sala
Área amb	8.034	7.54	15.526
Absortância par	0.45	0.45	0.45
Absortância par (3 anos deg.)	0.55	0.55	0.55
Upar	2.46	2.46	2.46
Status Upar	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status Upar (3 anos deg.)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Obs Upar	Caso a parede possua superfície externa em chapa metálica, com ou sem aplicação de acabamento, verificar se a emitância térmica da superfície possui valor superior a 0,7	Caso a parede possua superfície externa em chapa metálica, com ou sem aplicação de acabamento, verificar se a emitância térmica da superfície possui valor superior a 0,7	Caso a parede possua superfície externa em chapa metálica, com ou sem aplicação de acabamento, verificar se a emitância térmica da superfície possui valor superior a 0,7
CTpar	150	150	150
Status CTpar	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Obs CTpar	Caso a parede apresente materiais isolantes térmicos de condutividade térmica $\leq 0,065$ W/m.k e resistência térmica $> 0,5$ m ² .k/W, a CT deve ser calculada desprezando todos os materiais voltados para o ambiente externo, posicionados a partir do isolante ou espaço de ar	Caso a parede apresente materiais isolantes térmicos de condutividade térmica $\leq 0,065$ W/m.k e resistência térmica $> 0,5$ m ² .k/W, a CT deve ser calculada desprezando todos os materiais voltados para o ambiente externo, posicionados a partir do isolante ou espaço de ar	Caso a parede apresente materiais isolantes térmicos de condutividade térmica $\leq 0,065$ W/m.k e resistência térmica $> 0,5$ m ² .k/W, a CT deve ser calculada desprezando todos os materiais voltados para o ambiente externo, posicionados a partir do isolante ou espaço de ar
Absortância cob	0.6	0.6	0.6
Absortância cob (3 anos deg.)	0.649	0.649	0.649
Ucob	1.75	1.75	1.75

(Continua)

Tabela E. 2– Tabela de análise do desempenho térmico: resultado geral (Continuação)

	UH 1 Dorm. 1	UH 1 Dorm. 2	UH 1 Sala / cozinha
Status Ucob	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status Ucob (3 anos deg.)	Fora dos limites da norma (Ucob > 1.5)	Fora dos limites da norma (Ucob > 1.5)	Fora dos limites da norma (Ucob > 1.5)
Obs cobertura	Caso a cobertura possua telha metálica, com ou sem aplicação de acabamento, verificar se a emitância térmica da superfície possui valor superior a 0,7	Caso a cobertura possua telha metálica, com ou sem aplicação de acabamento, verificar se a emitância térmica da superfície possui valor superior a 0,7	Caso a cobertura possua telha metálica, com ou sem aplicação de acabamento, verificar se a emitância térmica da superfície possui valor superior a 0,7
Área abertura ventilação_total	0.6	0.6	1.5
% abertura ventilação_total	7.47	7.96	9.66
Status abertura ventilação	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Área elementos transparentes_total	0.96	0.96	2.4
% elementos transparentes_total	11.95	12.73	15.46
Área elementos transparentes_menor valor	0.96	0.96	1.2
% elementos transparentes_menor valor	11.949	12.732	7.729
FS vidro	0.87	0.87	0.87
Desempenho esquadria_pior caso	-	-	-
Orientação abertura	-	-	-
AVS	0.00°	0.00°	0.00°
Status tabela 17	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status tabela 18	Abertura sem sombreamento	Abertura sem sombreamento	Abertura sem sombreamento
Status elementos transparentes	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok

Fonte: A autora (2022)

Tabela E. 3 – Tabela de análise do desempenho térmico: resultado resumido

		UH 1 Dorm. 1	UH 1 Dorm. 2	UH 1 Sala / cozinha
Informações gerais	Nível	Pavimento Térreo	Pavimento Térreo	Pavimento Térreo
	APP	Sim	Sim	Sim
	Tipo	Dormitório	Dormitório	Sala
Transmitância térmica paredes externas	Status Upar	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
	Status Upar (3 anos deg.)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica paredes externas	Status CTpar	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
	Status Ucob	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Transmitância térmica cobertura	Status Ucob (3 anos deg.)	Fora dos limites da norma (Ucob > 1.5)	Fora dos limites da norma (Ucob > 1.5)	Fora dos limites da norma (Ucob > 1.5)
	Status abertura ventilação	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Elementos transparentes	Status elementos transparentes	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok

Fonte: A autora (2022)

Tabela E. 4 – Tabela de análise do desempenho térmico: desempenho APP

	UH 1 Dorm. 1	UH 1 Dorm. 2	UH 1 Sala / cozinha
Nível	Pavimento Térreo	Pavimento Térreo	Pavimento Térreo
APP	Sim	Sim	Sim
Tipo	Dormitório	Dormitório	Sala
NBR_Status desempenho térmico APP	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
NBR_Status desempenho térmico APP (3 anos deg.)	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação

Fonte: A autora (2022)

Tabela E. 5 – Tabela de análise do desempenho térmico: desempenho UH

UH 1	
Nível	Pavimento Térreo
NBR_Status desempenho térmico UH	Desempenho mínimo ok
NBR_Status desempenho térmico UH (3 anos deg.)	Avaliar pelo método de simulação

Fonte: A autora (2022)

Tabela E. 6 – Tabela de análise do desempenho térmico: observações

Transmitância térmica paredes externas	Obs Upar	Caso a parede possua superfície externa em chapa metálica, com ou sem aplicação de acabamento, verificar se a emitância térmica da superfície possui valor superior a 0,7
Capacidade térmica paredes externas	Obs CTpar	Caso a parede apresente materiais isolantes térmicos de condutividade térmica $\leq 0,065$ W/m.k e resistência térmica $> 0,5$ m ² .k/W, a CT deve ser calculada desprezando todos os materiais voltados para o ambiente externo, posicionados a partir do isolante ou espaço de ar
Transmitância térmica cobertura	Obs cobertura	Caso a cobertura possua telha metálica, com ou sem aplicação de acabamento, verificar se a emitância térmica da superfície possui valor superior a 0,7

Fonte: A autora (2022)

Tabela E. 7 – Tabela de análise eficiência energética: parâmetros de entrada INI-R – Edifício real

	UH 1 Dorm. 1	UH 1 Dorm. 2	UH 1 Sala / cozinha
Nível	Pavimento Térreo	Pavimento Térreo	Pavimento Térreo
APP	Sim	Sim	Sim
Tipo	Dormitório	Dormitório	Sala
FV norte	0.000	0.000	0.000
FV leste	0.000	0.166	0.000
FV sul	0.185	0.000	0.214
FV oeste	0.000	0.000	0.108
AF norte	0.000	6.500	0.000
AF leste	7.725	7.250	2.538
AF sul	6.500	0.000	7.000
AF oeste	0.000	0.000	13.863
Área amb	8.034	7.540	15.526
CT par. ext.	Média	Média	Média
U par. ext.	2.460	2.460	2.460
CT cob	Leve	Leve	Leve
U cob	1.750	1.750	1.750
U vidro	5.700	5.700	5.700
FS vidro	0.870	0.870	0.870
Tipo de piso	Alta inércia térmica	Alta inércia térmica	Alta inércia térmica
PD	2.500	2.500	2.500
Absortância par. ext.	0.450	0.450	0.450
Absortância cob.	0.600	0.600	0.600
Tamanho projeção	0.000	0.000	0.000
Altura pav	0.000	0.000	0.000
Venezianas	Sem veneziana	Sem veneziana	Sem veneziana
Fator de altura	0.400	0.400	0.400
Fator de abertura	0.500	0.500	0.500
Pilotis	Sem pilotis	Sem pilotis	Sem pilotis
Exposição piso	Contato com o solo	Contato com o solo	Contato com o solo
Exposição cob	Exposta	Exposta	Exposta

Fonte: A autora (2022)

Tabela E. 8 – Tabela de análise eficiência energética: parâmetros de entrada INI-R – Edifício de referência

	UH 1 Dorm. 1	UH 1 Dorm. 2	UH 1 Sala / cozinha
Nível	Pavimento Térreo	Pavimento Térreo	Pavimento Térreo
APP	Sim	Sim	Sim
Ref. tipo	Dormitório	Dormitório	Sala
Ref. FV norte	0.000	0.000	0.000
Ref. FV leste	0.000	0.166	0.000
Ref. FV sul	0.198	0.000	0.177
Ref. FV oeste	0.000	0.000	0.090
Ref. AF norte	0.000	6.500	0.000
Ref. AF leste	7.725	7.250	2.538
Ref. AF sul	6.500	0.000	7.000
Ref. AF oeste	0.000	0.000	13.863
Ref. área amb	8.034	7.540	15.526
Ref. CT par ext	Média	Média	Média
Ref. U par ext	3.650	3.650	3.650
Ref. CT cob	Leve	Leve	Leve
Ref. U cob	2.020	2.020	2.020
Ref. U vidro	5.700	5.700	5.700
Ref. FS vidro	0.870	0.870	0.870
Ref. tipo de piso	Alta inércia térmica	Alta inércia térmica	Alta inércia térmica
Ref. PD	2.500	2.500	2.500
Ref. absorvância par ext	0.600	0.600	0.600
Ref. absorvância cob	0.600	0.600	0.600
Ref. tamanho projeção	0.000	0.000	0.000
Ref. altura pav	0.000	0.000	0.000
Ref. venezianas	Sem veneziana	Sem veneziana	Sem veneziana
Ref. fator de altura	0.400	0.400	0.400
Ref. fator de abertura	0.500	0.500	0.500
Ref. pilotis	Sem pilotis	Sem pilotis	Sem pilotis
Ref. exposição piso	Contato com o solo	Contato com o solo	Contato com o solo
Ref. exposição cob	Exposta	Exposta	Exposta

Fonte: A autora (2022)

Tabela E. 9 – Tabela de análise eficiência energética: limite de aplicação do método simplificado da INI-R

	UH 1 Dorm. 1	UH 1 Dorm. 2	UH 1 Sala / cozinha
Nível	Pavimento Térreo	Pavimento Térreo	Pavimento Térreo
APP	Sim	Sim	Sim
Tipo	Dormitório	Dormitório	Sala
Absortância cob	Ok	Ok	Ok
Absortância par ext	Ok	Ok	Ok
Altura pavimento	Ok	Ok	Ok
AF norte	Ok	Ok	Ok
AF leste	Ok	Ok	Ok
AF sul	Ok	Ok	Ok
AF oeste	Ok	Ok	Ok
Área ambiente	Ok	Ok	Ok
CT cob	Ok	Ok	Ok
CT par ext	Ok	Ok	Ok
CT piso	Ok	Ok	Ok
Fachadas expostas	Ok	Ok	Ok
Fator de abertura	Ok	Ok	Ok
FV norte	Ok	Ok	Ok
FV leste	Ok	Ok	Ok
FV sul	Ok	Ok	Ok
FV oeste	Ok	Ok	Ok
FS vidro	Ok	Ok	Ok
Pé direito	Ok	Ok	Ok
Abertura zenital	Ok	Ok	Ok
Status área fachada por área piso leste	Ok	Ok	Ok
Status área fachada por área piso norte	Ok	Ok	Ok
Status área fachada por área piso oeste	Ok	Ok	Ok
Status área fachada por área piso sul	Ok	Ok	Ok
Venezianas	Ok	Ok	Ok
Projeção horizontal	Ok	Ok	Ok
U cob	Ok	Ok	Ok
U par ext	Ok	Ok	Ok
U piso	Fora do limite (> 3,00)	Fora do limite (> 3,00)	Fora do limite (> 3,00)
U vidro	Ok	Ok	Ok

Fonte: A autora (2022)

Tabela E. 10 – Tabela de análise eficiência energética: cargas térmicas de refrigeração e aquecimento dos APPs (Edifício. Real e de Referência)

	UH 1 Dorm. 1	UH 1 Dorm. 2	UH 1 Sala / cozinha
Nível	Pavimento Térreo	Pavimento Térreo	Pavimento Térreo
APP	Sim	Sim	Sim
Tipo	Dormitório	Dormitório	Sala
CgTR	15.65	17.86	61.47
CgTA	1.69	1.19	0.27
Ref. CgTR	23.66	27.21	108.32
Ref. CgTA	2.14	1.62	0.2

Fonte: A autora (2022)

Tabela E. 11 – Tabela de análise eficiência energética: eficiência APPs

	UH 1 Dorm. 1	UH 1 Dorm. 2	UH 1 Sala / cozinha
Nível	Pavimento Térreo	Pavimento Térreo	Pavimento Térreo
APP	Sim	Sim	Sim
Tipo	Dormitório	Dormitório	Sala
EqNumAPP_r	2	2	2
Eficiência APP_r	C	C	B
EqNumAPP_a	1.701	1.885	3
Eficiência APP_a	C	C	A

Fonte: A autora (2022)

Tabela E. 12 – Tabela de análise eficiência energética: eficiência UHs

	UH 1
Nível	Pavimento Térreo
EqNumUH_r	2
Eficiência UH_r	B
EqNumUH_a	2.394
Eficiência UH_a	B
EqNumUH	2
Eficiência UH	B
CR UH	374.932
CA UH	11.752
C UH	386.684
C energia prim. UH	618.694

Fonte: A autora (2022)

APÊNDICE F - Resultados validação (Projeto piloto - Modelo Base)

A seguir são apresentados os demais resultados referentes ao Modelo Base obtidos no processo de validação do protótipo.

Tabela F. 1 – Validação dos parâmetros de entrada da INI-R: Edifício real - Modelo Base

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE ENTRADA METAMODELO						
Tipo	Dormitório	Dormitório	Dormitório	Dormitório	Sala	Sala
FV norte	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FV leste	0.000	0.000	0.166	0.166	0.000	0.000
FV sul	0.185	0.185	0.000	0.000	0.214	0.214
FV oeste	0.000	0.000	0.000	0.000	0.108	0.108
AF norte	0.000	0.000	6.500	6.500	0.000	0.000
AF leste	7.725	7.725	7.250	7.250	2.538	2.538
AF sul	6.500	6.500	0.000	0.000	7.000	7.000
AF oeste	0.000	0.000	0.000	0.000	13.863	13.863
Área amb	8.034	8.034	7.540	7.540	15.526	15.526
CT par. ext.	Média	Média	Média	Média	Média	Média
U par. ext.	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460
CT cob	Leve	Leve	Leve	Leve	Leve	Leve
U cob	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
U vidro	5.700	5.700	5.700	5.700	5.700	5.700
FS vidro	0.870	0.870	0.870	0.870	0.870	0.870
Tipo de piso	Alta inércia térmica	Alta inércia térmica	Alta inércia térmica	Alta inércia térmica	Alta inércia térmica	Alta inércia térmica
PD	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
Absortância par. ext.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Absortância cob.	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Tamanho projeção	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Altura pav	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Venezianas	Sem veneziana	Sem veneziana	Sem veneziana	Sem veneziana	Sem veneziana	Sem veneziana
Fator de altura	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
Fator de abertura	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
Pilotis	Sem pilotis	Sem pilotis	Sem pilotis	Sem pilotis	Sem pilotis	Sem pilotis
Exposição piso	Contato com o solo	Contato com o solo	Contato com o solo	Contato com o solo	Contato com o solo	Contato com o solo
Exposição cob	Exposta	Exposta	Exposta	Exposta	Exposta	Exposta

Fonte: A autora (2022)

Tabela F. 2 – Validação dos parâmetros de entrada da INI-R: Edifício de referência - Modelo Base

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE ENTRADA METAMODELO						
Tipo	Dormitório	Dormitório	Dormitório	Dormitório	Sala	Sala
FV norte	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FV leste	0.000	0.000	0.166	0.166	0.000	0.000
FV sul	0.198	0.198	0.000	0.000	0.177	0.177
FV oeste	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.090
AF norte	0.000	0.000	6.500	6.500	0.000	0.000
AF leste	7.725	7.725	7.250	7.250	2.538	2.538
AF sul	6.500	6.500	0.000	0.000	7.000	7.000
AF oeste	0.000	0.000	0.000	0.000	13.863	13.863
Área amb	8.034	8.034	7.540	7.540	15.526	15.526
CT par. ext.	Média	Média	Média	Média	Média	Média
U par. ext.	3.650	3.650	3.650	3.650	3.650	3.650
CT cob	Leve	Leve	Leve	Leve	Leve	Leve
U cob	2.020	2.020	2.020	2.020	2.020	2.020
U vidro	5.700	5.700	5.700	5.700	5.700	5.700
FS vidro	0.870	0.870	0.870	0.870	0.870	0.870
Tipo de piso	Alta inércia térmica	Alta inércia térmica	Alta inércia térmica	Alta inércia térmica	Alta inércia térmica	Alta inércia térmica
PD	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
Absortância par. ext.	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Absortância cob.	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Tamanho projeção	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Altura pav	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Venezianas	Sem veneziana	Sem veneziana	Sem veneziana	Sem veneziana	Sem veneziana	Sem veneziana
Fator de altura	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
Fator de abertura	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
Pilotis	Sem pilotis	Sem pilotis	Sem pilotis	Sem pilotis	Sem pilotis	Sem pilotis
Exposição piso	Contato com o solo	Contato com o solo	Contato com o solo	Contato com o solo	Contato com o solo	Contato com o solo
Exposição cob	Exposta	Exposta	Exposta	Exposta	Exposta	Exposta

Fonte: A autora (2022)

Tabela F. 3 – Validação dos parâmetros de entrada da INI-R: Limites de aplicação do método simplificado da INI-R - Modelo Base

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE ENTRADA METAMODELO						
Absortância cob	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Absortância par ext	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Altura pavimento	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
AF norte	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
AF leste	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
AF sul	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
AF oeste	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Área ambiente	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
CT cob	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
CT par ext	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
CT piso	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Fachadas expostas	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Fator de abertura	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
FV norte	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
FV leste	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
FV sul	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
FV oeste	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
FS vidro	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Pé direito	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Abertura zenital	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Área fachada / área de piso norte	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Área fachada / área de piso leste	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Área fachada / área de piso sul	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Área fachada / área de piso oeste	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Venezianas	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Projeção horizontal	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
U cob	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
U par ext	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
U piso	Fora do limite	Fora do limite	Fora do limite	Fora do limite	Fora do limite	Fora do limite
U vidro	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Fonte: A autora (2022)

APÊNDICE G - Resultados validação (Projeto piloto - Ensaios)

A seguir são apresentados os resultados referentes aos ensaios realizados no processo de validação do protótipo.

G.1 - LOCALIZAÇÃO

- Modelo Loc. PR

Tabela G. 1 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Loc. PR

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	6.820	6.820	8.080	8.080	26.330	26.330
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	17.940	17.940	14.720	14.720	2.490	2.490
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	9.650	9.650	11.450	11.450	51.150	51.150
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	18.240	18.240	15.960	15.960	2.200	2.200
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - APP						
APP - EqNumAPP _r	1.652	1.652	1.654	1.654	2.117	2.117
APP - Eficiência APP _r	C	C	C	C	B	B
APP - EqNumAPP _a	1.066	1.066	1.311	1.311	0.000	0.000
APP - Eficiência APP _a	C	C	C	C	D	D
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA			
UH - EqNumUH _r	1.885	1.885	CR UH _{real}		161.887	161.887
UH - Eficiência UH _r	C	C	CA UH _{real}		90.672	90.672
UH - EqNumUH _a	0.593	0.593	C UH _{real}		252.560	252.560
UH - Eficiência UH _a	D	D	C energia prim. UH		404.095	404.095
UH - EqNumUH	1.576	1.576				
UH - Eficiência UH	C	C				

Fonte: A autora (2022)

Tabela G. 2 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Loc. PR

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)						
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)						
CTpar	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Abertura ventilação (Av)						
Área Av	0.600	0.600	0.600	0.600	1.500	1.500
Av (%)	7.47	7.47	7.96	7.96	9.66	9.66
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Elementos transparentes (Et)						
Área Et	0.960	0.960	0.960	0.960	2.400	2.400
Et (%)	11.95	11.95	12.73	12.73	15.46	15.46
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Transmitância térmica cob. (Ucob)						
Abs. cob.	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Abs. cob. (t = 3)	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
Ucob	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
Status Ucob	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status Ucob (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Desempenho térmico t= 0						
Desempenho APP	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Desempenho UH	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok				
Desempenho térmico t = 3 anos deg.						
Desempenho APP	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Desempenho UH	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok				

Fonte: A autora (2022)

- Modelo Loc. DF

Tabela G. 3 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Loc. DF

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	42.030	42.030	47.100	47.100	177.170	177.170
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	47.130	47.130	52.120	52.120	210.470	210.470
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	0.100	0.100	0.070	0.070	0.000	0.000
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - APP						
APP - EqNumAPP _r	1.240	1.240	1.214	1.214	1.527	1.527
APP - Eficiência APP _r	C	C	C	C	C	C
APP - EqNumAPP _a	-	-	-	-	-	-
APP - Eficiência APP _a	-	-	-	-	-	-
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA			
UH - EqNumUH _r	1.377	1.377	CR UH _{real}		1062.822	1062.822
UH - Eficiência UH _r	C	C	CA UH _{real}		9.599	9.599
UH - EqNumUH _a	-	-	C UH _{real}		1072.421	1072.421
UH - Eficiência UH _a	-	-	C energia prim. UH		1715.874	1715.874
UH - EqNumUH	1.377	1.377				
UH - Eficiência UH	C	C				

Fonte: A autora (2022)

Tabela G. 4 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Loc. DF

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)						
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)						
CTpar	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Abertura ventilação (Av)						
Área Av	0.600	0.600	0.600	0.600	1.500	1.500
Av (%)	7.47	7.47	7.96	7.96	9.66	9.66
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Elementos transparentes (Et)						
Área Et	0.960	0.960	0.960	0.960	2.400	2.400
Et (%)	11.95	11.95	12.73	12.73	15.46	15.46
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Transmitância térmica cob. (Ucob)						
Abs. cob.	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Abs. cob. (t = 3)	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
Ucob	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
Status Ucob	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status Ucob (t = 3)	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Desempenho térmico t= 0						
Desempenho APP	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Desempenho UH	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok				
Desempenho térmico t = 3 anos deg.						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				

Fonte: A autora (2022)

- Modelo Loc. PA

Tabela G. 5 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Loc. PA

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	481.900	481.900	503.160	503.160	643.700	643.700
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	0.000	-0.260	0.000	-0.250	0.000	-1.730
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	487.960	487.960	516.440	516.440	721.700	721.700
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	0.000	-0.140	0.000	-0.100	0.000	-2.480
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - APP						
APP - EqNumAPP _r	1.062	1.062	1.129	1.129	1.721	1.721
APP - Eficiência APP _r	C	C	C	C	C	C
APP - EqNumAPP _a	-	-	-	-	-	-
APP - Eficiência APP _a	-	-	-	-	-	-
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA			
UH - EqNumUH _r	1.407	1.407	CR UH _{real}	5450.462	5450.462	
UH - Eficiência UH _r	C	C	CA UH _{real}	9.599	9.599	
UH - EqNumUH _a	-	-	C UH _{real}	5460.061	5460.061	
UH - Eficiência UH _a	-	-	C energia prim. UH	8736.097	8736.097	
UH - EqNumUH	1.407	1.407				
UH - Eficiência UH	C	C				

Fonte: A autora (2022)

Tabela G. 6 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Loc. PA

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)						
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)						
CTpar	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Status	Sem requisito	Sem requisito	Sem requisito	Sem requisito	Sem requisito	Sem requisito
Abertura ventilação (Av)						
Área Av	0.600	0.600	0.600	0.600	1.500	1.500
Av (%)	7.47	7.47	7.96	7.96	9.66	9.66
Status	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Elementos transparentes (Et)						
Área Et	0.960	0.960	0.960	0.960	2.400	2.400
Et (%)	11.95	11.95	12.73	12.73	15.46	15.46
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Transmitância térmica cob. (Ucob)						
Abs. cob.	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Abs. cob. (t = 3)	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
Ucob	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
Status Ucob	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Status Ucob (t = 3)	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Desempenho térmico t = 0						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				
Desempenho térmico t = 3 anos deg.						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				

Fonte: A autora (2022)

- Modelo Loc. BA

Tabela G. 7 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Loc. BA

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	349.370	349.370	367.630	367.630	572.170	572.170
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	0.000	-0.720	0.000	-0.740	0.000	-2.820
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	356.300	356.300	375.670	375.670	625.870	625.870
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	0.000	-0.630	0.000	-0.590	0.000	-4.160
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - APP						
APP - EqNumAPP _r	1.097	1.097	1.107	1.107	1.572	1.572
APP - Eficiência APP _r	C	C	C	C	C	C
APP - EqNumAPP _a	-	-	-	-	-	-
APP - Eficiência APP _a	-	-	-	-	-	-
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA			
UH - EqNumUH _r	1.337	1.337	CR UH _{real}		4463.667	4463.667
UH - Eficiência UH _r	C	C	CA UH _{real}		9.599	9.599
UH - EqNumUH _a	-	-	C UH _{real}		4473.265	4473.265
UH - Eficiência UH _a	-	-	C energia prim. UH		7157.225	7157.225
UH - EqNumUH	1.337	1.337				
UH - Eficiência UH	C	C				

Fonte: A autora (2022)

Tabela G. 8 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Loc. BA

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)						
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)						
CTpar	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Status	Sem requisito	Sem requisito	Sem requisito	Sem requisito	Sem requisito	Sem requisito
Abertura ventilação (Av)						
Área Av	0.600	0.600	0.600	0.600	1.500	1.500
Av (%)	7.47	7.47	7.96	7.96	9.66	9.66
Status	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Elementos transparentes (Et)						
Área Et	0.960	0.960	0.960	0.960	2.400	2.400
Et (%)	11.95	11.95	12.73	12.73	15.46	15.46
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Transmitância térmica cob. (Ucob)						
Abs. cob.	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Abs. cob. (t = 3)	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
Ucob	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
Status Ucob	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Status Ucob (t = 3)	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Desempenho térmico t = 0						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				
Desempenho térmico t = 3 anos deg.						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				

Fonte: A autora (2022)

G.2 - ORIENTAÇÃO

- Modelo Orien. 90

Tabela G. 9 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Orien. 90

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	17.530	17.530	16.260	16.260	63.940	63.940
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	1.200	1.200	1.390	1.390	0.180	0.180
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	26.700	26.700	24.950	24.950	109.830	109.830
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	1.600	1.600	1.880	1.880	0.160	0.160
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - APP						
APP - EqNumAPP _r	1.687	1.687	1.697	1.697	2.339	2.339
APP - Eficiência APP _r	C	C	C	C	B	B
APP - EqNumAPP _a	1.833	1.833	1.869	1.869	3.000	3.000
APP - Eficiência APP _a	C	C	C	C	A	A
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA			
UH - EqNumUH _r	2.015	2.015	CR UH _{real}		387.706	387.706
UH - Eficiência UH _r	B	B	CA UH _{real}		11.002	11.002
UH - EqNumUH _a	2.424	2.424	C UH _{real}		398.709	398.709
UH - Eficiência UH _a	B	B	C energia prim. UH		637.934	637.934
UH - EqNumUH	2.023	2.023				
UH - Eficiência UH	B	B				

Fonte: A autora (2022)

Tabela G. 10 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Orien. 90

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)						
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)						
CTpar	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Abertura ventilação (Av)						
Área Av	0.600	0.600	0.600	0.600	1.500	1.500
Av (%)	7.47	7.47	7.96	7.96	9.66	9.66
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Elementos transparentes (Et)						
Área Et	0.960	0.960	0.960	0.960	2.400	2.400
Et (%)	11.95	11.95	12.73	12.73	15.46	15.46
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Transmitância térmica cob. (Ucob)						
Abs. cob.	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Abs. cob. (t = 3)	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
Ucob	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
Status Ucob	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status Ucob (t = 3)	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Desempenho térmico t= 0						
Desempenho APP	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Desempenho UH	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok				
Desempenho térmico t = 3 anos deg.						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				

Fonte: A autora (2022)

- Modelo Orien. 180

Tabela G. 11 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Orien. 180

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	15.890	15.890	17.430	17.430	63.340	63.340
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	1.470	1.470	1.040	1.040	0.230	0.230
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	24.280	24.280	26.750	26.750	112.380	112.380
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	1.980	1.980	1.440	1.440	0.180	0.180
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - APP						
APP - EqNumAPP _r	1.691	1.691	1.697	1.697	2.432	2.432
APP - Eficiência APP _r	C	C	C	C	B	B
APP - EqNumAPP _a	1.859	1.859	1.926	1.926	3.000	3.000
APP - Eficiência APP _a	C	C	C	C	A	A
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA			
UH - EqNumUH _r	2.062	2.062	CR UH _{real}		383.487	383.487
UH - Eficiência UH _r	B	B	CA UH _{real}		10.857	10.857
UH - EqNumUH _a	2.445	2.445	C UH _{real}		394.345	394.345
UH - Eficiência UH _a	B	B	C energia prim. UH		630.952	630.952
UH - EqNumUH	2.070	2.070				
UH - Eficiência UH	B	B				

Fonte: A autora (2022)

Tabela G. 12 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Orien. 180

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)						
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)						
CTpar	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Abertura ventilação (Av)						
Área Av	0.600	0.600	0.600	0.600	1.500	1.500
Av (%)	7.47	7.47	7.96	7.96	9.66	9.66
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Elementos transparentes (Et)						
Área Et	0.960	0.960	0.960	0.960	2.400	2.400
Et (%)	11.95	11.95	12.73	12.73	15.46	15.46
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Transmitância térmica cob. (Ucob)						
Abs. cob.	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Abs. cob. (t = 3)	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
Ucob	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
Status Ucob	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status Ucob (t = 3)	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Desempenho térmico t= 0						
Desempenho APP	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Desempenho UH	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok				
Desempenho térmico t = 3 anos deg.						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				

Fonte: A autora (2022)

- Modelo Orien. 270

Tabela G. 13 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Orien. 270

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	16.990	16.990	16.060	16.060	69.160	69.160
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	1.030	1.030	1.600	1.600	0.160	0.160
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	26.060	26.060	24.430	24.430	115.420	115.420
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	1.380	1.380	2.040	2.040	0.110	0.110
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - APP						
APP - EqNumAPP _r	1.696	1.696	1.685	1.685	2.254	2.254
APP - Eficiência APP _r	C	C	C	C	B	B
APP - EqNumAPP _a	1.845	1.845	1.719	1.719	3.000	3.000
APP - Eficiência APP _a	C	C	C	C	A	A
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA			
UH - EqNumUH _r	1.972	1.972	CR UH _{real}		410.916	410.916
UH - Eficiência UH _r	C	C	CA UH _{real}		11.069	11.069
UH - EqNumUH _a	2.391	2.391	C UH _{real}		421.986	421.986
UH - Eficiência UH _a	B	B	C energia prim. UH		675.177	675.177
UH - EqNumUH	1.980	1.980				
UH - Eficiência UH	C	C				

Fonte: A autora (2022)

Tabela G. 14 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Loc. 270

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)						
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)						
CTpar	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Abertura ventilação (Av)						
Área Av	0.600	0.600	0.600	0.600	1.500	1.500
Av (%)	7.47	7.47	7.96	7.96	9.66	9.66
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Elementos transparentes (Et)						
Área Et	0.960	0.960	0.960	0.960	2.400	2.400
Et (%)	11.95	11.95	12.73	12.73	15.46	15.46
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Transmitância térmica cob. (Ucob)						
Abs. cob.	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Abs. cob. (t = 3)	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
Ucob	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
Status Ucob	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status Ucob (t = 3)	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Desempenho térmico t= 0						
Desempenho APP	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Desempenho UH	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok				
Desempenho térmico t = 3 anos deg.						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				

Fonte: A autora (2022)

G.4 – SISTEMA CONSTRUTIVO

- Modelo Par. 1

Tabela G. 15 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Par. 1

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	20.860	20.860	23.190	23.190	95.450	95.450
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	1.140	1.140	0.800	0.800	0.190	0.190
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	23.660	23.660	27.210	27.210	108.320	108.320
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	2.140	2.140	1.620	1.620	0.200	0.200
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - APP						
APP - EqNumAPP _r	1.237	1.237	1.295	1.295	1.339	1.339
APP - Eficiência APP _r	C	C	C	C	C	C
APP - EqNumAPP _a	2.558	2.558	3.000	3.000	3.000	3.000
APP - Eficiência APP _a	B	B	A	A	A	A
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA			
UH - EqNumUH _r	1.302	1.302	CR UH _{real}		563.086	563.086
UH - Eficiência UH _r	C	C	CA UH _{real}		9.946	9.946
UH - EqNumUH _a	2.886	2.886	C UH _{real}		573.032	573.032
UH - Eficiência UH _a	B	B	C energia prim. UH		916.851	916.851
UH - EqNumUH	1.336	1.336				
UH - Eficiência UH	C	C				

Fonte: A autora (2022)

Tabela G. 16 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Par. 1

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)						
Abs. par.	0.750	0.750	0.750	0.750	0.750	0.750
Abs. par. (t = 3)	0.752	0.752	0.752	0.752	0.752	0.752
Upar	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)						
CTpar	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Abertura ventilação (Av)						
Área Av	0.600	0.600	0.600	0.600	1.500	1.500
Av (%)	7.47	7.47	7.96	7.96	9.66	9.66
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Elementos transparentes (Et)						
Área Et	0.960	0.960	0.960	0.960	2.400	2.400
Et (%)	11.95	11.95	12.73	12.73	15.46	15.46
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Transmitância térmica cob. (Ucob)						
Abs. cob.	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Abs. cob. (t = 3)	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
Ucob	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
Status Ucob	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status Ucob (t = 3)	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Desempenho térmico t= 0						
Desempenho APP	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Desempenho UH	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok				
Desempenho térmico t = 3 anos deg.						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				

Fonte: A autora (2022)

- Modelo Par. 2

Tabela G. 17 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Par. 2

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	14.370	14.370	16.690	16.690	48.240	48.240
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	2.140	2.140	1.360	1.360	0.340	0.340
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	23.660	23.660	27.210	27.210	108.320	108.320
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	2.140	2.140	1.620	1.620	0.200	0.200
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - APP						
APP - EqNumAPP _r	1.785	1.785	1.773	1.773	3.010	3.010
APP - Eficiência APP _r	C	C	C	C	A	A
APP - EqNumAPP _a	1.000	1.000	1.535	1.535	3.000	3.000
APP - Eficiência APP _a	C	C	C	C	A	A
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA			
UH - EqNumUH _r	2.394	2.394	CR UH _{real}		305.637	305.637
UH - Eficiência UH _r	B	B	CA UH _{real}		13.263	13.263
UH - EqNumUH _a	2.128	2.128	C UH _{real}		318.901	318.901
UH - Eficiência UH _a	B	B	C energia prim. UH		510.241	510.241
UH - EqNumUH	2.388	2.388				
UH - Eficiência UH	B	B				

Fonte: A autora (2022)

Tabela G. 18 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Par. 2

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)						
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.780	2.780	2.780	2.780	2.780	2.780
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)						
CTpar	209.000	209.000	209.000	209.000	209.000	209.000
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Abertura ventilação (Av)						
Área Av	0.600	0.600	0.600	0.600	1.500	1.500
Av (%)	7.47	7.47	7.96	7.96	9.66	9.66
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Elementos transparentes (Et)						
Área Et	0.960	0.960	0.960	0.960	2.400	2.400
Et (%)	11.95	11.95	12.73	12.73	15.46	15.46
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Transmitância térmica cob. (Ucob)						
Abs. cob.	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Abs. cob. (t = 3)	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
Ucob	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
Status Ucob	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status Ucob (t = 3)	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Desempenho térmico t= 0						
Desempenho APP	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Desempenho UH	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok				
Desempenho térmico t = 3 anos deg.						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				

Fonte: A autora (2022)

- Modelo Par. 3

Tabela G. 19 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Par. 3

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	11.230	11.230	13.600	13.600	63.890	63.890
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	0.690	0.690	0.560	0.560	0.510	0.510
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	23.660	23.660	27.210	27.210	108.340	108.340
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	2.140	2.140	1.620	1.620	0.200	0.200
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - APP						
APP - EqNumAPP _r	2.101	2.101	2.001	2.001	2.301	2.301
APP - Eficiência APP _r	B	B	B	B	B	B
APP - EqNumAPP _a	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
APP - Eficiência APP _a	A	A	A	A	A	A
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA			
UH - EqNumUH _r	2.177	2.177	CR UH _{real}		365.655	365.655
UH - Eficiência UH _r	B	B	CA UH _{real}		9.599	9.599
UH - EqNumUH _a	3.000	3.000	C UH _{real}		375.254	375.254
UH - Eficiência UH _a	A	A	C energia prim. UH		600.406	600.406
UH - EqNumUH	2.194	2.194				
UH - Eficiência UH	B	B				

Fonte: A autora (2022)

Tabela G. 20 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Par. 3

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)						
Abs. par.	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
Abs. par. (t = 3)	0.453	0.453	0.453	0.453	0.453	0.453
Upar	0.530	0.530	0.530	0.530	0.530	0.530
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)						
CTpar	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000
Status	Fora dos limites da norma (CTpar < 130)	Fora dos limites da norma (CTpar < 130)	Fora dos limites da norma (CTpar < 130)	Fora dos limites da norma (CTpar < 130)	Fora dos limites da norma (CTpar < 130)	Fora dos limites da norma (CTpar < 130)
Abertura ventilação (Av)						
Área Av	0.600	0.600	0.600	0.600	1.500	1.500
Av (%)	7.47	7.47	7.96	7.96	9.66	9.66
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Elementos transparentes (Et)						
Área Et	0.960	0.960	0.960	0.960	2.400	2.400
Et (%)	11.95	11.95	12.73	12.73	15.46	15.46
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Transmitância térmica cob. (Ucob)						
Abs. cob.	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Abs. cob. (t = 3)	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
Ucob	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
Status Ucob	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status Ucob (t = 3)	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Desempenho térmico t= 0						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				
Desempenho térmico t = 3 anos deg.						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				

Fonte: A autora (2022)

- Modelo Cob. 1

Tabela G. 21 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Cob. 1

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	15.930	15.930	18.180	18.180	66.870	66.870
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	1.550	1.550	1.080	1.080	0.240	0.240
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	23.660	23.660	27.210	27.210	108.320	108.320
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	2.140	2.140	1.620	1.620	0.200	0.200
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - APP						
APP - EqNumAPP _r	1.653	1.653	1.664	1.664	2.163	2.163
APP - Eficiência APP _r	C	C	C	C	B	B
APP - EqNumAPP _a	1.919	1.919	2.111	2.111	3.000	3.000
APP - Eficiência APP _a	C	C	B	B	A	A
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA			
UH - EqNumUH _r	1.910	1.910	CR UH _{real}		402.248	402.248
UH - Eficiência UH _r	C	C	CA UH _{real}		11.149	11.149
UH - EqNumUH _a	2.505	2.505	C UH _{real}		413.396	413.396
UH - Eficiência UH _a	B	B	C energia prim. UH		661.434	661.434
UH - EqNumUH	1.923	1.923				
UH - Eficiência UH	C	C				

Fonte: A autora (2022)

Tabela G. 22 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Cob. 1

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)						
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)						
CTpar	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Abertura ventilação (Av)						
Área Av	0.600	0.600	0.600	0.600	1.500	1.500
Av (%)	7.47	7.47	7.96	7.96	9.66	9.66
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Elementos transparentes (Et)						
Área Et	0.960	0.960	0.960	0.960	2.400	2.400
Et (%)	11.95	11.95	12.73	12.73	15.46	15.46
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Transmitância térmica cob. (Ucob)						
Abs. cob.	0.650	0.650	0.650	0.650	0.650	0.650
Abs. cob. (t = 3)	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683
Ucob	1.760	1.760	1.760	1.760	1.760	1.760
Status Ucob	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Status Ucob (t = 3)	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Desempenho térmico t = 0						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				
Desempenho térmico t = 3 anos deg.						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				

Fonte: A autora (2022)

- Modelo Cob. 2

Tabela G. 23 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Cob. 2

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	4.270	4.270	4.140	4.140	37.100	37.100
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	0.960	0.960	0.580	0.580	1.040	1.040
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	23.660	23.660	27.210	27.210	108.320	108.320
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	2.140	2.140	1.620	1.620	0.200	0.200
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - APP						
APP - EqNumAPP _r	3.278	3.278	3.391	3.391	3.239	3.239
APP - Eficiência APP _r	A	A	A	A	A	A
APP - EqNumAPP _a	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
APP - Eficiência APP _a	A	A	A	A	A	A
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA			
UH - EqNumUH _r	3.286	3.286	CR UH _{real}		198.005	198.005
UH - Eficiência UH _r	A	A	CA UH _{real}		9.790	9.790
UH - EqNumUH _a	3.000	3.000	C UH _{real}		207.795	207.795
UH - Eficiência UH _a	A	A	C energia prim. UH		332.472	332.472
UH - EqNumUH	3.280	3.280				
UH - Eficiência UH	A	A				

Fonte: A autora (2022)

Tabela G. 24 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Cob. 2

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)						
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)						
CTpar	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Abertura ventilação (Av)						
Área Av	0.600	0.600	0.600	0.600	1.500	1.500
Av (%)	7.47	7.47	7.96	7.96	9.66	9.66
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Elementos transparentes (Et)						
Área Et	0.960	0.960	0.960	0.960	2.400	2.400
Et (%)	11.95	11.95	12.73	12.73	15.46	15.46
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Transmitância térmica cob. (Ucob)						
Abs. cob.	0.750	0.750	0.750	0.750	0.750	0.750
Abs. cob. (t = 3)	0.752	0.752	0.752	0.752	0.752	0.752
Ucob	2.050	2.050	2.050	2.050	2.050	2.050
Status Ucob	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Status Ucob (t = 3)	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Desempenho térmico t = 0						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				
Desempenho térmico t = 3 anos deg.						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				

Fonte: A autora (2022)

- Modelo Cob. 3

Tabela G. 25 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Cob. 3

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	1.110	1.110	1.100	1.100	13.670	13.670
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	0.010	0.010	0.000	0.000	0.060	0.060
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	23.660	23.660	27.210	27.210	108.320	108.320
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	2.140	2.140	1.620	1.620	0.200	0.200
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - APP						
APP - EqNumAPP _r	3.812	3.812	3.838	3.838	3.720	3.720
APP - Eficiência APP _r	A	A	A	A	A	A
APP - EqNumAPP _a	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
APP - Eficiência APP _a	A	A	A	A	A	A
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA			
UH - EqNumUH _r	3.772	3.772	CR UH _{real}		70.819	70.819
UH - Eficiência UH _r	A	A	CA UH _{real}		9.599	9.599
UH - EqNumUH _a	3.000	3.000	C UH _{real}		80.417	80.417
UH - Eficiência UH _a	A	A	C energia prim. UH		128.668	128.668
UH - EqNumUH	3.756	3.756				
UH - Eficiência UH	A	A				

Fonte: A autora (2022)

Tabela G. 26 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Cob.3

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)						
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)						
CTpar	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Abertura ventilação (Av)						
Área Av	0.600	0.600	0.600	0.600	1.500	1.500
Av (%)	7.47	7.47	7.96	7.96	9.66	9.66
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Elementos transparentes (Et)						
Área Et	0.960	0.960	0.960	0.960	2.400	2.400
Et (%)	11.95	11.95	12.73	12.73	15.46	15.46
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Transmitância térmica cob. (Ucob)						
Abs. cob.	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
Abs. cob. (t = 3)	0.453	0.453	0.453	0.453	0.453	0.453
Ucob	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Status Ucob	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Status Ucob (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Desempenho térmico t= 0						
Desempenho APP	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Desempenho UH	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok				
Desempenho térmico t = 3 anos deg.						
Desempenho APP	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Desempenho UH	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok				

Fonte: A autora (2022)

- Modelo Piso 1

Tabela G. 27 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Piso 1

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	6.910	6.910	8.990	8.990	62.020	62.020
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	2.890	2.890	2.210	2.210	0.490	0.490
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	15.200	15.200	18.190	18.190	113.990	113.990
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	3.630	3.630	2.750	2.750	0.230	0.230
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - APP						
APP - EqNumAPP _r	2.182	2.182	2.023	2.023	2.530	2.530
APP - Eficiência APP _r	B	B	B	B	B	B
APP - EqNumAPP _a	1.680	1.680	1.655	1.655	3.000	3.000
APP - Eficiência APP _a	C	C	C	C	A	A
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA			
UH - EqNumUH _r	2.317	2.317	CR UH _{real}		335.254	335.254
UH - Eficiência UH _r	B	B	CA UH _{real}		17.101	17.101
UH - EqNumUH _a	2.333	2.333	C UH _{real}		352.355	352.355
UH - Eficiência UH _a	B	B	C energia prim. UH		563.768	563.768
UH - EqNumUH	2.317	2.317				
UH - Eficiência UH	B	B				

Fonte: A autora (2022)

Tabela G. 28 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Piso 1

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)						
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)						
CTpar	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Abertura ventilação (Av)						
Área Av	0.600	0.600	0.600	0.600	1.500	1.500
Av (%)	7.47	7.47	7.96	7.96	9.66	9.66
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Elementos transparentes (Et)						
Área Et	0.960	0.960	0.960	0.960	2.400	2.400
Et (%)	11.95	11.95	12.73	12.73	15.46	15.46
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Transmitância térmica cob. (Ucob)						
Abs. cob.	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Abs. cob. (t = 3)	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
Ucob	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
Status Ucob	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status Ucob (t = 3)	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Desempenho térmico t= 0						
Desempenho APP	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Desempenho UH	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok				
Desempenho térmico t = 3 anos deg.						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				

Fonte: A autora (2022)

G.5 - ABERTURAS

- Modelo Aber. 1

Tabela G. 29 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Aber. 1

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	15.710	15.710	18.370	18.370	64.770	64.770
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	1.810	1.810	1.190	1.190	0.260	0.260
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	23.660	23.660	27.210	27.210	108.320	108.320
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	2.140	2.140	1.620	1.620	0.200	0.200
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - APP						
APP - EqNumAPP _r	1.672	1.672	1.650	1.650	2.260	2.260
APP - Eficiência APP _r	C	C	C	C	B	B
APP - EqNumAPP _a	1.514	1.514	1.885	1.885	3.000	3.000
APP - Eficiência APP _a	C	C	C	C	A	A
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA			
UH - EqNumUH _r	1.960	1.960	CR UH _{real}		392.081	392.081
UH - Eficiência UH _r	C	C	CA UH _{real}		12.049	12.049
UH - EqNumUH _a	2.346	2.346	C UH _{real}		404.131	404.131
UH - Eficiência UH _a	B	B	C energia prim. UH		646.609	646.609
UH - EqNumUH	1.968	1.968				
UH - Eficiência UH	C	C				

Fonte: A autora (2022)

Tabela G. 30 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Aber. 1

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)						
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)						
CTpar	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Abertura ventilação (Av)						
Área Av	0.750	0.750	0.750	0.750	1.800	1.800
Av (%)	9.34	9.34	9.95	9.95	11.59	11.59
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Elementos transparentes (Et)						
Área Et	1.200	1.200	1.200	1.200	2.880	2.880
Et (%)	14.94	14.94	15.92	15.92	18.55	18.55
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Transmitância térmica cob. (Ucob)						
Abs. cob.	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Abs. cob. (t = 3)	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
Ucob	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
Status Ucob	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status Ucob (t = 3)	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Desempenho térmico t= 0						
Desempenho APP	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Desempenho UH	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok				
Desempenho térmico t = 3 anos deg.						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				

Fonte: A autora (2022)

- Modelo Aber. 2

Tabela G. 31 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Aber. 2

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	14.650	14.650	16.940	16.940	62.140	62.140
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	1.980	1.980	1.430	1.430	0.330	0.330
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	23.660	23.660	27.210	27.210	108.320	108.320
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	2.140	2.140	1.620	1.620	0.200	0.200
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - APP						
APP - EqNumAPPPr	1.762	1.762	1.755	1.755	2.382	2.382
APP - Eficiência APPr	C	C	C	C	B	B
APP - EqNumAPPa	1.249	1.249	1.391	1.391	3.000	3.000
APP - Eficiência APPa	C	C	C	C	A	A
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA			
UH - EqNumUHR	2.070	2.070	CR UHreal		373.522	373.522
UH - Eficiência UHR	B	B	CA UHreal		13.029	13.029
UH - EqNumUHa	2.158	2.158	C UHreal		386.552	386.552
UH - Eficiência UHa	B	B	C energia prim. UH		618.482	618.482
UH - EqNumUH	2.071	2.071				
UH - Eficiência UH	B	B				

Fonte: A autora (2022)

Tabela G. 32 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Aber. 2

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)						
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)						
CTpar	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Abertura ventilação (Av)						
Área Av	0.720	0.720	0.720	0.720	1.800	1.800
Av (%)	8.96	8.96	9.55	9.55	11.59	11.59
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Elementos transparentes (Et)						
Área Et	1.152	1.152	1.152	1.152	2.880	2.880
Et (%)	14.34	14.34	15.28	15.28	18.55	18.55
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Transmitância térmica cob. (Ucob)						
Abs. cob.	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Abs. cob. (t = 3)	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
Ucob	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
Status Ucob	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status Ucob (t = 3)	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Desempenho térmico t= 0						
Desempenho APP	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Desempenho UH	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok				
Desempenho térmico t = 3 anos deg.						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				

Fonte: A autora (2022)

- Modelo Aber. 3

Tabela G. 33 – Validação dos resultados de eficiência energética Modelo Aber. 3

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
PARÂMETROS DE SAÍDA METAMODELO						
Ed. Real - CgTR (kWh/m ² .ano)	17.970	17.970	17.790	17.790	67.500	67.500
Ed. Real - CgTA (kWh/m ² .ano)	1.720	1.720	1.590	1.590	0.260	0.260
Ed. Ref. - CgTR (kWh/m ² .ano)	25.310	25.310	25.790	25.790	109.990	109.990
Ed. Ref. - CgTA (kWh/m ² .ano)	1.940	1.940	1.810	1.810	0.180	0.180
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - APP						
APP - EqNumAPP _r	1.580	1.580	1.620	1.620	2.182	2.182
APP - Eficiência APP _r	C	C	C	C	B	B
APP - EqNumAPP _a	1.378	1.378	1.405	1.405	3.000	3.000
APP - Eficiência APP _a	C	C	C	C	A	A
ANÁLISE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA - UH			CONSUMO DE ENERGIA			
UH - EqNumUH _r	1.890	1.890	CR UH _{real}		409.417	409.417
UH - Eficiência UH _r	C	C	CA UH _{real}		12.757	12.757
UH - EqNumUH _a	2.194	2.194	C UH _{real}		422.175	422.175
UH - Eficiência UH _a	B	B	C energia prim. UH		675.479	675.479
UH - EqNumUH	1.896	1.896				
UH - Eficiência UH	C	C				

Fonte: A autora (2022)

Tabela G. 34 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo Aber. 3

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)						
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460	2.460
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)						
CTpar	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Abertura ventilação (Av)						
Área Av	1.350	1.350	1.350	1.350	3.012	3.012
Av (%)	16.80	16.80	17.90	17.90	19.40	19.40
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Elementos transparentes (Et)						
Área Et	2.160	2.160	2.160	2.160	3.324	3.324
Et (%)	26.89	26.89	28.65	28.65	21.41	21.41
Status	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Transmitância térmica cob. (Ucob)						
Abs. cob.	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Abs. cob. (t = 3)	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649	0.649
Ucob	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
Status Ucob	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status Ucob (t = 3)	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Desempenho térmico t= 0						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				
Desempenho térmico t = 3 anos deg.						
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação				

Fonte: A autora (2022)

APÊNDICE H - Resultados validação (Projeto de implementação)

A seguir são apresentados os resultados de desempenho térmico obtidos no processo de implementação do protótipo.

• Modelo de Implementação UH 001

Tabela H. 1 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo de Implementação UH 001

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		DORMITÓRIO 3		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)								
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)								
CTpar	222.000	222.000	222.000	222.000	222.000	222.000	222.000	222.000
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Abertura ventilação (Av)								
Área Av	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840
Av (%)	7.77	7.77	12.07	12.07	8.27	8.27	3.82	3.82
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Elementos transparentes (Et)								
Área Et	0.588	0.588	0.588	0.588	0.588	0.588	0.588	0.588
Et (%)	5.44	5.44	8.45	8.45	5.79	5.79	2.68	2.68
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok

(Continua)

Tabela H. 1 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo de Implementação UH 001 (Continuação)

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		DORMITÓRIO 3		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica cob. (Ucob)								
Abs. cob.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Abs. cob. (t = 3)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ucob	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Status Ucob	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)
Status Ucob (t = 3)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)
Desempenho térmico t= 0								
Desempenho APP	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação						
Desempenho térmico t = 3 anos deg.								
Desempenho APP	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação						

Fonte: A autora (2022)

- **Modelo de Implementação UH 201**

Tabela H. 2 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo de Implementação UH 201

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		DORMITÓRIO 3		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)								
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)								
CTpar	222.000	222.000	222.000	222.000	222.000	222.000	222.000	222.000
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Abertura ventilação (Av)								
Área Av	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840
Av (%)	7.77	7.77	12.07	12.07	8.27	8.27	3.82	3.82
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Fora dos limites da norma (Pv,APP < 7,00%)	Fora dos limites da norma (Pv,APP < 7,00%)
Elementos transparentes (Et)								
Área Et	0.588	0.588	0.588	0.588	0.588	0.588	0.588	0.588
Et (%)	5.44	5.44	8.45	8.45	5.79	5.79	2.68	2.68
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok

(Continua)

Tabela H. 2 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo de Implementação UH 201 (Continuação)

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		DORMITÓRIO 3		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica cob. (Ucob)								
Abs. cob.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Abs. cob. (t = 3)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ucob	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Status Ucob	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)
Status Ucob (t = 3)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)	Sem requisito (laje entre pavimentos)
Desempenho térmico t= 0								
Desempenho APP	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação						
Desempenho térmico t = 3 anos deg.								
Desempenho APP	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação						

Fonte: A autora (2022)

- **Modelo de Implementação UH 401**

Tabela H. 3 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo de Implementação UH 401

Nome	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		DORMITÓRIO 3		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica par. ext. (Upar)								
Abs. par.	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450
Abs. par. (t = 3)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550
Upar	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Status (t = 3)	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Capacidade térmica par. ext. (CTpar)								
CTpar	222.000	222.000	222.000	222.000	222.000	222.000	222.000	222.000
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok
Abertura ventilação (Av)								
Área Av	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840
Av (%)	7.77	7.77	12.07	12.07	8.27	8.27	3.82	3.82
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Elementos transparentes (Et)								
Área Et	0.588	0.588	0.588	0.588	0.588	0.588	0.588	0.588
Et (%)	5.44	5.44	8.45	8.45	5.79	5.79	2.68	2.68
Status	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok	Desempenho mínimo ok

(Continua)

Tabela H. 3 - Validação dos resultados de desempenho térmico Modelo de Implementação UH 401 (Continuação)

Nome Fonte dados	DORMITÓRIO 1		DORMITÓRIO 2		DORMITÓRIO 3		SALA	
	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo	Manual	Dynamo
Transmitância térmica cob. (Ucob)								
Abs. cob.	0.650	0.650	0.650	0.650	0.650	0.650	0.650	0.650
Abs. cob. (t = 3)	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683
Ucob	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
Status Ucob	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Status Ucob (t = 3)	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma	Fora dos limites da norma
Desempenho térmico t= 0								
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação						
Desempenho térmico t = 3 anos deg.								
Desempenho APP	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação
Desempenho UH	Avaliar pelo método de simulação	Avaliar pelo método de simulação						

Fonte: A autora (2022)

Termo de Autorização para Disponibilização de Teses e Dissertações Eletrônicas no Repositório Institucional da UnB

1 IDENTIFICAÇÃO

Autor: Natalia da Silva de Oliveira		
RG: 2.757.616	CPF: 020.623.461-90	Telefone: (61) 9.9552-7452
E-mail: natioliveira8@gmail.com		Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? <input checked="" type="checkbox"/> Sim () Não
Afiliação (Instituição de vínculo empregatício): Sem afiliação		
Orientador: Michele Tereza Marques Carvalho		
Coorientador: -		
Título do Trabalho: Automatização da análise do desempenho termo energético das envoltórias de edificações residenciais a partir da integração BIM-VPL		
Data de Defesa: 01 de fevereiro de 2022	Área do Conhecimento: Engenharia	
Palavras-Chave: Building Information Modeling (BIM); Linguagem de programação visual (VPL); Desempenho térmico; Eficiência energética; Processo de projeto.		
Programa/Curso: Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC)		
Titulação: Mestre	Agência de Fomento: CNPq	
Tipo de material: () Tese (X) Dissertação		

2 INFORMAÇÃO DE ACESSO AO DOCUMENTO

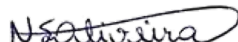
Liberação para disponibilização: (X) Total () Parcial ^{1,2,3,4,5}
Em caso de disponibilização parcial, especifique os capítulos a serem retidos:
Observações: ¹ É imprescindível o envio do arquivo em formato digital do trabalho completo, mesmo em se tratando de disponibilização parcial. ² A solicitação de disponibilização parcial deve ser feita mediante justificativa lícita e assinada pelo autor do trabalho , que deve ser entregue juntamente com o termo de autorização e documentos que comprovem a necessidade da restrição da parte do conteúdo do trabalho. ³ A restrição poderá ser mantida por até um ano a partir da data de autorização da disponibilização. ⁴ A extensão deste prazo suscita justificativa formal junto à Biblioteca Central (BCE e ao Decanato de Pós-Graduação (DPG) . ⁵ O resumo e os metadados ficarão sempre disponibilizados.

3 LICENÇA DE PERMISSÃO DE USO

Na qualidade de titular dos direitos de autor da publicação, autorizo a Universidade de Brasília e o IBICT a disponibilizar por meio dos sites www.unb.br , bdttd.ibict.br , www.ndltd.org , em ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o texto integral da obra supracitada, conforme permissões assinaladas, para fins de leitura, impressão e/ou <i>download</i> , a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.
--

Brasília, 09/03/22

Local Data



Assinatura do Autor