

PROCESSO DE PROJETO BIM INTEGRADO

Uma análise da
interoperabilidade BIM e BPS

Fabia Jannefer do Carmo Reis

PROCESSO DE PROJETO BIM INTEGRADO: UMA ANÁLISE DA INTEROPERABILIDADE BIM E BPS

Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Tecnologia da arquitetura

Orientador: Norberto Corrêa da Silva Moura

Exemplar revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade do autor e sob anuência do orientador.

O original se encontra disponível na biblioteca da faculdade. São Paulo, 11 de dezembro de 2023.

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço Técnico de Biblioteca
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

Reis, Fabia

Processo de projeto BIM integrado: uma análise da interoperabilidade BIM e BPS / Fabia Reis; orientador Norberto Moura. - São Paulo, 2023.
172.

Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura.

1. Bim. 2. Análise de Desempenho. 3. Arquitetura Bioclimática. I. Moura, Norberto, orient. II. Título.

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Nome: Fabia Jannefer do Carmo Reis

Título: Processo de projeto BIM integrado: Uma análise da interoperabilidade BIM e BPS

Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovada em: 11/12/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Norberto Corrêa da Silva Moura (orientador)

Instituição: Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Leonardo Marques Monteiro

Instituição: Universidade de São Paulo

Julgamento: Aprovada

Prof. Dr. Renan Cid Varela Leite

Instituição: Universidade Federal do Ceará

Julgamento: Aprovada

Profª. Drª. Neliza Maria e Silva Romcy

Instituição: Universidade Federal do Ceará

Julgamento: Aprovada

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai e minha mãe, por fomentar em mim a vontade de aprender, pelo apoio e por estarem sempre presentes mesmo longe.

Ao Renan, por ter me ajudado desde os primeiros esboços deste trabalho e por ter ofertado com muita generosidade o seu tempo e seus pensamentos que se tornaram valiosas contribuições.

Ao professor Norberto, pela orientação ao longo destes anos, pela paciência e dedicação com minhas questões e pelas suas considerações antes mesmo do meu ingresso no programa de mestrado.

Ao Baden, pelas conversas aleatórias, pelo apoio, pelas ideias e pelo trabalho empregado na elaboração deste caderno. Sem você esse último ano teria sido bem mais complicado.

À Camila, Wesley, Jamile, Daniel e Alessandra, que tornaram essa jornada menos solitária e por comemorar minhas vitórias como se fossem deles. Vocês são especiais.

RESUMO

Esta pesquisa se baseia na atual necessidade de construir edifícios de baixo impacto ambiental, entendendo que isso parte do planejamento inicial do projeto arquitetônico e passa pelo cotidiano do projetista. Considerando as novas metodologias de projeto e de simulação de desempenho, este estudo planeja analisar o cenário presente na vida dos projetistas BIM que usam ou pretendem utilizar ferramentas integradas para projetar edifícios energeticamente eficientes.

Para isso, três modelos com progressão de complexidade foram desenvolvidos em um software BIM e transferidos para um aplicativo de análise de desempenho por meio de plugin. Todo o processo foi documentado e comparado com um processo de controle, usual para especialistas em análise térmica, que utiliza apenas o aplicativo de simulação. Assim, foi possível avaliar a precisão e qualidade do método de análise térmica aliado a metodologia BIM.

Os resultados da pesquisa permitem aos projetistas avaliar se as vantagens do método integrado com o BIM compensam a disparidade encontrada com o método tradicional. Além disso, este estudo poderá servir para o aprimoramento desses processos, via pesquisa acadêmica ou por empenho das desenvolvedoras de software.

Desenvolver um trabalho neste âmbito é relevante por conta de sua aplicabilidade no cotidiano do projetista que não é especialista em análise de desempenho e que para desenvolver um projeto de baixo impacto reconhecido precisa de auxílio de outros profissionais. Sendo também relevante para difundir o uso de tais ferramentas para os que não a incorporam no processo de design por conta de dificuldades de operação, tempo envolvido, entre outros.

A pesquisa se distingue por investigar a simulação de desempenho a partir de ferramentas computacionais, sem incluir customização, ou uso de programação, visto que isso pode afastar o projetista habitual. O valor aqui está em validar a aplicabilidade do método de simulação aliado ao BIM.

Palavra-chave: BIM, BPS, análise de desempenho, eficiência energética, plugins

ABSTRACT

This research is based on the current need to construct efficient buildings, understanding that this starts from the first design and goes through the entire building operation. Considering the new project methodologies and performance simulations, this study aims to analyze the scenario and BIM designers who use or intend to use integrated tools to design energy-efficient buildings.

For this purpose, three increasingly complex models were developed in BIM software and transferred to a performance analysis application through a plugin. The entire process was documented and compared to a control process, which is usual for thermal analysis experts and uses only simulation software. Thus, it was possible to evaluate the thermal analysis method accuracy combined with the BIM methodology.

The research results enabled designers to evaluate whether the advantages of the integrated method with BIM outweigh the disparity found with the traditional method. Additionally, this study may contribute to improving these processes through academic research or the efforts of software developers.

This study is relevant due to its applicability in the daily life of the designer who is not an expert in performance analysis and requires the assistance of other professionals to develop a recognized low-impact project. It is also important to promote such tools among those who do not incorporate them into the design process due to operational difficulties, time constraints, and other factors.

The research stands out by investigating performance simulation using computational tools, without the need for customization or programming, as these aspects can be intimidating for the average designer. The value lies in validating the applicability of the simulation method combined with BIM.

Keyword: BIM, BPS, performance analysis, energy efficiency, plugins

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 02

Figura	Legenda	Página
01	Participação de edifícios no consumo final de energia total em 2021.	28
02	Principais mudanças no setor da construção civil entre 2015 e 2021.	30
03	Potencial de economia e energia por tipologia (GWh).	30
04	Os limites da zona de conforto adaptável para um nível de aceitabilidade de 80% em ambientes naturalmente ventilados.	36
05	Tomada de decisão e custos conforme o desenvolvimento de projeto tradicional e em BIM/IPD.	41
06	Três campos de atividade BIM.	57
07	Diferença entre modelos geométricos e analíticos.	60

Capítulo 03

Figura	Legenda	Página
08	Fluxograma do processo de ensaio aplicado aos três modelos.	67
09	Fluxograma do processo de análises comparativas aplicadas ao modelo 01.	73
10	Fluxograma do processo de análises comparativas aplicadas ao modelo 02.	73
11	Vista da frente do modelo 01, em perspectiva isométrica.	74
12	Vista dos fundos do modelo 01, em perspectiva isométrica.	74
13	Planta baixa do modelo 01.	74
14	Vista da frente do modelo 02, em perspectiva isométrica.	76
15	Vista dos fundos do modelo 02, em perspectiva isométrica.	76
16	Planta baixa do modelo 02.	76
17	Vista da frente do modelo 03, em perspectiva isométrica.	78
18	Vista dos fundos do modelo 03, em perspectiva isométrica.	78
19	Planta baixa do modelo 03.	78
20	Fluxograma com todas as variáveis do modelo 03, mostrando o total de resultados obtidos para comparação.	80
21	Mapa com a localização das cidades de São Paulo e Fortaleza nas zonas bioclimáticas 3 e 8.	83
22	Variantes do modelo 03 com a fachada dos dormitórios orientada para leste e oeste.	87

Capítulo 04

Figura	Legenda	Página
23	Interface do DesignBuilder na aba de edição.	91
24	Imagem ilustrativa da distribuição hierárquica do modelo no DesignBuilder: building, block, zone e partition.	93
25	Fluxograma do processo de trabalho no DesignBuilder.	95
26	Interface do Designbuilder na aba de simulação.	97
27	Fluxograma do processo de trabalho entre Revit e DesignBuilder.	98
28	Janela "Area and Volumes Computations" no Revit.	99
29	Janela "Energy Settings" com configurações para modelo energético no Revit.	100
30	Janela "Advanced Energy Settings" com configurações para modelo energético no Revit.	100
31	Opções do plugin do DesignBuilder no Revit.	101
32	Janela de configuração do plugin do DesignBuilder para Revit, mostrando a aba general.	101

33	Janela de configuração do plugin do DesignBuilder para Revit, mostrando a aba merge.	103
34	Janela de configuração do plugin do DesignBuilder para Revit, mostrando a aba revit export.	103
35	Gráfico de padrão de ocupação do modelo 01 nos dias de semana.	108
36	Gráfico de padrão de ocupação do modelo 01 nos finais de semana.	108
37	Gráfico de padrão de ocupação dos dormitórios do modelo 02 nos dias de semana.	108
38	Gráfico de padrão de ocupação dos dormitórios do modelo 02 nos finais de semana.	108
39	Gráfico de padrão de ocupação da sala do modelo 02 nos dias de semana.	109
40	Gráfico de padrão de ocupação da sala do modelo 02 nos finais de semana.	109
41	Aba thermal na janela configuração de materiais do Revit, onde os parâmetros térmicos são inseridos e modificados.	110
42	Esquema da composição da parede do modelo 03.	113
43	Modelo 03 em uma das transferências realizadas com problema de vazamentos nos blocos.	116
44	Janela de conferência do modelo energético ao exportar no formato Gbxml.	116
45	Visualização do modelo analítico a partir da aba analyse no Revit.	116
46	Ajuste de modelagem no revit que mostra o alinhamento do eixo central da parede com a cumeeira do telhado.	118
47	Parede e porta inseridos na modelagem para evitar os vazamentos no ambiente integrado.	120
48	Modelo 03 importado sem erros de geometria no ambiente integrado — sala-cozinha.	120

Capítulo 05

Figura	Legenda	Página
49	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes ao modelo 01.	125
50	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a sala de estar do modelo 02.	126
51	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes ao quarto 01 do modelo 02.	128
52	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes ao quarto 02 do modelo 02.	128
53	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação A do quarto 01 do modelo 03.	131
54	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação A do quarto 02 do modelo 03.	131
55	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação B do quarto 01 do modelo 03.	132
56	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação B do quarto 02 do modelo 03.	132
57	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação C do quarto 01 do modelo 03.	133
58	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação C do quarto 02 do modelo 03.	133
59	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação D do quarto 01 do modelo 03.	134
60	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação D do quarto 02 do modelo 03.	134
61	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação E do quarto 01 do modelo 03.	135
62	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação E do quarto 02 do modelo 03.	135

63	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação F do quarto 01 do modelo 03.	136
64	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação F do quarto 02 do modelo 03.	136
65	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação G do quarto 01 do modelo 03.	137
66	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação G do quarto 02 do modelo 03.	137
67	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação H do quarto 01 do modelo 03.	138
68	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação H do quarto 02 do modelo 03.	138
69	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação I do quarto 01 do modelo 03.	139
70	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação I do quarto 02 do modelo 03.	139
71	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação J do quarto 01 do modelo 03.	140
72	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação J do quarto 02 do modelo 03.	140
73	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação K do quarto 01 do modelo 03.	141
74	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação K do quarto 02 do modelo 03.	141
75	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação L do quarto 01 do modelo 03.	142
76	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação L do quarto 02 do modelo 03.	142
77	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação M do quarto 01 do modelo 03.	143
78	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação M do quarto 02 do modelo 03.	143
79	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação N do quarto 01 do modelo 03.	144
80	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação N do quarto 02 do modelo 03.	144
81	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação O do quarto 01 do modelo 03.	145
82	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação O do quarto 02 do modelo 03.	145
83	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação P do quarto 01 do modelo 03.	146
84	Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação P do quarto 02 do modelo 03.	146
85	Comparação no quarto 01 entre variações com tijolo cerâmico A (cor clara) e E (cor escura) mostrando que os dados com cor escura possuem maior temperatura que a cor clara, seguindo o comportamento físico esperado.	149
86	Comparação no quarto 02 entre variações com tijolo cerâmico A (cor clara) e E (cor escura) mostrando que os dados com cor escura possuem maior temperatura que a cor clara, seguindo o comportamento físico esperado.	150

87	Comparação no quarto 01 entre variações com tijolo de concreto J (cor clara) e N (cor escura) mostrando que os dados com cor escura possuem maior temperatura que a cor clara, seguindo o comportamento físico esperado.	150
88	Comparação no quarto 02 entre variações com tijolo de concreto J (cor clara) e N (cor escura) mostrando que os dados com cor escura possuem maior temperatura que a cor clara, seguindo o comportamento físico esperado.	150
89	Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação A - quarto 01) e da faixa de conforto térmico do mês de junho.	152
90	Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação A - quarto 02) e da faixa de conforto térmico do mês de junho.	152
91	Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação A - quarto 01) e da faixa de conforto térmico do mês de setembro.	152
92	Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação A - quarto 02) e da faixa de conforto térmico do mês de setembro.	153
93	Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação A - quarto 01) e da faixa de conforto térmico do mês de dezembro.	153
94	Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação A - quarto 02) e da faixa de conforto térmico do mês de dezembro.	153
95	Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação B - quarto 01) e da faixa de conforto térmico do mês de junho.	154
96	Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação B - quarto 02) e da faixa de conforto térmico do mês de junho.	154
97	Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação B - quarto 01) e da faixa de conforto térmico do mês de setembro.	154
98	Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação B - quarto 02) e da faixa de conforto térmico do mês de setembro.	155
99	Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação B - quarto 01) e da faixa de conforto térmico do mês de dezembro.	155
100	Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação B - quarto 02) e da faixa de conforto térmico do mês de dezembro.	155

LISTA DE TABELAS

Capítulo 02

Tabela	Legenda	Página
01	Consumo de energia por classe (GWh). Resenha mensal do mercado de energia elétrica.	30
02	Quadro de estudos similares.	64

Capítulo 03

Tabela	Legenda	Página
03	Critérios solicitados pelo RTQ-R e INI-C para softwares de simulação termoeenergética.	71
04	Propriedades térmicas dos tijolos de cerâmica e de concreto.	85
05	Propriedades térmicas dos tijolos de cerâmica e de concreto.	86

Capítulo 04

Tabela	Legenda	Página
06	Taxas metabólicas para cada atividade.	109
07	Síntese dos dados inseridos na simulação do modelo 02.	112
08	Síntese dos dados inseridos na simulação do modelo 03.	114

Capítulo 05

Tabela	Legenda	Página
09	Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes ao modelo 01.	125
10	Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a sala de estar do modelo 02.	126
11	Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes ao quarto 01 do modelo 02.	128
12	Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes ao quarto 02 do modelo 02.	128
13	Nomenclatura das combinações de variáveis usadas nos ensaios referentes ao modelo 03.	129
14	Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação A do quarto 01 do modelo 03.	131
15	Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação A do quarto 02 do modelo 03.	131
16	Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação B do quarto 01 do modelo 03.	132
17	Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação B do quarto 02 do modelo 03.	132
18	Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação C do quarto 01 do modelo 03.	133
19	Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação C do quarto 02 do modelo 03.	133
20	Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação D do quarto 01 do modelo 03.	134
21	Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação D do quarto 02 do modelo 03.	134
22	Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação E do quarto 01 do modelo 03.	135

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
AEC	Arquitetura e Construção
BEPS	Building Energy Performance Simulation
BEPS	BIM Building Information Modelling
BEM	Building Energy Model
BPS	Building Performance Simulation
EAM	Energy Analytical Model
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
HIS	Habitação de Interesse Social
GWh	Gigawatt-hora
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDA ICE	Indoor Climate and Energy
IDF	Input Data File
IDM	Information Delivery Manual
IEA	Agência Internacional de Energia
INI-C	Instrução Normativa INMETRO
MVD	Model View Definitions
NDC	Nationally Determined Contributions
ONU	Organização das Nações Unidas
RTQ-R	Regulamento Técnico de Qualidade Residencial
TAS	Thermal Analysis Software
TRNSYS	Transient System Simulation Tool
UNEP	United Nations Environment Programme
VE	Virtual Environment

SUMÁRIO

01	INTRODUÇÃO	22
02	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1	Eficiência energética e arquitetura	26
2.2	Processo BIM e interoperabilidade	39
2.3	Simulação de desempenho	48
2.4	BIM e BPS	56
03	MÉTODO	66
3.1	Seleção dos aplicativos para os ensaios	68
3.1.1	Aplicativo BIM: Revit	69
3.1.2	Aplicativo de simulação energética: DesignBuilder	70
3.2	Modelos de ensaio	73
3.2.1	Modelo 01	74
3.2.2	Modelo 02	75
3.2.3	Modelo 03	77
3.3	Variáveis de análise: modelo 03	81
3.3.1	Zonas bioclimáticas	82
3.3.2	Material da envoltória	84
3.3.3	Cores da envoltória	86
3.3.4	Orientação solar	87
3.4	Critério de análise	88

04	ENSAIOS	90
4.1	Modelo de controle: Software DesignBuilder	91
4.2	Processo BIM + Software Revit + plugin DesignBuilder	98
4.3	Ensaio modelo 01	105
4.4	Ensaio modelo 02	107
4.5	Ensaio modelo 03	113
05	RESULTADOS E DISCUSSÃO	122
5.1	Resultados comparativos	123
5.1.1	Resultados modelo 01	124
5.1.2	Resultados modelo 02	126
5.1.3	Resultados modelo 03	129
5.2	Verificação de resultados	148
5.2.1	Principais dificuldades	156
5.2.2	Disparidade de resultados por complexidade do modelo	157
06	CONCLUSÃO	158
07	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	162

A construção civil é responsável por uma grande parte do consumo energético mundial (UNEP, IEA, 2022), esse alto consumo também implica em um alto potencial de economia (Casagrande, 2013) (MITSIDI, 2020). Ondas de calor, temperaturas médias cada vez mais altas, invernos com temperaturas mínimas recordes são consequência do uso desenfreado dos recursos naturais (Guarda, Durante e Callejas, 2020) e impactam também na demanda de condicionamento artificial dos ambientes (Casagrande, 2013). Em grande ou pequena escala, todos são afetados e é necessário que essas relações sejam repensadas em função de um desenvolvimento sustentável.

O projeto de arquitetura desempenha um papel chave para a mudança desse cenário no setor da AEC. O ministério do meio ambiente (MMA, 2023) entende como essencial a adequação do projeto ao clima do local como uma das principais formas de minimizar o consumo de energia e otimizar as condições de ventilação, iluminação e aquecimento naturais. A tomada de decisões durante a fase de projeto costuma exigir menos esforço com um impacto menor no orçamento da construção, além de ser mais efetivo para o curso e funções do projeto (Bragança e Andrade, 2014). Segundo Han *et al.* (2018), mais de 40% das capacidades de economia de energia vem de um planejamento nas fases iniciais do projeto.

Para aprimorar o processo de projeto, uma série de tecnologias atrelada ao design computacional foi desenvolvida nas últimas décadas. A metodologia BIM, faz parte desse grupo e contribui para a antecipação da tomada de decisão no processo de projeto (EASTMAN 2011). Os primeiros conceitos do que se entende hoje como BIM datam do fim

da década de 70, atualmente a metodologia é de interesse de muitos escritórios, enquanto outros já se valem dela. Diversos estudos (Montana e Librelotto, 2017) (Bryde, Broquetas, Volm, 2013), (Olawumi, Chan, 2018) destacam as vantagens do BIM. Além disso, ações como a nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos nº 14.133/2021, evidenciam a relevância do BIM no setor da AEC ao determinar que, sempre que adequada ao objeto da licitação, será preferencialmente adotada a Modelagem BIM.

Neste conjunto de tecnologias de projeto, por volta da década de 70, também começaram a se popularizar as ferramentas de simulação (Augenbroe, 2002), que se tornam cada vez mais relevantes no contexto de sustentabilidade e economia de energia (Huang, Zhang, Zhang, 2018). Os programas de análise de desempenho disponíveis são usados para responder a uma ampla gama de perguntas para arquitetos, engenheiros e outras partes interessadas (Hong, Son, 2018), otimizar os custos de operação do edifício e para melhorar o conforto ambiental do usuário. São ferramentas já consolidadas para prever o comportamento da edificação em determinados contextos e guiar o projetista para um projeto otimizado, ainda assim, são muito complexas e de difícil utilização (Klimczak *et al.*, 2018).

BIM e simulação são, portanto, aliadas do projetista na construção de edifícios mais eficientes. Combinar tais ferramentas parece um cenário vantajoso. Para Pinha (2017), a integração entre ferramentas BIM e BPS é fundamental para aumentar a eficiência do setor da construção. Iniciativas para proporcionar a interoperabilidade cresceram bastante na última década, no entanto, a plena integração entre BIM e BPS é um assunto complexo e continua sendo um desafio (Noack *et al.* 2016). Atualmente, são necessários procedimentos redundantes e o retrabalho de algumas etapas para se chegar a um resultado satisfatório de simulação térmica com o uso de ferramentas BIM.

Esta pesquisa focou em avaliar uma iniciativa disponível de integração entre BIM e BPS, sem o uso de programação ou programas terceiros, para auxiliar o projetista que tem a intenção de incorporar a simulação térmica no processo de projeto em ambiente BIM.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desta pesquisa é avaliar a interoperabilidade do processo de projeto em BIM e a simulação computacional para a análise do desempenho termoenergético de edificações, a partir de um método integrado, como alternativa a procedimentos de simulação validados.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar a integração de processos BIM e BPS (Building Performance Simulation);
- Identificar, por meio de três modelos computacionais, os principais obstáculos de interoperabilidade entre ferramentas BIM e BPS mediante uso de plugin;
- Determinar a precisão de análise do método de análise de desempenho utilizando BIM, com a utilização de metodologias validadas;
- Evoluir na abordagem do tema, contribuindo para o aperfeiçoamento do processo projetual, a partir da integração da avaliação de desempenho termoenergético nas decisões do projeto arquitetônico.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este caderno de dissertação é estruturado em 06 capítulos, partindo do embasamento teórico tratado na presente introdução, que fornece a problemática e o panorama no qual a pesquisa se insere (Capítulo 01). O capítulo 02 é o começo da pesquisa em si e traz uma revisão da literatura, primeiramente a partir de uma temática mais abrangente e posteriormente abordando mais especificamente a questão central do estudo. Este capítulo estabelece a problemática abordada e o atual estado da arte sobre a interoperabilidade das ferramentas BIM e BPS, ressaltando a importância do que foi introduzido no capítulo anterior e servindo de base para o que será apresentado a seguir.

O capítulo 03 situa ao leitor a metodologia empregada na pesquisa, expondo as ferramentas utilizadas, os modelos computacionais e os parâmetros construtivos que servirão de variáveis de análise. Este capítulo dá suporte e embasamento para o entendimento do que será exposto no próximo capítulo.

Uma vez que todo o embasamento para os ensaios foi devidamente ilustrado, no capítulo 04 é descrita a aplicação dos procedimentos, manobras adicionais e questionamentos que surgiram durante o experimento. Este capítulo é um relato da parte experimental da pesquisa e situa o leitor de todo o processo percorrido para extração dos resultados das simulações e as intercorrências do processo.

O capítulo 05 apresenta os resultados da comparação entre os ensaios de cada processo e entre os resultados dos modelos, além da exposição crítica das dificuldades encontradas.

A conclusão da dissertação, confirmando a satisfação dos objetivos da pesquisa, são apresentadas no capítulo 06. Considerações finais a respeito do trabalho e sua relação com o processo de projeto são colocadas. Além disso, sugestões para o prosseguimento da pesquisa e desenvolvimento de estudos futuros no tema são realizadas.

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ARQUITETURA

Edifícios de baixo impacto ambiental e maior eficiência energética são necessários no contexto da sociedade urbana atual. A demanda por edifícios sustentáveis é crescente, tanto por parte dos consumidores, cada vez mais conscientes da importância da sustentabilidade, quanto por parte dos governos, que vem estabelecendo normas e regulamentações mais rigorosas para a construção de edifícios. A norma ASHRAE 189.1, por exemplo, citada por Gonçalves e Bode (2015), propôs diretrizes mais exigentes para aprimorar os projetos e buscar maiores reduções no impacto ambiental que as apresentadas anteriormente na norma 90.1.

Além disso, é preciso reavaliar a atual conjuntura da construção civil, que se insere como uma das atividades humanas que mais consome recursos naturais e energia que gera um grande volume de resíduos e emissões de gases de efeito estufa. O setor é responsável por uma alta demanda de recursos, não só durante sua construção, como após. Isso se deve ao fato de que a energia representa uma parte significativa dos custos operacionais do edifício, ainda mais quando os edifícios são pensados para o uso de condicionamento ambiental artificial. (Kordjamshidi e King, 2009).

O conforto térmico e a eficiência energética são pontos fundamentais para a construção de edifícios sustentáveis. O conforto térmico é um aspecto importante para o bem-estar e a produtividade dos ocupantes do edifício. Um edifício mal projetado em termos de conforto térmico pode

resultar em altos custos de energia para condicionamento artificial e gerar insatisfação dos usuários.

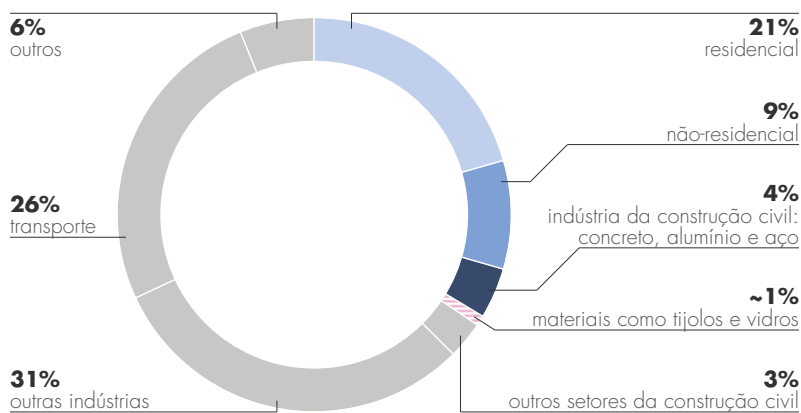
A eficiência energética de um edifício, ou seu desempenho, está diretamente conectada ao conforto térmico. Entre as formas de estimar o grau de eficiência pode-se destacar a avaliação por meio de simulações computacionais. Estas consideram fatores como: isolamento térmico, orientação solar, ventilação natural, materiais, rotinas de usuários, entre outros, permitindo aos projetistas qualificar o desempenho na fase de projeto e tomar decisões que possam reduzir seu impacto ambiental na fase de operação.

[...]além da influência do clima, a demanda energética derivada da climatização e da iluminação artificial está intrinsecamente relacionada com o projeto de arquitetura, as características termofísicas da construção, as particularidades do uso e ocupação e, também, a eficiência dos sistemas. Mudanças no estilo de vida e nas formas de trabalho das sociedades contemporâneas são fatores que afetam o uso de equipamentos eletrônicos e eletrodomésticos e a consequente geração de calor, com implicações diretas sobre as condições térmicas dos espaços internos. (Gonçalves e Bode, 2015, p. 18)

No entanto, é de extrema importância garantir que os projetos não comprometam o bem-estar dos usuários em nome de uma maior eficiência energética. Equilibrar a busca pela economia de energia com o conforto é fundamental para criar ambientes saudáveis e agradáveis, promovendo a sustentabilidade sem sacrificar o bem-estar dos ocupantes (Olesen, 2007).

O CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo o relatório de *status* global para edifícios e construções do programa das nações unidas para o meio ambiente (UNEP, 2022), o setor da construção civil foi responsável pelo uso de 34% da energia global em 2021 (Figura 01). A agência internacional de energia (IEA, 2022) confirma que os edifícios e o setor da construção civil são responsáveis por cerca de um terço do consumo global de energia.

Consumo energético na construção civil e outros setores

Fonte: adaptado de UNEP (2022) a partir dos dados de IEA (2022)

Figura 01: Participação de edifícios no consumo final de energia total em 2021. Fonte: adaptado de UNEP (2022) a partir dos dados de IEA (2022).

Nota: Indústria da construção civil e outros setores da construção civil referem-se ao uso de concreto, aço e alumínio para construção de edifícios e infraestruturas, respectivamente. Os números no gráfico são valores arredondados e não devem ser somados para calcular os valores totais.

No Brasil, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN 2022) realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), apenas as edificações residenciais são responsáveis por cerca de 45% do consumo total de energia elétrica. Considerando os dados, é possível concluir que o setor da construção e os edifícios dispõem de grande responsabilidade e potencial na diminuição do uso de energia, além de um papel central no futuro climático.

As mudanças do cenário energético até 2022 apontadas pelo relatório da ONU envolvem muitas questões. De um lado, com o retorno das atividades pós-pandemia, os edifícios estão sendo operados com maior intensidade, ao mesmo tempo, com muitas empresas optando pela forma de trabalho híbrida, a demanda de energia em locais que unem trabalho e residência permanece. A demanda de energia nos edifícios aumentou cerca de 4% comparado a 2020, esse foi o maior aumento dos últimos 10 anos, e é um impacto predominantemente direto da pandemia de COVID-19 (Figura 02). Nesse período também houve um aumento do investimento em eficiência energética na construção, segundo o relatório, mas boa parte desses aportes provém de iniciativas já existentes em países europeus, ou seja, existem poucos projetos recentes visando edifícios sustentáveis.

Em fevereiro de 2023, o mercado de energia elétrica residencial apresentou crescimento de 5% em relação ao mesmo mês do ano anterior, segundo a resenha mensal do mercado de energia elétrica (EPE, 2023). Em 2023, a participação do setor residencial foi a segunda maior entre os setores, representando cerca de 31% de todo o consumo, quase

5% a mais do que no ano anterior (tabela 01). Segundo o estudo da MITSIDI Projetos em 2020, ações como a implementação da etiquetagem no país podem contribuir para a economia no consumo em todos os setores, e cerca de 80% dessa economia viria apenas das residências (figura 03).

Estratégias de mitigação de danos que evitem a progressão da atual conjuntura deixam de ser complementares, sendo fundamentais ao processo de design. Segundo Lamberts *et al.* (2013), podemos entender a eficiência energética na arquitetura como um atributo inerente à edificação, representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia.

O desempenho energético de uma edificação, assim como o conforto térmico, acústico e luminoso, são diretamente influenciados pelas decisões de projeto. O projetista pode e deve considerar as condições climáticas locais do projeto, a incidência de luz solar e seu melhor aproveitamento, o resfriamento natural de ambientes e uso de fontes alternativas de energia.

Este, no entanto, não é o cenário mais comum. Considerando os dados de consumo já vistos da indústria da construção civil, podemos constatar que nas últimas décadas, existe uma larga construção de edifícios cujo desempenho termoenergético é inadequado em relação ao clima em que se situa. Um sintoma disso é a proliferação de torres com grandes fachadas envidraçadas, um material sensível às variações de temperatura (Bedon, 2018). Esses edifícios se comportam como estufa e consomem mais energia do que deveriam e mesmo assim são considerados símbolos de *status* e desenvolvimento, independentemente do local onde são implantados e do abuso de soluções de climatização artificial.

Apesar disso, a eficiência energética vem cada vez mais sendo de interesse comum e não restrita aos ambientes acadêmicos. Isso se deve não só à urgência do tema, mas pela adoção da sustentabilidade como fator de valorização no mercado, além da adoção de normas de regulamentação. Embora não garantam que as novas edificações serão energeticamente eficientes, essas medidas contribuem para uma percepção mais séria do assunto por parte dos profissionais e da própria sociedade.

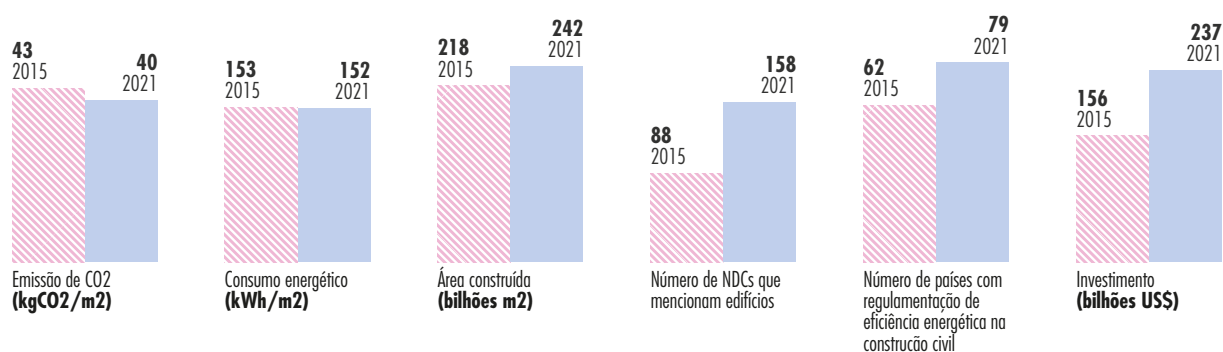


Figura 02: Principais mudanças no setor da construção civil entre 2015 e 2021. Fonte: adaptado de UNEP (2022).

	EM FEVEREIRO			ATÉ FEVEREIRO			12 MESES		
	2023	2022	%	2023	2022	%	2023	2022	%
Brasil	42.897	41.977	2,2	85.710	84.569	1,4	509.850	502.534	1,5
Residencial	13.681	13.025	5,0	26.992	26.095	3,4	153.851	150.818	2,0
Industrial	14.596	14.386	1,5	29.538	29.154	1,3	183.348	182.121	0,7
Comercial	8.173	7.986	2,3	16.252	15.951	1,9	92.792	88.554	4,8
Outros	6.447	6.580	-2,0	12.929	13.368	-3,3	79.858	81.041	-1,5

Tabela 01: Consumo de energia por classe (GWh). Resenha mensal do mercado de energia elétrica. Fonte: adaptado de EPE, 2023.

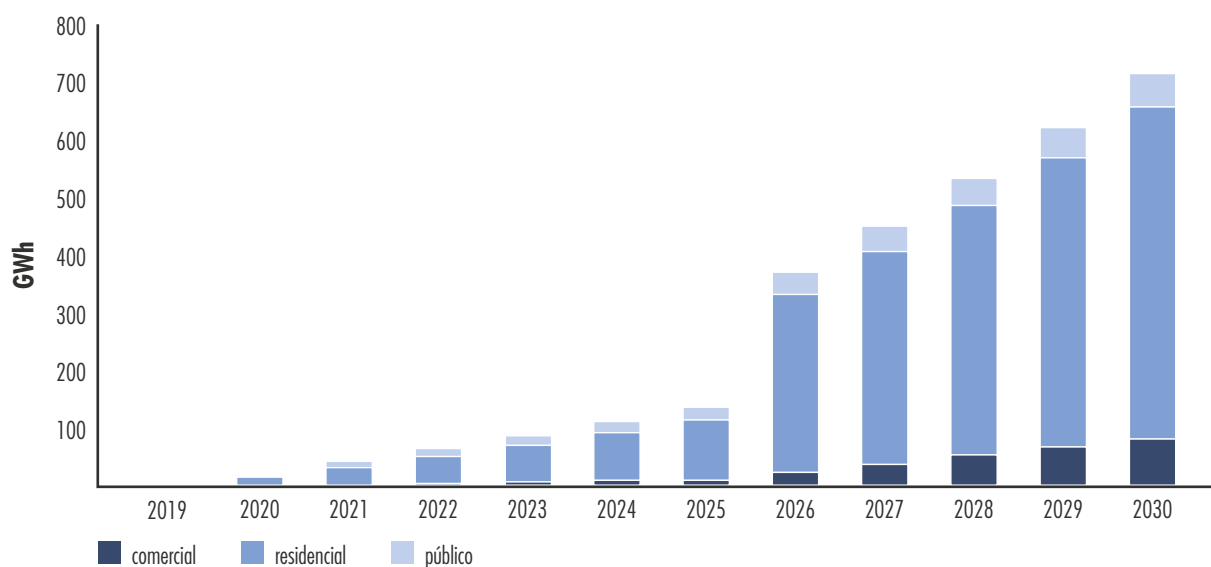


Figura 03: Potencial de economia e energia por tipologia (GWh). Fonte: adaptado de MITSIDI (2020).

NORMAS DE DESEMPENHO

Segundo o EPE (2023), a regulamentação da energia de construção tem um papel central na melhoria da eficiência energética dos edifícios. Ela permite que os governos estabeleçam padrões para a construção e manutenção de edifícios. Quando aplicados adequadamente, eles garantem que o edifício atenda aos critérios de fluxo de calor, que as taxas de ventilação sejam mantidas e que o condicionamento artificial se mantenha nos padrões de uso de energia. Ainda segundo o relatório, a regulamentação, que deve ser adequada a cada região, também é importante não apenas na fase de construção de novos edifícios, mas também para a manutenção e reforma de edifícios existentes.

As normas e regulamentos técnicos visam incentivar e orientar o desenvolvimento tecnológico, bem como qualificar a eficiência técnica e econômica das inovações. Alguns países têm diretrizes para o desempenho térmico de edificações desde a década de 80, como, por exemplo, os Estados Unidos e a França (Sorgato *et al.*, 2014).

No Brasil, as normas que estabelecem requisitos mínimos de desempenho para edificações são bem mais recentes. As Normas brasileiras, mais conhecidas como NBR, são um conjunto de normas técnicas desenvolvidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), cujo objetivo é estabelecer padrões e requisitos técnicos para produtos, serviços e processos em diversas áreas. Ainda que estabeleçam requisitos e padrões, as normas técnicas não são equivalentes às leis.

Enquanto as leis estabelecem normas jurídicas obrigatórias, que devem ser cumpridas sob pena de sanções, as normas técnicas estabelecem padrões técnicos e de qualidade, que podem ou não ser adotadas por empresas, órgãos públicos e outros agentes como referência para garantir a qualidade e segurança dos produtos e serviços.

Destacam-se no âmbito da eficiência energética e arquitetura a NBR 15220 (ABNT, 2005) e a NBR 15575 (ABNT, 2013a). A primeira, de 2005, estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro subdividindo o país em oito Zonas Bioclimáticas, define as características principais e dá diretrizes construtivas para cada zona. Ela ainda elucida desde

o tamanho das janelas, tipos de alvenaria e coberturas e estratégias bioclimáticas mais adequadas para cada área.

Em 2013, a norma brasileira de desempenho de edificações residenciais, ABNT NBR 15575 (ABNT, 2013a), entrou em vigor. Revisada em 2023, a norma busca atender as exigências dos usuários, quanto ao seu comportamento, relativas a edificações habitacionais. As exigências dos usuários consideradas para determinar critérios presentes na norma são: segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Nos critérios de habitabilidade, por exemplo, são considerados o desempenho térmico, acústico, lumínico, a saúde, a qualidade do ar e o impacto ambiental.

A NBR 15220 (ABNT, 2005) guia o projetista com diretrizes construtivas quanto ao desempenho térmico, apenas como recomendação. Com a NBR 15575 (ABNT, 2013a), os novos requisitos são normativos e possuem um peso maior que a norma anterior. E por conta disso, a partir da vigência dessa norma o setor da construção civil começou a se adaptar. Por não ter força de lei, por outro lado, a não obrigatoriedade de atendimento total a norma contribuiu para a manutenção dos padrões de construção de baixo desempenho ambiental, comumente utilizados pelo mercado da construção civil. (Tsuda, 2019)

As edificações precisam atender às especificações mínimas e podem comprovar a performance planejada por meio de simulação computacional e pesquisas. Os fornecedores têm de garantir o desempenho dos materiais, assim como as construtoras devem garantir as obras entregues dentro dos parâmetros. Quanto aos projetistas, a norma passa a incorporar o processo de projeto, como mais um requisito a ser atendido, principalmente ao priorizar ainda mais o usuário.

Internacionalmente, a American Society Of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) desenvolve e publica normas técnicas e guias. A entidade desenvolveu a Standard 55, cujo objetivo é especificar combinações de elementos ambientais e fatores pessoais que produzem condições ambientais para ambientes internos aceitáveis para a maioria dos ocupantes do espaço. (ASHRAE, 2004). A norma não só recomenda a utilização de simulações computacionais, como estabelece algumas diretrizes para a sua aplicação.

SOBRE O COMPORTAMENTO DO USUÁRIO E CONFORTO: AMBIENTAL E TÉRMICO

O conforto ambiental é entendido, por Lamberts *et al.* (2013), como um conjunto de condições ambientais que permitem ao ser humano sentir bem-estar térmico, visual, acústico e antropométrico, além de garantir a qualidade do ar e o conforto olfativo.

Desses, o conforto térmico é um dos aspectos que mais impacta na eficiência energética. Segundo a agência internacional de energia, a eficiência energética nos edifícios é influenciada principalmente por seis parâmetros: clima, fachada, sistemas energéticos, condicionamento ambiental dos interiores, operação e manutenção predial e comportamento/atividade dos ocupantes (EIA, 2022).

Conforme Balvedi *et al.* (2018), os estudos relativos ao comportamento e atividade dos usuários são mais recentes e um pouco menos explorados pelos acadêmicos que os outros tópicos. Além disso, essa questão é bem relevante quando consideramos as diferenças entre as predições de desempenho energético dos edifícios e a interferência do comportamento dos usuários para as predições de desempenho.

Nesse sentido, o comportamento das pessoas pode ser definido como o conjunto de interações relacionadas à eficiência energética, tais como: o controle de abertura de janelas, persianas e cortinas e o acionamento de luzes e sistemas de condicionamento artificial. A partir de estudos como de Yan e Hong (2013), esse comportamento dos usuários está associado com o consumo de energia do edifício por conta da busca deles pelo conforto ambiental.

O bem-estar do usuário a partir do conforto térmico se dá por conta do equilíbrio termofisiológico do corpo. Esse equilíbrio existe a partir da interação entre variáveis ambientais: temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade e velocidade do ar; e variáveis pessoais, tais como: metabolismo e vestuário. No entanto, diversos especialistas e instituições reconhecem hoje outros aspectos que interferem no conforto térmico e bem-estar do indivíduo, ligados a questões culturais, psicológicas e a oportunidades de adaptação disponíveis.

Segundo a ASHRAE (2004) o conforto térmico existe quando todas as trocas de calor a que o corpo está sendo submetido se anulam, e a temperatura da pele e os níveis de suor estão em determinados limites, garantindo a satisfação do usuário. Ainda segundo o documento, o conforto térmico é um estado mental que expressa satisfação com o ambiente circundante.

Considerando o desempenho térmico, a norma de desempenho brasileira tem o intuito de assegurar ao usuário condições térmicas apropriadas para o desenvolvimento de atividades comuns ao cotidiano no interior da habitação por meio da utilização de materiais adequados, processos construtivos e considerações de projeto. A NBR 15575 também recomenda o uso de simulação computacional para validar e verificar as escolhas de projeto.

O conforto térmico é fundamental em arquitetura, que pode se valer de diversas soluções projetuais. No entanto, é muito comum que as pessoas recorram aos aquecedores nos dias frios e ao ar condicionado nos dias quentes. O uso de meios artificiais para se adaptar aos diversos climas é simples e, geralmente, a primeira opção a ser escolhida pelo usuário, porém a pior em termos de eficiência energética e nem sempre a mais adequada para o conforto térmico, quando consideramos mais de uma pessoa no ambiente.

CONFORTO ADAPTATIVO

A vida cotidiana é expressa em boa parte do tempo em ambientes internos, sejam nas casas, escritórios ou outros edifícios. Segundo as orientações da norma Ashrae Guideline 10p (ASHRAE, 2016) as pessoas passam entre 80 a 90 por cento de seu tempo de vida em ambientes construídos. Essa situação foi levada ao extremo nos últimos anos por conta de questões sanitárias. Em muitos casos, a residência se tornou o espaço para lazer, trabalho e descanso. Sendo assim, o conforto térmico é fundamental para a permanência e satisfação dos usuários nesses espaços.

Dois tipos de abordagens de conforto térmico foram amplamente estudadas e debatidas por pesquisadores por décadas. *Predicted Mean Vote* (PMV) e *Percentage People Dissatisfied* (PPD) foram desenvolvidos por Fanger e são

usados para prever e avaliar o conforto térmico em ambientes internos.

Segundo Yao (2022), os índices são baseados em estudos de laboratório e fundamentados na teoria do balanço térmico entre o corpo humano e a produção de calor metabólico, refletindo as respostas humanas ao ambiente térmico em termos de física e fisiologia. O modelo de equilíbrio térmico em estado estacionário indica que a sensação térmica está intimamente relacionada com a carga térmica nos mecanismos de regulação térmica do corpo humano.

A criação do conceito de conforto adaptativo foi impulsionada pela necessidade de enfrentar a crise energética e pelas descobertas de estudos de campo que mostravam desvios na percepção térmica em relação à previsão, utilizada na abordagem do modelo estático proposto por Fanger. Este modelo parte da premissa que o usuário tem o potencial de se ajustar para atingir o conforto, por meio da postura, vestes, localização, atividade, entre outros. Além do ajuste das condições térmicas pelo usuário, como abertura de janelas e regulagem de proteção solar. No dia a dia isso implica que se houver uma tendência para o desconforto, o indivíduo se adapta para se manter em conforto.

Segundo De Dear *et al.* (1998), o equilíbrio térmico com o ambiente, além de ser obtido por meio de da termorregulação fisiológica do corpo humano, pode ser também atingida com o auxílio de um conjunto de reações comportamentais e psicológicas que permitem às pessoas se adaptar às condições em ambientes internos e externos.

Yao (2022) complementa que essa premissa pode ser dividida em três categorias: comportamental, fisiológica e psicológica:

- Adaptação comportamental: refere-se às mudanças comportamentais que as pessoas fazem para se ajustar ao ambiente térmico, como trocar de roupa ou ligar/desligar um ar-condicionado;
- Adaptação fisiológica: refere-se à regulação térmica do corpo humano, que inclui reações instantâneas, como suar e tremer, e ajustes genéticos e fisiológicos ao longo do tempo;

- Adaptação psicológica: refere-se à memória térmica e expectativas das pessoas em relação ao ambiente térmico, que podem ser influenciadas por experiências passadas e pela oportunidade de controlar o ambiente interno.

Em seus estudos, De Dear *et al.* (1998) define o índice adaptativo como um modelo de regressão linear que relaciona temperaturas internas de projeto ou intervalos de temperaturas aceitáveis aos parâmetros meteorológicos e climatológicos externos.

A avaliação de conforto é positiva quando o usuário opta por não querer mudar as condições em que se encontra. O ambiente termicamente aceitável é definido quando pelo menos 80% dos usuários o classificam como tal. (figura 04).

Reconhecendo esse modelo, os edifícios podem ser projetados para possibilitar ao usuário controles mais individualizados, otimizando o uso de energia e potencializando o nível de satisfação do usuário. Os edifícios que oferecem aos seus ocupantes vários graus de oportunidade de adaptação para ajustar o ambiente interno, e eles mesmos, para alcançar o conforto térmico, dispõem de oportunidade adaptativa segundo De Dear *et al.* (2018).

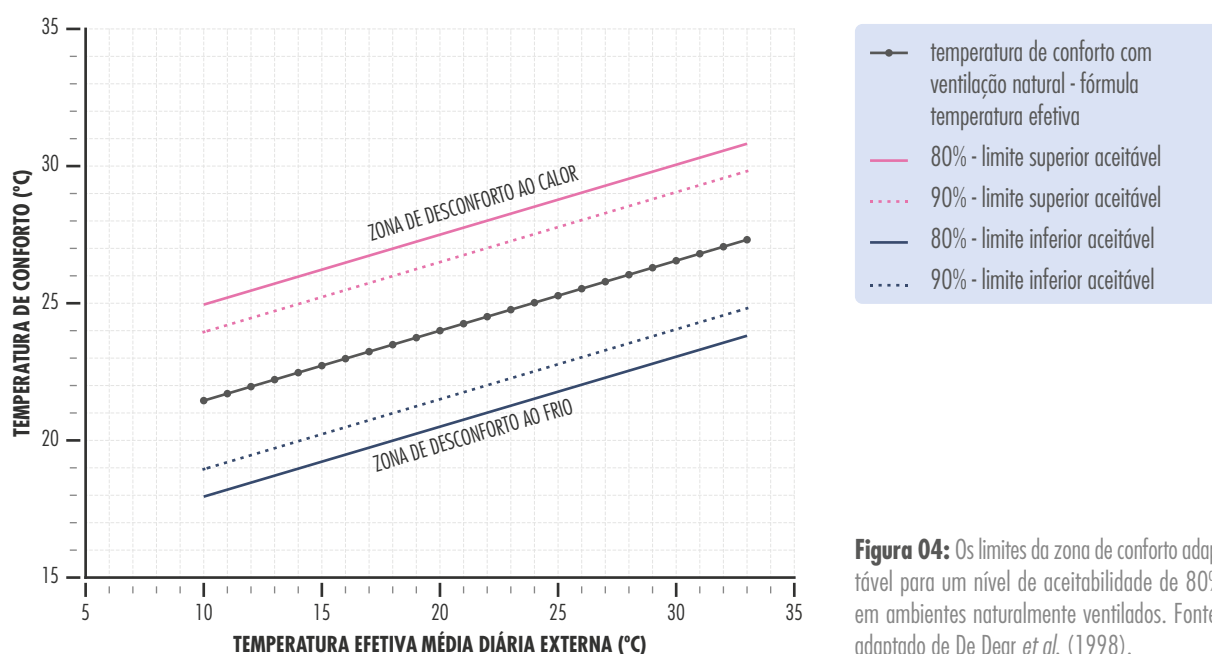


Figura 04: Os limites da zona de conforto adaptável para um nível de aceitabilidade de 80% em ambientes naturalmente ventilados. Fonte: adaptado de De Dear *et al.* (1998).

USO DE FERRAMENTAS PARA AUXILIAR NESSE OBJETIVO

Na prática profissional, para um projetista desenvolver edificações sustentáveis é preciso ter conhecimento teórico de temas primordiais pertencentes ao processo de projeto. Ainda assim, com o desenvolvimento tecnológico atual, o projetista pode se valer de dados técnicos relacionados ao desempenho energético da edificação para projetar de uma maneira mais adequada e consciente com os recursos ambientais. Recomendadas por normas brasileiras e internacionais, as ferramentas computacionais de simulação podem fornecer alguns destes dados, sendo aliadas na construção de edifícios energeticamente eficientes.

A introdução dos modelos computacionais na arquitetura trouxe uma série de benefícios e mudanças significativas no modo como os projetos são concebidos e executados. Ao se valer de modelos computacionais, o arquiteto tem a possibilidade de visualizar e testar ideias em um ambiente virtual. Bem como inserir e analisar dados, como acontece com as simulações de desempenho. Com todas essas ferramentas à disposição, os arquitetos podem produzir projetos mais complexos e ambiciosos, enquanto reduzem os riscos e os custos envolvidos na construção.

Existem diversas possibilidades de utilização de ferramentas computacionais, em vários níveis de complexidade, que podem ser aplicadas nas diversas fases do projeto arquitetônico, tais como recomendações quanto a estratégias de projeto, análises de incidência solar, simulações de comportamento termoenergético e análises de ventilação. (FREIRE e AMORIM, 2011, p. 03)

Apesar de ser um método de avaliação, a simulação computacional de desempenho ambiental não está condicionada à construção do edifício e sim ao projeto. Ainda que exista a possibilidade de realizar simulações durante ou após a construção, o seu maior benefício está na antecipação, auxiliando na construção quando empregadas em um momento onde existe uma boa margem de alteração. Tanto das soluções construtivas como do desenho de projeto, com possibilidade de consideração a partir de dados, fornecidos pelos resultados das simulações.

A tecnologia é uma aliada para as questões de eficiência energética nas edificações. Novos métodos de projeto se tornaram acessíveis nos últimos anos, contribuindo na antecipação de etapas de avaliação e na associação de informações e representação gráfica. Os modelos digitalmente legíveis e intercambiáveis são uma mudança significativa e serão abordados no próximo tópico.

2.2

PROCESSO BIM E INTEROPERABILIDADE

Modelagem da Informação da Construção (em inglês, Building Information Modeling — BIM) é um dos mais promissores desenvolvimentos na indústria relacionada a arquitetura, engenharia e construção (AEC), com a tecnologia BIM, um modelo virtual preciso de uma edificação é construído de forma digital. (EASTMAN *et al.*, 2011, p. 01).

O termo BIM abrange algumas definições, de maneira simplificada pode ser entendido como o conjunto de ferramentas e práticas que produz modelos de construção associados a uma base de dados, surgiu a algumas décadas por meio de pesquisas sobre projeto auxiliado por computadores décadas atrás (EASTMAN *et al.*, 2011). Considerado um dos pais do BIM, Eastman dedicou boa parte da sua carreira no desenvolvimento desse processo, inicialmente com um protótipo em 1975 e um texto de 1999 com o título Building Product Models, onde abordava os fundamentos do BIM.

O processo BIM implica em uma evolução das ferramentas de criação de projeto, mas não se restringe a elas, pois trata de uma metodologia integrada, que dá suporte à colaboração de toda a equipe envolvida no projeto. Ele pode ser entendido como a construção de um modelo em um ambiente virtual computacional 3D, funcionando como um edifício virtual, com o diferencial de conter informações agregadas. Para se entender o BIM é essencial compreender o conceito de objetos paramétricos. Diferente de objetos 2D tradicionais, os objetos BIM paramétricos consistem em elementos geométricos com dados e regras associadas, que ao serem modificados são ajustados em todo o projeto e documentação associada. São objetos que não permitem inconsistências, visto que a geometria é integrada de maneira não redundante. Ou seja, uma planta e elevação de dado objeto são sempre consistentes, assim como sua representação 3D. Os objetos carregam consigo dados, que posteriormente podem ser usados para controle qualitativo e quantitativo.

Outro ponto importante é a possibilidade de transferência de dados entre os atores envolvidos no processo de projeto e construção. Seja pelo uso de informações trocadas

ou até mesmo os próprios arquivos entre os profissionais de arquitetura, instalações e estruturas ou até mesmo pelo acompanhamento pós-construção. O BIM possibilita a permuta entre as diversas equipes de projeto, construção e manutenção por conta do agrupamento de informações e outras questões que serão vistas à frente.

Inúmeros estudos já evidenciaram as vantagens presentes na adoção do BIM ao setor da AEC, mas o uso de tal tecnologia requer mudanças significativas também dos processos estabelecidos e dos atores envolvidos.

VANTAGENS NO USO DO BIM

Dentre as vantagens do processo BIM no projeto temos a visualização antecipada dos componentes e sistemas construtivos da edificação, a possibilidade de realização de correções de forma automática quando são realizadas alterações, a geração de documentos 2D mais precisos e coerentes entre si e a oportunidade de uma colaboração mais ampla entre as disciplinas de projeto.

O modelo 3D gerado com software BIM pode ser visualizado em qualquer etapa de projeto e terá correspondência com todos os desenhos 2D. Esses desenhos, por sua vez, são atualizados automaticamente, já que tratam da representação dos mesmos elementos.

Uma vez que estes desenhos necessitem de qualquer ajuste, seja a mudança de uma porta de lugar ou da alteração de algum material, as correções são automaticamente replicadas para todos os documentos e no modelo 3D.

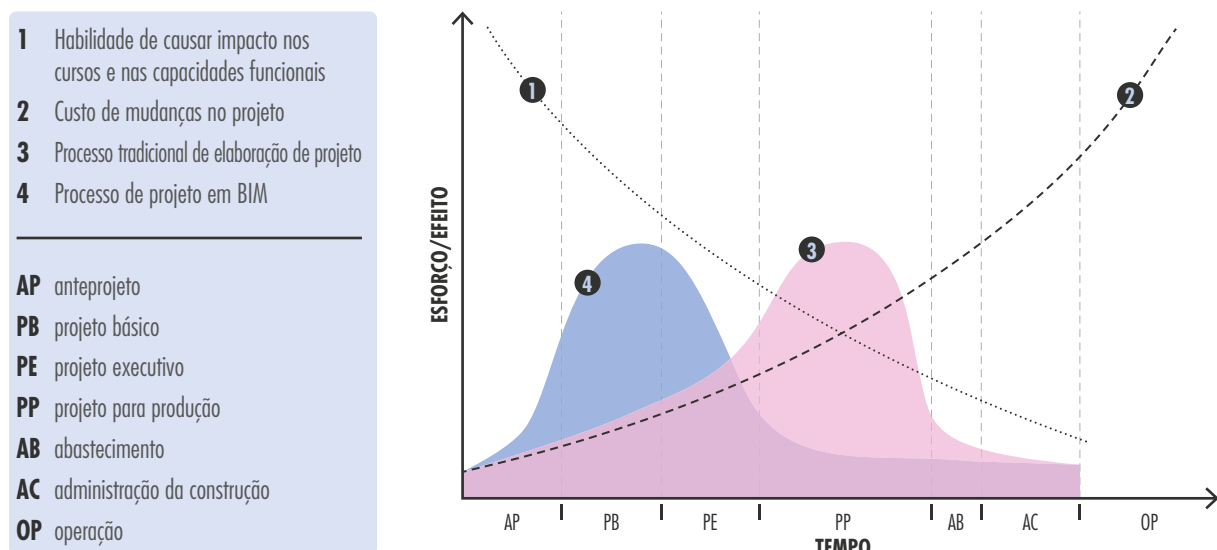
Essa agilidade e consistência no desenvolvimento do modelo em comparação com o processo tradicional em computador proporciona também uma antecipação de etapas multidisciplinares, já que a colaboração entre as equipes de projeto é facilitada e as modificações são melhor gerenciadas. Sobre BIM e ferramentas de simulação, Eastman *et al.*, (2011) explica que:

Desenvolver um modelo esquemático antes e gerar o modelo detalhado da construção permite uma avaliação mais cuidadosa do esquema proposto para determinar se ele cumpre os requisitos funcionais e de sustentabilidade da construção. Avaliações de alternativas de projeto feitas mais cedo usando ferramentas de análise/simulação incrementam a qualidade da construção como um todo. (EASTMAN *et al.*, 2011, p. 16)

As fases iniciais de projeto são as mais propícias para a tomada de decisões, por costumarem ser menos onerosas. Realizar modificações no projeto enquanto ele ainda está no computador são mais fáceis e baratas se comparada com alterações no canteiro (Fig. 05). Portanto, quando o modelo da construção se antecipa e consegue se vincular a simulação de desempenho, o projetista aumenta as suas oportunidades de modificação e pode incrementar o desempenho energético da edificação. Essa lógica se aplica a outros aspectos construtivos.

Quando implementado de maneira apropriada, o BIM facilita um processo de projeto e construção mais integrado, resultando em construções de melhor qualidade com custo e prazo de execução reduzidos. (EASTMAN *et al.*, 2011, p. 01).

Figura 05: Tomada de decisão e custos conforme o desenvolvimento de projeto tradicional e em BIM/IPD. Fonte: adaptado de Eastman *et al.*, (2011).



A informação embutida no modelo de construção pode, a qualquer momento, ser extraída em forma de lista ou tabela para uma análise de quantitativos ou custos. Isto em qualquer etapa do projeto, gerando estimativas que podem ser consultadas com os clientes e fornecedores. Com o avanço das etapas de projeto essas informações são mais detalhadas, modificações são acompanhadas agora de custos associados e a tomada de decisão pode ser melhor pautada, com base nestas informações.

Segundo Hosseine (2021), o BIM pode ser caracterizado como uma ferramenta integrada que aumenta consideravelmente o nível de colaboração entre as equipes de projeto. Considerando a transição para a 4.^a revolução industrial, que impulsiona a construção de edifícios inteligentes, extremamente integrados com simulações, a indústria da AEC deve passar por uma renovação digital.

Nenhuma aplicação pode suportar sozinha todas as tarefas associadas ao projeto e a produção de uma construção. A interoperabilidade representa a necessidade de passar dados entre aplicações, permitindo que múltiplos tipos de especialistas e aplicações contribuam para o trabalho em questão. (Eastman *et al.*, 2011, p. 65)

O intercâmbio no formato de arquivos entre diferentes plataformas é uma questão relevante para a metodologia BIM, visto que ela almeja a troca de informações entre equipes envolvidas no projeto e as mesmas nem sempre irão se valer dos mesmos softwares.

Com esse intuito, os modelos de dados começaram a ser desenvolvidos no fim dos anos 1980, a partir de esforços de diferentes indústrias e da organização ISO, para dar suporte a uma padronização na transferência de modelos e objetos. O principal modelo de dados de produtos de modelo de construção, voltado para o planejamento, projeto, construção e gerenciamento de edificações, é o Industry Foundation Classes (IFC).

Utilizando da linguagem EXPRESS, que suporta aplicações com múltiplos tipos de atributos e geometria, plataformas diferentes podem exportar ou importar o mesmo objeto a partir de informações diferentes. Um arquivo único e

não-proprietário para vários aplicativos foi a forma que a indústria encontrou de evitar problemas com a interoperabilidade, no entanto, existe uma necessidade crescente de coordenar dados em múltiplos aplicativos e questões ainda não resolvidas no uso geral dessa extensão no BIM. Por conta disso, os intercâmbios de dados entre plataformas costumam ser realizados de acordo com Eastman *et al.* (2011) principalmente das quatro maneiras listadas abaixo:

1. Ligações diretas e proprietárias entre ferramentas BIM específicas (ex.: Aplicativos da mesma desenvolvedora)
2. Formatos de arquivos de intercâmbio proprietários
3. Formatos públicos de intercâmbio de modelos de dados de produtos. (ex.: IFC)
4. Formatos de intercâmbio baseados em XML

A extensão de arquivo XML é usada para armazenar dados de forma estruturada e incluem informações como geometria do edifício, zonas térmicas, sistemas HVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado), entre outros. Por outro lado, o IFC apresenta informações mais detalhadas sobre a geometria do edifício, materiais de construção, instalações, propriedades térmicas, acústicas e outras informações relacionadas à construção.

Em resumo, enquanto arquivos com extensão tipo Gbxml são usados principalmente para análise energética, o IFC é usado para representar informações detalhadas sobre a construção em geral e permitir a colaboração entre diferentes softwares. Cada combinação de plataforma, dados ou equipes acabou determinando a melhor forma de transferir informação.

Quando tomamos como exemplo a comunicação de softwares BIM com ferramentas de simulação de desempenho, encontramos exemplos positivos tanto com o uso de XML, quanto IFC. No entanto, a fim de facilitar este caminho, algumas plataformas BIM para arquitetos desenvolveram plugins nas próprias aplicações.

Independente do formato utilizado, ao analisar diversos estudos relacionados a integração entre BIM e BPS, Pinha

(2017) observa um discurso comum a diversos autores: estes relatam que as pesquisas na área da integração entre as diferentes ferramentas computacionais de suporte às atividades da indústria da construção têm tido um forte foco na integração de dados e de aplicações em detrimento da integração de processos.

BIM PARA ARQUITETOS

A habilidade de extrair informações geométricas e de propriedades de um modelo de construção para uso em projeto, análise, planejamento da construção e fabricação ou na operação terá grandes impactos em todos os aspectos das indústrias de AEC. (Eastman *et al.*, 2011, p. 63)

Para os arquitetos, a tecnologia BIM é uma mudança de paradigma. O BIM redistribui a concentração de esforços, dando mais ênfase à fase de concepção de projeto por conta da consistência entre todos os desenhos e relatórios, a atualização de alterações em todo o projeto a partir de um único desenho ou perspectiva e do fornecimento de uma base de dados para aplicações de análise/simulação/custos.

Além disso, o BIM possibilita ao arquiteto a preparação de uma lista de materiais automática e precisa, suporte a análise, aplicativos de custo e identificação de colisões espaciais. Com o desenvolvimento de um modelo único, tem-se a garantia de consistência e automatização de boa parte dos aspectos de produção dos desenhos. Na prática, a adoção do BIM facilita a produção do projetista. Como consequência, o trabalho passa a ter desenhos mais precisos, é elaborado de maneira mais rápida e produtiva e leva a melhoria na qualidade final do projeto e da construção.

Devido a sua habilidade de automatizar formas padronizadas de detalhamento, o BIM reduz significativamente a quantidade de tempo requerido para a produção de documentos para a construção. (Eastman *et al.*, 2011, p. 152).

O uso de metodologias BIM também permite ao arquiteto criar um modelo de informação detalhado, que se torna uma valiosa ferramenta para apoiar a tomada de decisões. Esse modelo permite visualizar e analisar diferentes

alternativas, simulações de desempenho, estimativas de custos e prazos, incorporando informações que tornam o projeto mais completo.

De acordo com Nies e Krygiel (2009, p. 29), embora existam outras ferramentas disponíveis, o BIM é cada vez mais importante para ajudar designers, empreiteiros e proprietários a lidar com a crescente quantidade de informações e complexidade inerentes a um projeto.

O uso de ferramentas BIM, em conjunto com o arquiteto, que desempenha um papel estratégico na construção, especialmente durante a fase de projeto, possibilita antecipar e solucionar possíveis problemas, melhorar a eficiência construtiva e ajudar a reduzir custos e erros ao longo da execução e uso do edifício. O modelo de informação BIM se torna, assim, um recurso estratégico para o arquiteto na tomada de decisões bem embasadas e na melhoria do processo construtivo na totalidade.

BIM, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO

A antecipação de processos que o BIM proporciona é interessante, também, para os aspectos de sustentabilidade e qualidade de projeto. Isso porque permite a realimentação das análises e simulações para o processo de desenvolvimento do projeto, trazendo para o início a associação dessas disciplinas e otimizando a tomada de decisões.

As maiores oportunidades de integrar estratégias de eficiência na construção ocorrem na fase de projeto, onde as decisões relacionadas com o desempenho são analisadas e escolhidas, tendo um impacto significativo na eficiência energética. (ZARDO *et al.*, 2019 apud WANG *et al.*, 2006).

Ainda segundo Zardo *et al.* (2019), os principais benefícios encontrados no uso do BIM relacionado à eficiência energética são: análise de múltiplos cenários e possibilidades, redução do retrabalho e consequente aumento da produtividade, incorporação precisa de informações, interoperabilidade e captação de quantitativos.

Nies e Krygiel (2009, p. 40) afirmam que um dos benefícios únicos do BIM é a capacidade de usar a geometria

do edifício do modelo em outras aplicações para acelerar algumas das análises que precisam ser efetuadas para os princípios de design sustentável. Exemplos disso seriam análise de energia ou análise de iluminação natural. Também é possível utilizar o cálculo automático de áreas e quantitativos para automatizar a estimativa de: captação de água da chuva, localização de painéis solares, reciclagem de resíduos, entre outros.

Segundo Hosseini *et al.* (2021), os profissionais indicam que existe um considerável esforço para inserir dados manualmente na condução de simulações térmicas que acompanham o projeto. A inserção do BIM como processo, reduziria esse problema.

No Brasil, o trabalho de Silva Júnior e Mitidieri Filho (2018) sobre a incorporação dos critérios de desempenho no desenvolvimento de projetos de arquitetura, conseguiu identificar e detalhar aproximadamente um terço dos itens constantes da ABNT NBR 15575/2013 com um modelo BIM. O trabalho considerou a possibilidade de o projetista realizar a verificação ao longo do desenvolvimento do projeto.

Utilizando somente a ferramenta da modelagem, os autores aplicaram uma proposta de verificação dos parâmetros de desempenho, semi-automática, em um modelo BIM de um projeto de edificação residencial. A partir de uma aplicabilidade nativa da ferramenta Revit (Autodesk) foi possível filtrar e analisar dados que correspondem a quase 30% dos itens da norma de desempenho.

Dentre o que foi analisado, foi possível, por exemplo, a conferência de adequação de paredes externas, isolamento térmica da cobertura e aberturas para ventilação por meio de etiquetas, filtros e tabela. Ainda que os itens verificados sejam distribuídos de maneira desbalanceada em relação aos setores da norma, os resultados mostram a potencialidade das ferramentas.

FERRAMENTA

Primeiramente, é importante ressaltar que, os softwares não são equivalentes da metodologia BIM e sim partes integrantes de um processo que pode envolver diversos

softwares. Das ferramentas BIM, o Revit é um aplicativo bastante utilizado pelos arquitetos, dando suporte para funções de projeto, construção e operação do edifício.

Lançado pela Autodesk em 2002, mesma desenvolvedora do AutoCAD, o Revit é uma plataforma totalmente a parte do seu irmão famoso, com código base e estrutura de arquivos completamente diferentes. Eastman (2011) enumera dentre seus pontos fortes, uma interface bem projetada e amigável, uma baixa curva de aprendizado e um amplo conjunto de bibliotecas desenvolvidas por terceiros; no entanto, possui limitações para projetos de grande porte e com geometrias paramétricas angulares.

É comum existir uma concepção equivocada de que se você está usando o Revit, você está fazendo BIM. O desafio, é claro, é separar a ferramenta da técnica. Embora o Autodesk® Revit® seja um aparelho para unir geometria tridimensional com dados precisos, não é um processo ou um mapa para produzir trabalho arquitetônico. O Revit é um dos ativos para um fluxo de trabalho baseado em BIM, mas precisa de procedimentos associados para realizar as entregas planejadas. (YORI; MARCUS; LANCE, 2020)

2.3 SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO

A simulação é creditada por acelerar o processo de projeto, aumentar a eficiência e permitir a comparação de uma gama mais ampla de variantes de projeto, levando a projetos mais otimizados. Simular dá uma melhor compreensão das consequências das decisões de projeto, o que aumenta a eficácia do processo de design. (Augenbroe, 2002, p. 891)

A análise de desempenho ambiental por meio de simulação computacional é um processo essencial para se obter uma arquitetura de qualidade. A aplicabilidade deste procedimento consiste no desenvolvimento de um modelo comportamental de um edifício, que simula sua operação em determinado contexto ambiental. Este modelo é inserido digitalmente, observado e estruturado segundo os indicadores de desempenho e quantitativos.

Os modelos são então submetidos a um ambiente virtual que replica as ocorrências físicas do mundo real e então passam por cálculos matemáticos que consideram esses princípios físicos.

Segundo Freire e Amorim (2011) diversos programas de simulação computacional são desenvolvidos já com o intuito de serem acessíveis aos usuários, porém boa parte dessas ferramentas estão distantes do dia a dia dos escritórios de arquitetura, às vezes restritos ao uso de especialistas de conforto. Eles afirmam que ainda existe resistência por parte dos profissionais em utilizar ferramentas de avaliação. Consequentemente, o processo de análise de desempenho fica dissociado do de projeto e consiste numa barreira para a aceitação destas ferramentas na prática arquitetônica.

É importante que a simulação esteja integrada ao desenvolvimento do projeto, pois ela não funciona como algo à parte. Todo o processo de análise desde o início requer uma preparação do modelo, inserção de dados, processamento, compilação de resultados e interpretação. Tudo isso precisa ser manejado no contexto do projeto de modo a orientar as decisões do projetista, de preferência durante todas as etapas do design.

Portanto, é necessário que todo o processo seja integrado à medida que o projeto vai se tornando mais preciso. Essa integração só é de fato efetiva quando a avaliação do desempenho e a arquitetura coexistem nas diversas fases do processo projetual (Freire E Amorim, 2011). Os autores ainda destacam que a Modelagem da Informação da Construção permite que a busca do bom desempenho térmico possa ser cumprida desde as primeiras etapas do projeto.

AValiação Normativa e Simulação de Desempenho

Considerando as necessidades globais e exigências em relação às edificações energeticamente eficientes, a simulação se tornou um fator ainda mais importante. Neste sentido, normas como a NBR 15575-1 (ABNT, 2013) recomendam o uso de simulação para avaliar decisões de projeto relacionadas, por exemplo, à adequação de paredes externas e à isolamento térmica da cobertura.

Conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013), existem duas alternativas para a obtenção do nível de desempenho: o procedimento simplificado e o método de simulação computacional. Sorgato, Melo, Lamberts (2013) destacam também o método de medição, como uma alternativa à simulação para edificações ou protótipos construídos.

No procedimento simplificado, o especialista deve observar o atendimento de três exigências: o percentual mínimo da área de abertura efetiva das janelas dos dormitórios e salas, as propriedades físicas de paredes exteriores e propriedades físicas da cobertura. Estes critérios devem atender o que é estabelecido na NBR 15575-4 (ABNT, 2008); e na NBR 15575-5 (ABNT, 2013c),

Se a construção não cumprir as exigências determinadas pelo método simplificado, pode ser realizada uma avaliação por meio de simulação ou medição de campo. A simulação computacional deve ser feita por meio de um programa de simulação dinâmica, que tenha sido validado pela ASHRAE 140 (AMERICAN..., 2011).

No método de simulação, verifica-se o atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na Parte 1 desta norma, por meio de simulação computacional do desempenho térmico da edificação. No método de medição, ocorre a verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos também na Parte 1 desta norma, mas por meio da realização de medições em edificações ou em protótipos construídos. (Sorgato; Melo; Lamberts, 2013)

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO NAS PRIMEIRAS ETAPAS DE PROJETO

Decisões importantes relacionadas ao desempenho energético dos edifícios deveriam ser testadas nos estágios iniciais de planejamento de projeto com o intuito de um desempenho de longo prazo (TRIANA *et al.*, 2021). Segundo Augenbroe (2002), algumas pesquisas mostram que decisões primárias sobre soluções sustentáveis são tomadas sem indicativos de sua performance em determinados casos, ou seja, sem uso de simulações ou testes.

Wang (2021) afirma que regras práticas e outros conhecimentos empíricos podem ser suficientes para problemas simples de projeto, mas para questões mais complexas os arquitetos podem precisar de ajuda adicional. Trabalhos recentes, como o da Universidade Federal de Santa Catarina, afirmam que muitas análises de desempenho térmico são realizadas com o projeto já consolidado, o que dá pouca ou quase nenhuma margem de alteração para otimizar o desempenho. Os pesquisadores destacam ainda que há um distanciamento do desenvolvimento de projeto e das análises de desempenho térmico de edificações tanto no meio acadêmico quanto no mercado de trabalho. (SOUZA *et al.*, 2021)

Para Hygh *et al.* (2012), os modelos de simulação computacional de edifícios podem quantificar com precisão as cargas de energia do edifício, mas não são passíveis de serem usados nos estágios iniciais do projeto, quando os arquitetos precisam de uma ferramenta de avaliação que possa dar feedback rápido com base em alterações nos parâmetros de projeto de alto nível.

Hygh *et al.* (2012) prossegue afirmando que a realização de simulação de energia nos estágios iniciais do projeto requer tempo, recursos e conhecimentos técnicos significativos, que os modelos de simulação de energia de edifícios requerem um alto grau de especificação para caracterizar um edifício, limitando a sua aplicação durante as fases iniciais de projeto.

Apesar da potencialidade do uso de ferramentas computacionais para a integração de critérios de desempenho térmico durante o processo de projeto, algumas dificuldades ainda precisam ser superadas. A interoperabilidade entre programas de desenvolvimento de projeto e de simulações de desempenho, por exemplo, ainda é distante. Isso porque as ferramentas não são desenvolvidas de forma interdisciplinar, e consequentemente, não são facilmente inseridas no processo criativo. (Souza *et al.*, 2021)

Ainda assim, um estudo conduzido por Tian *et al.* (2018), na China, mostrou que os arquitetos, ao utilizarem simulação e algoritmos com uma técnica intitulada BESO (Building Energy Simulation and Optimization), conseguem tomar decisões mais precisas e otimizadas logo nas primeiras etapas de projeto se comparado com outras estratégias tradicionais passivas. A técnica consiste na utilização de uma automação a partir de algoritmos de otimização, relacionados a orientação, leiaute, estudo de massa, escolha de aberturas e sombreamento.

INTEROPERABILIDADE

O dicionário de Cambridge define interoperabilidade, em tradução livre, como a capacidade de trabalhar em conjunto com outros sistemas ou equipamentos (Interoperabilidade, 2023). A organização ISO explica interoperabilidade como a habilidade de dois ou mais sistemas (computadores, meios de comunicação, redes, software e outros componentes de tecnologia da informação) de interagir e intercambiar dados com um método definido, para obter os resultados esperados. (MMA, 2020)

A baixa interoperabilidade entre as ferramentas de projeto e desempenho, costuma refletir em um tempo significativo

de retrabalho, já que existe a necessidade de inserir as informações manualmente nos softwares de análise e após traduzir os resultados da simulação de volta ao projeto.

Para Hygh *et al.* (2012) e Souza *et al.* (2021), o uso de métodos simplificados de simulação ou de interfaces simplificadas para simulações mais completas podem proporcionar estimativas de energia mais eficientes. Com a redução da inserção de dados, o processo se torna mais intuitivo para os projetistas e reduz a carga associada à construção de um modelo apenas para a simulação e permitindo uma geração mais rápida de resultados.

Ao observar um método digital tanto na construção de um projeto quanto em sua análise de desempenho térmico, Queiroz, Westphal, Pereira (2020) afirmam que existe um grande potencial de união entre as duas áreas. Que a busca por resolução de problemas, encontradas sempre no processo de projeto, pode ser otimizada ao considerar as análises de diretrizes bioclimáticas de projeto por meio de simulações termoenergéticas, e não por embasamento empírico.

Queiroz, Westphal, Pereira (2020) destacam que as principais razões para o uso de simulação são integrar o processo de design, auxiliar na tomada de decisões e permitir comparações entre múltiplas soluções, mas ponderam afirmando que:

Os processos de otimização realizam centenas de ciclos de análise testando diferentes alterações de projeto para diferentes parâmetros de interesse, mas isso é muito demorado, o que entra em conflito com o processo de design arquitetônico e com as demandas dos designers por respostas rápidas. (Queiroz; Westphal; Pereira, 2020)

TEMPERATURA OPERATIVA

De acordo com Monteiro e Alucci (2008), comumente as simulações computacionais consideraram cinco modelos preditivos distintos: Temperatura Efetiva (ET), o Voto Médio Estimado (PMV), o modelo termofisiológico Menex, Temperatura Neutra Externa de Aroztegui e a Temperatura Operativa Neutra. Os últimos dois modelos são

adaptativos, sendo a Temperatura Operativa Neutra, novo índice da Ashrae (2004), o mais recente.

Na avaliação de espaços semiconfinados em São Paulo, eles constataram, por meio de verificação empírica com diferentes modelos de conforto térmico, que o modelo adaptativo de Temperatura Operativa Neutra é o mais apropriado, por apresentar a melhor correlação com os dados empíricos levantados.

O modelo de Temperatura Operativa Neutra (OTN) proposto pela ASHRAE 55 (2004) adota um novo índice, chamado Temperatura Operativa Neutra, baseado no estudo de De Dear *et al.* (1998). O modelo funciona para a avaliação térmica de ambientes condicionados naturalmente considerando o conceito de conforto adaptativo.

Isto posto, para determinar o valor da Temperatura Operativa Neutra foi desenvolvida a seguinte equação:

$$OTn = 17,8 + 0,32 tmm$$

onde:

OTn = Temperatura Operativa Neutra;

tmm = temperatura média mensal do ar externo em °C

A equação é baseada na temperatura operativa aceitável para espaços com condicionamento natural (ASHRAE, 2004), onde uma faixa de tolerância de $\pm 2,5$ °C representa a satisfação de 90% dos usuários, enquanto $\pm 3,5$ °C, 80%.

Por exemplo, em um ambiente onde a temperatura média mensal do ar externo seja de 25 °C, a temperatura operativa neutra é calculada da seguinte forma:

$$OTn = 17,8 + 0,32 \times 25$$

$$OTn = 25,8 \text{ °C}$$

A temperatura operativa neutra nesse caso é de 25,8 °C. Considerando um grau de tolerância que satisfaça 90% dos usuários, tem-se uma faixa de tolerância de 23,30 °C até 28,3 °C.

A umidade e os limites de velocidade do ar não são considerados por conta dos procedimentos de adaptação do usuário, por isso também não são estimados o isolamento da vestimenta, pois se subentende que as pessoas se vestem conforme as condições climáticas.

ENERGYPLUS

Souza *et al.* (2021) discorrem que o distanciamento entre o conhecimento sobre desempenho e projeto se nota, também, ao perceber a falta de ferramentas computacionais que auxiliem no entendimento dos fenômenos físicos a que está submetida a edificação.

De tal maneira que, comumente, projetistas são forçados a se basearem apenas em conhecimentos próprios e analógicos para prever consequências das decisões de projeto tomadas. Estes conhecimentos são válidos e elementares. No entanto, as primeiras pesquisas sobre o tema dependiam da construção e do monitoramento de protótipos, cujos altos custos e longos prazos restringiam muito a possibilidade de comparação entre os comportamentos térmicos de diferentes soluções construtivas, com diferentes cargas de ocupação e submetidas a diferentes climas (Roriz *et al.*, 2009)

Atualmente, várias ferramentas completas de simulação (ex.: EnergyPlus, TRNSYS, TAS, VE, IDA ICE, entre outras) são usadas para avaliar a eficiência energética. Inúmeros estudos validam o uso do EnergyPlus como uma ferramenta eficiente para simulação de desempenho para edificações. Queiroz, Westphal e Pereira (2020) atestam em sua pesquisa que os resultados do EnergyPlus são confiáveis na análise de iluminação diurna quando comparados com softwares específicos da área, enquanto Andelković, Mujan e Dakić (2016) destacam que os resultados obtidos em seu estudo possuem uma concordância boa e um alto nível de correspondência entre os valores medidos em experimentos empíricos e os simulados.

O programa foi criado com o apoio financeiro do governo dos Estados Unidos. Ele se destaca pela sua estrutura modular, por conseguir simular as trocas térmicas e consumo de energia durante intervalos de tempo e por ter uma estrutura

de dados adaptada para facilitar o desenvolvimento de interfaces por terceiros.

Para a análise do desempenho térmico de edificações, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013) orienta a utilização do programa EnergyPlus. Caso outro programa seja utilizado, é necessário conferir sua adequação à norma ASHRAE Standard 140–2011: Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs (ASHRAE, 2012).

Dentre as informações que podem ser inseridas no EnergyPlus estão: dados climáticos, horários do local, características geométricas e construtivas da edificação, a carga dos equipamentos, dados de ocupação, entre outros. Por ser um programa muito completo e robusto, sua interface não é amigável para os projetistas. A partir disso, surgiram programas que utilizam o EnergyPlus como motor de cálculo e apresentam interfaces simplificadas, desenvolvidas para facilitar o uso por parte do projetista, como o caso do DesignBuilder, open studio, entre outros.

Para Augenbroe (2002), as tendências futuras na construção de ferramentas de simulação são impulsionadas principalmente pela necessidade de pautar melhor as decisões de projeto e ter um melhor controle de qualidade sobre o processo de avaliação de desempenho. Embora persistam fragilidades e lacunas nas funcionalidades das ferramentas, o desafio mais imediato é integrar melhor a simulação em todas as fases do desenvolvimento de projeto.

2.4

BIM E BPS

O BPS (Building Performance Simulation) — também conhecido como simulação de desempenho de edifícios ou simulação energética — é definido como o uso de modelos matemáticos computacionais para representar as características físicas, operação esperada ou real e estratégias de controle de um edifício (ou edifícios) e seus sistemas de energia. (Hong, Langevin, Sun, 2018) Os Cálculos De Simulação Incluem Fluxos De Energia do edifício, fluxos de ar, uso de energia, conforto térmico e outros índices.

Segundo Pinha (2017), que realizou uma revisão sistemática em 2015, apesar de um aumento no número de estudos sobre BIM e BPS (Building Performance Simulation), a plena integração destes processos ainda é um tema complexo e um desafio a ser superado.

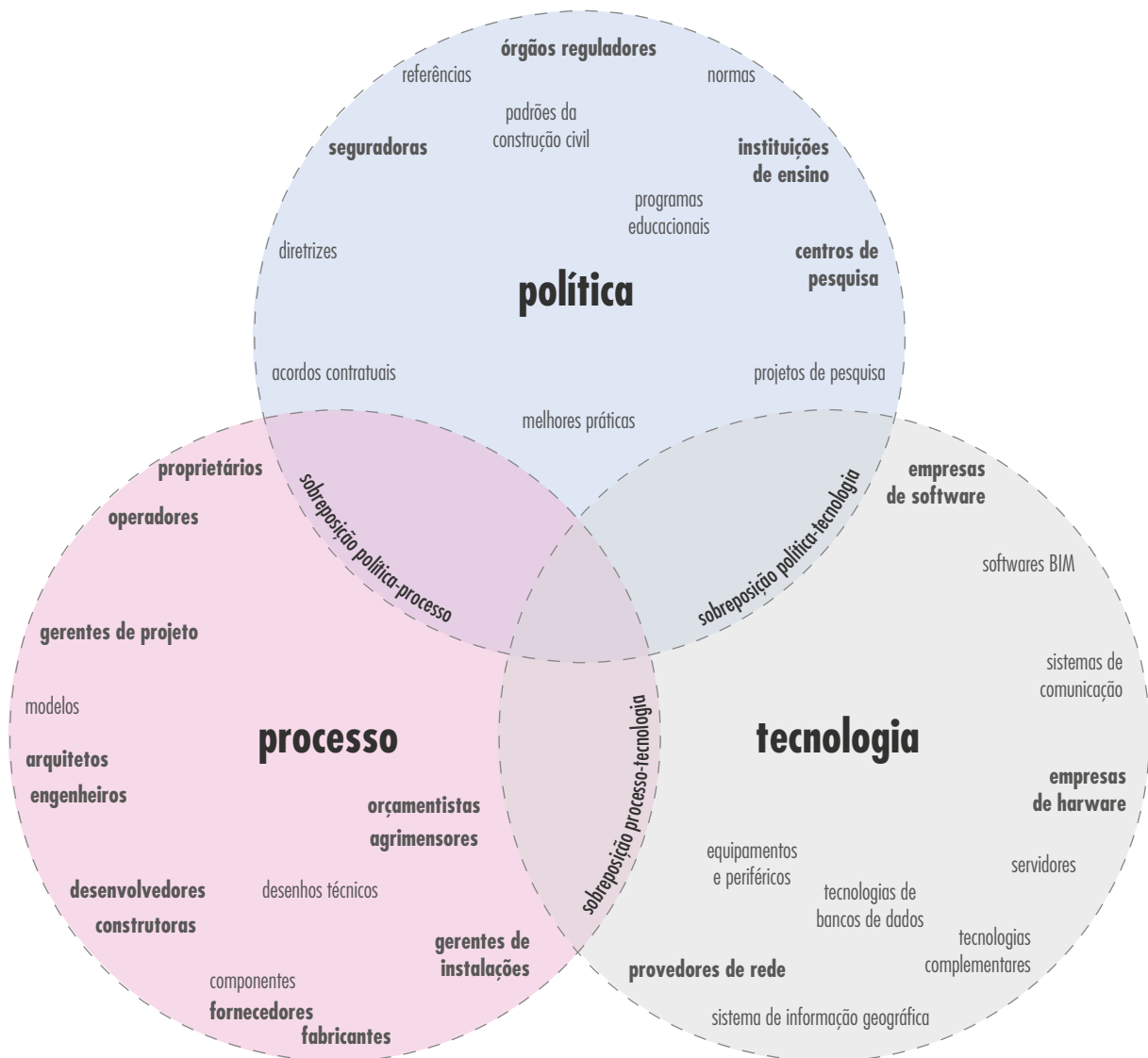
O cenário atual da simulação de desempenho de edificações ainda é composto majoritariamente por especialistas que precisam modelar, a partir de uma documentação 2D, uma volumetria 3D para realizar a análise. Além de refazer esse processo quantas vezes for necessário, seja para realizar simulações específicas em diferentes aplicativos ou por conta de alterações do projeto.

Com a propagação do BIM, Pinha (2017) afirma que muitos pesquisadores passaram a considerar que a integração com o BPS seria a solução para reduzir retrabalhos e erros do procedimento de modelagem padrão para simulação, além de facilitar a retroalimentação do projeto, assim como a manutenção de edifícios mais eficientes. Ela destaca que uma grande barreira se encontra no modo como as ferramentas BPS são desenvolvidas, geralmente como aplicações autônomas — standalone — restritas a uma disciplina específica (iluminação, ventilação ou térmica), impossibilitando qualquer interoperabilidade.

Ao contrário do BPS, o BIM nasceu com o potencial de integrar processos e equipes. Como reforça Succar (2009), o BIM não se restringe à interoperabilidade das ferramentas, e é uma estrutura integrada, que incorpora diferentes abordagens à informação em um todo. A figura 06 exemplifica essas abordagens. Como visto anteriormente, houve esforços

Figura 06: Três campos de atividade BIM. Fonte: adaptado de Succar, (2009).

da parte da indústria da arquitetura e construção para padronizar os arquivos em um só formato. Ainda assim, o BIM enfrenta muitas questões relacionadas à interoperabilidade e estas não se restringem aos aplicativos.



EMPECILHOS À INTEROPERABILIDADE

Muitos estudos mostram que quando a transferência de um modelo é realizada de maneira direta, ou seja, por meio dos recursos de exportação e importação dos aplicativos, e sem o uso de nenhum processo metodológico, costuma existir perda de informação. Azevedo e Tavares (2020) encontraram limitações ao utilizar o Revit e Openstudio, além de informações perdidas no elemento piso. Asmi et. al (2015) utilizando IFC conclui que os modelos BIM e BEM — Building Energy Model — não são tão compatíveis na análise de HVAC. Antón et. al (2019) destaca a falta de bidirecionalidade do processo de interoperabilidade no uso do Revit com DesignBuilder, ou seja, não é possível usar o arquivo modificado no DesignBuilder para o Revit. Gao, Coch e Wu (2019) encontraram em sua pesquisa diversos estudos com interoperabilidade prejudicada, como itens que não são importados, superfícies duplicadas ou desconstruídas.

Isto ocorre, de maneira mais moderada ou intensa, independente do formato de arquivo ou das plataformas empregadas neste processo. Em alguns casos os projetistas e pesquisadores se utilizam de uma terceira ferramenta para traduzir os arquivos, pois alguns softwares não aceitam ou não recebem de maneira viável o que é produzido pela plataforma BIM. Pinha (2017) cita o caso do Ecotect, que consegue importar arquivos do Revit e exportar para outras ferramentas BPS.

Relacionado aos formatos de interoperabilidade, os mais disseminados no setor de AEC são, como visto anteriormente, Gbxml e IFC, eles se diferenciam com determinadas vantagens e desvantagens. O formato Gbxml, criado exclusivamente para o intercâmbio de plataformas CAD/BIM para BPS, quando comparado com o IFC é mais simples e fácil de interpretar. Enquanto o IFC abrange todo tipo de representação geométrica com o intuito de representar todo o projeto de um edifício, o Gbxml carrega informações simplificadas, que constitui um modelo reduzido, mas suficiente para as análises. (Noack, 2017)

No processo de modelagem para simulação, a relação entre objetos e sua semântica são muitas vezes abstraídas quando tais informações não afetam substancialmente os resultados

da simulação. Os modelos geométricos, utilizados geralmente pelos arquitetos, envolvem muitos componentes.

Multi-LOD, ou modelagem em vários níveis de desenvolvimento, é uma abordagem utilizada na metodologia BIM para gerenciar e classificar o nível de desenvolvimento dos elementos modelados em um projeto, estabelecendo um conjunto graduado de níveis.

Durante o estágio inicial do projeto arquitetônico, o refinamento dos parâmetros de design por meio da adição de informações é fundamental para uma previsão mais adequada do desempenho energético do edifício. Para atender à necessidade de construções energeticamente eficientes, é crucial que o projetista priorize a análise dos parâmetros com base na capacidade de reduzir a incerteza no desempenho energético. (Singh, Geyer, 2019)

Atualmente, não existe uma metodologia para atribuir e priorizar informações para um nível específico de Multi-LOD relacionado ao desempenho energético. O Trabalho de Singh e Geyer (2019) propõe um ranqueamento de parâmetros conforme o nível de informação BIM. No entanto, este ainda é um campo pouco explorado.

Surge então como um empecilho à interoperabilidade, o uso de modelos BIM para análise de desempenho, uma vez que estes são detalhados e repletos de informações geométricas, qualitativas e quantitativas que podem ser dispensáveis para processo de simulação.

Ao contrário dos modelos detalhados criados por arquitetos, os modelos analíticos são geralmente menos refinados em sua geometria, estes costumam ser desenvolvidos e utilizados por especialistas na simulação. O modelo analítico é mais simplificado em termos de detalhes geométricos, mas é suficiente e mais adequado para fornecer resultados precisos e úteis para a simulação de desempenho de edifícios.

Na figura 07 é representada a diferença dos modelos geométricos e analíticos. É possível observar que janelas, portas e aberturas, antes detalhadas, passam a ser formas bidimensionais. Paredes, lajes e forros são reduzidos a superfícies e formas mais elaboradas também são resumidas.

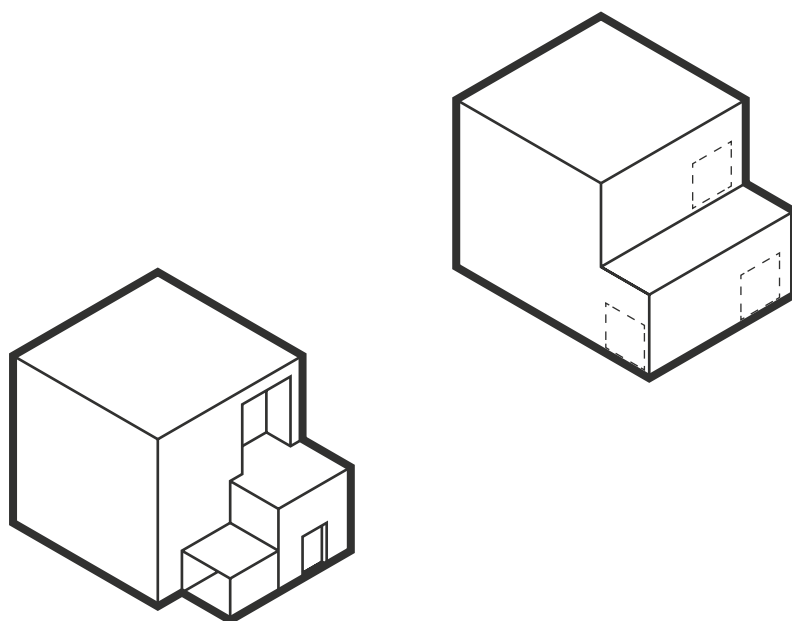


Figura 07: Diferença entre modelos geométricos (esq.) e analíticos (dir.). Fonte: adaptado de Negendahl (2015).

Essa simplificação tem o intuito de diminuir a complexidade e o tempo de cálculo. No entanto, Beazley *et al.* (2017) afirmam que essa diferença no tratamento dos modelos falha em dar suporte a um processo de design integrado, que poderia ajudar a conectar o desempenho energético com o desenho geométrico, e em última análise, melhorar o desempenho do edifício.

Os desafios da interoperabilidade não se restringem ao digital. É considerável o número de estudos que se dedicam ao fluxo de trabalho nessas situações. Como a quantidade de informações fornecidas por um modelo BIM é maior e mais abrangente do que o necessário para a análise em um software BPS, pode haver uma sobrecarga ou má interpretação de dados quando a conversão é realizada por arquivos tipo IFC, por exemplo. Além disso, seja durante o processo de análise ou até mesmo no uso dos resultados fornecidos pela simulação, a comunicação e aplicação dos dados precisa ocorrer de maneira fluida para ser empregada de maneira efetiva no processo de projeto pelo arquiteto.

Por fim, Pinha (2017) destaca que existe uma tendência das fabricantes de soluções BIM em oferecer ferramentas de análise de desempenho integradas aos seus aplicativos, em detrimento da resolução dos existentes problemas de interoperabilidade entre softwares. Nesse sentido, podem ser

mencionadas duas iniciativas, primeiramente a aplicação integrada para análise energética denominada EcoDesigner no ArchiCAD e os softwares de análise de desempenho apresentados pela Autodesk, desenvolvedora do Revit, que segundo a empresa são compatíveis com sua ferramenta BIM.

INICIATIVAS BIM PARA SIMULAÇÃO

Inúmeros trabalhos nos últimos anos procuram solucionar alguns dos problemas encontrados na interoperabilidade entre BIM e BPS. Por conta dos diferentes métodos de trabalho, softwares e objetivos, surgiram iniciativas com diversos enfoques. O trabalho de revisão sistemática realizado por Pinha (2017) permite a identificação de quatro métodos de interoperabilidade empregados ou citados pelas pesquisas, dentre eles:

1. Integração direta entre ferramentas BIM e BPS;
2. Integração entre ferramentas BIM e BPS via aplicações para conversão de formatos de dados/arquivo;
3. Integração entre ferramentas BIM e BPS via “*exchange format*”;
4. Incorporação de funcionalidades BPS as ferramentas BIM

O primeiro método usa de exportação/importação de uma ferramenta no formato nativo de outra, podendo ser por via direta ou pelo uso de *plugins*. O segundo diz respeito ao desenvolvimento de aplicações específicas para a conversão de arquivos. O terceiro trata da comunicação entre plataformas por meio de arquivos do tipo IFC e Gbxml. O quarto ponto aborda a integração de aplicações BPS pelos aplicativos BIM, sejam viabilizados pelas desenvolvedoras ou iniciativas independentes.

Permeando esses métodos existem pesquisas que destacam o fluxo de trabalho e especificações como uma forma de otimizar o intercâmbio entre BIM e BPS. A organização internacional BuildingSMART define trocas de dados em diferentes fases do projeto para fins específicos. Estes são chamados de Information Delivery Manual (IDM), baseados

em Model View Definitions (MVD). Sobre isto, Preuss *et al.* (2019) afirmam que recomendações de modelos individuais para BPS específicos podem reduzir imensamente a carga de trabalho para ajustes de geometria em etapas posteriores do processo.

Beazley *et al.* (2017) complementam sobre a necessidade de desenvolver novos fluxos de trabalho entre as disciplinas. Segundo os autores, um fluxo de trabalho aprimorado é mais responsivo e pode oferecer suporte a uma melhor comunicação entre as equipes de projeto, dando informações e pareceres oportunos, possibilitando análises antes da otimização para eficiência energética. O autor defende a criação de fluxos de trabalhos digitais e normatizados, pois os manuais existentes podem ser imprecisos e consomem tempo do projetista.

Independente do recorte de estudo, a integração entre BIM e BPS é uma questão complexa. Considerando as disciplinas vinculadas, o fluxo de trabalho entre equipes e as tomadas de decisão envolvidas em todo processo, a conversão do BIM para a análise de desempenho dificilmente será um processo completamente automático ou uma solução de um clique (Noack, 2017)

ESTUDOS SIMILARES

Dentre os trabalhos analisados, alguns utilizam os mesmos aplicativos BIM, enquanto outros usam o mesmo motor de análise de desempenho propostos nesta dissertação. Além disso, há estudos que possuem uma das características acima e ainda se valem de metodologias semelhantes às que serão aplicadas nos ensaios.

O trabalho de O'Donnell *et al.* (2019), foi desenvolvido para avaliar os atuais métodos de transferência entre BIM e BPS e contou com o uso dos softwares Revit e ArchiCAD. Foram utilizadas as extensões de arquivo Gbxml e IFC com os aplicativos de análise de desempenho Simergy e DesignBuilder. A metodologia, aplicada em cinco tipologias residenciais, apresentou como conclusão uma disparidade de até 25% nos resultados, sendo que alguns métodos tiveram uma compatibilidade avaliada como total, e outros como parcial e outros como inadequada.

Ali *et al.* (2022) propõem a análise de um edifício com a ferramenta nativa de análise de desempenho do ArchiCAD e fez a comparação dos resultados obtidos com uma auditoria in loco. O artigo ressalta a capacidade do ArchiCAD como uma ferramenta prática para tomada de decisão eficaz em reformas.

No estudo desenvolvido por Queiróz, Grigoletti, Santos (2019), foi analisada a transferência de diferentes formatos de arquivos do Revit para o EnergyPlus. Neste processo também foram usados o programa Sketchup¹ e o *plugin* Euclid² para modelagem. Os dados finais foram comparados em formato IDF (Input Data File), compatível com o Energy plus. Os autores concluem que apesar de existir a possibilidade de transferência de informações, essa troca apresentou erros devido a distorções nas geometrias e falta de alguns dados.

Azevedo e Tavares, (2020), utilizaram um modelo construído no Revit e realizaram a sua transferência, via Gbxml, para o software Open Studio, com o uso também do programa Sketchup. Algumas potencialidades foram observadas pelos autores, a interoperabilidade foi avaliada como satisfatória, apesar de alguns erros encontrados no processo e de ajustes que foram necessários.

Antón *et al.* (2019), comparam o processo de análise de desempenho desenvolvido com os softwares Revit e DesignBuilder, a partir da transferência de arquivo Gbxml, em um edifício em Madrid. Foram avaliados diversos parâmetros de saída, porém uma incapacidade na comparação destes, pois a análise energética do Revit fornece dados que diferem do DesignBuilder. Os autores destacam também a diferença nos motores de análise e nos objetivos de cada programa.

Biccari *et al.* (2022), afirmam que um fluxo de trabalho integrado padronizado BIM-BPS reduziria o desperdício

1 O sketchup é um aplicativo de modelagem 3D com interface intuitiva e muito utilizado por arquitetos.

2 Euclid é uma extensão gratuita e de código aberto para o SketchUp que facilita a criação e modificação das entradas de geometria para a construção de modelos de energia.

de tempo e esforço necessários para construir modelos. Processos propensos a erros humanos e modelagem paralela são comuns, e transformam a disciplina de avaliação energético-ambiental em uma espécie de “consultoria terceirizada”, quando o ideal deveria ser a avaliação contínua do modelo durante as fases do projeto.

Tabela 02: Quadro de estudos similares. Fonte: elaborado pela autora.

AUTORIA	ANO	BIM SOFTWARE	BPS SOFTWARE	RESUMO
O'Donnell et al.	2019	Revit e Archicad	Simergy e DesignBuilder	Comparou os métodos entre si, sem um parâmetro de referência e encontrou uma diferença de até 25% entre os métodos.
Queiróz, Grigoletti, Santos	2019	Revit	EnergyPlus	Utilizou programas auxiliares como Sketchup e o plugin Euclid para modelagem. A transferência apresentou erros devido a distorções nas geometrias e falta de alguns dados.
Antón et al.	2019	Revit	DesignBuilder	Realizou a transferência via Gbxml. Não houve comparação entre análises, pois a análise energética do Revit fornece dados que diferem do DesignBuilder.
Azevedo e Tavares	2020	Revit	Open Studio	Utilizou programa auxiliar: Sketchup. A interoperabilidade foi avaliada como satisfatória, apesar de precisar de ajustes.
Ali et al.	2022	ArchiCAD	ArchiCAD	Ressalta a praticidade do ArchiCAD como uma ferramenta para tomada de decisão eficaz em reformas.

O método proposto nesta pesquisa tem caráter experimental (SERRA, 2006) e foi baseado na criação de um processo que visa avaliar a precisão da ferramenta de análise de desempenho termoenergético DesignBuilder associada ao programa Revit por meio de três modelos computacionais com progressão de escala e complexidade.

Como primeiro passo, foi realizado um levantamento de trabalhos relacionados ao tema, a fim de obter o estado da arte e identificar abordagens que obtiveram êxito na associação entre BIM e BPS e, paralelamente, algumas lacunas existentes. Esses dados auxiliam no direcionamento do trabalho, na formatação dos resultados e alertam para possíveis problemas que possam surgir.

Cada modelo construído será, então, submetido tanto ao processo de simulação convencional, utilizando apenas o software DesignBuilder, chamado aqui de PROCESSO CONTROLE, como ao processo utilizando o software Revit com o *plugin* do DesignBuilder, nomeado nesse trabalho como PROCESSO BIM + BPS. Cada modelo foi definido de acordo com uma progressão de complexidade de geometria e da adição de informações técnico-construtivas nos processos detalhados no próximo capítulo (seções itens 4.1 e 4.2) Essa abordagem permite comparar os resultados de desempenho térmico dos modelos nos diferentes processos e avaliar os impactos das variações em geometria e escala na precisão de resultados, além de possíveis obstáculos ao processo. A escolha dos modelos é feita para abranger uma gama mais diversa de cenários, materiais e arranjos geométricos.

Uma vez selecionados os modelos, os ensaios iniciam pelo PROCESSO CONTROLE utilizando apenas o programa

DesignBuilder. O DesignBuilder, detalhado na seção 3.2., está conforme os padrões estabelecidos pela norma ASHRAE 140 (2004) e é amplamente utilizado por projetistas e pesquisadores. Nesta pesquisa, portanto, este programa servirá de base para as comparações dos resultados da análise termoenergética de cada processo. Após a realização do processo de controle, o ensaio é repetido, com o mesmo modelo em condições idênticas, utilizando o software Revit com suporte do *plugin* do DesignBuilder, que permite a transferência de dados entre os dois aplicativos.

Após a realização dos ensaios de cada modelo em cada um dos processos de simulação térmica, os resultados são extraídos e comparados. O principal objeto de comparação entre as simulações é a temperatura operativa, um dos mais importantes parâmetros para avaliar o desempenho térmico de uma edificação, uma vez que permite determinar as faixas de conforto térmico dos usuários. A comparação direta dos dados obtidos por diferentes métodos permite avaliar a precisão e a consistência dos resultados.

É importante ressaltar que, à medida que os modelos de ensaio se tornam mais complexos, a possibilidade de ocorrência de falhas aumenta. A comparação dos processos de análise térmica por diferentes metodologias, e não só seus resultados, permite identificar erros decorrentes do aumento de complexidade das geometrias e da adição de informações durante a operação. Além disso, a introdução de novos dados ou a presença de situações imprevistas podem demandar a realização de ajustes para uma correta extração de resultados.

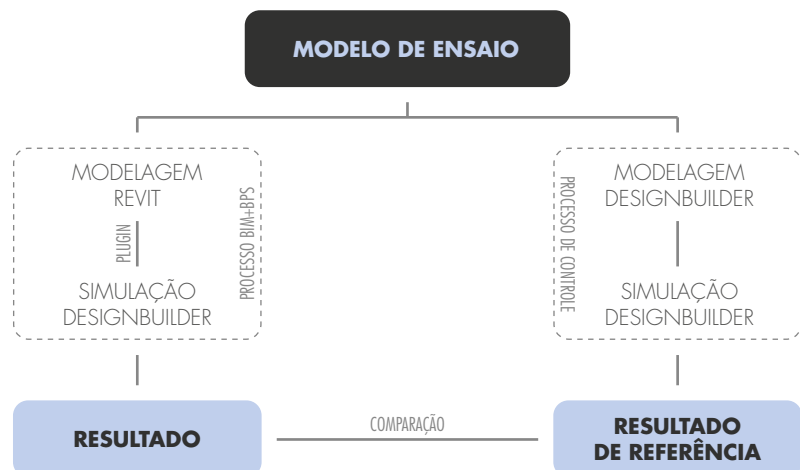


Figura 08: Fluxograma do processo de ensaio aplicado aos três modelos. Fonte: elaborado pela autora.

3.1 SELEÇÃO DOS APLICATIVOS PARA OS ENSAIOS

Considerando todas as vantagens inerentes de um software BIM e, também, por sua ampla aceitação no mercado, o Revit emergiu como uma escolha conveniente para o propósito desta pesquisa.

Segundo Wang, Zhu e Wei (2021), o Revit é bem recebido pelo mercado da construção civil devido à sua baixa curva de aprendizado, funções abrangentes, bom custo-benefício e quantidade de informações. Eles complementam que o programa possui uma ampla base de usuários e uma alta participação de mercado e ainda recomendam o aplicativo, especialmente para a fase de projeto em geral.

Para a seleção do software BPS foi considerado em primeiro lugar o reconhecimento pela ASHRAE. A validação da entidade é um dos requisitos para aplicativos de simulação em diversas regulamentações e certificações. O DesignBuilder além de atender a essa demanda também é utilizado em diversos estudos de conforto térmico. (Negreiros, 2010) (Karimi *et al.* 2019) Roberts *et al.* (2023)

Além disso, ambas ferramentas possuem uma iniciativa de interoperabilidade. O *plugin* do DesignBuilder, disponível para o Revit, se destaca por unir dois aplicativos estabelecidos no mercado em suas funcionalidades.

3.1.1

APLICATIVO BIM: REVIT

O Revit é um aplicativo BIM para criação de modelos paramétricos 3D que gera geometria com informações vinculadas para o design e construção de edifícios. A partir desses modelos inteligentes, é possível gerar todos os desenhos necessários para documentar o projeto de um edifício, como plantas, cortes, elevações, perspectivas, detalhes e cronogramas. Os desenhos criados no Revit não são uma coletânea de formas 2D para representar um edifício, mas sim vistas de modelos de edifícios virtuais.

Segundo o relatório nacional BIM da plataforma digital NBS (NBS, 2020), realizado em parceria com o RIBA (Royal Institute of British Architects), dentre as cinco ferramentas de projeto mais usadas — Revit, ArchiCAD, AutoCAD, AutoCAD LT e Vectorworks — o software Revit é o que possui maior participação, com 50% dos usuários. O estudo contou com o apoio de diversas instituições e a participação de pessoas de todo o mundo, mas majoritariamente de profissionais do Reino Unido.

Os elementos nos modelos do Revit têm uma relação de mão dupla, permitindo a alteração na vista 2D que reflete no modelo 3D e vice-versa. Se você mover um objeto em uma planta, esse será movido em todas as elevações, cortes e perspectivas em que esse objeto aparece. Além disso, todas as propriedades do objeto contêm informações associadas, o que significa que as anotações inteligentes são diretamente dependentes deles.

As anotações de projeto exibem os dados vinculados ao objeto, ao invés de uma anotação manual conduzida pelo usuário. Se comparado com ferramentas CAD tradicionais que armazenam informações dos elementos apenas na anotação, o Revit oferece a oportunidade de inserir, gerenciar e exportar mais facilmente os dados do projeto para coordenação e execução do projeto (Yori; Marcus; Lance, 2020).

3.1.2 APLICATIVO DE SIMULAÇÃO ENERGÉTICA: DESIGNBUILDER

O DesignBuilder é um programa de simulação energética de edificações, lançado em 2005, que utiliza o motor de cálculo EnergyPlus. O programa se destaca por ser uma alternativa com interface gráfica mais intuitiva para os projetistas e pesquisadores na simulação termoenergética de edificações. A interface do aplicativo facilita a inserção de dados e a configuração de parâmetros, tornando todo o processo de modelagem mais fácil se comparado com o aplicativo EnergyPlus. Negreiros (2010)

O EnergyPlus é globalmente aceito por engenheiros e pesquisadores (Kamal, 2019), mas apresenta aparência pouco interativa, sendo enfatizada a exigência de utilizá-lo em conjunto com um software que facilite a configuração do modelo. Cartas (2011) Yu *et al.* (2015) afirmam que o DesignBuilder é a interface mais abrangente e amigável do EnergyPlus.

O DesignBuilder está conforme os padrões estabelecidos pela norma ASHRAE 140 (2004) — Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs (BESTEST). Esse reconhecimento pela entidade, assim como seu uso em inúmeras pesquisas, reforça a sua relevância no setor de construção e eficiência energética e é um dos requisitos necessários a um programa de simulação determinados pelo RTQ (Regulamento Técnico da Qualidade) e pela Instrução Normativa INMETRO (INI-C, 2022).

A INI-C (2022) apresenta em seu anexo C os critérios para a avaliação de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas por meio dos métodos de simulação computacional termoenergética e de iluminação natural. A Tabela 02 apresenta os critérios que o programa computacional de simulação termoenergética deve possuir.

CRITÉRIO	RTQ-R	INI-C	DESIGNBUILDER
Ser um software de análise do consumo de energia em edifícios		✓	✓
Validação da ASHRAE Standard 140	✓	✓	✓
Modelar 8.760 horas por ano	✓	✓	✓
Modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos, sistemas de condicionamento de ar e ventilação natural definidos, separadamente, para cada dia da semana e feriados	✓	✓	✓
Modelar efeitos de inércia térmica	✓	✓	✓
Modelar trocas de calor entre a edificação e o solo		✓	✓
Calcular cargas térmicas latente e sensível		✓	✓
Simular o sombreamento proveniente de elementos externos às zonas térmicas, como brises, sacadas e o entorno (quando considerado)		✓	✓
Simular os efeitos da ventilação cruzada em um ambiente, ou entre dois ou mais ambientes		✓	✓
Modelar multi-zonas térmicas	✓	✓	✓
Simular os efeitos das estratégias bioclimáticas adotadas no projeto	✓	✓	✓
Modelar todos os sistemas de condicionamento de ar presentes na edificação		✓	✓
Determinar a capacidade solicitada pelo sistema de condicionamento de ar	✓	✓	✓
Calcular as horas não atendidas pelo sistema de condicionamento de ar		✓	✓
Calcular as curvas de desempenho de carga parcial para o sistema de condicionamento de ar		✓	✓
Calcular as curvas de correção de capacidade e eficiência para o sistema de aquecimento e refrigeração		✓	✓
Modelar os dados de entrada referentes ao funcionamento da ventilação natural na edificação		✓	✓
Produzir relatórios horários das trocas de ar e das infiltrações	✓		✓
Produzir relatórios horários do uso final de energia	✓	✓	✓

Tabela 03: Critérios solicitados pelo RTQ-R e INI-C para softwares de simulação termoenergética. O DesignBuilder atende a todos. Fonte: elaborado pela autora.

Pesquisadores e instituições acadêmicas aproveitam as capacidades do programa para investigar o desempenho térmico e energético de edificações em diferentes contextos e climas. Rahman, Rasul e Khan (2010), utilizaram o DesignBuilder para avaliar o desempenho luminotécnico e térmico em um edifício institucional de quatro andares em Queensland, Austrália, conseguindo demonstrar uma economia de cerca de 42% de energia sem alterar o conforto térmico dos usuários. Karimi *et al.* (2019) realizaram estudos em diferentes cidades no Irã com aquecimento por energia solar usando o DesignBuilder e a partir dos resultados estimaram a economia de energia e o tempo de compensação do investimento no novo sistema em cada caso.

Muslim e Hachem-Vermette (2023) utilizaram o programa para analisar um método de compartilhamento de energia entre edifícios, conseguindo calcular uma redução de 74% no uso de energia com diferentes estratégias. Roberts *et al.*

(2023) avaliaram em Londres um modelo de escritório com e sem fachada dupla no DesignBuilder para atender a norma britânica e concluíram que o DesignBuilder se estabeleceu como uma ferramenta confiável e respeitada no âmbito da pesquisa, que contribuem para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes e sustentáveis na construção.

Elshafei *et al.* (2017) realizou a validação e verificação do DesignBuilder com medição empírica, os dados foram calculados a partir da medição de três parâmetros; velocidade do ar, temperatura e umidade relativa. Os resultados calculados estavam consoante os dados medidos.

No Brasil, Caldas, Abreu-Harbich e Hora (2020) compararam o desempenho ambiental de diferentes estratégias construtivas de envoltórias de edifícios contêineres, em quatro zonas bioclimáticas, utilizando o software. Após a análise de resultados, a pesquisa apresentou diretrizes ambientais de projeto para edifícios de contêiner para uso comercial. Gabriel *et al.* (2020) realizaram uma análise do desempenho termoenergético de diferentes tipologias de vidro em Habitação de Interesse Social usando o DesignBuilder e conseguiram determinar quais as melhores opções para essa tipologia na cidade de Cuiabá.

Utilizado em iniciativas e projetos nacionais e internacionais, o programa impulsiona o desenvolvimento de tecnologias e práticas eficientes. Negreiros (2010) destaca que a simulação precisa, por conta da confiabilidade do motor EnergyPlus e interface amigável do DesignBuilder, contribui para o avanço da pesquisa para edificações mais eficientes, confortáveis e responsáveis. Por tais motivos, o DesignBuilder foi escolhido para o desenvolvimento das simulações da presente pesquisa.

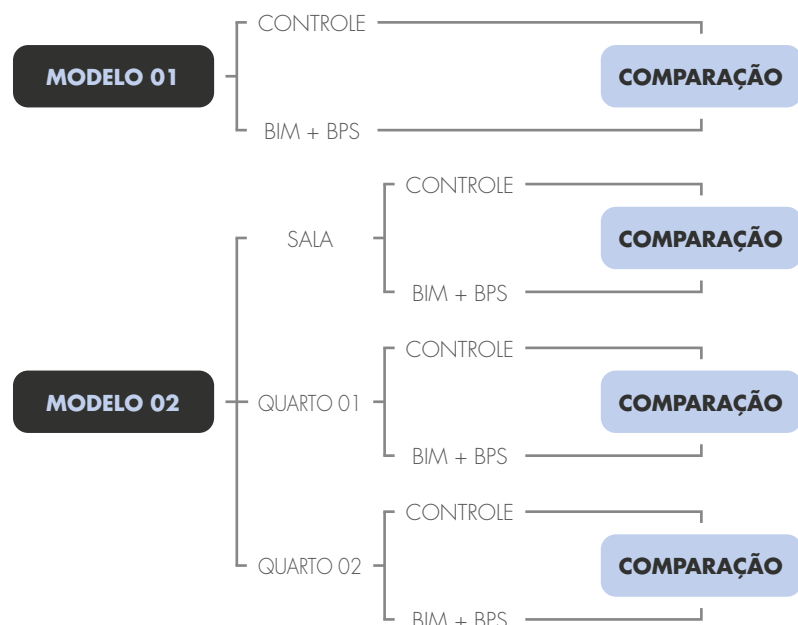
3.2

MODELOS DE ENSAIO

Para execução dos ensaios foram utilizados três modelos distintos. Os modelos 01 e 02 foram desenvolvidos pela autora e o modelo 03 foi baseado em um projeto existente. Estes foram concebidos considerando um aumento de complexidade em relação à geometria — número de ambientes, escala e composição de elementos construtivos — e em relação às informações técnico construtivas — materialidade, densidade e rotinas de ocupação. Cada modelo é submetido à análise termo-energética específica de cada processo: PROCESSO CONTROLE; PROCESSO BIM.

Distribuir a análise em três modelos permite uma comparação mais abrangente entre eles, fornecendo informações valiosas sobre o desempenho térmico relativo de cada um e permitindo identificar tendências ou padrões observados ao longo da progressão de complexidade de geometria. Com essa abordagem é possível realizar uma análise mais robusta e identificar quais fatores podem ter maior impacto na precisão do modelo em diferentes contextos do aplicativo.

As Figuras 9 e 10 ilustram os processos aplicados aos Modelos 01 e 02. Devido à maior complexidade do Modelo 03, com quatro variáveis modificadas a cada ensaio, sua descrição completa foi feita separadamente, incluindo a ilustração dos processos.



Figuras 09 e 10: Fluxogramas dos processos de análises comparativas aplicadas aos modelos 01 e 02. Fonte: elaborado pela autora.

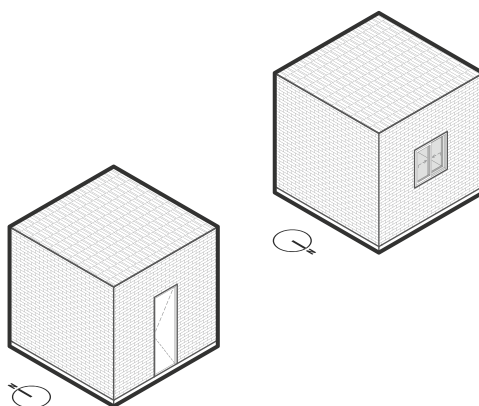
3.2.1

MODELO 01

No primeiro modelo, optou-se pela configuração mais simplificada, composta apenas por um ambiente. A transferência realizada com o modelo criado no Revit contemplou exclusivamente aspectos relacionados à geometria. As propriedades físicas foram aplicadas diretamente no DesignBuilder.

O modelo é um cubo, composto de um ambiente, de três metros de altura, largura e comprimento, com uma área total de 9m^2 . Suas paredes são de alvenaria maciça, utilizando tijolos de cerâmica com espessura de nove centímetros.

A fachada norte possui uma janela, centralizada, de correr, composta por duas folhas de vidro e estrutura metálica de um por um metro com parapeito de um metro. Já a fachada sul possui uma porta de madeira centralizada, medindo setenta centímetros de largura por dois metros e dez centímetros de altura. O piso é de concreto e cerâmica com quinze centímetros de espessura no total. A cobertura do modelo é plana, sendo composta por telhas cerâmicas sem inclinação com espessura de um centímetro.



Figuras 11 e 12: Vistas da frente (esq.) e dos fundos (dir.) do modelo 01, em perspectiva isométrica. Fonte: elaborado pela autora.

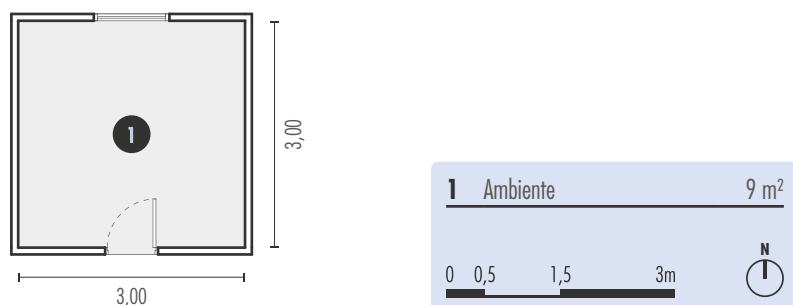


Figura 13: Planta baixa do modelo 01. Fonte: elaborado pela autora.

3.2.2

MODELO 02

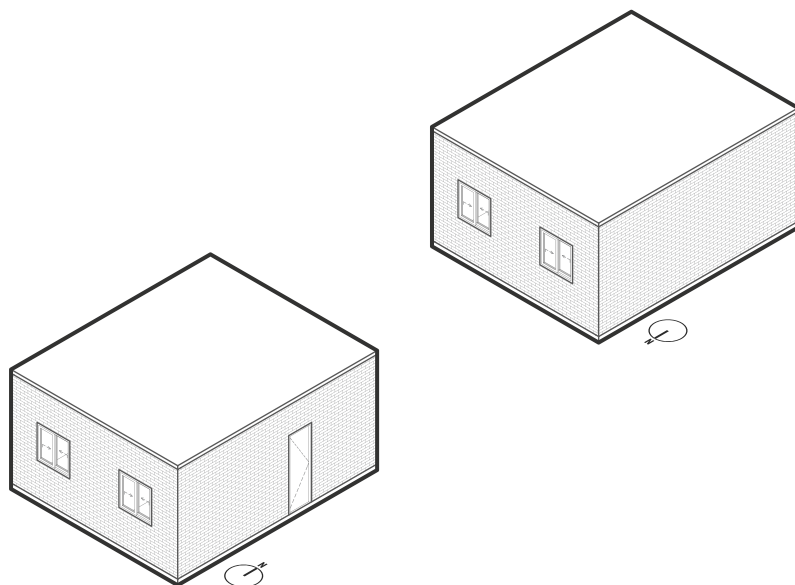
O segundo modelo apresenta um nível de complexidade maior que o anterior, contando com três ambientes dispostos como um cubo. Nessa etapa, além da geometria, também foram consideradas as propriedades físicas dos materiais empregados. Dessa forma, foi possível avaliar também como essas características foram interpretadas pelos softwares.

O modelo tem seis por cinco metros, com uma área de 36 m², dividido em três ambientes. Sendo eles, dois quartos, com um terço da área total cada, ou seja, sete metros quadrados e uma sala, com o dobro da metragem de cada quarto, 14 m².

As paredes são compostas por alvenaria maciça com tijolos de cerâmica de nove centímetros de espessura. Há duas janelas de correr com folhas de vidro e estrutura metálica de um por um metro e parapeito de um metro, posicionadas na fachada norte, onde está a sala, e mais duas janelas com as mesmas características na fachada sul, onde estão os quartos. Cada quarto conta com uma janela.

O acesso do modelo se dá por uma porta de madeira de setenta centímetros por dois metros e dez centímetros na fachada leste da sala. Outras duas portas com a mesma composição proporcionam entrada aos quartos. O piso e a cobertura são de concreto maciço, com dez centímetros de espessura, sem inclinação na laje da cobertura.

Os procedimentos de análise térmica, extração e análise dos resultados são então repetidos no segundo modelo, seguindo a mesma sequência de etapas descritas anteriormente. Considerando as propriedades térmicas dos materiais e a rotina estabelecida em norma.



Figuras 14 e 15: Vistas da frente (esq.) e dos fundos (dir.) do modelo 02, em perspectiva isométrica. Fonte: elaborado pela autora.

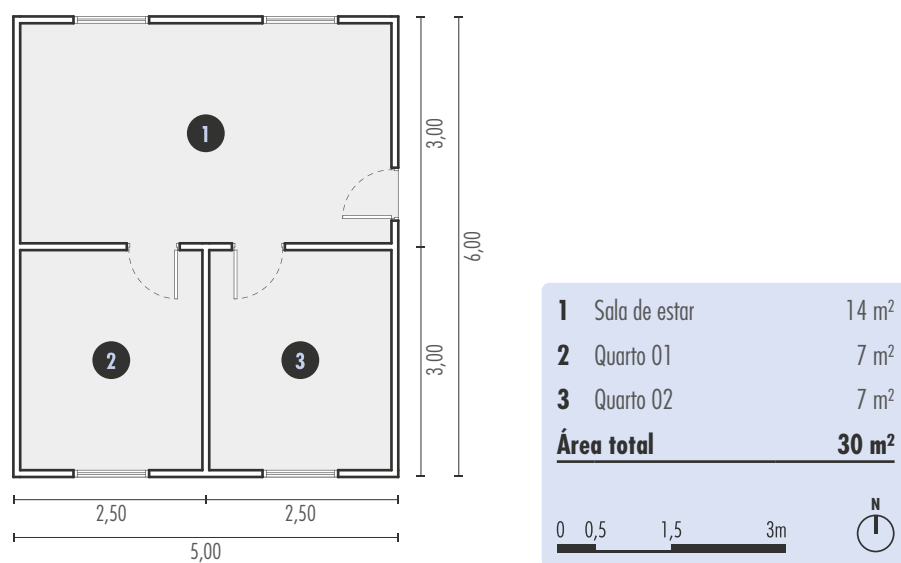


Figura 16: Planta baixa do modelo 02. Fonte: elaborado pela autora.

3.2.3

MODELO 03

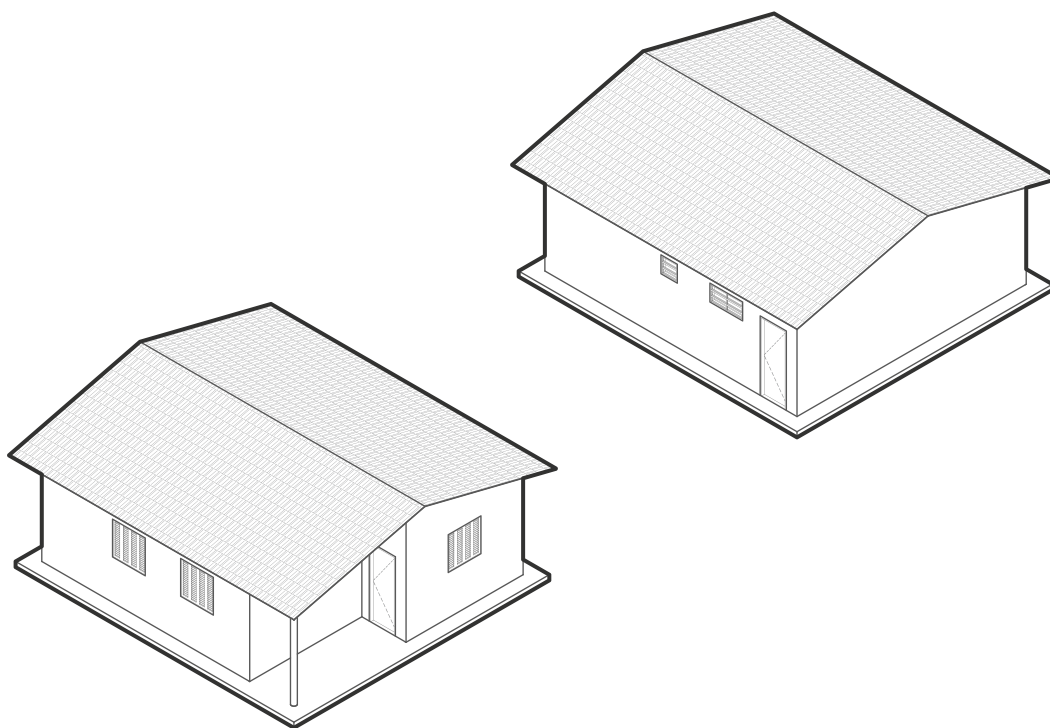
O terceiro modelo, o mais complexo dos três, é baseado em um projeto real de habitação social do CDHU. O projeto tem dois dormitórios, sala, cozinha, banheiro e área de serviço e área útil de 47,87 m², com piso cerâmico, azulejo no banheiro e cozinha, cobertura em estrutura metálica e sistema de geração de energia solar fotovoltaica.

Por questões metodológicas e didáticas, o projeto teve sua geometria adaptada e o sistema de energia solar também não será considerado no modelo. Além disso, nas simulações realizadas no modelo 03, serão feitas modificações direcionadas, na materialidade, localização e posicionamento. Dessa forma é possível ter um panorama abrangente dos componentes do projeto.

O modelo a ser utilizado neste trabalho é composto de cinco ambientes distintos: sala, cozinha, banheiro e dois quartos. Existem dois acessos para o exterior, um pela sala e outro pela cozinha por meio de porta de madeira com dimensões de oitenta centímetros por dois metros e dez centímetros de altura. Os ambientes de sala e cozinha não possuem divisões entre si.

As janelas principais, nos quartos e na sala, são de correr com folhas de vidro e estrutura metálica, com medidas de um metro por um metro e parapeito com altura de um metro e dez centímetros. Na cozinha e no banheiro, as janelas são altas, com parapeito de um metro e sessenta centímetros, de cinquenta por cinquenta centímetros no banheiro e de um metro por cinquenta centímetros na cozinha.

As portas de acesso aos quartos, de madeira, têm dimensões de setenta centímetros por dois metros e dez centímetros de altura, enquanto a porta do banheiro mede sessenta centímetros por dois metros e dez centímetros de altura. O modelo possui um forro de concreto de cinco centímetros de espessura, a dois metros e setenta do piso acabado e uma varanda adjacente à sala e a um dos quartos.



Figuras 17 e 18: Vistas da frente (esq.) e dos fundos (dir.) do modelo 03, em perspectiva isométrica. Fonte: elaborado pela autora.

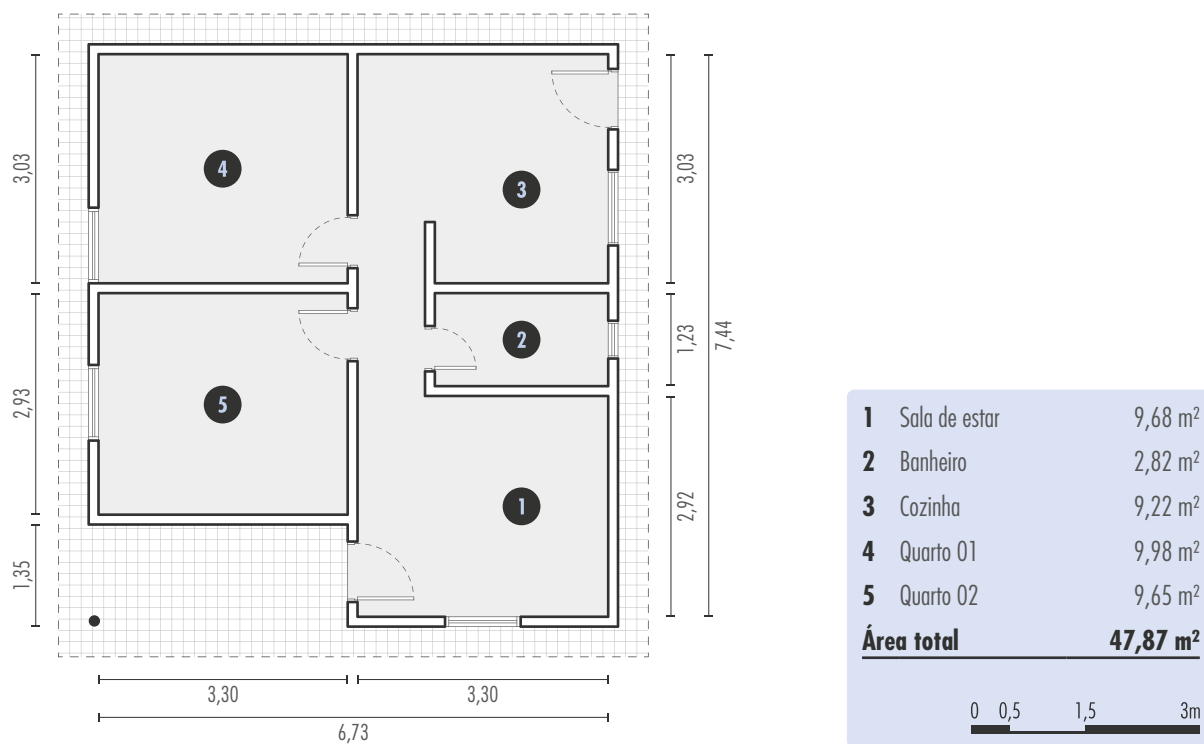


Figura 19: Planta baixa do modelo 03. Fonte: elaborado pela autora.

O modelo 03 será modificado com base em quatro variáveis (Figura 20). As simulações decorrentes da inserção desses parâmetros permitem obter uma quantidade maior de dados e permitir uma análise mais detalhada.

Dessa maneira, por meio de três modelos, com progressão de complexidade, e seus respectivos resultados de simulação, o estudo visa obter uma compreensão mais detalhada sobre a influência da geometria, das propriedades físicas dos materiais e outras características da construção na precisão dos métodos adotados que estão sob avaliação.

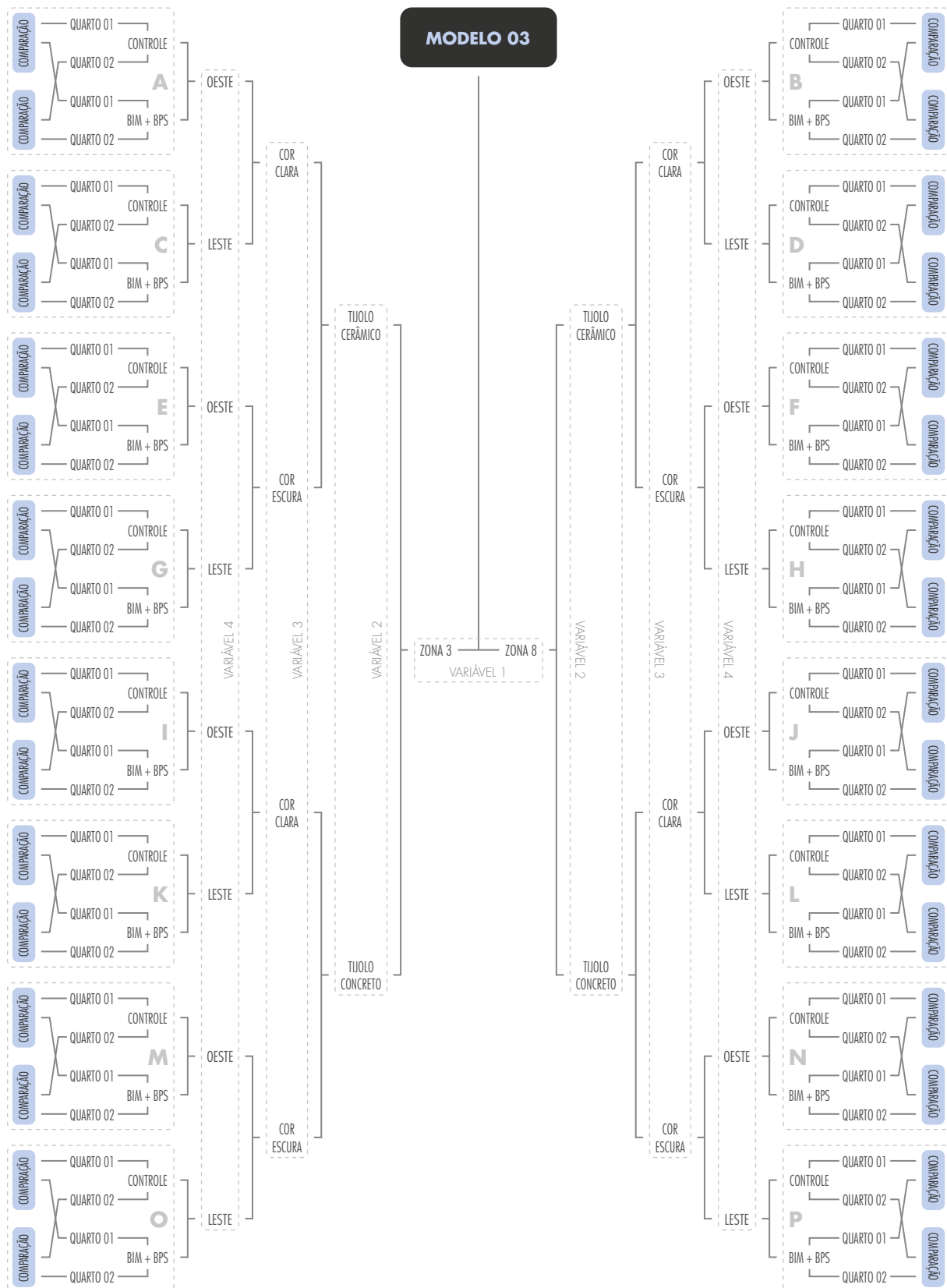


Figura 20: Fluxograma com todas as variáveis do modelo 03, mostrando o total de resultados obtidos para comparação. Fonte: elaborado pela autora.

3.3 VARIÁVEIS DE ANÁLISE: MODELO 03

As variáveis de análise aplicadas apenas ao Modelo 03 foram implementadas na pesquisa para ampliar o volume de dados a serem compilados, além de viabilizar a avaliação de parâmetros específicos. Com as variações de características, como materialidade e localização do modelo, é possível identificar se alguma etapa específica do processo influencia nos resultados ou se determinada combinação conduz a algum erro.

Além disso, a partir das combinações de variáveis, a coleta de dados do modelo três passa de 17.520 horas para 140.160 horas, que estarão disponíveis para análise estatística. Esse volume de dados incrementa o processo de avaliação de resultados, o deixando mais abrangente e assertivo.

3.3.1

ZONAS BIOCLIMÁTICAS

Segundo Lamberts (2013), as edificações brasileiras têm sido geralmente construídas seguindo um padrão quase uniforme, ignorando a grande diversidade climática do país. Isso resulta na implementação de tipologias semelhantes em cidades com comportamentos climáticos distintos

A NBR 15220 dividiu o território brasileiro em oito zonas, tendo sido definida com base na análise de dados climáticos coletados entre 1931 e 1990. Esses dados foram avaliados utilizando a Carta Bioclimática de Givoni adaptada para o Brasil

O objetivo do Zoneamento foi estabelecer diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, considerando as condições climáticas de cada região. A NBR 15.220 — Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro, definiu as cidades cujos climas foram classificados conforme os parâmetros e critérios de conforto relativos ao tamanho e à proteção das aberturas, às características das envoltórias (paredes e coberturas) e às estratégias de condicionamento térmico passivo.

A zona bioclimática foi escolhida como parâmetro dos ensaios com o modelo 03 por conta da sua condição primordial de influência na análise térmica de edificações. Para os ensaios com o modelo 03, serão adotadas as zonas bioclimáticas 03 e 08, com os arquivos climáticos correspondentes as cidades de São Paulo e Fortaleza.

Yoshida (2006) caracteriza o clima de São Paulo como de transição entre o Clima Tropical Úmido de Altitude e o Clima Subtropical. O primeiro possui um período seco definido, enquanto o Clima Subtropical identifica-se pela constante umidade ao longo de todo ano. Além da caracterização sazonal, é comum na cidade mudanças de estados atmosféricos com bruscas quedas e aumento na temperatura em curtos espaços de tempo. A cidade de Fortaleza, pela proximidade da Linha do Equador, apresenta baixa amplitude térmica diária e anual e, praticamente, duas estações anuais, uma chuvosa, entre janeiro e junho, e a outra seca. Petalas (2014)

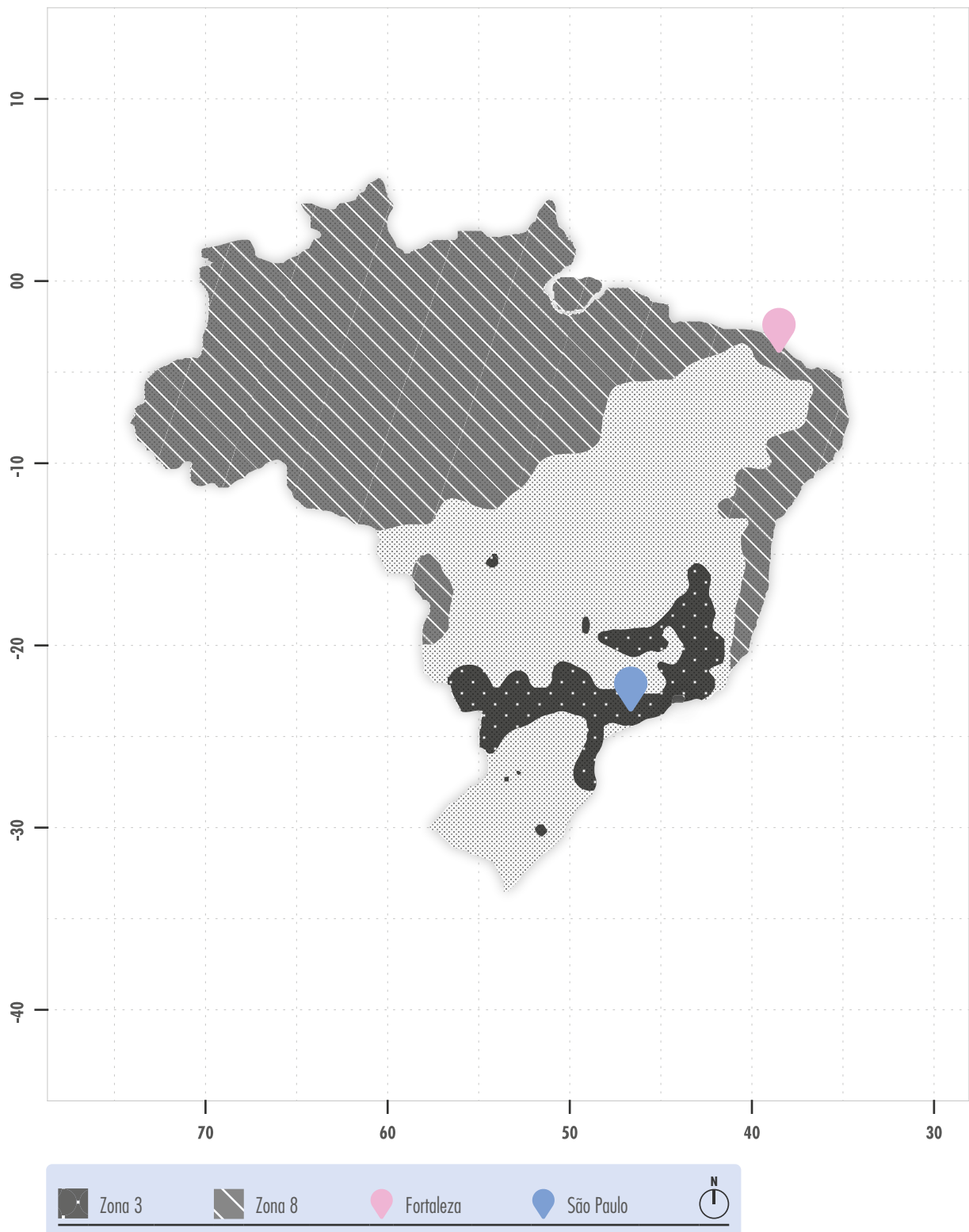


Figura 21: Mapa com a localização das cidades de São Paulo e Fortaleza nas zonas bioclimáticas 3 e 8. Fonte: elaborado pela autora.

3.3.2 MATERIAL DA ENVOLTÓRIA

Os materiais e elementos construtivos possuem propriedades térmicas que influenciam seu desempenho térmico (Lamberts, 2013). A norma brasileira NBR 15.2020-2 (ABNT 2005) fornece exemplos de cálculos de resistência térmica para materiais homogêneos e heterogêneos, capacidade térmica, transmitância térmica e outros parâmetros relevantes.

Na pesquisa serão considerados dois materiais na envoltória do modelo 03, o tijolo cerâmico e de concreto. Os tijolos cerâmicos, provêm de uma técnica já consolidada que envolve pouca complexidade no seu processo de produção (Giorgi *et al.*, 2018) e com os blocos de concreto na alvenaria, fazem parte do sistema construtivo mais utilizado nas edificações brasileiras. (Caldas e Filho, 2019)

Nesses materiais serão considerados principalmente as seguintes características: condutividade térmica, calor específico, densidade e transmitância térmica. Estas são relevantes ao estudo por também serem usadas pelos programas adotados.

A condutividade térmica quantifica a habilidade dos materiais de conduzir calor e depende da densidade do material (Lamberts, 2013). Materiais com alta condutividade térmica conduzem calor de forma mais rápida que os materiais com baixa condutividade térmica.

O Calor específico é a quantidade de calor necessária para que seja possível variar a temperatura de uma substância ou material em 1 °C. Ele é proporcional à quantidade de calor recebido, ou doado pela substância. O calor específico faz parte do cálculo da capacidade térmica, que indica maior ou menor capacidade de reter calor do material e é relevante para avaliar a contribuição deste material em termos de inércia térmica para um ambiente. (Lamberts, 2013)

A densidade é a relação existente entre a massa e o volume de um material, a uma dada pressão e temperatura, e também é considerada no cálculo de capacidade térmica. As propriedades físicas citadas são parâmetros que influenciam no cálculo de transmitância térmica dos materiais no Revit, considerada nos cálculos da simulação térmica.

A transmitância térmica é uma variável importante para avaliação do desempenho de fechamentos opacos. Essa variável permite avaliar o comportamento de um fechamento opaco em relação à transmissão de calor e comparar diferentes opções de fechamentos. (Lamberts, 2013)

Os valores das propriedades físicas dos materiais utilizados nesta pesquisa estão baseados nos valores disponibilizados pela biblioteca de materiais para o Energyplus desenvolvida pelo LabEEE da Universidade de Santa Catarina, que usou a NBR 15.220 de referência para os cálculos.

TIJOLO CERÂMICO		TIJOLO DE CONCRETO	
CONDUTIVIDADE	0,90 W/m K	CONDUTIVIDADE	1,75 W/m K
CALOR ESPECÍFICO	920,00 J/kg °C	CALOR ESPECÍFICO	1000,00 J/kg °C
DENSIDADE	2290,00 kg/m ³	DENSIDADE	2400,00 kg/m ³



Tabela 04: Propriedades térmicas dos tijolos de cerâmica e de concreto. Fonte: elaborado pela autora.

3.3.3

CORES DA ENVOLTÓRIA

Os componentes estruturais podem ter desempenhos distintos em relação à radiação térmica incidente, transmitindo, refletindo ou mesmo absorvendo e re-emitindo essa radiação para o interior. A radiação incidente em um material terá uma parte refletida, uma absorvida e, caso seja translúcido, também uma parte transmitida diretamente para o ambiente interior, cujos valores dependerão, respectivamente, da refletividade, da absortividade e da transmissividade do material.

Em relação à absortividade, pode-se dizer que os materiais de construção são seletivos em relação à radiação de onda curta (radiação solar) e a principal determinante dessa característica é a sua cor superficial. Um material escuro absorverá a maior parte da radiação incidente, enquanto um material claro absorverá bem pouco. (Lamberts, 2013)

Existe uma influência térmica que ocorre ao utilizarmos as cores na edificação. Ou seja, as cores de determinada superfície e sua materialidade impactam muito na absorção e reflexão da energia solar em relação ao calor. Nos ensaios serão utilizadas duas cores diferentes para a envoltória do modelo 03, conforme a NBR 15.575, correspondentes aos valores de absorptância indicados para cor clara e cor escura.

COR CLARA		COR ESCURA	
ABSORTÂNCIA	0,3	ABSORTÂNCIA	0,7

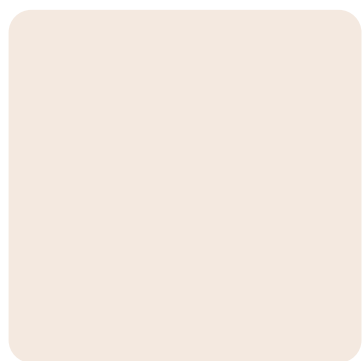


Tabela 05: Propriedades térmicas dos tijolos de cerâmica e de concreto. Fonte: elaborado pela autora.

3.3.4

ORIENTAÇÃO SOLAR

A orientação solar em uma edificação é importante por ter impactos na iluminação natural, no aquecimento e no resfriamento do ambiente. Quando uma edificação é corretamente orientada em relação ao sol, é possível maximizar o aproveitamento da luz natural, reduzindo a dependência de iluminação artificial durante o dia. Além disso, a exposição adequada ao sol desempenha um papel crucial no aquecimento passivo no inverno e no resfriamento no verão, o que resulta em uma redução significativa da demanda de energia para a climatização. Lamberts (2013)

A radiação solar é um dos mais importantes parâmetros para o ganho térmico em edifícios. Ao projetar uma edificação, o conhecimento da posição exata do sol é fundamental para o arquiteto e urbanista. Para obter essa informação, pode ser utilizada uma carta solar ou programas computacionais. Assim, é possível, por exemplo, saber se o sol adentrará por uma janela e se existe ou não a necessidade de proteção solar para determinada orientação.

Como variação no modelo 03 serão utilizadas as direções leste e oeste para orientação da fachada dos dois dormitórios. Como ilustrado a seguir:

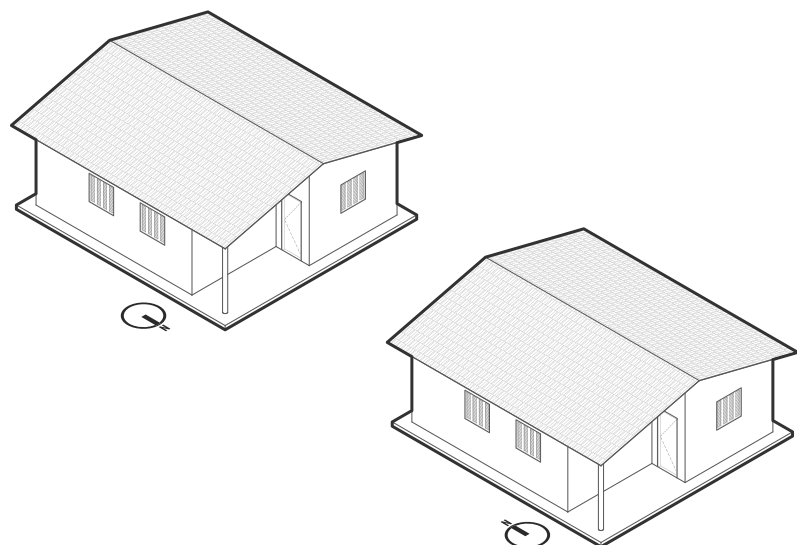


Figura 22: Variantes do modelo 03 com a fachada dos dormitórios orientada para leste (esq.) e oeste (dir.). Fonte: elaborado pela autora.

3.4

CRITÉRIO DE ANÁLISE

Para a análise dos resultados, serão utilizados os valores horários de temperatura operativa. A temperatura operativa representa o valor médio entre a temperatura do ar, aquela medida pelos termômetros convencionais, conhecida também como temperatura de bulbo seco e a temperatura radiante média, definida pela uniformidade imaginária da transferência de calor por radiação.

A temperatura operativa é um dado que pode ser extraído diretamente dos processos de análise térmica, o intervalo de dados pode ser determinado pelo projetista na simulação. Por conta da orientação da norma RTQ-R serão usados intervalos horários. Cada simulação fornece 8.760 valores de temperatura operativa, equivalente às horas de um ano completo. Os valores horários de temperatura operativa obtidos em cada cenário serão comparados entre si, para verificar eventuais discrepâncias e, portanto, permitir verificar a precisão das análises segundo cada método.

Considerando os modelos e as variáveis dispostas no capítulo anterior, os ensaios tomaram como base os processos que serão descritos nos itens a seguir. Por conta do caráter experimental dos ensaios, foram considerados alguns ajustes nesses processos, com o objetivo de tornar os resultados para comparação idênticos e corrigir dificuldades encontradas. Tais ajustes efetuados nos procedimentos ou nos modelos estão devidamente documentados também neste capítulo.

4.1

MODELO DE CONTROLE: SOFTWARE DESIGNBUILDER

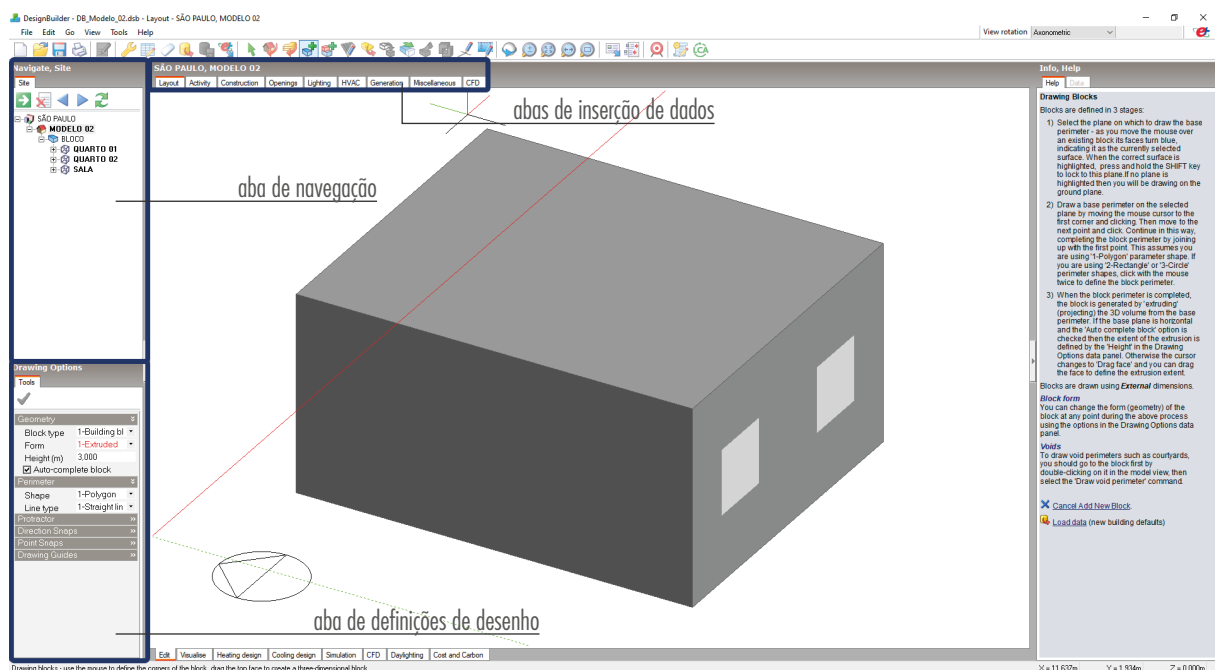
O processo de simulação de desempenho térmico no aplicativo DesignBuilder segue as seguintes etapas: modelagem, inserção de dados, simulação computacional e extração de dados. As duas primeiras etapas podem ser desenvolvidas em paralelo, ou seja, os dados sobre a edificação podem ser inseridos antes ou durante a modelagem.

A etapa de simulação consiste nos cálculos realizados pelo programa com base nos dados fornecidos — modelo analítico e informações. Ao fim desse processo é possível extrair os resultados com diferentes configurações.

Uma vez que o programa está aberto, logo ao iniciar a criação de um novo arquivo, o DesignBuilder solicita a localização do projeto, informação crucial para o processo de simulação. O programa recorre às informações de anos climáticos representativos de diversas regiões e em diversos formatos. Após a definição da localidade, o projetista precisa criar um novo edifício para dar início a modelagem.

A interface do programa está organizada a partir de abas superiores, de modelagem e inserção de dados, e uma aba

Figura 23: Interface do Designbuilder na aba de edição.



de navegação, que funciona por meio de uma lista retrátil numa coluna à esquerda. O processo de inserção de dados e desenvolvimento da simulação é pensado a partir de uma hierarquia — de cima para baixo — na lista e de uma ordem — a partir da direita para a esquerda — na inserção de dados.

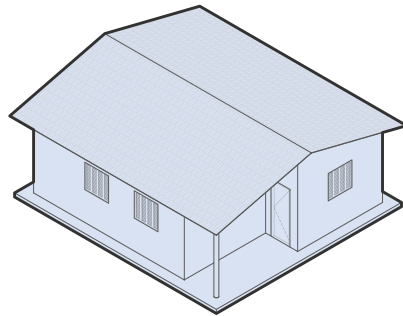
O DesignBuilder atribui as informações segundo o elemento hierárquico que está selecionado. Considerando a seguinte ordem de abrangência: *site*, *building*, *block*, *zone* e *partition*. Quando o *site* é selecionado é possível modificar informações relativas à localização, em *building* e nas categorias inferiores e mais específicas é possível inserir informações de atividade, construção, aberturas, iluminação e condicionamento.

Se no momento de inserção de um parâmetro o edifício está selecionado, o dado será aplicado no edifício e em todas as instâncias inferiores, ou seja, para blocos, zonas e partições. Se a inserção do parâmetro for realizada em uma zona, esta será atribuída à zona e às partições contidas nela, mas não para o bloco, e assim por diante.

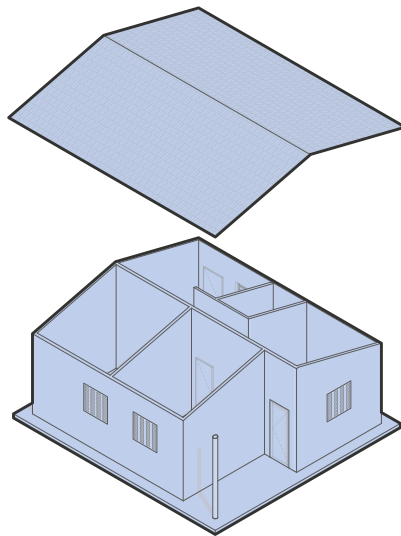
A construção do modelo é realizada pela ferramenta novo bloco, que traça a alvenaria em planta a partir das definições pré-estabelecidas, como, por exemplo, a altura de extrusão do bloco. Com a existência de um percurso fechado pela ferramenta novo bloco, o programa realiza a extrusão da polilinha.

Após a modelagem das paredes perimetrais, são traçadas, com a ferramenta partição, as divisões internas. Cada partição cria então zonas para o bloco, e uma nova classificação no navegador. É importante ressaltar que a ferramenta só é disponibilizada uma vez que o bloco é acessado pelo painel de navegação.

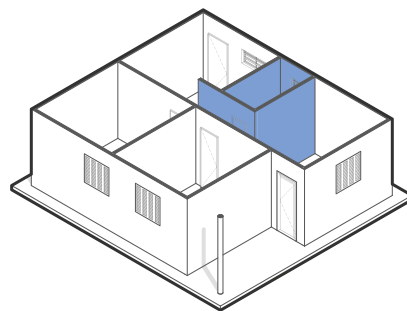
Esse processo de acessar determinadas ferramentas conforme o nível de navegação se repete com a modelagem de portas e janelas, que estão disponíveis apenas no nível interno das zonas, escolhendo-se a superfície sobre a qual será inserida a esquadria. Portanto, cada bloco é composto de zonas, que são equivalentes aos ambientes internos, que por conseguinte são compostos por partições que representam as paredes, pisos e coberturas.



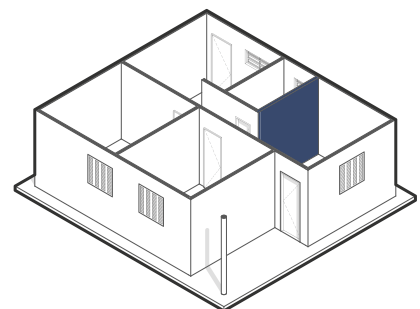
building



block



zone



partition

Figura 24: Imagem ilustrativa da distribuição hierárquica do modelo no DesignBuilder: building, block, zone e partition. Fonte: elaborado pela autora.

O programa determina, como padrão, a definição de aberturas de acordo com uma porcentagem da área do piso. Contudo, é possível editar as aberturas de forma específica. Essas e outras operações, assim como boa parte das modificações, devem ser realizadas no nível de edifício, para alterar todas as zonas e partições, pois, o aplicativo considera as modificações realizadas nas abas de inserção de informações conforme o nível de hierarquia que o projetista está no navegador.

Para maior precisão na modelagem, utiliza-se a ferramenta linha de construção, que funciona como uma guia para delimitar as dimensões, uma vez que isso não é possível com precisão pelas ferramentas que criam aberturas.

À medida que se inicia a modelagem, também é necessário organizar o arquivo, isso é fundamental para o desenvolvimento de um trabalho eficiente. São renomeados os elementos do navegador: edifício, bloco e zonas. Esses nomes auxiliam o projetista a se orientar pela modelagem e, posteriormente, a inserir dados e extrair os resultados por ambiente.

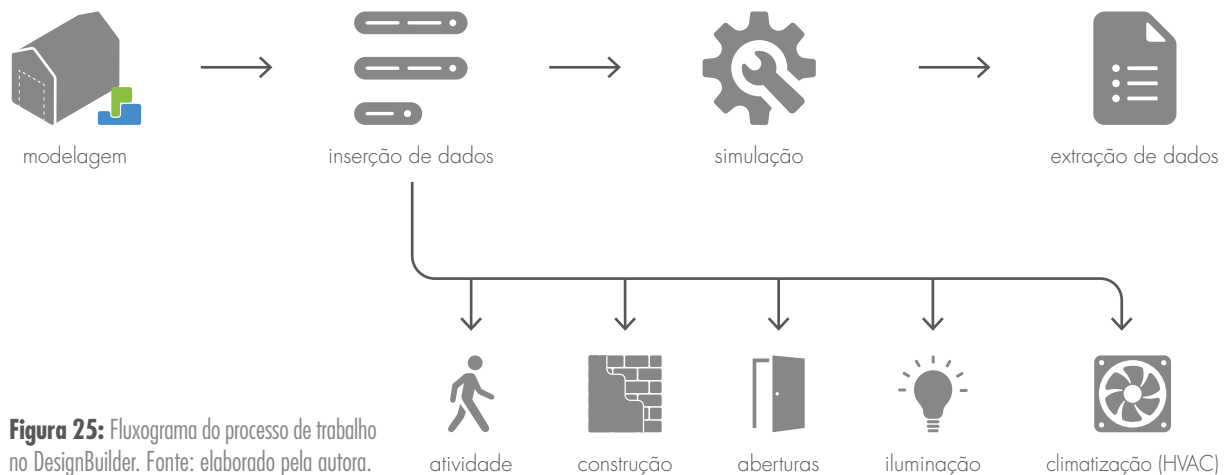
INSERÇÃO DE DADOS

A inserção de dados é uma parte essencial no processo de simulação, a precisão das informações fornecidas ao software é determinante para a qualidade dos dados que serão extraídos. As informações são distribuídas na interface a partir das atividades que serão exercidas no edifício, seus componentes construtivos, as aberturas, iluminação e condicionamento existente natural ou artificial.

ATIVIDADE

A segunda aba superior, logo após a aba layout — onde é realizada a modelagem — trata das atividades dos usuários. Nela são inseridas informações referentes às atividades exercidas no ambiente, o número de usuários em cada zona, o uso ou não de equipamentos eletrônicos, os horários de ocupação, entre outros.

Nesta parte é configurada uma ou múltiplas rotinas para os ambientes. Tais rotinas determinam os horários e a



percentagem de ocupação dos ambientes e são extremamente relevantes, por serem associadas a outros parâmetros na simulação, como abertura de portas e janelas.

CONSTRUÇÃO

Na aba de construção são dispostas informações relacionadas à materialidade dos elementos da modelagem. São determinados quais materiais serão empregados e em quais superfícies, conforme a seleção que o projetista coloca no navegador.

O programa possui biblioteca própria de materiais e permite, também, importar bibliotecas prontas, assim como criar e editar materiais. Todos os materiais possuem informações de espessura, camadas de composição e propriedades físicas como: densidade, condutividade, calor específico, entre outras.

ABERTURAS

Durante a modelagem, na aba aberturas, logo após o desenho de todas as aberturas, é possível determinar outras informações sobre as janelas e portas do projeto.

Nesta seção, são adicionados os dados relativos à percentagem de abertura das janelas e portas, associadas à ocupação previamente configurada. Por exemplo, configurar uma esquadria com abertura máxima de 50% e tempo

em que permanece aberta de 100% significa que a simulação irá considerar que essa esquadria estará utilizando metade da abertura durante todo o período de ocupação.

ILUMINAÇÃO

Na aba de iluminação é possível escolher o tipo de iluminação utilizada, vincular as rotinas de ocupação com o acionamento das luminárias. Especificar consumo de lâmpadas e a quantidade de luz emitida. As luminárias podem ser adicionadas e posicionadas na modelagem. Nesta pesquisa essa aba foi configurada para ficar desativada na análise.

CONDICIONAMENTO (HVAC)

A aba de HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) reúne informações de aquecimento, ventilação e ar condicionado. Algumas opções que vem como padrão são: fan-coil, ventilação mecânica, aquecimento, refrigeração e controle de umidade, ventilação natural, entre outras. Essas informações podem ser atreladas as rotinas de ocupação estabelecidas na aba de atividade.

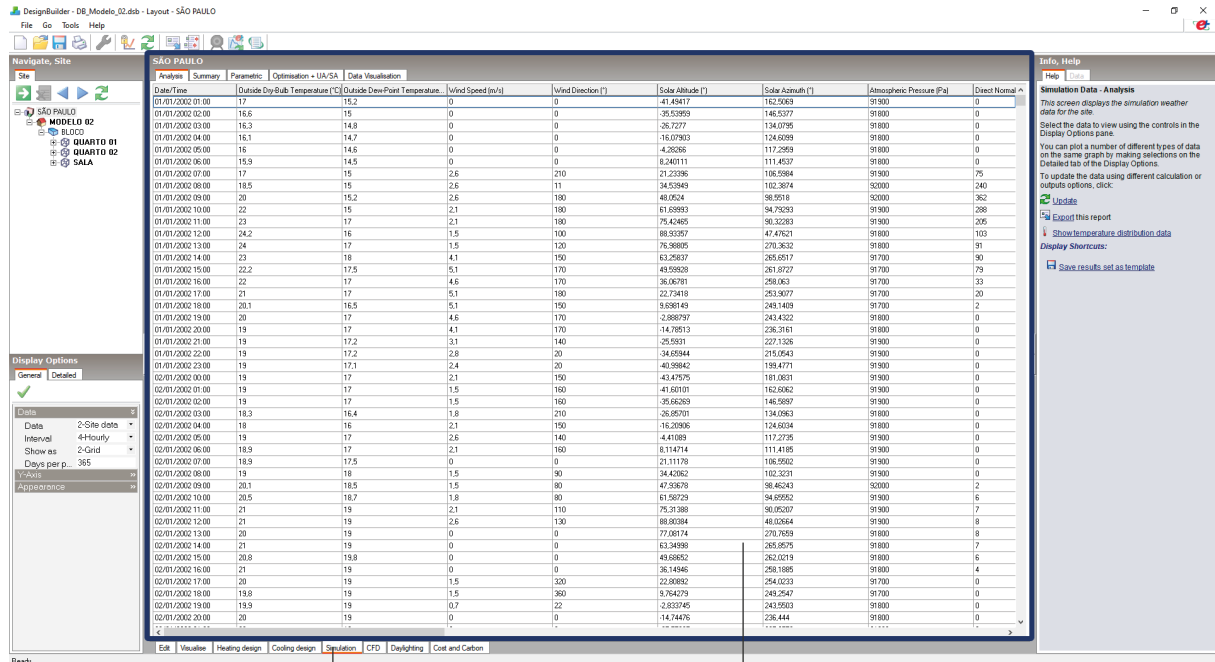
SIMULAÇÃO / EXTRAÇÃO DE DADOS

Uma vez que a modelagem está completa e todos os dados relevantes foram inseridos, são definidos os parâmetros para a extração de resultados da simulação. No conjunto de abas inferior, na interface do programa, é possível alternar entre a edição, onde são feitos todos os procedimentos descritos anteriormente, visualização, onde é possível ter uma renderização básica do modelo, simulação, onde os cálculos são feitos e outras opções relacionadas ao condicionamento artificial.

A janela de opções que surge ao selecionar a aba de simulação permite configurar o período que será considerado na simulação, se os dados fornecidos serão por mês, dia ou hora, entre outros, além da escolha de alguns modelos de conforto como base para a análise. Após um período de processamento, o aplicativo fornece os resultados da simulação. Os dados são fornecidos por padrão em gráfico,

Figura 26: Interface do Designbuilder na aba de simulação.

mas é possível editar, para que eles sejam exibidos em outros formatos e escolher os intervalos de dados exibidos também. Esses dados então estão prontos para serem exportados para outros aplicativos (figura 26).



aba de simulação

resultados da simulação

4.2 PROCESSO BIM + BPS: SOFTWARE REVIT + *PLUGIN* DESIGNBUILDER

O processo de simulação utilizando o aplicativo BIM Revit e o *plugin* do DesignBuilder pode ser categorizado, para fins didáticos, em três etapas:

- Preparação do modelo no aplicativo BIM Revit
- Transferência do modelo
- Ajuste do modelo no aplicativo BPS DesignBuilder

PREPARAÇÃO DO MODELO NO REVIT



Figura 27: Fluxograma do processo de trabalho entre Revit e DesignBuilder. Fonte: elaborado pela autora.

No Revit é necessária a criação de um modelo analítico, comumente utilizado nos softwares de simulação. Uma vez que o modelo desenvolvido na ferramenta, habitualmente usado pelos projetistas, é geométrico. Para utilizar o *plugin* do DesignBuilder, é possível seguir a criação do modelo analítico por dois caminhos. Por meio da utilização das informações do modelo energético gerado pelo Revit ou da ferramenta *room*, nativa do Revit. O EAM, ou Energy Analytical Model do Revit difere do modelo analítico por criação de *rooms* na sua composição, pois além de informações volumétricas, é composto de superfícies analíticas. Este trabalho opta pela criação de *rooms*, por esta ser uma ferramenta usual ao processo de desenvolvimento do projeto de arquitetura e, portanto, familiar aos projetistas.

Os *rooms* podem ser criados de forma automática ou semi-automática. As zonas do Revit mantêm informações sobre subdivisões de espaço em um edifício, podendo ser um ambiente único fechado ou uma coleção de ambientes adjacentes. Elas armazenam valores para diversos parâmetros que afetam a análise de desempenho do edifício,

como volume e geometria de elementos limitantes. As zonas são identificadas com base em elementos limitantes, como paredes, pisos, telhados e tetos, e suas dimensões são atualizadas automaticamente quando esses elementos são adicionados, movidos ou excluídos.

É necessário a conferência e ajuste dessas zonas, mediante uma análise do modelo geométrico. Elementos como forro, pé direito duplo e telhados podem levar a erros na criação de zonas se não forem devidamente configurados.

Para a correta transferência do modelo analítico é preciso, também, atentar para duas opções no Revit: por padrão, o aplicativo não computa os volumes dos objetos paramétrico room. Portanto, é preciso mudar para a opção “*Area and Volumes*” que fica no painel room and area, dentro de architecture.

Além disso, para a transferência de propriedades térmicas dos materiais é necessário selecionar a opção detailed model dentro do painel de configuração do modelo energético.

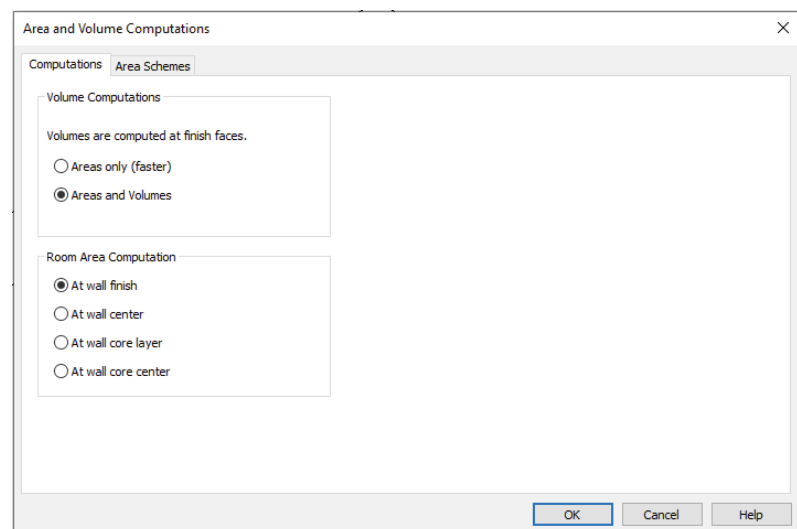
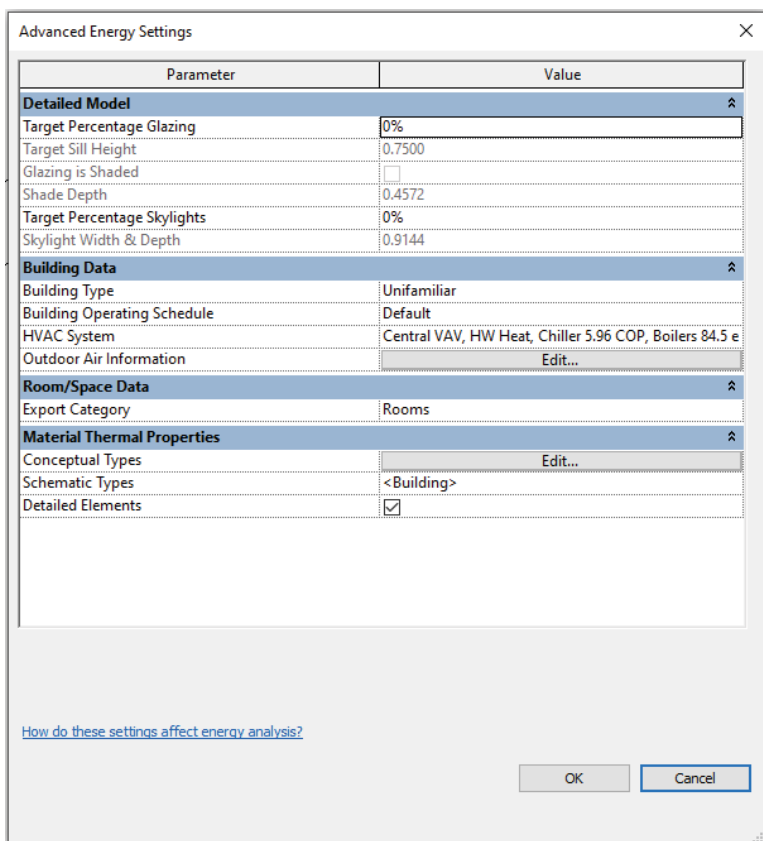
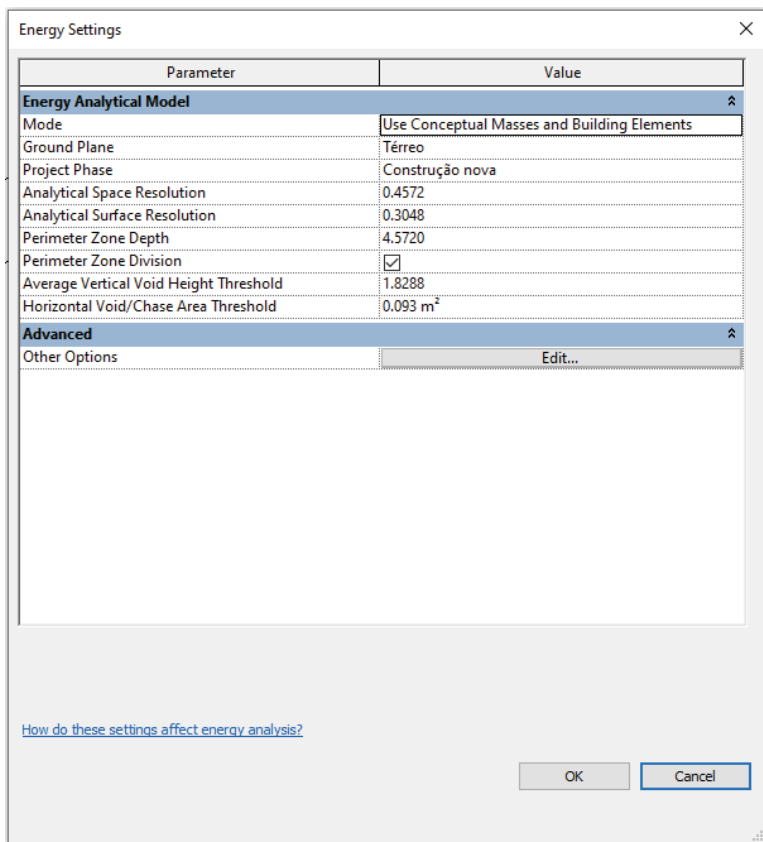


Figura 28: Janela "Area and Volumes Computations" no Revit.



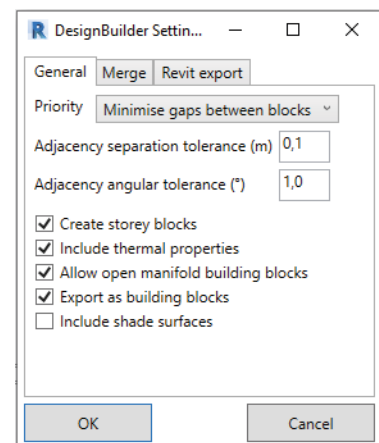
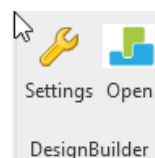
Figuras 29 e 30: Janela "Energy Settings" e "Advanced Energy Settings" com configurações para modelo energético no Revit.

CONFIGURAÇÃO E TRANSFERÊNCIA NO PLUGIN DESIGNBUILDER

Uma vez que o modelo analítico foi criado e revisado, são realizadas as configurações de transferência no *plugin*, presente na aba *Analyse* do Revit. O *plugin* possui duas opções, *settings* e *open*, a primeira permite a configuração do arquivo de transferência e o segundo realiza a transferência para o programa do DesignBuilder.

A janela de configuração do *plugin* é relativamente simples e conta com três abas: *general*, *merge* e *Revit export* (figuras 31 e 32). A seguir:

Figuras 31 e 32: Opções do plugin do DesignBuilder no Revit (esq.) e janela de configuração do *plugin* mostrando a aba *general* (dir.).



GENERAL

Na primeira aba é possível controlar o comportamento na importação no DesignBuilder. Nela podem ser destacadas as seguintes opções:

PRIORITY

Esta opção permite definir se o sistema deve priorizar a redução de lacunas entre os blocos ou se deve visar minimizar a probabilidade de blocos com má formação serem gerados, em determinados casos até mesmo fechando blocos vazados.

ADJACENCY SEPARATION TOLERANCE (M)

Esta opção se refere à distância máxima entre as superfícies paralelas do arquivo Gbxml, que serão interpretadas como uma adjacência entre dois espaços. Esse valor pode ser equivalente à espessura das paredes mais espessas do projeto.

ADJACENCY ANGULAR TOLERANCE (°)

Similar a opção anterior. Permite determinar a tolerância do modelo com relação aos ângulos das superfícies.

INCLUDE THERMAL PROPERTIES

Se esta opção for selecionada, o DesignBuilder irá carregar quaisquer materiais que possuem propriedades térmicas atribuídas e estejam presentes no modelo Revit e atribuí-los às partições e janelas no modelo.

ALLOW OPEN MANIFOLD BUILDING BLOCK

Ao selecionar essa opção, o projetista permite a criação de blocos vazados no DesignBuilder. É relevante manter a opção ativada para constatar eventuais erros na importação da geometria. Uma vez que não se pode avaliar precisamente o bloco com erro se ele não for importado.

EXPORT AS BUILDING BLOCKS

Ao ativar essa opção, o modelo energético é convertido para o sistema de classificação em blocos, nativo do DesignBuilder.

INCLUDE SHADE SURFACES

Esse item permite a importação de geometrias que não compõe *rooms*, como, por exemplo, os beirais de um telhado. Por vezes essa superfície pode vir sobreposta ao elemento *roof*, no entanto, o próprio manual de utilização da desenvolvedora recomenda apagar esse elemento caso seja coplanar a superfície de um bloco.

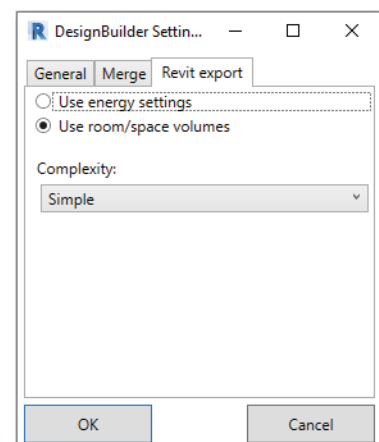
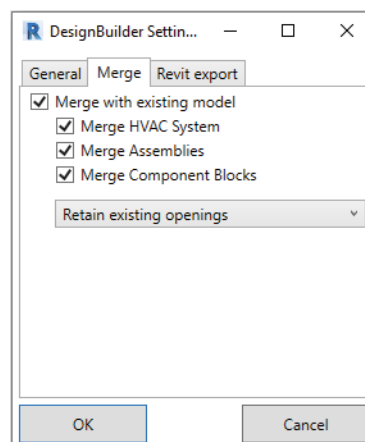
MERGE

As configurações na aba “Merge” permitem que você mantenha quaisquer configurações que possa ter adicionado ao trabalhar anteriormente no modelo dentro do DesignBuilder. Por vezes é preciso adaptar as alterações feitas no modelo Revit após um trabalho significativo ter sido realizado no modelo de energia em uma iteração anterior do projeto, ou seja, essa aba é comumente utilizada após ajustes realizados no projeto, para realizar novas simulações.

REVIT EXPORT

As configurações na aba de exportação do Revit fornece controle sobre o método de exportação a ser usado no final do processo de transferência do Revit. Ela permite selecionar a opção para especificar o nível de detalhe fornecido para aberturas e se as informações de superfície de sombreamento são exportadas. Também é possível aqui selecionar se o *plugin* usará os dados do modelo energético do Revit ou as informações de volume produzida pelas zonas, *rooms*.

Uma vez que todos os ajustes de configuração foram realizados, basta dar ‘ok’ na janela e clicar no ícone do DesignBuilder no *plugin* para abrir o projeto no programa.



Figuras 33 e 34: Janela de configuração do plugin do DesignBuilder para Revit, mostrando as abas *merge* (esq.) e *revit export* (dir.).

AJUSTE DO MODELO NO APLICATIVO BPS DESIGNBUILDER

Para realizar a transferência do modelo do Revit para o DesignBuilder é preciso que o programa DesignBuilder esteja fechado inicialmente. Ao clicar no ícone open no *plugin* do Revit, o programa DesignBuilder abre e carrega diretamente o modelo exportado. Após um tempo para carregamento, o aplicativo disponibiliza um resumo do que foi importado.

Neste momento, é possível revisar o modelo analítico e materiais importados, se a opção de importação tiver sido habilitada, e configurar outros parâmetros para realizar simulações de desempenho, como rotina, ventilação natural, condicionamento e aberturas. Além disso, aspectos importados do Revit podem ser editados e modificados.

Após esses ajustes, os mesmos procedimentos para extrair resultados que seriam realizados em um modelo criado inteiramente no DesignBuilder devem ser executados. Isso envolve configurar opções de extração de dados: como o período e a frequência dos dados analisados, e selecionar o formato de apresentação dos resultados.

4.3

ENSAIO MODELO 01

Como visto anteriormente, os ensaios partiram de um modelo simplificado, para a compreensão do processo com o mínimo de informações e elementos para reduzir possíveis problemas. Esse primeiro ensaio foi desenvolvido com o processo de controle e o PROCESSO BIM + BPS, com o modelo 01, que é um cubo composto de apenas um ambiente.

Para a rotina, foi escolhida uma que já era de conhecimento da autora pelos estudos prévios de simulação. Ela consiste em uma ocupação de dois usuários nos dias de semana durante todo o período da noite e no fim de semana no período da noite e nos horários próximos ao meio-dia.

Não foram previstas distribuição de ar, ventilação mecânica nem condicionamento artificial. Também não foram adicionadas informações relativas à iluminação, equipamentos eletrônicos, energia auxiliar ou controle de umidade. Para a extração de resultados foi configurado o período de avaliação dos resultados de 01 de janeiro a 31 de dezembro, com intervalos horários, resultando em 8.760 dados equivalentes às horas de um ano completo.

O primeiro teste foi realizado no DesignBuilder. O cubo foi inteiramente modelado no aplicativo, seguindo o processo descrito anteriormente. Foram inseridos os materiais, conforme a biblioteca de componentes construtivos brasileiros desenvolvida pelo Laboratório de eficiência energética em edificações — LABEEE, da Universidade Federal de Santa Catarina — UFSC. A rotina foi inserida no aplicativo e os dados da simulação do ambiente foram extraídos para uma tabela.

O processo do primeiro teste serviu de orientação para os procedimentos com o Revit e DesignBuilder. A modelagem foi conduzida no software BIM, o arquivo foi transferido para o DesignBuilder por meio do *plugin* com a configuração padrão. A geometria foi revisada, tendo sido constatada a equivalência das medidas do modelo analítico com o modelo geométrico em até três casas decimais e a fidelidade na função de todos os elementos. Só então as informações de materiais, rotina e ventilação foram inseridas. O modelo desenvolvido inicialmente no Revit é, portanto,

idêntico ao que foi modelado com o DesignBuilder. Por ser um teste inicial, visando avaliar a influência apenas da geometria no resultado, não foram adicionados os dados térmicos de materiais no Revit.

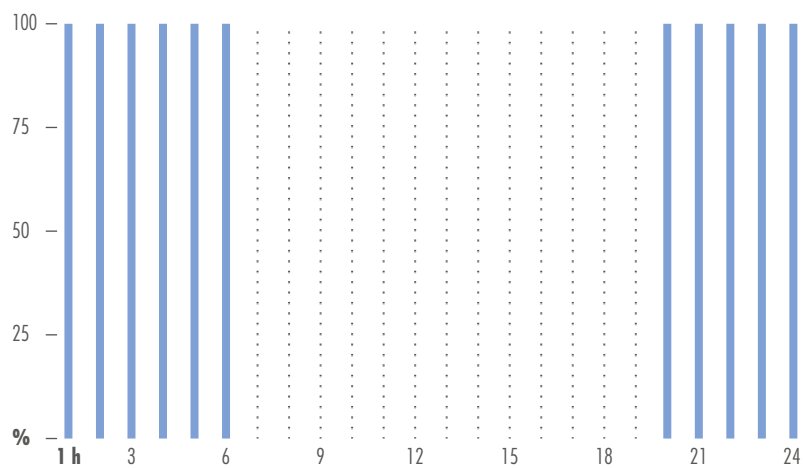


Figura 35: Gráfico de padrão de ocupação do modelo 01 nos dias de semana. Fonte: elaborado pela autora.

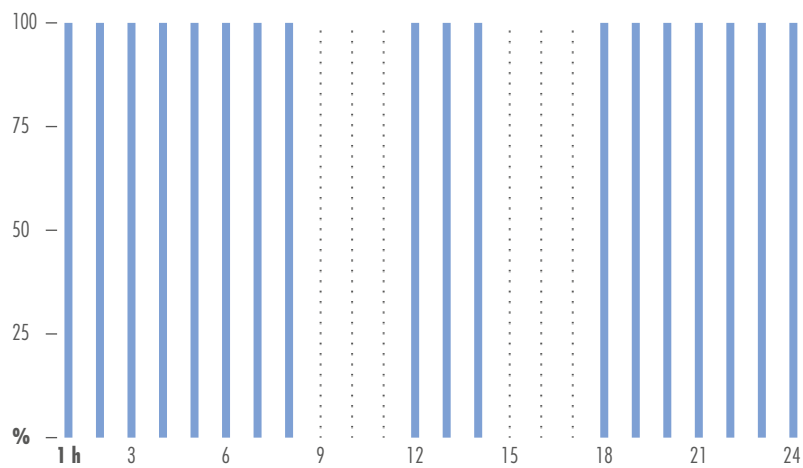


Figura 36: Gráfico de padrão de ocupação do modelo 01 nos finais de semana. Fonte: elaborado pela autora.

4.4

ENSAIO MODELO 02

Nos ensaios do modelo 02, além do aumento de complexidade da geometria, foram inseridos os dados de propriedades físicas dos materiais a partir da importação do Revit. No modelo anterior, os materiais utilizados em ambos os ensaios foram inseridos diretamente no DesignBuilder. Neste modelo foram também acrescentadas novas rotinas de uso conforme o regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais — RTQ-R.

O RTQ-R define algumas diretrizes para as simulações de desempenho em edificações. Neste ensaio foram consideradas as que dizem respeito a rotina, densidade e atividade metabólica. Relacionada às rotinas adotadas, a norma pede que sejam consideradas as funções dos ambientes e determinados horários e níveis de ocupação, como detalhado nas figuras 35, 36, 37 e 38. A tabela 05 detalha a atividade metabólica que deve ser empregada com o ambiente.

A norma também define a densidade de ocupação a ser utilizada conforme a função do ambiente, que pede para se considerar duas pessoas por quarto e todos os usuários dos quartos na sala durante os períodos em que não se encontram no interior dos dormitórios. Para tanto, consideram-se funções para os três ambientes, sendo o maior a sala e os dois menores quartos.

Além dos parâmetros mencionados, foi utilizada a biblioteca importada do LabEEE para os materiais. A simulação foi realizada nos três ambientes pelo método de controle no DesignBuilder e seus resultados foram extraídos para posterior comparação.

AMBIENTE	ATIVIDADE REALIZADA	CALOR PRODUZIDO (W/M ²)	CALOR PRODUZIDO PARA ÁREA DE PELE = 1,80 M ²
Sala	sentado ou assistindo TV	60	108
Dormitórios	dormindo ou descansando	45	81

Tabela 06: Taxas metabólicas para cada atividade. Fonte: RTQ-R. Adaptado pela autora.

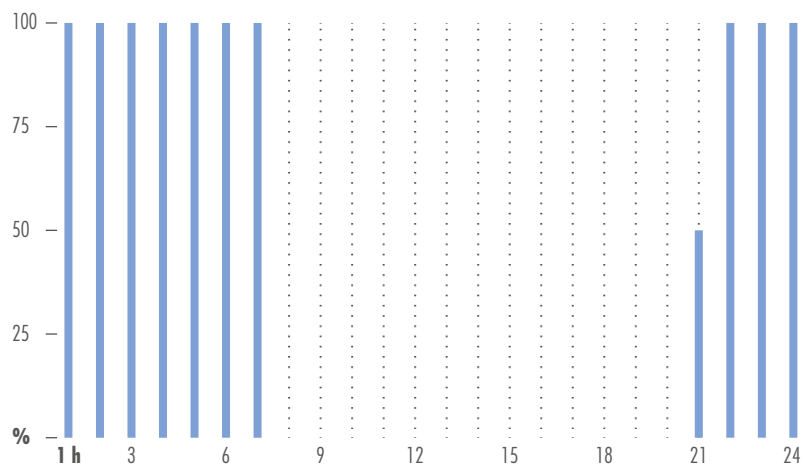


Figura 37: Gráfico de padrão de ocupação dos dormitórios do modelo 02 nos dias de semana. Fonte: elaborado pela autora.

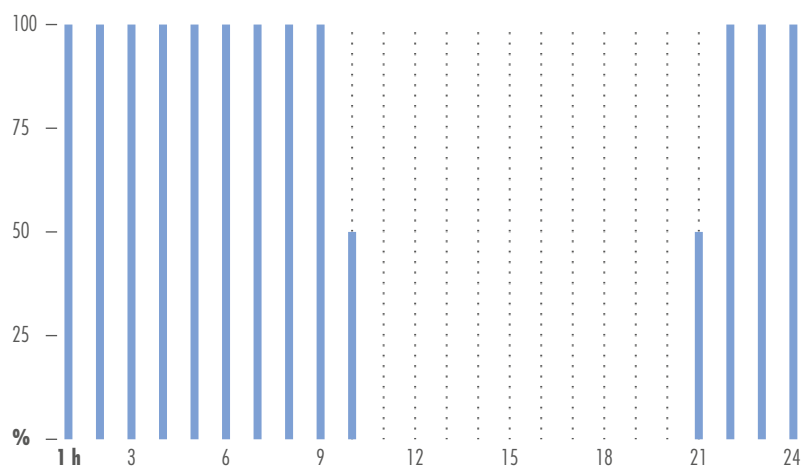


Figura 38: Gráfico de padrão de ocupação dos dormitórios do modelo 02 nos finais de semana. Fonte: elaborado pela autora.

Figura 39: Gráfico de padrão de ocupação da sala do modelo O2 nos dias de semana. Fonte: elaborado pela autora.

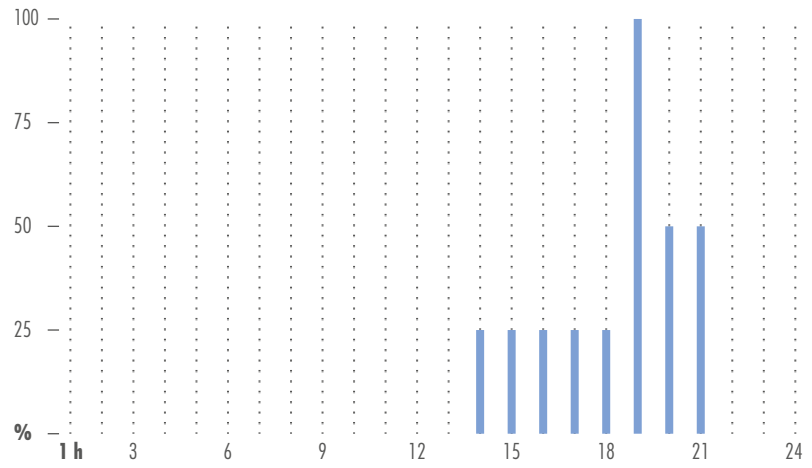
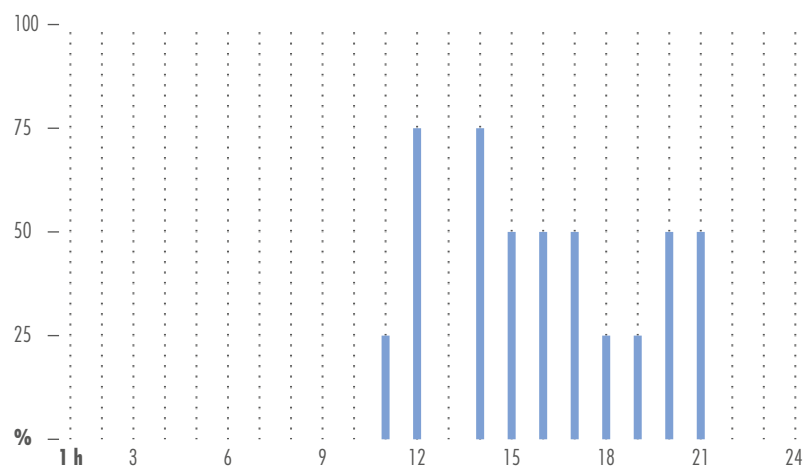


Figura 40: Gráfico de padrão de ocupação da sala do modelo O2 nos finais de semana. Fonte: elaborado pela autora.



No PROCESSO BIM + BPS, os parâmetros físicos dos materiais foram inseridos a partir do próprio software Revit. Para que seja realizada a leitura dos dados termais inseridos nos elementos, é preciso habilitar nas configurações de energia dentro do Revit a opção *detailed elements*. Outro ajuste que foi necessário diz respeito às unidades utilizadas no modelo, que considera para o calor específico a $J/g\ C^\circ$ como padrão no Revit. Diferente do DesignBuilder, que utiliza $J/Kg\ K$. Como a variação de um grau Celsius e um Kelvin é equivalente, é necessária a conversão apenas de gramas para quilogramas, ou o ajuste nas unidades do modelo no Revit para $J/Kg\ C^\circ$, que foi a opção escolhida. Deste modo foi possível garantir que os valores térmicos dos materiais nos dois métodos eram idênticos.

É possível inserir, nos materiais utilizados no aplicativo BIM, informações relacionadas às propriedades físicas pelo acionamento da aba *thermal*. Essa aba possibilita ajustar parâmetros como: condutividade térmica, calor específico, densidade, emissividade, permeabilidade, porosidade entre outros (figura 41).

Também pode-se escolher as propriedades térmicas segundo materiais pré-definidos na biblioteca do programa. Neste caso foram escolhidos materiais similares aos utilizados

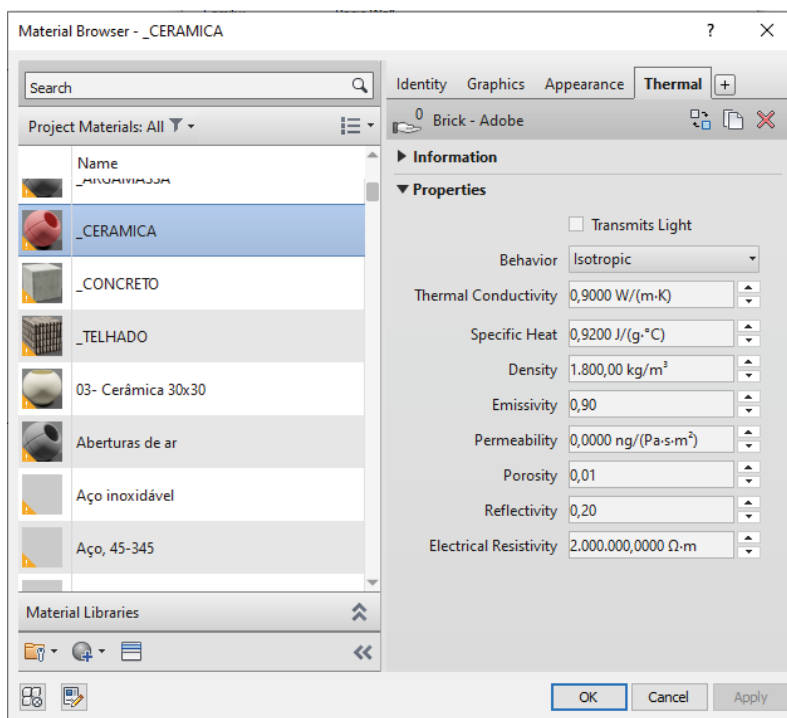


Figura 41: Aba *thermal* na janela configuração de materiais do Revit, onde os parâmetros térmicos são inseridos e modificados.

no processo de controle. No entanto, os valores das propriedades físicas atreladas a esses materiais divergem dos indicados pela ABNT, por isso eles foram ajustados conforme a biblioteca utilizada no ensaio com o DesignBuilder nos seguintes parâmetros: condutividade térmica, calor específico e densidade. Garantem-se assim que os dados de materialidade são idênticos aos usados no DesignBuilder, provenientes da biblioteca de materiais do LabEEE.

Para distinguir os arquivos de cada processo e seus elementos, foram nomeadas todas as famílias e materiais novos no Revit, assim como os materiais usados no DesignBuilder. Os arquivos também foram organizados e nomeados conforme o modelo e o processo. Alguns materiais foram ajustados no DesignBuilder a partir da biblioteca importada, em relação à espessura e/ou número de camadas, nunca em seus dados térmicos. No Revit todas as famílias e os materiais utilizados foram criados ou adequados para o processo e os dados térmicos foram equiparados à biblioteca importada.

Durante a configuração do modelo 02, foram realizados alguns testes auxiliares, para avaliar o comportamento da importação dos materiais. O modelo foi replicado e configurado com o mesmo material em todos os elementos, os mesmos utilizados no ensaio. Assim foi possível verificar se esses dados sofreram algum tipo de modificação de acordo com posicionamento e aplicação em famílias distintas. Neste teste não houve modificação nos dados importados.

Com todas as informações de materiais atribuídas corretamente, o modelo é transferido para o DesignBuilder pelo *plugin* no Revit. A geometria foi revisada, constatando a equivalência entre os modelos analíticos e geométricos, e uma vez constatada a transferência sem divergências na geometria, parte-se para a avaliação dos dados de transmitância dos materiais.

É de extrema importância ressaltar que: apesar de os dados térmicos inseridos no Revit serem idênticos aos fornecidos pela biblioteca importada no DesignBuilder e dos dados de transmitância desses materiais após a transferência não divergirem — sendo idênticos até a terceira casa decimal — o Revit apresenta em sua interface valores de transmitância e resistência térmica incompatíveis com os calculados

Modelo 02

MATERIAL	CONDUTIVIDADE	CALOR ESPECÍFICO	DENSIDADE
Cerâmica	0,90 W/M K	920,00 J/KG °C	2290,00 KG/M ³
Concreto	1,75 W/M K	1000,00 J/KG °C	2400,00 KG/M ³

DADOS CLIMÁTICOS

São Paulo (aeroporto) - ASHRAE / IWEC

Ocupação, rotinas e taxas metabólicas

Regulamento técnico de qualidade (residencial) - RTQ-R

ABERTURAS

Portas 100% de abertura durante todo o período de ocupação

Janelas abertura de 50% durante todo o período de ocupação

ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS

Opções desativadas - não foram considerados

CLIMATIZAÇÃO (HVAC)

Ventilação natural com 3 trocas de ar por hora vinculado a rotina

Tabela 07: Síntese dos dados inseridos na simulação do modelo 02. Fonte: elaborado pela autora.

no PROCESSO CONTROLE. Esses dados também são incorretos se comparados com os valores lidos pelo DesignBuilder após o uso do *plugin* no Revit e com os valores calculados manualmente também. Esta divergência de valores, apesar de atípica, não interfere no processo, pois após a transferência o DesignBuilder não considera este cálculo prévio equivocado feito pelo Revit. É possível inferir que o aplicativo BPS importa os dados diretamente da aba *thermal* e faz o cálculo de transmitância com base nesses valores.

Portanto, apesar dessa situação, o PROCESSO BIM + BPS segue com a inclusão das informações de rotina e ventilação. Com todos os dados inseridos, a simulação é conduzida conforme o procedimento padrão no DesignBuilder. Ao término, seus dados são exportados para uma planilha e comparados com o PROCESSO CONTROLE.

4.5

ENSAIO MODELO 03

Como nos modelos anteriores, foi realizada a modelagem do projeto primeiramente no DesignBuilder, considerando como ponto de partida dos ensaios a seguinte combinação: zona 03, paredes em tijolo cerâmico, cor clara, orientação dos quartos oeste. Dentre os materiais que não irão mudar durante os ensaios estão: piso em concreto maciço de dez centímetros, forro em concreto maciço de cinco centímetros, portas em madeira e janelas com folhas de vidro e estrutura metálica.

Para as paredes, foi considerado um material composto, de cinco camadas, sendo: argamassa, tijolo, ar, tijolo e argamassa (figura 42). Esse material será ajustado segundo as variáveis citadas no capítulo anterior, sendo o material do tijolo de cerâmica ou concreto e a cor da argamassa clara ou escura.

Neste modelo foram mantidas as condições de rotina e atividade metabólica aplicadas no modelo 02 segundo a RTQ-R. A densidade por ambiente, por ser um parâmetro que depende do metro quadrado, difere em valores do modelo 02, porém utiliza o mesmo cálculo proposto pela norma RTQ-R.

Como no modelo anterior, também foram mantidas as condições de ventilação natural no modelo, com infiltração de ar determinada por padrão no aplicativo e três trocas de ar por hora. Os resultados extraídos e considerados para comparação são os dados horários de temperatura operativa dos dois ambientes de permanência prolongada, quartos 01 e 02.

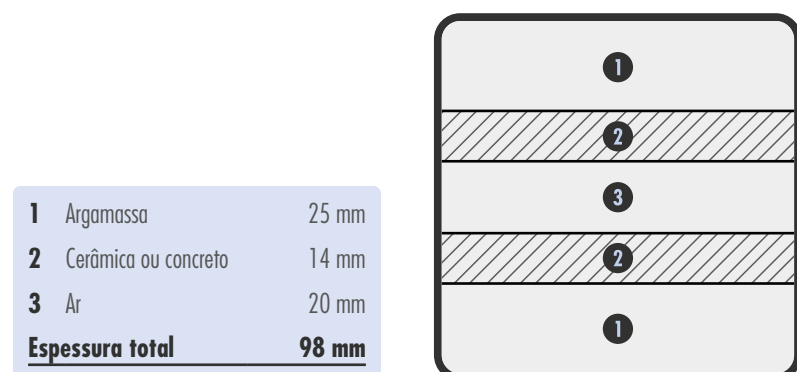


Figura 42: Esquema da composição da parede do modelo 03. Fonte: elaborado pela autora.

Modelo 03

MATERIAL	CONDUTIVIDADE	CALOR ESPECÍFICO	DENSIDADE
Argamassa	1,15 W/m K	1000,00 J/kg °C	2000,00 kg/m ³
Cerâmica	0,90 W/m K	920,00 J/kg °C	2290,00 kg/m ³
Concreto	1,75 W/m K	1000,00 J/kg °C	2400,00 kg/m ³
Volume de ar	0,3 W/m K	1000,00 J/kg °C	1000,00 kg/m ³

DADOS CLIMÁTICOS

São Paulo (aeroporto) - ASHRAE / IWECC

Fortaleza (aeroporto) - ASHRAE / IWECC

OCUPAÇÃO, ROTINAS E TAXAS METABÓLICAS

Regulamento técnico de qualidade (residencial) - RTQ-R

ABERTURAS

Portas 100% de abertura durante todo o período de ocupação

Janelas Abertura de 50% durante todo o período de ocupação

ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS

Opções desativadas - não foram considerados

CLIMATIZAÇÃO (HVAC)

Ventilação natural com 3 trocas de ar por hora vinculado a rotina

Tabela 08: Síntese dos dados inseridos na simulação do modelo 03. Fonte: elaborado pela autora.

O modelo foi então submetido ao PROCESSO CONTROLADO e em seguida foi iniciado o procedimento com o PROCESSO BIM + BPS. A modelagem seguiu as mesmas configurações no DesignBuilder, de materialidade, espessura de objetos paramétricos, orientação do modelo e características físicas dos materiais.

No entanto, por conta da modelagem mais complexa, o modelo que seria inicialmente utilizado precisou ser ajustado. Após a transferência, tanto o ambiente integrado como o telhado apresentaram falhas por conta de vazamentos.

O ambiente integrado, importado com vazamentos, foi ajustado com a divisão do espaço por uma parede e uma porta. O manual do *plugin*, disponibilizado pela desenvolvedora, indica o uso de um elemento de divisória para rooms — o *room boundary*. Essa opção foi considerada, mas descartada por enclausurar os ambientes, impedindo a ventilação. Outras soluções também são viáveis, mas não

foram necessárias, pois a inserção da parede com a porta foi bem sucedida na importação.

No bloco correspondente ao espaço entre o telhado e o forro, que da mesma maneira apresentou inconsistências ainda maiores que no outro ambiente, também foram realizados ajustes de modelagem. No entanto, para realizar tais ajustes foi preciso antes identificar as causas do erro. Mediante diversos testes e transferências, foi observada a dificuldade de leitura do modelo analítico a partir de determinadas condições.

Para identificar os problemas no modelo analítico exportado é preciso verificar em ambos os programas. No Revit, é preciso conferir as falhas nas zonas na janela de exportação Gbxml, mesmo formato utilizado pelo *plugin* do DesignBuilder no Revit, que apresenta um diagnóstico de erros simplificado e possibilita a correção da modelagem.

Ainda no Revit, acessível pela área de trabalho, é possível criar um modelo energético na aba *analyse*. O modelo analítico criado serve para análise de desempenho interno do Revit e não acompanha posteriores edições do modelo geométrico, sendo necessário excluir e criar novamente esse modelo para acompanhar as modificações realizadas. A criação do modelo energético, sua posterior exclusão dentro do Revit ou a edição do modelo geométrico não interfere no processo de exportação para o DesignBuilder, que importa as informações atualizadas das zonas existentes no modelo BIM. Por conta disso, alguns erros não foram identificados através da conferência do modelo energético no Revit.

No DesignBuilder, assim que o programa abre após a transferência pelo *plugin* no Revit é possível ter acesso a um relatório de importação. Por meio de uma janela *pop-up* é possível escolher entre a visualização ou não deste relatório, que informa o número de blocos e zonas importados e possíveis erros. Esses erros são descritos de forma sucinta em ambos os relatórios, destacando se existem vazamentos, que são formas incompletas ou com brechas, e em qual bloco estão localizados. Para identificar o local exato do vazamento é necessária a observação minuciosa do projetista, pelo Revit e pelo DesignBuilder. Assim, é preciso especial atenção à modelagem e posterior correção de erros encontrados.

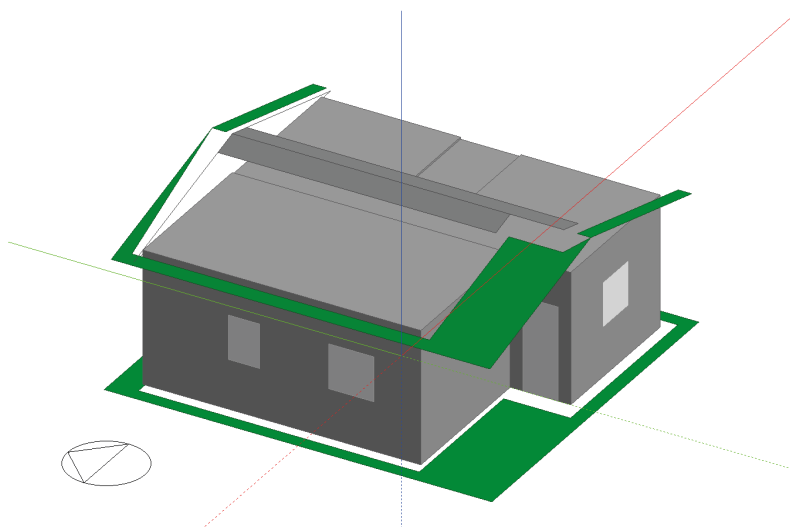


Figura 43: Modelo 03 em uma das transferências realizadas com problema de vazamentos nos blocos.

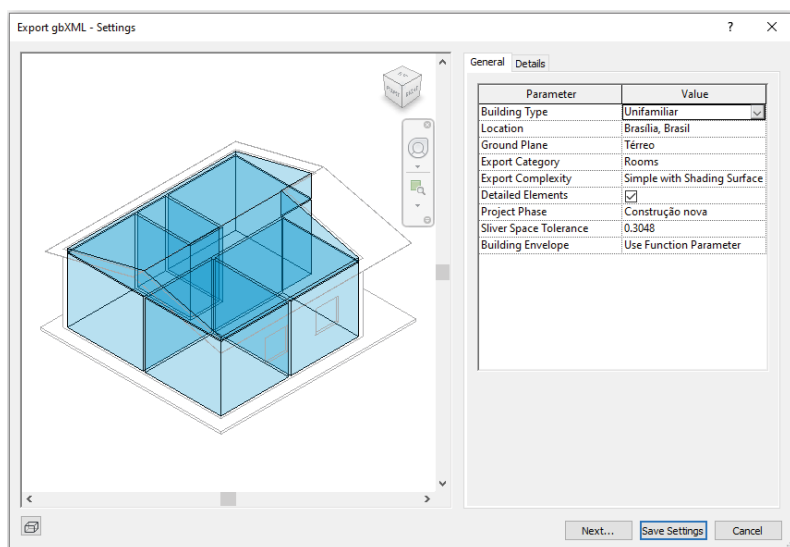


Figura 44: Janela de conferência do modelo energético ao exportar no formato Gbxml.

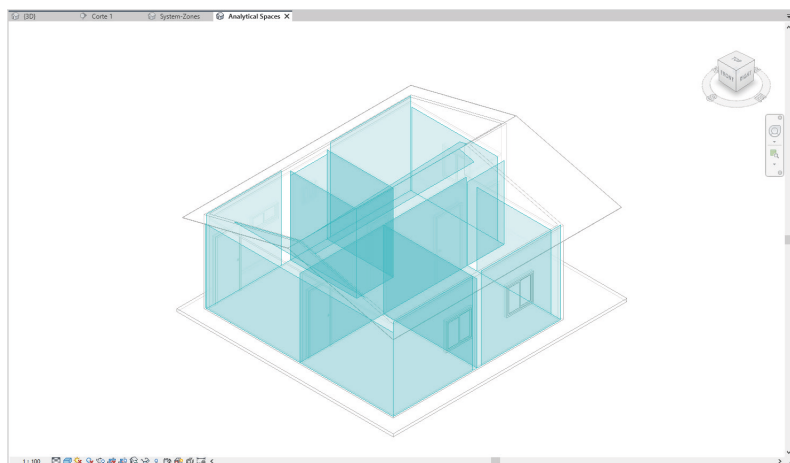


Figura 45: Visualização do modelo analítico a partir da aba analyse no Revit.

A partir dos erros de geometria e dos processos de conferência citados foi possível identificar algumas características do processo de análise a partir do *plugin* do DesignBuilder para o Revit, tais como:

- O DesignBuilder considera o eixo central da parede para posicionar a partição, independente da opção de eixo selecionada no Revit;
- Para maior chance de uma transferência sem erros, é recomendado alinhar os eixos de objetos diferentes, por exemplo, alinhar o eixo da parede com a cumeeira do telhado;
- Detalhes de modelagem com medidas inferiores a nove centímetros apresentaram inconsistências;
- Inclinação de telhados apresentam mais chances de causar vazamentos no modelo analítico;
- Um número maior de elementos implica numa maior probabilidade de erros, ainda que esses elementos sejam compostos pelo mesmo material e estejam posicionados no mesmo plano.

O alinhamento desses pontos para solucionar os vazamentos do bloco do telhado possibilitou a importação da zona do ambiente integrado também sem falhas, ou seja, os ajustes feitos anteriormente que resolveram os vazamentos no telhado corrigiram outras falhas. O modelo ajustado para análise difere do inicialmente considerado na geometria, nos seguintes pontos:

- Substituição dos forros de concreto, antes modelados por ambiente, por um único forro acima das paredes internas, abrangendo toda a projeção de planta baixa;
- Rebaixo do forro de concreto em nove centímetros para evitar o encontro direto com o telhado, que formava um ângulo de vinte e cinco graus;
- Alinhamento do eixo da parede central do projeto com a cumeeira do telhado.

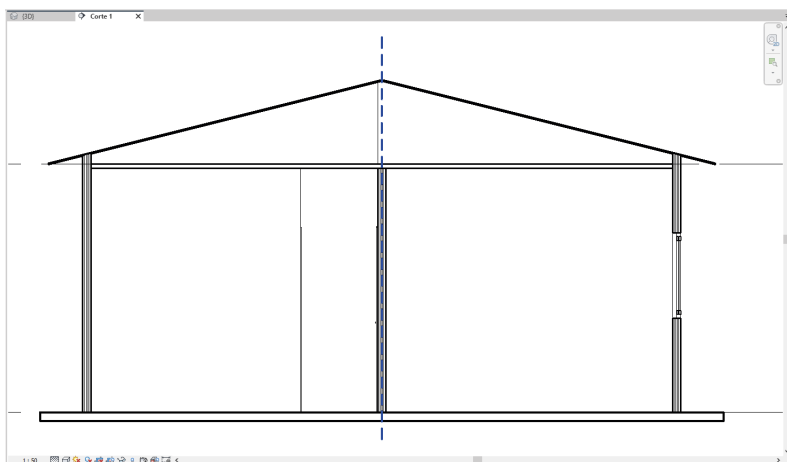


Figura 46: Ajuste de modelagem no revit que mostra o alinhamento do eixo central da parede com a cumeeira do telhado.

Uma vez que o modelo foi exportado com a geometria correta, foi realizada a equivalência do arquivo do processo de controle, garantindo, assim, a simetria dos métodos para uma análise comparativa consistente.

Com os dados do modelo de controle extraídos, partiu-se para a conferência das informações térmicas importadas dos materiais do Revit. As informações relacionadas aos materiais podem ser encontradas após a transferência dentro do modelo nas partições. Apenas um material apresentou problema nessa transferência, o que foi utilizado no telhado. Os demais materiais, inclusive o da parede, sendo composto, apresentou o mesmo valor de transmitância do modelo de controle.

Foram testados diferentes materiais nas superfícies inclinadas: telha de barro, fibrocimento, alumínio, aço e concreto em diferentes espessuras. Os materiais base foram fornecidos tanto da biblioteca importada como da biblioteca padrão do DesignBuilder. Os valores de transmitância variaram positiva e negativamente em relação à referência, enquanto as espessuras se mantiveram consoante o colocado no Revit.

Foi considerado a princípio que essa diferença partiu dos dados do DesignBuilder, pois alguns dos valores que chegavam no programa através do *plugin* se assemelhavam mais com os calculados manualmente do que os que foram inseridos diretamente no DesignBuilder. Para garantir que não existia nenhuma falha do programa, o DesignBuilder foi atualizado para uma nova versão e todos os ensaios anteriores foram refeitos. O problema encontrado no modelo 03,

no entanto, persistia, então foi preciso adaptar novamente o modelo para viabilizar os testes com o uso das variáveis.

Foram consideradas: a exclusão do bloco de telhado, a utilização de um telhado sem inclinação e a substituição do bloco de telhado por um *shade plane*. Os *shade planes* são criados pelo *plugin* do DesignBuilder nos elementos de cobertura, podendo ou não se sobrepor a eles. Esses elementos só são criados se na aba de configuração do *plugin* for selecionada alguma opção que também contenha o *shade plane*. O manual de transferência explica que esses podem vir sobrepostos a alguma superfície de cobertura, e que se assim for, podem ser deletados uma vez que estão no DesignBuilder.

Nenhuma das opções consideradas foi utilizada, visto que alteraria novamente a geometria, que já tinha sido importada corretamente, ou seja, o modelo geométrico desenvolvido no Revit equivale ao modelo analítico importado no Designbuilder. No modelo 03, foram importados dois *shade planes*, correspondentes aos beirais do telhado. Dessa forma, o modelo geométrico se aproxima muito do que ocorre na realidade, pois o bloco considera o ambiente com um bolsão de ar e os beirais são calculados apenas como elementos de sombreamento.

Por padrão, o DesignBuilder atribui materiais para todos os elementos da edificação, seja na criação de um novo projeto ou na importação de um arquivo. Se valendo dessa característica do programa, foi, portanto, removida a propriedade térmica do material do telhado, que passou a ter o material padrão de telhado do DesignBuilder.

Durante os testes foi possível observar também que as informações de absorvância solar, relacionada a cor da envoltória, não são interpretadas após a transferência. Por isso, foram inseridas manualmente no DesignBuilder após a importação. Uma vez que as intercorrências foram resolvidas, todas as simulações com as variações indicadas anteriormente foram com sucesso realizadas nos dois processos.

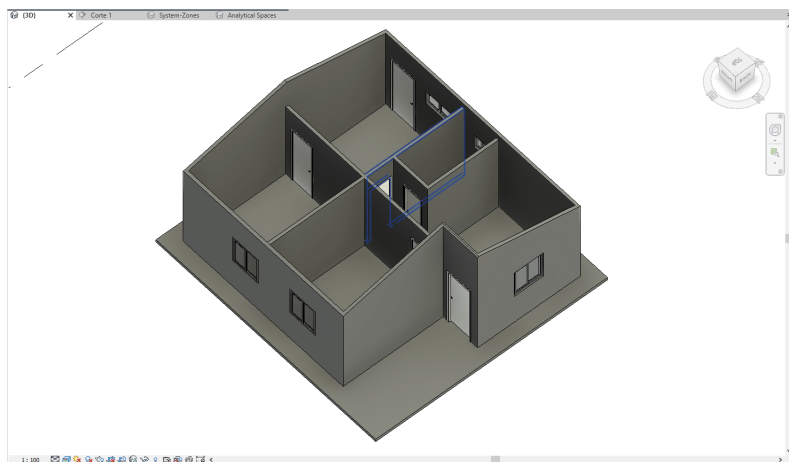


Figura 47: Parede e porta inseridos na modelagem para evitar os vazamentos no ambiente integrado.

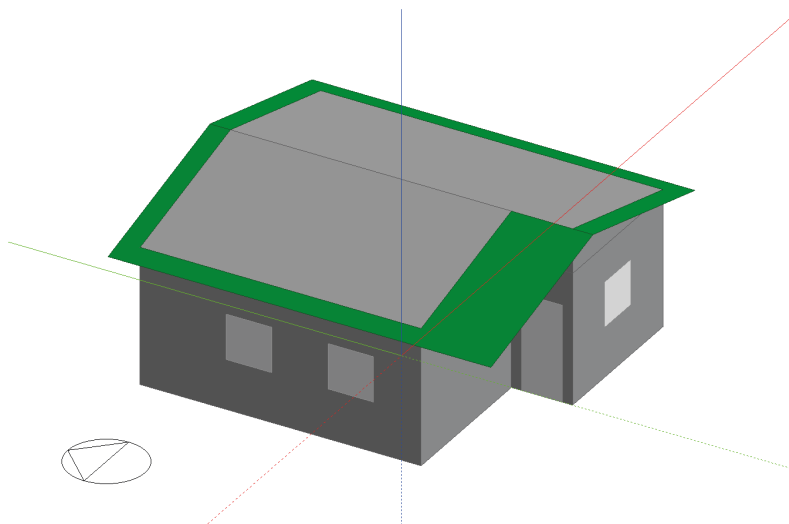


Figura 48: Modelo 03 importado sem erros de geometria no ambiente integrado — sala-cozinha.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão abordados todos os resultados e observações encontrados durante os ensaios. Entende-se como resultados neste trabalho a análise comparativa dos valores extraídos de cada simulação. Os dados de temperatura operativa sob a ótica do conforto térmico não fazem parte dos objetivos do projeto. Além disso, serão expostas às diferenças entre os processos e seu comportamento a cada modelo estudado.

5.1 RESULTADOS COMPARATIVOS

As comparações dos dados de temperatura operativa foram realizadas considerando sempre os mesmos modelos, com configurações, materialidade e demais aspectos equivalentes. A única diferença consiste apenas no processo adotado.

A conferência dos dados foi calculada inicialmente por subtração simples e considerou números absolutos, ou seja, sem distinção se a alteração do valor foi positiva ou negativa. Cada conjunto de dados foi equiparado com seu correspondente, por exemplo, no modelo 01 foram extraídos 8.760 dados da simulação controle apenas de um ambiente, comparados com os mesmos 8.760 dados do processo sob análise. Cada dado horário foi subtraído de seu correspondente, gerando um valor, que foi compilado e classificado. Em seguida foram observadas se as variações eram positivas ou negativas, observável nos gráficos de dispersão.

Por conta das intercorrências apresentadas no modelo 03, os ensaios dos modelos 01 e 02 foram refeitos com a versão mais atual do DesignBuilder — 7.2.0.032. Numa breve comparação dos dados entre as versões não foram encontradas diferenças de resultados substanciais, nem mudança de padrões, ainda assim, os resultados abordados incluem apenas os que foram obtidos pela versão mais recente.

5.1.1 RESULTADOS MODELO 01

O modelo 01 no PROCESSO BIM + BPS apresentou uma transferência perfeita de geometria. Todas as dimensões chegaram ao software do DesignBuilder idênticas ao que foi inserido no Revit, assim como as funções de cada elemento.

Neste modelo não foram consideradas as propriedades físicas dos materiais, esses dados não foram, portanto, importados no Revit, e nem inseridos no DesignBuilder. Foi realizada a comparação direta de um único ambiente, sem quaisquer variações.

O que foi possível observar na comparação dos dados extraídos foi a inexistência de ocorrências a partir de 1 °C e uma ocorrência apenas no intervalo de 0,1 a 0,9 grau de 0,12 grau. Quatro valores vieram idênticos e a maior parte dos valores — 94,46% — apresentou uma diferença mínima, inferior a 0,01 grau. Quatrocentos e oitenta resultados apresentaram uma diferença dentro do intervalo de 0,01 e 0,09 grau equivalente a 5,48%. No gráfico de dispersão, os dados positivos e negativos se mantiveram equilibrados. É possível notar também que grande parte dos resultados está abaixo de 0,01. Alguns poucos resultados divergem mais sem uma aparente repetição.

É curioso observar a existência de diferença nos dados, ainda que mínima, considerando que boa parte das informações foi inserida da mesma forma no DesignBuilder e que não foram percebidas diferenças entre os modelos em relação à geometria.

Tabela 09: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes ao modelo 01.

Modelo 01		
MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
>1°	0	0,00%
0,1° a 0,9°	1	0,01%
0,01° a 0,09°	480	5,48%
< 0,01°	8275	94,46%
RESULTADOS IGUAIS	4	0,05%
	8760	100,00%

MÁX: 0,12° | MÍN: 0,00°

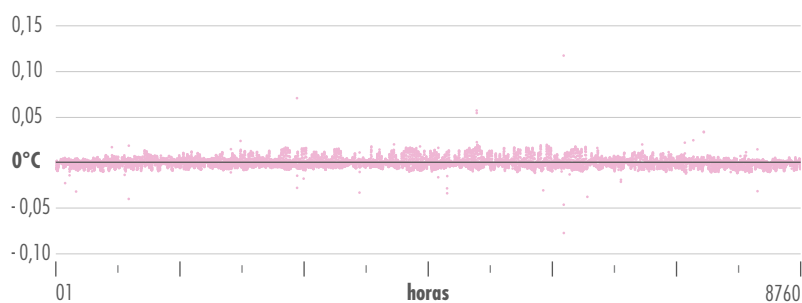


Figura 49: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes ao modelo 01.

5.1.2 RESULTADOS MODELO 02

No modelo 02, foram analisados os resultados dos três ambientes do modelo. Cada ambiente forneceu 8.760 dados horários para cada processo. Nesse caso, foram feitas três comparações em relação ao PROCESSO BIM + BPS e o PROCESSO CONTROLE.

Os ambientes apresentaram um padrão na divergência dos dados, sendo a maior parte das ocorrências encontrada no intervalo de 0,1 a 0,9 grau, sempre com amostragem superior a 80%. Os resultados com diferença entre 0,01 e 0,09 grau são nos três ambientes a segunda maior parcela de dados. O ambiente da sala foi o único dos três que não apresentou variação igual ou maior que 1 grau, nos quartos 01 e 02, foram, respectivamente, 41 e 48 ocorrências, que correspondem a 0,47% e 0,55% do total de horas.

Assim como o primeiro modelo, a geometria não apresentou erros, divergência nas medidas, nem mudança de função dos objetos paramétricos. Antes de realizar a simulação, foi realizada também a conferência dos dados físicos dos materiais importados, todos os materiais escolhidos chegaram

Modelo 02 - SALA DE ESTAR

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
>1°	0	0,00%
0,1° a 0,9°	7270	82,99%
0,01° a 0,09°	1352	15,43%
<0,01°	138	1,58%
	8760	100,00%

MÁX: 0,99749° | MÍN: 0,00012°

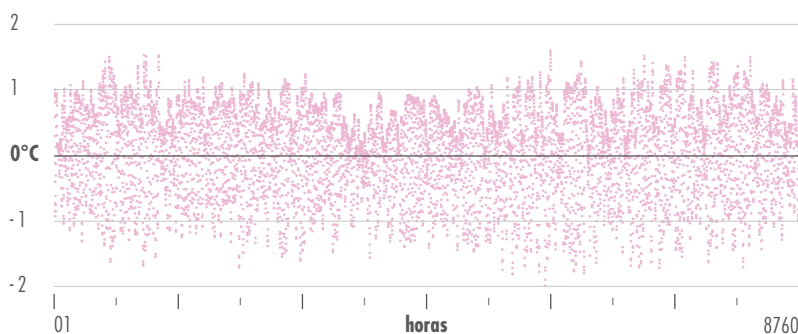


Tabela 10: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a sala de estar do modelo 02.

Figura 50: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a sala de estar do modelo 02.

no DesignBuilder com valores de transmitância idênticos aos adotados no seu correspondente controle.

Em nenhum dos ambientes foi encontrado valor idêntico. Na sala, a maior diferença encontrada foi de 0,99 graus. No quarto 01, o maior valor de ocorrência foi de 1,82 graus e no quarto 2, 1,80 graus. Nos três gráficos de dispersão é possível observar que as divergências positivas e negativas estão equilibradas e que os dados negativos estão um pouco mais dispersos do que os positivos. No centro do gráfico, nos três ambientes, entre os meses de maio e julho existe uma divergência menor de valores em relação ao restante do ano, não sendo encontrado outro padrão entre eles.

Modelo 02 - Quarto 01

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
> 1,5°	41	0,47%
1° a 1,5°	476	5,43%
0,1° a 0,9°	7362	84,04%
0,01° a 0,09°	803	9,17%
< 0,01°	78	0,89%
	8760	100,00%

MÁX: 1,8263° | MÍN: 0,0001°

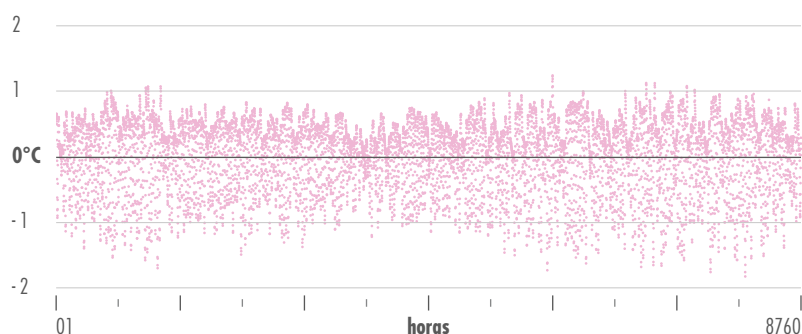


Tabela 11: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes ao quarto 01 do modelo 02.

Figura 51: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes ao quarto 01 do modelo 02.

Modelo 02 - Quarto 02

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
> 1,5°	48	0,55%
1° a 1,5°	536	6,12%
0,1° a 0,9°	7338	83,77%
0,01° a 0,09°	750	8,56%
< 0,01°	88	1,00%
	8760	100,00%

MÁX: 1,80506° | MÍN: 0,0002°

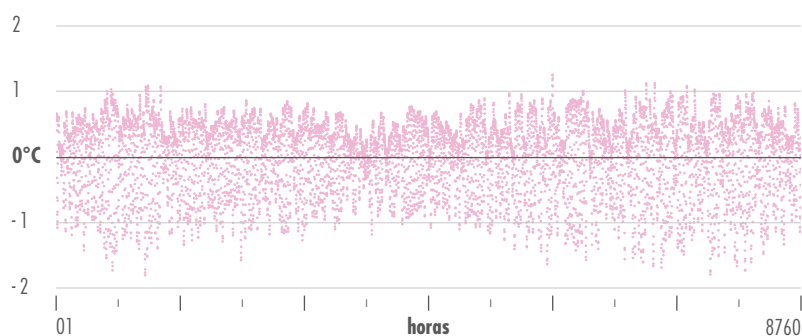


Tabela 12: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes ao quarto 02 do modelo 02.

Figura 52: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes ao quarto 02 do modelo 02.

5.1.3

RESULTADOS MODELO 03

No modelo 03, foram extraídos 32 conjuntos de resultados do PROCESSO CONTROLE e 32 do PROCESSO BIM + BPS. Sendo desses 32 conjuntos, 16 simulações para cada processo. Os resultados provenientes das combinações de variáveis no modelo foram comparados entre si com seus equivalentes.

Por conta do volume de dados, os resultados foram organizados em duas tabelas e nomeados com uma letra e um número, sendo:

Letra — combinação de variáveis

1. relativo ao quarto um
2. relativo ao quarto dois

Foram nomeados os arquivos conforme a ordem que a simulação foi realizada, resultando na sequência a seguir:

COMBINAÇÃO DE VARIÁVEIS	VARIÁVEL 1	VARIÁVEL 2	VARIÁVEL 3	VARIÁVEL 4
	LOCALIZAÇÃO	MATERIAL	COR	ORIENTAÇÃO SOLAR
A	ZONA 03	CERÂMICA	CLARO	OESTE
B	ZONA 08	CERÂMICA	CLARO	OESTE
C	ZONA 03	CERÂMICA	CLARO	LESTE
D	ZONA 08	CERÂMICA	CLARO	LESTE
E	ZONA 03	CERÂMICA	ESCURO	OESTE
F	ZONA 08	CERÂMICA	ESCURO	OESTE
G	ZONA 03	CERÂMICA	ESCURO	LESTE
H	ZONA 08	CERÂMICA	ESCURO	LESTE
I	ZONA 03	CONCRETO	CLARO	OESTE
J	ZONA 08	CONCRETO	CLARO	OESTE
K	ZONA 03	CONCRETO	CLARO	LESTE
L	ZONA 08	CONCRETO	CLARO	LESTE
M	ZONA 03	CONCRETO	ESCURO	OESTE
N	ZONA 08	CONCRETO	ESCURO	OESTE
O	ZONA 03	CONCRETO	ESCURO	LESTE
P	ZONA 08	CONCRETO	ESCURO	LESTE

Tabela 13: Nomeclatura das combinações de variáveis usadas nos ensaios referentes ao modelo 03. Fonte: elaborado pela autora.

Os arquivos utilizados foram nomeados com a abreviação do nome do software utilizado para modelagem — DB para DesignBuilder e RVT para Revit, as letras equivalem à variação e sua descrição.

Foi possível notar que em todas as variações, a maior parte das ocorrências se situa entre 0,1 e 0,9 graus, variando entre 62,81% a 84,14% do total de resultados. Foi observado também que os resultados máximos mais altos são de cores escuras com orientação oeste, enquanto os resultados máximos mais baixos são de cores claras com orientação leste. As variações que apresentaram valores médios mais próximos ao de referência foram A, C, I e K. Ainda relacionado aos valores médios de discrepância por ambiente, o menor valor encontrado corresponde ao quarto 01 da variação A, com 0,20 graus e o mais alto no quarto 02 na variação N, com 0,42 graus.

Pelos gráficos de dispersão é possível observar que apenas o quarto 02 da variação H apresentou mais ocorrências positivas. Todas as outras séries de resultados contam com predominância de valores negativos. Nenhuma variação teve como totalidade de dados resultados negativos ou positivos.

Os gráficos de dispersão apresentam uma distribuição uniforme dos dados durante o ano, dois se diferenciam no formato: o quarto 02 da variação H, que possui um formato de ‘U’ e o quarto 02 da variação M, que tem uma dispersão maior de dados.

Tabela 14: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação A do quarto 01 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 01 [COMPARAÇÃO A | ZONA 03 | CERÂMICA | CLARO | OESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	24	0,27%
0,1° a 0,9°	5502	62,81%
0,01° a 0,09°	2907	33,18%
< 0,01°	327	3,73%
	8760	100,00%

MÁX: 1,1332 | MÍN: 0,00006°

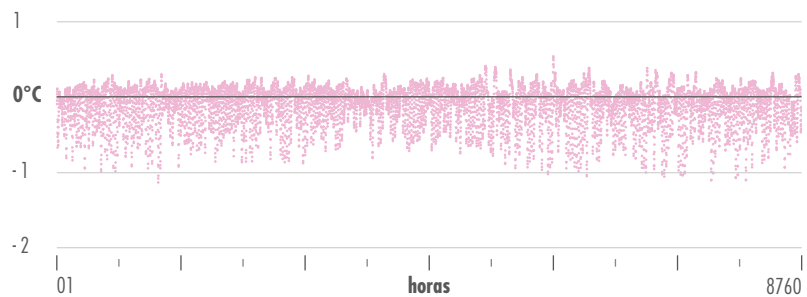


Figura 53: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação A do quarto 01 do modelo 03.

Tabela 15: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação A do quarto 02 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 02 [COMPARAÇÃO A | ZONA 03 | CERÂMICA | CLARO | OESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	68	0,78%
0,1° a 0,9°	5649	64,49%
0,01° a 0,09°	2757	31,47%
< 0,01°	286	3,26%
	8760	100,00%

MÁX: 1,21681° | MÍN: 0,00°

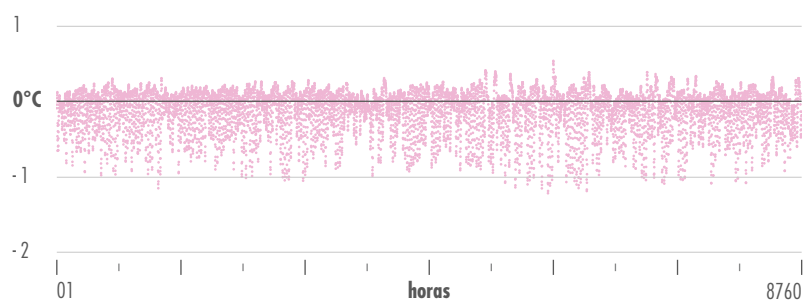


Figura 54: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação A do quarto 02 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 01 [COMPARAÇÃO B | ZONA 08 | CERÂMICA | CLARO | OESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	18	0,21%
0,1° a 0,9°	6266	71,53%
0,01° a 0,09°	2243	25,61%
< 0,01°	233	2,66%
	8760	100,00%

MÁX: 1,06135° | MÍN: 0,00005°

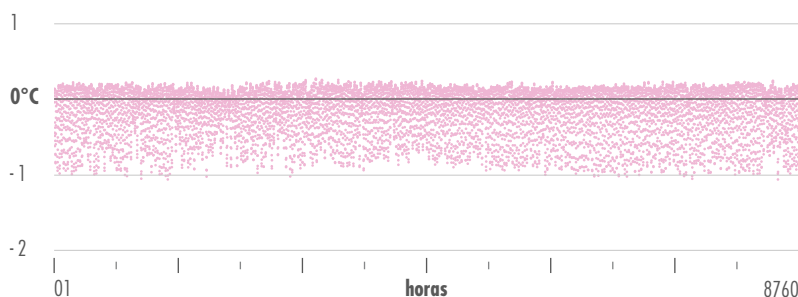


Tabela 16: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação B do quarto 01 do modelo 03.

Figura 55: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação B do quarto 01 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 02 [COMPARAÇÃO B | ZONA 08 | CERÂMICA | CLARO | OESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	20	0,23%
0,1° a 0,9°	6387	72,91%
0,01° a 0,09°	2147	24,51%
< 0,01°	206	2,35%
	8760	100,00%

MÁX: 1,07904° | MÍN: 0,00008°



Tabela 17: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação B do quarto 02 do modelo 03.

Figura 56: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação B do quarto 02 do modelo 03.

Tabela 18: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação C do quarto 01 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 01 [COMPARAÇÃO C | ZONA 03 | CERÂMICA | CLARO | LESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	0	0,00%
0,1° a 0,9°	5801	66,22%
0,01° a 0,09°	2676	30,55%
< 0,01°	283	3,23%
	8760	100,00%

MÁX: 0,90538° | MÍN: 0,00003°

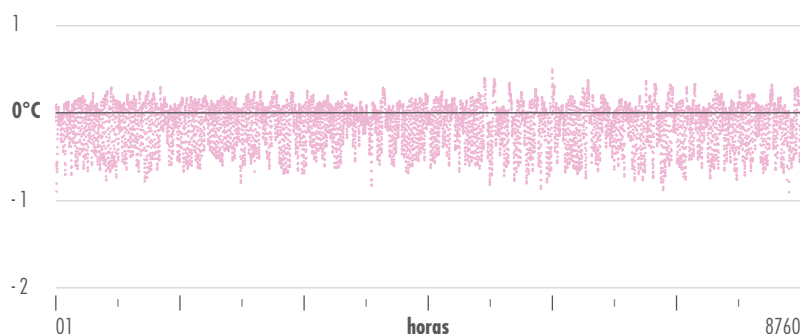


Figura 57: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação C do quarto 01 do modelo 03.

Tabela 19: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação C do quarto 02 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 02 [COMPARAÇÃO C | ZONA 03 | CERÂMICA | CLARO | LESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	0	0,00%
0,1° a 0,9°	5824	66,48%
0,01° a 0,09°	2641	30,15%
< 0,01°	295	3,37%
	8760	100,00%

MÁX: 0,8961° | MÍN: 0,00001°

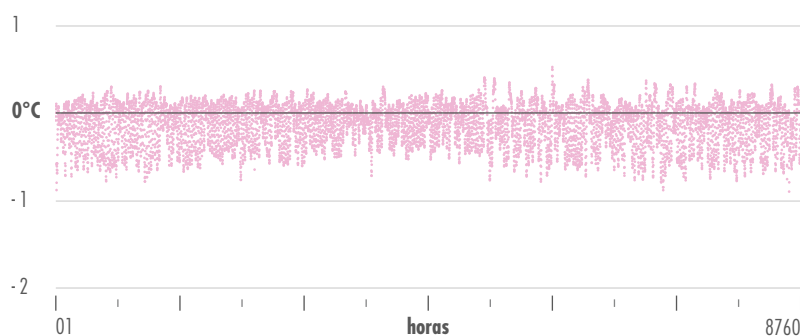


Figura 58: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação C do quarto 02 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 01 [COMPARAÇÃO D | ZONA 08 | CERÂMICA | ESCURO | LESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	0	0,00%
0,1° a 0,9°	6364	72,65%
0,01° a 0,09°	2155	24,60%
< 0,01°	241	2,75%
	8760	100,00%

MÁX: 0,80576° | MÍN: 0,00014°



Tabela 20: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação D do quarto 01 do modelo 03.

Figura 59: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação D do quarto 01 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 02 [COMPARAÇÃO D | ZONA 08 | CERÂMICA | ESCURO | LESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	0	0,00%
0,1° a 0,9°	6444	73,56%
0,01° a 0,09°	2092	23,88%
< 0,01°	224	2,56%
	8760	100,00%

MÁX: 0,78523° | MÍN: 0,00002°

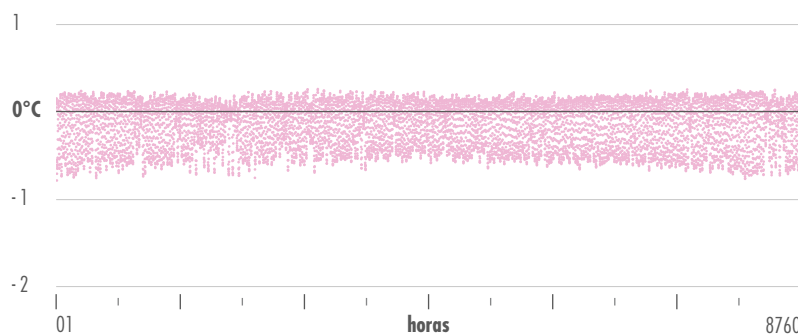


Tabela 21: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação D do quarto 02 do modelo 03.

Figura 60: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação D do quarto 02 do modelo 03.

Tabela 22: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação E do quarto 01 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 01 [COMPARAÇÃO E | ZONA 03 | CERÂMICA | ESCURO | OESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	203	2,32%
0,1° a 0,9°	6520	74,43%
0,01° a 0,09°	1848	21,10%
< 0,01°	189	2,16%
	8760	100,00%

MÁX: 1,45699° | MÍN: 0,00002°

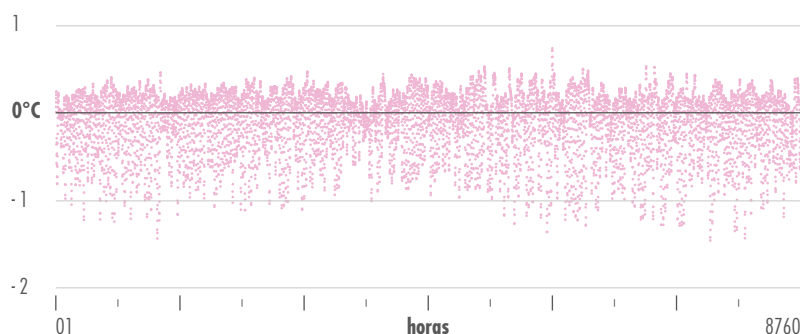


Figura 61: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação E do quarto 01 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 02 [COMPARAÇÃO E | ZONA 03 | CERÂMICA | ESCURO | OESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	37	0,42%
1° a 1,5°	533	6,08%
0,1° a 0,9°	6306	71,99%
0,01° a 0,09°	1700	19,41%
< 0,01°	184	2,10%
	8760	100,00%

MÁX: 1,83075° | MÍN: 0,00006°

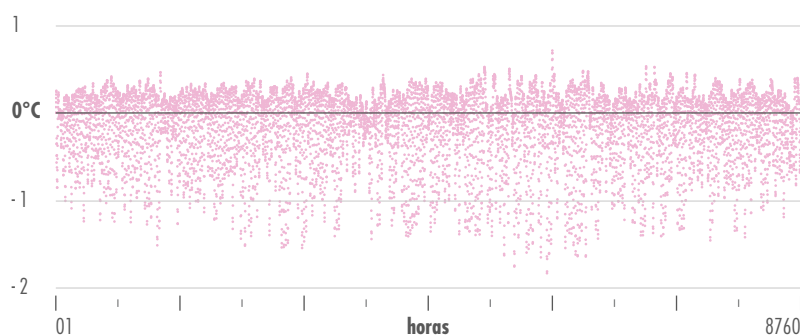


Figura 62: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação E do quarto 02 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 01 [COMPARAÇÃO F | ZONA 08 | CERÂMICA | ESCURO | OESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	595	6,79%
0,1° a 0,9°	6773	77,32%
0,01° a 0,09°	1256	14,34%
< 0,01°	136	1,55%
	8760	100,00%

MÁX: 1,37769° | MÍN: 0,00003°

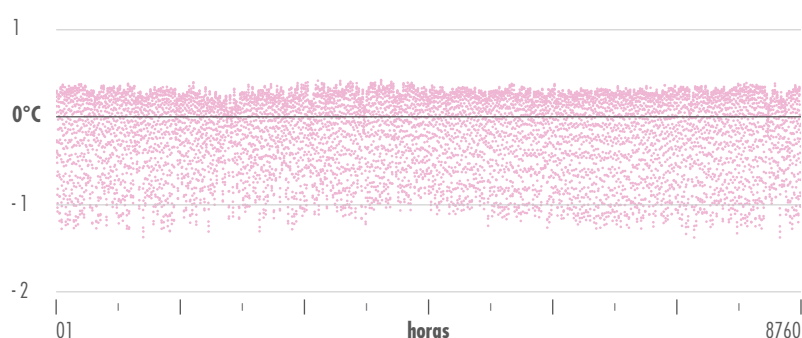


Tabela 24: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação F do quarto 01 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 02 [COMPARAÇÃO F | ZONA 08 | CERÂMICA | ESCURO | OESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	1	0,01%
1° a 1,5°	895	10,22%
0,1° a 0,9°	6562	74,91%
0,01° a 0,09°	1156	13,20%
< 0,01°	146	1,67%
	8760	100,00%

MÁX: 1,51255° | MÍN: 0,00009°

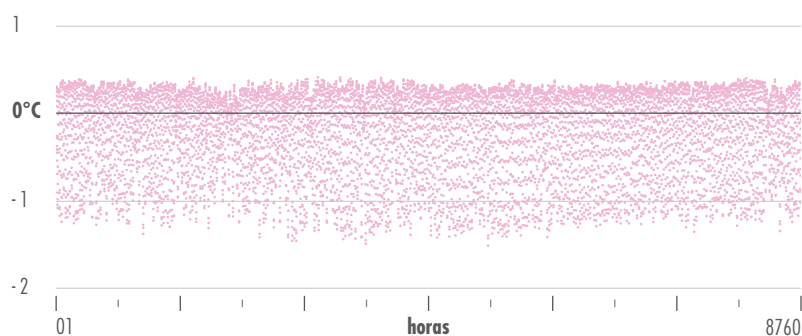


Figura 63: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação F do quarto 01 do modelo 03.

Tabela 25: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação F do quarto 02 do modelo 03.

Figura 64: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação F do quarto 02 do modelo 03.

Tabela 26: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação G do quarto 01 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 01 [COMPARAÇÃO G | ZONA 03 | CERÂMICA | ESCURO | LESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	64	0,73%
0,1° a 0,9°	6673	76,18%
0,01° a 0,09°	1853	21,15%
< 0,01°	170	1,94%
	8760	100,00%

MÁX: 1,16992° | MÍN: 0,00001°

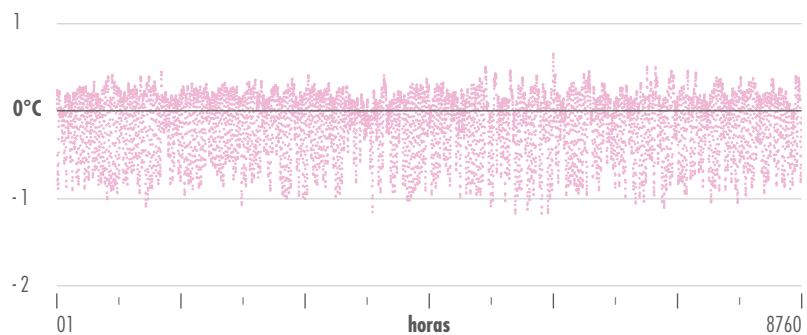


Figura 65: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação G do quarto 01 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 02 [COMPARAÇÃO G | ZONA 03 | CERÂMICA | ESCURO | LESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	36	0,41%
0,1° a 0,9°	6757	77,13%
0,01° a 0,09°	1790	20,43%
< 0,01°	177	2,02%
	8760	100,00%

MÁX: 1,12394° | MÍN: 0,00001°

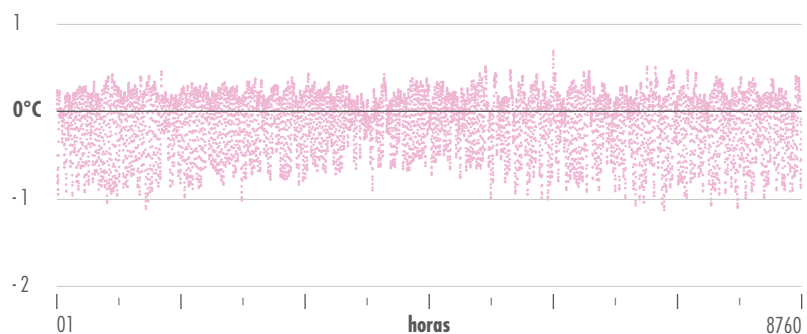


Figura 66: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação G do quarto 02 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 01 [COMPARAÇÃO H | ZONA 08 | CERÂMICA | ESCURO | LESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	12	0,14%
0,1° a 0,9°	7331	83,69%
0,01° a 0,09°	1261	14,39%
< 0,01°	156	1,78%
	8760	100,00%

MÁX: 1,06185° | MÍN: 0,00007°



Tabela 28: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação H do quarto 01 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 02 [COMPARAÇÃO H | ZONA 08 | CERÂMICA | ESCURO | LESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	170	1,94%
0,1° a 0,9°	7066	80,66%
0,01° a 0,09°	1366	15,59%
< 0,01°	158	1,80%
	8760	100,00%

MÁX: 1,24173° | MÍN: 0,00004°

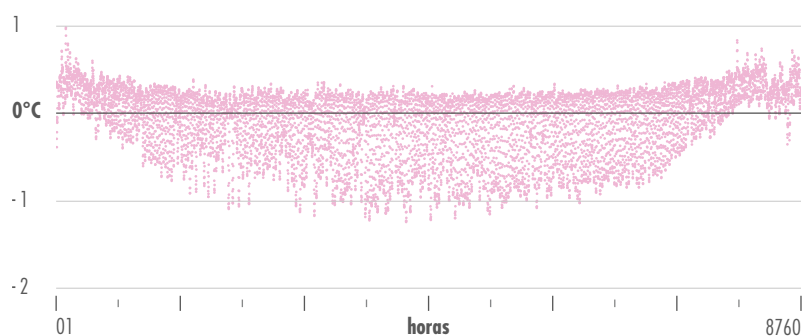


Figura 67: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação H do quarto 01 do modelo 03.

Tabela 29: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação H do quarto 02 do modelo 03.

Figura 68: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação H do quarto 02 do modelo 03.

Tabela 30: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação I do quarto 01 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 01 [COMPARAÇÃO I | ZONA 03 | CONCRETO | CLARO | OESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	30	0,34%
0,1° a 0,9°	5583	63,73%
0,01° a 0,09°	2834	32,35%
< 0,01°	313	3,57%
	8760	100,00%

MÁX: 1,15151° | MÍN: 0,00006°

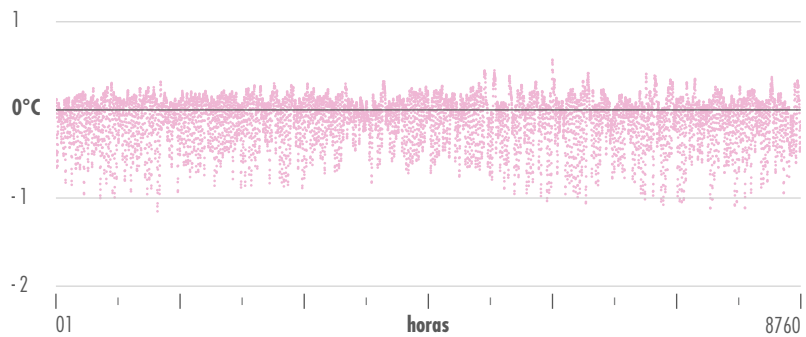


Figura 69: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação I do quarto 01 do modelo 03.

Tabela 31: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação I do quarto 02 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 02 [COMPARAÇÃO I | ZONA 03 | CONCRETO | CLARO | OESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	82	0,94%
0,1° a 0,9°	5744	65,57%
0,01° a 0,09°	2660	30,37%
< 0,01°	274	3,13%
	8760	100,00%

MÁX: 1,24454° | MÍN: 0,00002°

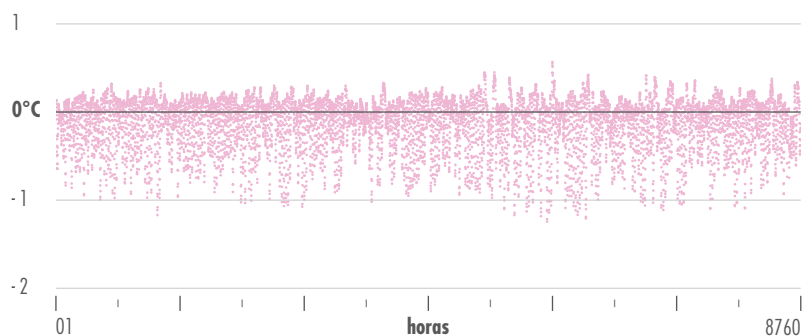


Figura 70: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação I do quarto 02 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 01 [COMPARAÇÃO J | ZONA 08 | CONCRETO | CLARO | OESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	25	0,29%
0,1° a 0,9°	6336	72,33%
0,01° a 0,09°	2181	24,90%
< 0,01°	218	2,49%
	8760	100,00%

MÁX: 1,07163° | MÍN: 0,00005°

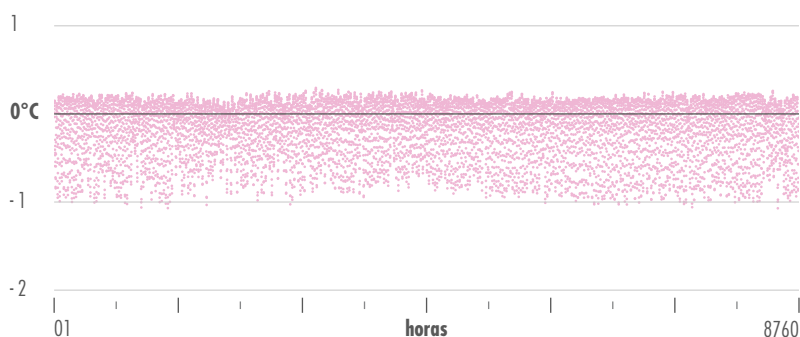


Tabela 32: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação J do quarto 01 do modelo 03.

Figura 71: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação J do quarto 01 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 02 [COMPARAÇÃO J | ZONA 08 | CONCRETO | CLARO | OESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	30	0,34%
0,1° a 0,9°	6486	74,04%
0,01° a 0,09°	2027	23,14%
< 0,01°	217	2,48%
	8760	100,00%

MÁX: 1,09012° | MÍN: 0,00002°

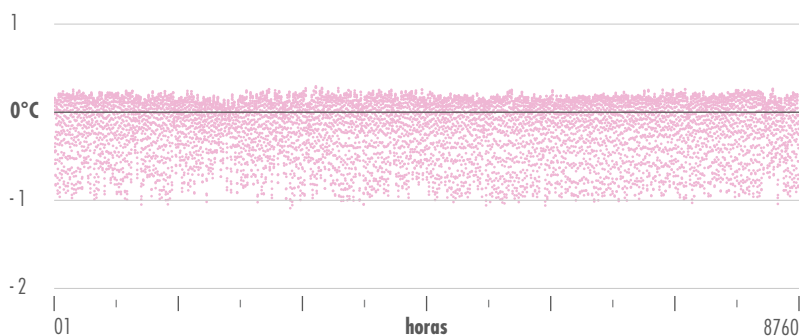


Tabela 33: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação J do quarto 02 do modelo 03.

Figura 72: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação J do quarto 02 do modelo 03.

Tabela 34: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação K do quarto 01 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 01 [COMPARAÇÃO K | ZONA 03 | CONCRETO | CLARO | LESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	0	0,00%
0,1° a 0,9°	5865	66,95%
0,01° a 0,09°	2607	29,76%
< 0,01°	288	3,29%
	8760	100,00%

MÁX: 0,9012° | MÍN: 0,00002°

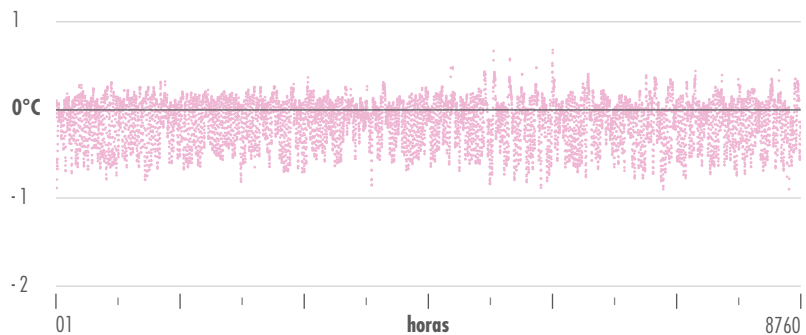


Figura 73: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação K do quarto 01 do modelo 03.

Tabela 35: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação K do quarto 02 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 02 [COMPARAÇÃO K | ZONA 03 | CONCRETO | CLARO | LESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	0	0,00%
0,1° a 0,9°	5866	66,96%
0,01° a 0,09°	2596	29,63%
< 0,01°	298	3,40%
	8760	100,00%

MÁX: 0,89884° | MIN: 0,00014°

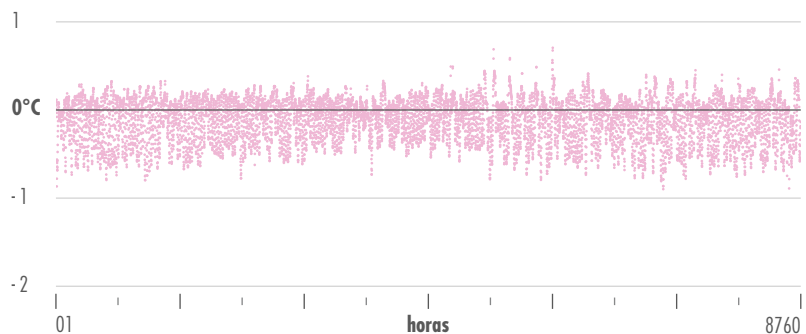


Figura 74: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação K do quarto 02 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 01 [COMPARAÇÃO L | ZONA 08 | CONCRETO | CLARO | LESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	0	0,00%
0,1° a 0,9°	6437	73,48%
0,01° a 0,09°	2096	23,93%
< 0,01°	227	2,59%
	8760	100,00%

MÁX: 0,7891° | MÍN: 0,00003°

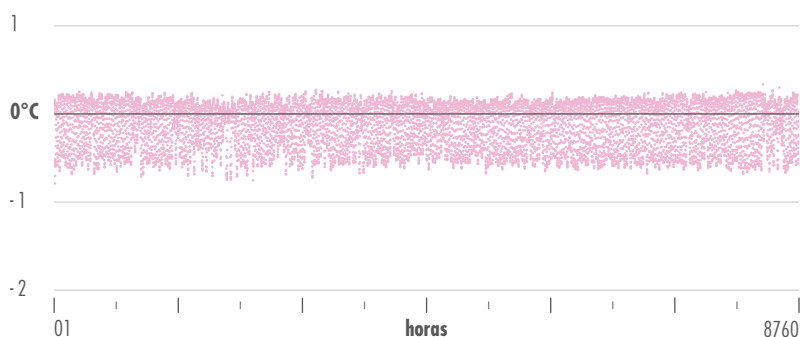


Tabela 36: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação L do quarto 01 do modelo 03.

Figura 75: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação L do quarto 01 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 02 [COMPARAÇÃO L | ZONA 08 | CONCRETO | CLARO | LESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	0	0,00%
0,1° a 0,9°	6495	74,14%
0,01° a 0,09°	2041	23,30%
< 0,01°	224	2,56%
	8760	100,00%

MÁX: 0,77682° | MÍN: 0,00°

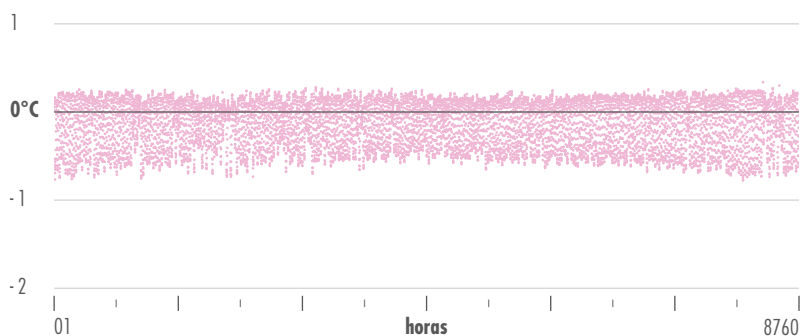


Tabela 37: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação L do quarto 02 do modelo 03.

Figura 76: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação L do quarto 02 do modelo 03.

Tabela 38: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação M do quarto 01 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 01 [COMPARAÇÃO M | ZONA 03 | CONCRETO | ESCURO | OESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	216	2,47%
0,1° a 0,9°	6594	75,27%
0,01° a 0,09°	1764	20,14%
< 0,01°	186	2,12%
	8760	100,00%

MÁX: 1,49037° | MÍN: 0,00006°

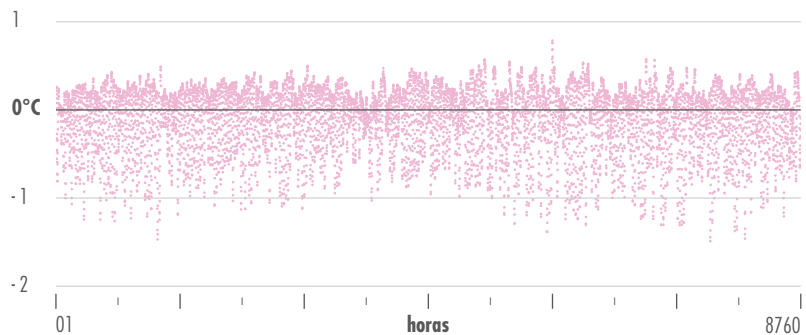


Figura 77: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação M do quarto 01 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 02 [COMPARAÇÃO M | ZONA 03 | CONCRETO | ESCURO | OESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	52	0,59%
1° a 1,5°	562	6,42%
0,1° a 0,9°	6329	72,25%
0,01° a 0,09°	1631	18,62%
< 0,01°	186	2,12%
	8760	100,00%

MÁX: 1,89651° | MÍN: 0,00002°

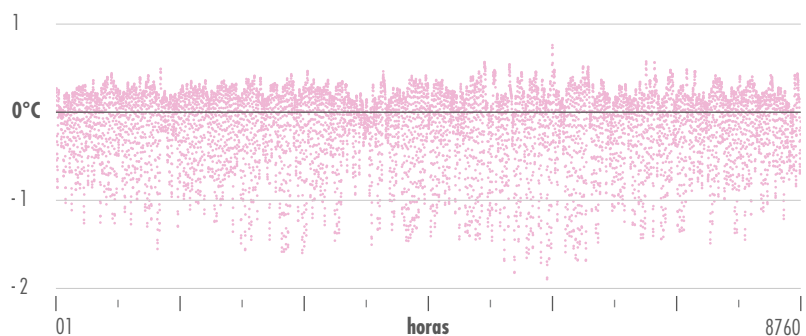


Figura 78: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação M do quarto 02 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 01 [COMPARAÇÃO N | ZONA 08 | CONCRETO | ESCURO | OESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	629	7,18%
0,1° a 0,9°	6783	77,43%
0,01° a 0,09°	1220	13,93%
< 0,01°	128	1,46%
	8760	100,00%

MÁX: 1,4056° | MÍN: 0,00004°

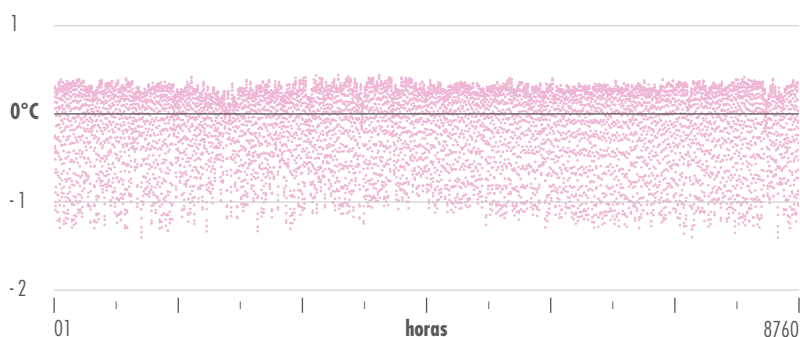


Tabela 40: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação N do quarto 01 do modelo 03.

Figura 79: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação N do quarto 01 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 02 [COMPARAÇÃO N | ZONA 08 | CONCRETO | ESCURO | OESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	2	0,02%
1° a 1,5°	955	10,90%
0,1° a 0,9°	6537	74,62%
0,01° a 0,09°	1136	12,97%
< 0,01°	130	1,48%
	8760	100,00%

MÁX: 1,55535° | MÍN: 0,00006°

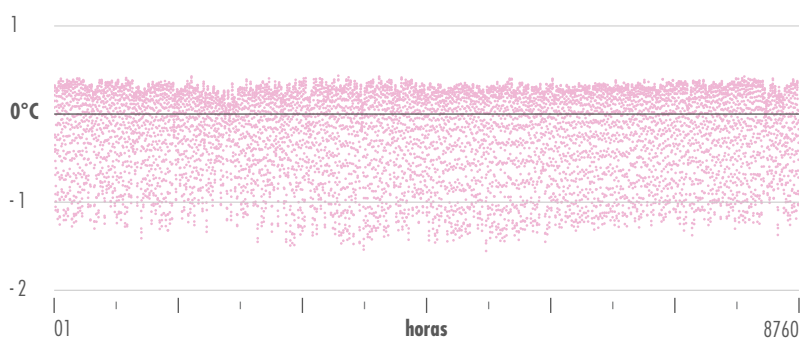


Tabela 41: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação N do quarto 02 do modelo 03.

Figura 80: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação N do quarto 02 do modelo 03.

Tabela 42: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação O do quarto 01 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 01 [COMPARAÇÃO O | ZONA 03 | CONCRETO | ESCURO | LESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	86	0,98%
0,1° a 0,9°	6726	76,78%
0,01° a 0,09°	1777	20,29%
< 0,01°	171	1,95%
	8760	100,00%

MÁX: 1,20881° | MÍN: 0,00007°

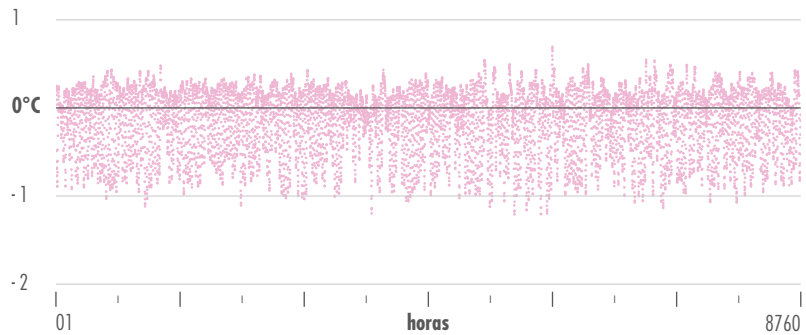


Figura 81: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação O do quarto 01 do modelo 03.

Tabela 43: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação O do quarto 02 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 02 [COMPARAÇÃO O | ZONA 03 | CONCRETO | ESCURO | LESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	51	0,58%
0,1° a 0,9°	6842	78,11%
0,01° a 0,09°	1688	19,27%
< 0,01°	179	2,04%
	8760	100,00%

MÁX: 1,15375° | MÍN: 0,00003°

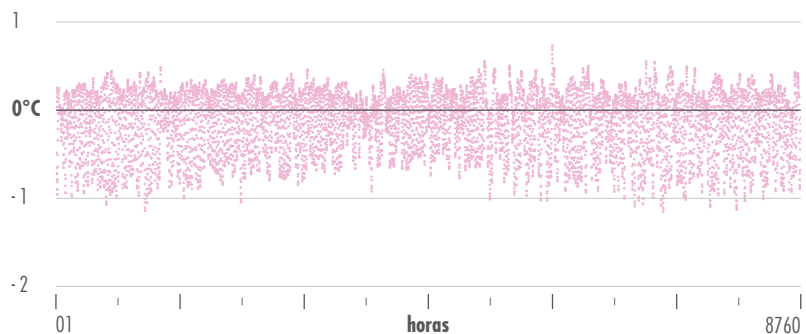


Figura 82: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação O do quarto 02 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 01 [COMPARAÇÃO P | ZONA 08 | CONCRETO | ESCURO | LESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	17	0,19%
0,1° a 0,9°	7371	84,14%
0,01° a 0,09°	1242	14,18%
< 0,01°	130	1,48%
	8760	100,00%

MÁX: 1,08582° | MÍN: 0,00011°

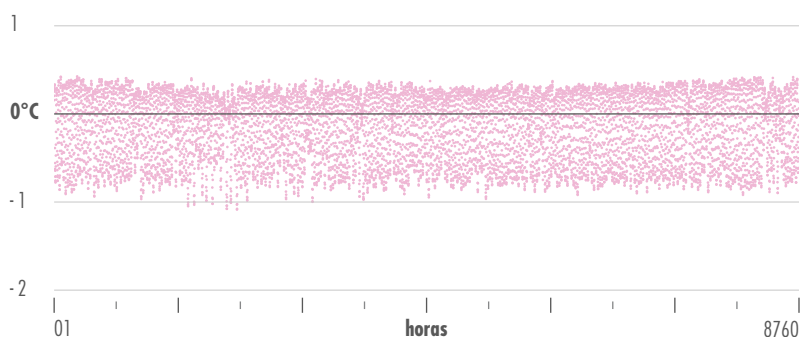


Tabela 44: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação P do quarto 01 do modelo 03.

Modelo 03 - Quarto 02 [COMPARAÇÃO P | ZONA 08 | CONCRETO | ESCURO | LESTE]

MARGEM DE ERRO	OCORRÊNCIA	TOTAL
1,5° a 2°	0	0,00%
1° a 1,5°	120	1,37%
0,1° a 0,9°	7339	83,78%
0,01° a 0,09°	1172	13,38%
< 0,01°	129	1,47%
	8760	100,00%

MÁX: 1,19667° | MÍN: 0,00003°

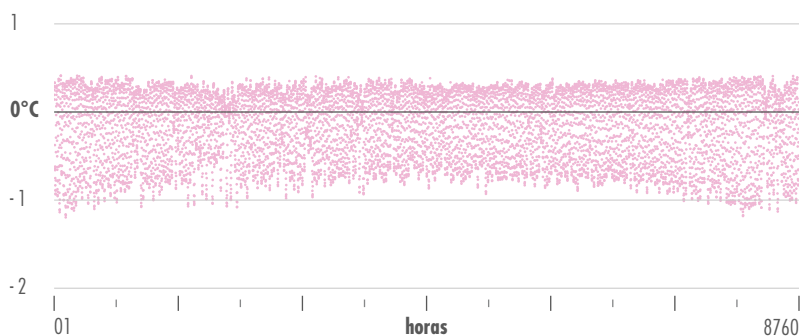


Figura 83: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação P do quarto 01 do modelo 03.

Tabela 45: Comparação dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação P do quarto 02 do modelo 03.

Figura 84: Gráfico comparativo dos resultados obtidos pelos processos de controle e BIM + BPS, nos ensaios referentes a comparação P do quarto 02 do modelo 03.

COMBINAÇÃO DE VARIÁVEIS	DIVERGÊNCIAS MÁXIMAS (°C)		MÉDIAS ABSOLUTAS (°C)		SENTIDO DA VARIACÃO	
	QUARTO 01	QUARTO 02	QUARTO 01	QUARTO 02	QUARTO 01	QUARTO 02
A	1,13°	1,21°	0,2°	0,23°	NEGATIVA	NEGATIVA
B	1,06°	1,07°	0,27°	0,28°	NEGATIVA	NEGATIVA
C	0,9°	0,89°	0,22°	0,21°	NEGATIVA	NEGATIVA
D	0,8°	0,78°	0,24°	0,25°	NEGATIVA	NEGATIVA
E	1,45°	1,83°	0,28°	0,33°	NEGATIVA	NEGATIVA
F	1,37°	1,51°	0,38°	0,41°	NEGATIVA	NEGATIVA
G	1,16°	1,12°	0,3°	0,29°	NEGATIVA	NEGATIVA
H	1,06°	1,24°	0,33°	0,32°	NEGATIVA	POSITIVA
I	1,51°	1,24°	0,21°	0,24°	NEGATIVA	NEGATIVA
J	1,07°	1,09°	0,27°	0,29°	NEGATIVA	NEGATIVA
K	0,9°	0,89°	0,22°	0,21°	NEGATIVA	NEGATIVA
L	0,78°	0,77°	0,24°	0,24°	NEGATIVA	NEGATIVA
M	1,49°	1,89°	0,29°	0,35°	NEGATIVA	NEGATIVA
N	1,4°	1,55°	0,38°	0,42°	NEGATIVA	NEGATIVA
O	1,2°	1,15°	0,31°	0,3°	NEGATIVA	NEGATIVA
P	1,08°	1,19°	0,34°	0,36°	NEGATIVA	NEGATIVA

Tabela 46: Quadro síntese de resultados dos ensaios referentes ao modelo 03. Fonte: elaborado pela autora.

5.2 VERIFICAÇÃO DE RESULTADOS

Para a verificação de resultados, além da comparação direta entre os dados já demonstrada, foram realizadas avaliações adicionais, baseadas no Método Padrão de Teste para a Avaliação de Análise Energética de Edifícios elaborado pela ASHRAE (2004).

Segundo Melo et.al (2012), o BESTest (Building Energy Simulation Test) é um método de teste e diagnóstico de programas de simulação de energia de edifícios, desenvolvido no Anexo 43 “Teste e Validação de Ferramentas de Simulação de Energia de Edifícios” do Programa de Conservação de Energia em Edifícios e Sistemas Comunitários (ECBCS) da Agência Internacional de Energia (AIE)

Costa (2013), verificou por meio do uso do BESTest 900 o software DesignBuilder, concluindo que os resultados obtidos em seu estudo estavam dentro do intervalo de resultados esperados, o método adotado por ele é o mesmo utilizado nesta pesquisa como controle. O documento não determina um critério formal de aceitação dos resultados, afirmando que este deve ser definido pelo usuário, mas estabelece diretrizes de avaliação destes resultados, tais como:

- (a) magnitude dos resultados para casos individuais;
- (b) magnitude da diferença nos resultados entre certos casos;
- (c) mesma direção de sensibilidade (positiva ou negativa) para diferença de resultados entre determinados casos;
- (d) se os resultados são logicamente contra-intuitivos em relação a comportamento físico conhecido ou esperado;
- (e) disponibilidade de solução analítica ou quase analítica resultados;
- (f) para os testes de desempenho do equipamento HVAC da Seção 5.3, o grau de discordância que ocorreu para outros resultados de simulação no Anexo B16 em relação aos resultados de quase-análise resultados da solução cal.

Os itens a e b, correspondem ao que foi exposto nos itens anteriores deste capítulo, sendo a comparação individualizada dos resultados e a avaliação de diferenças entre casos, nesta pesquisa, equivalente às combinações de variáveis. Em termos de comparação individual, a divergência de dados máximos se situa no intervalo de 0,77 e 1,89 . O item c foi possível observar nos gráficos de dispersão, que mostram em sua grande maioria uma variação negativa nos dados.

Para observar o nível de sensibilidade do PROCESSO BIM + BPS em relação aos comportamentos físicos conhecidos ou esperados, correspondente ao item d, foram escolhidas duas situações: a mudança de cor e de material. Espera-se que a temperatura seja maior se a envoltória tiver cor escura e se for com tijolo de concreto. Para avaliar esse comportamento foram comparadas as variações correspondentes, recorrendo aos gráficos de linha da variação de temperatura operativa comparando as cores claras e escuras e o material de tijolo de cerâmica e de concreto.

Abaixo seguem os gráficos da variação A em comparação com E e da variação J e N, neles é possível observar que a temperatura sobe e desce em concordância, mas com valores mais altos na cor escura. Esse comportamento se repete em todas as comparações entre variações de cor clara e suas correspondentes com cor escura, ou seja, o método avaliado possui correspondência com o comportamento físico. Do mesmo modo, a sensibilidade à mudança do material também é concordante com a realidade, porém é mais sutil.

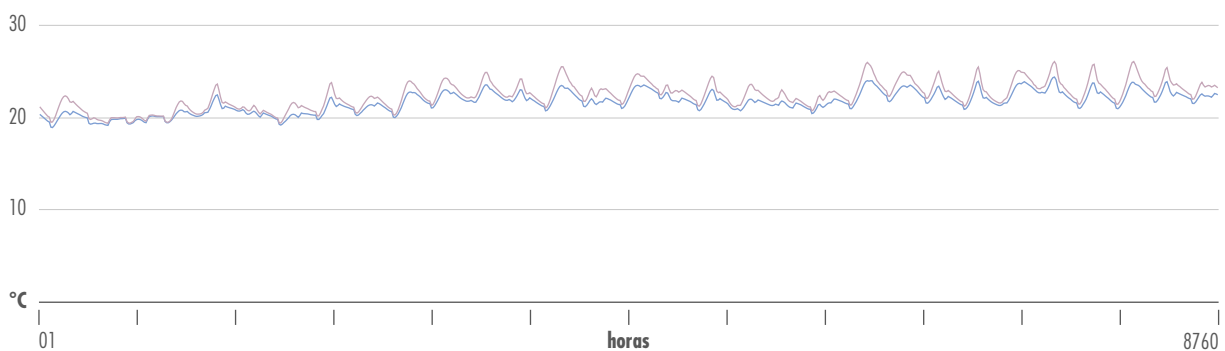


Figura 85: Comparação no quarto 01 entre variações com tijolo cerâmico A (cor clara) e E (cor escura) mostrando que os dados com cor escura possuem maior temperatura que a cor clara, seguindo o comportamento físico esperado.

— cor clara — cor escura

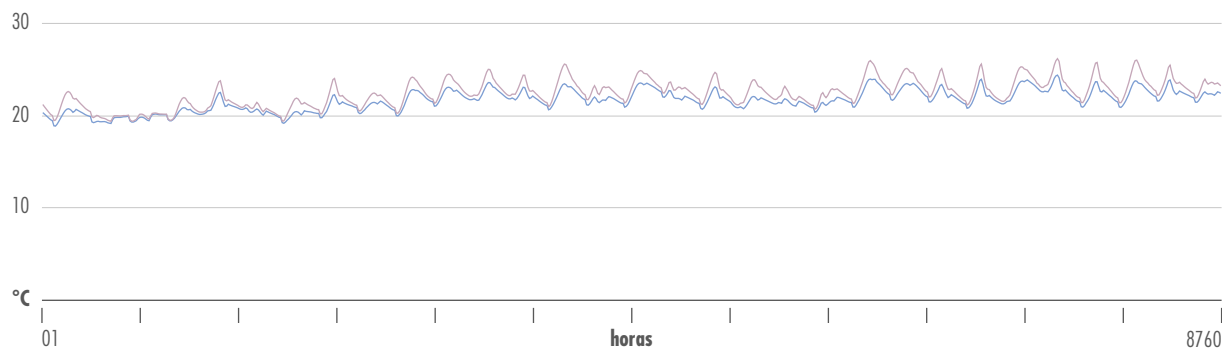


Figura 86: Comparação no quarto 02 entre variações com tijolo cerâmico A (cor clara) e E (cor escura) mostrando que os dados com cor escura possuem maior temperatura que a cor clara, seguindo o comportamento físico esperado.

— cor clara — cor escura

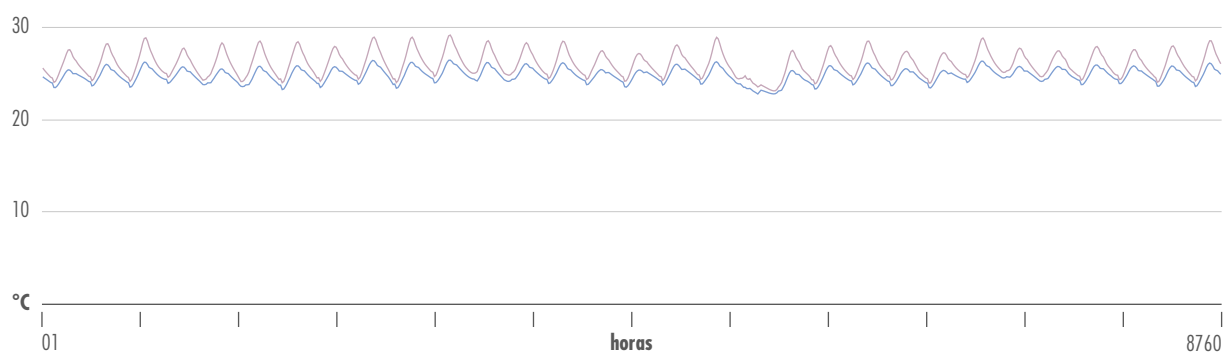


Figura 87: Comparação no quarto 01 entre variações com tijolo de concreto J (cor clara) e N (cor escura) mostrando que os dados com cor escura possuem maior temperatura que a cor clara, seguindo o comportamento físico esperado.

— cor clara — cor escura

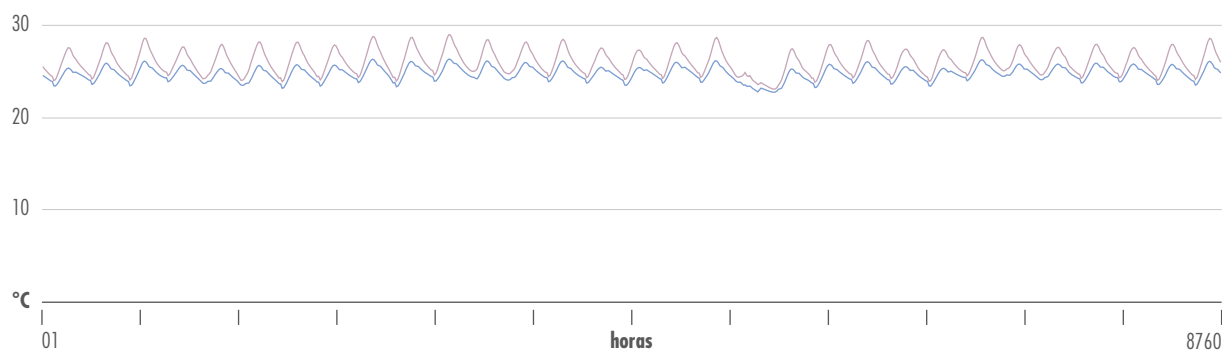


Figura 88: Comparação no quarto 02 entre variações com tijolo de concreto J (cor clara) e N (cor escura) mostrando que os dados com cor escura possuem maior temperatura que a cor clara, seguindo o comportamento físico esperado.

— cor clara — cor escura

Não foi observado um aumento proporcional de temperatura nem com a mudança da cor, nem do material. Os gráficos que comparam as temperaturas obtidas nos dois processos, por ambiente, possuem um desenho similar, mas não são idênticos.

Também foram analisados os dados emulando a avaliação de um projetista de arquitetura sob a ótica do conforto adaptativo. As variações A e B foram utilizadas para a amostragem. Os meses de junho, setembro e dezembro, que correspondem respectivamente aos meses típicos de solstício de inverno, equinócio e solstício de verão foram utilizados nesta comparação.

Os dados relacionados à temperatura operativa neutra do PROCESSO CONTROLE e do PROCESSO BIM + BPS foram observados em relação à faixa de conforto térmico. A faixa foi obtida através da fórmula da ASHRAE mencionada na seção 2.3, que considera a temperatura média mensal.

$$OT_n = 17,8 + 0,32 t_{mm}$$

Na variação A, em São Paulo, a faixa de conforto para junho está situada entre 20,70° C e 25,70° C; para setembro entre 20,93° C e 25,93° C e para dezembro entre 22,42° C e 27,42° C.

Na variação B, em Fortaleza, a faixa de conforto para junho está situada entre 23,98° C e 28,98° C; para setembro entre 24,04° C e 29,04° C e para dezembro entre 24,09° C e 24,09° C.

Nos gráficos das figuras 89 a 94 é possível observar a similaridade entre os desenhos formados de temperatura operativa dos dois processos. Os dois resultados, PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS levam a praticamente o mesmo diagnóstico e conseguem orientar o projetista de arquitetura nas decisões de projeto.

Considera-se que as diferenças numéricas observadas nesses gráficos são desprezíveis se considerado o contexto da análise térmica para orientar decisões de projeto do arquiteto e fomentar soluções relacionadas ao conforto térmico de edificações.

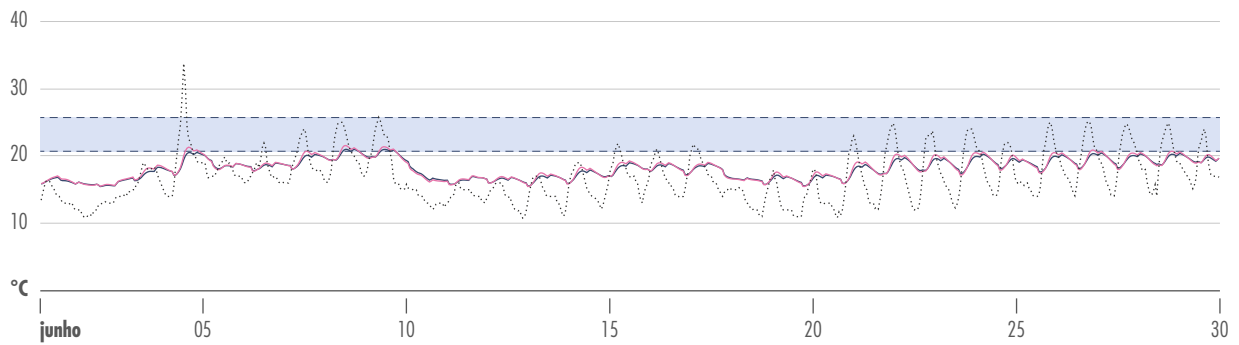


Figura 89: Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação A - quarto 01) e da faixa de conforto térmico do mês de junho.

--- temperatura externa — BIM+BPS — controle ■ faixa de conforto

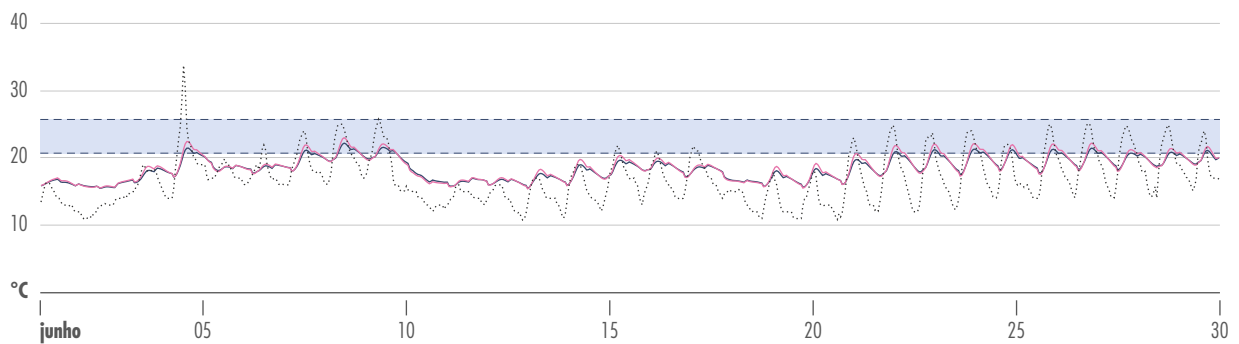


Figura 90: Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação A - quarto 02) e da faixa de conforto térmico do mês de junho.

--- temperatura externa — BIM+BPS — controle ■ faixa de conforto

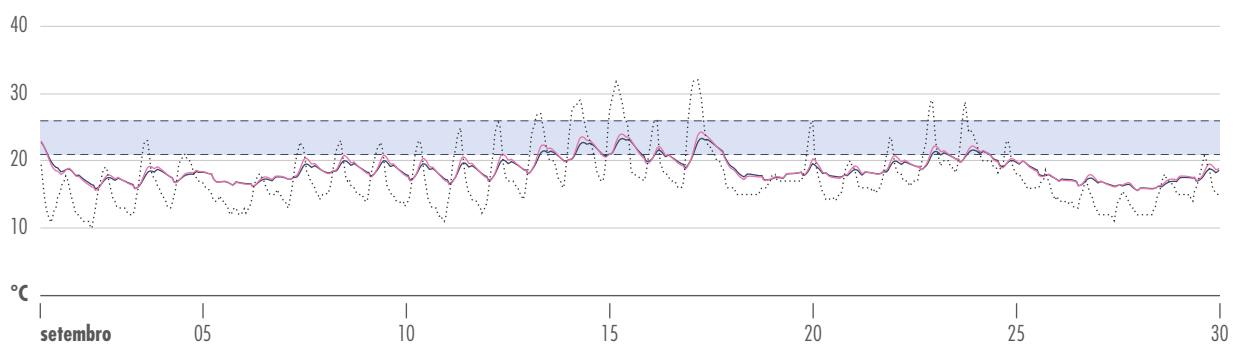


Figura 91: Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação A - quarto 01) e da faixa de conforto térmico do mês de setembro.

--- temperatura externa — BIM+BPS — controle ■ faixa de conforto

RESULTADOS E DISCUSSÃO

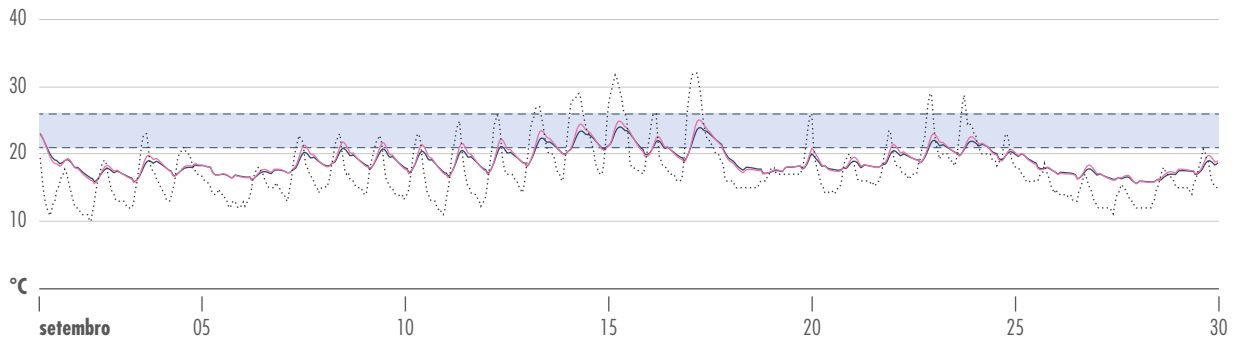


Figura 92: Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação A - quarto 02) e da faixa de conforto térmico do mês de setembro.

— temperatura externa — BIM+BPS — controle — faixa de conforto

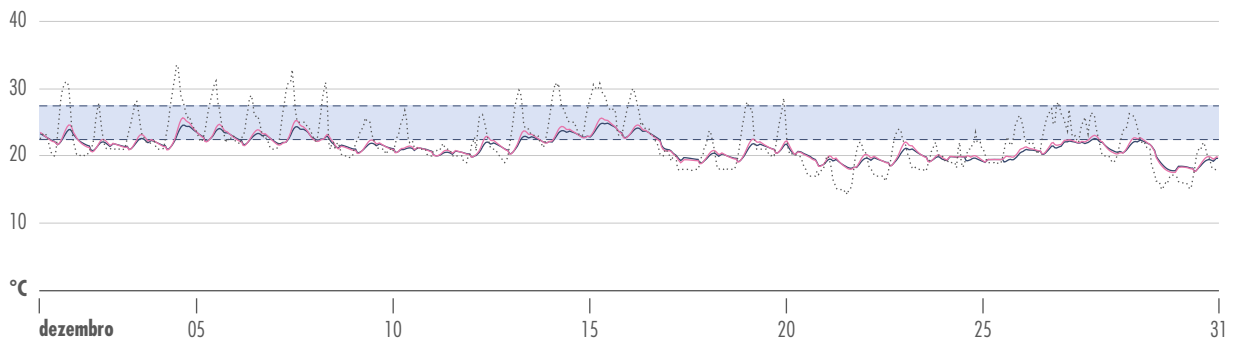


Figura 93: Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação A - quarto 01) e da faixa de conforto térmico do mês de dezembro.

— temperatura externa — BIM+BPS — controle — faixa de conforto

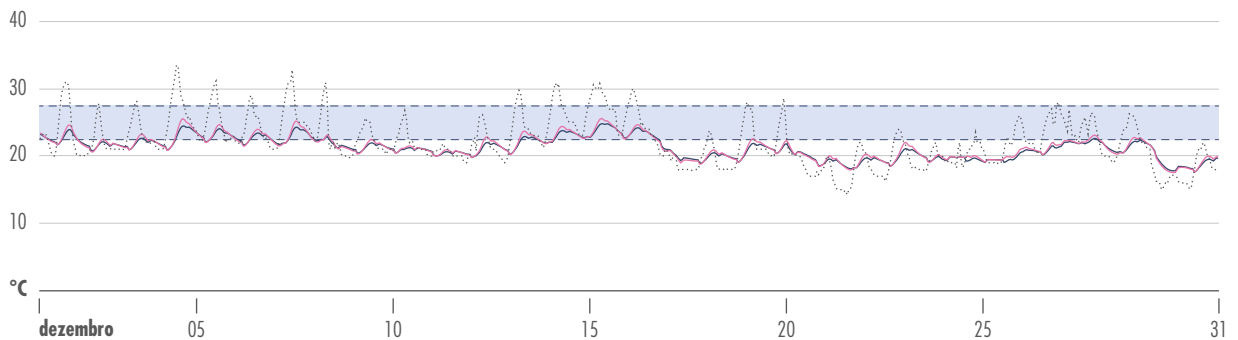


Figura 94: Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação A - quarto 02) e da faixa de conforto térmico do mês de dezembro.

— temperatura externa — BIM+BPS — controle — faixa de conforto

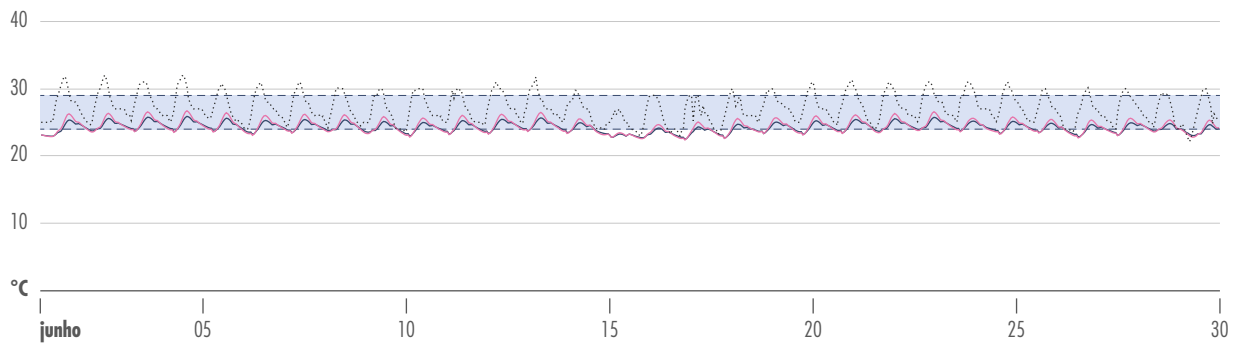


Figura 95: Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação B - quarto 01) e da faixa de conforto térmico do mês de junho.

— temperatura externa — BIM+BPS — controle — faixa de conforto

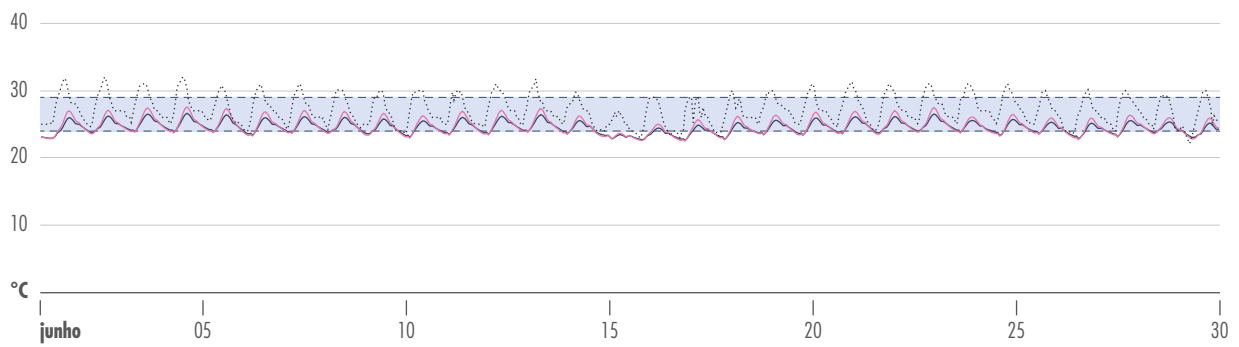


Figura 96: Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação B - quarto 02) e da faixa de conforto térmico do mês de junho.

— temperatura externa — BIM+BPS — controle — faixa de conforto

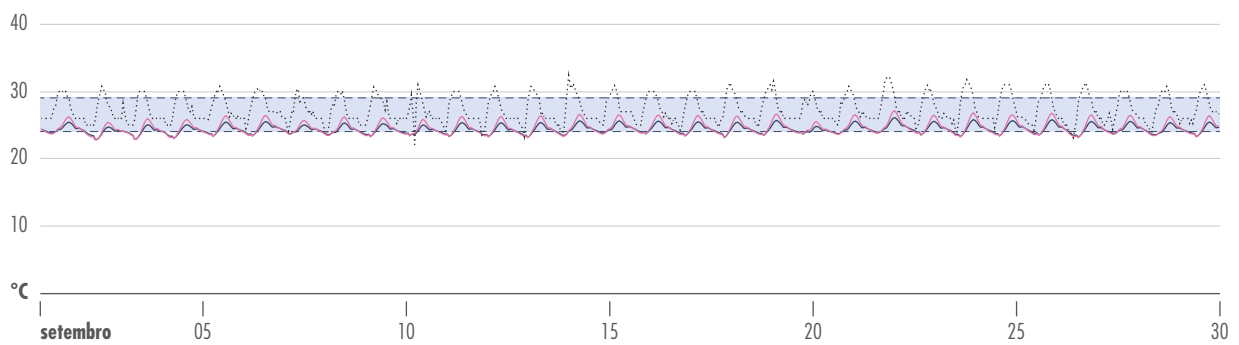


Figura 97: Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação B - quarto 01) e da faixa de conforto térmico do mês de setembro.

— temperatura externa — BIM+BPS — controle — faixa de conforto

RESULTADOS E DISCUSSÃO

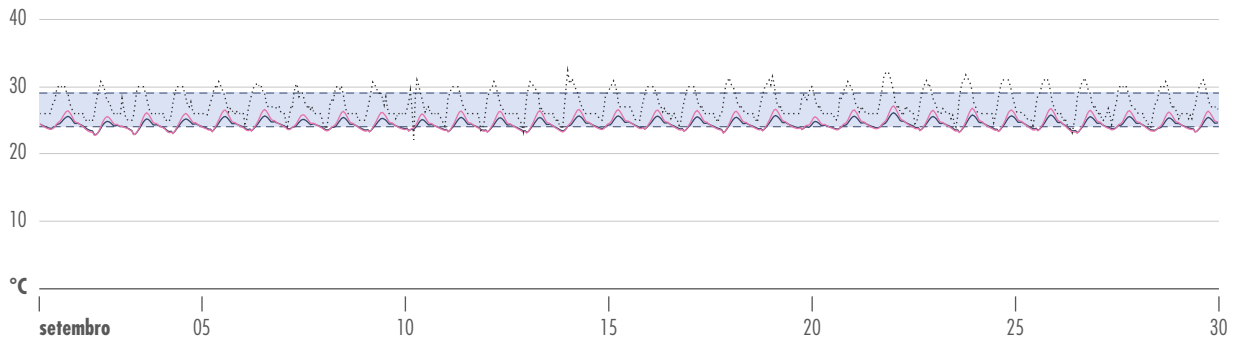


Figura 98: Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação B - quarto 02) e da faixa de conforto térmico do mês de setembro.

— — temperatura externa — BIM+BPS — controle — faixa de conforto

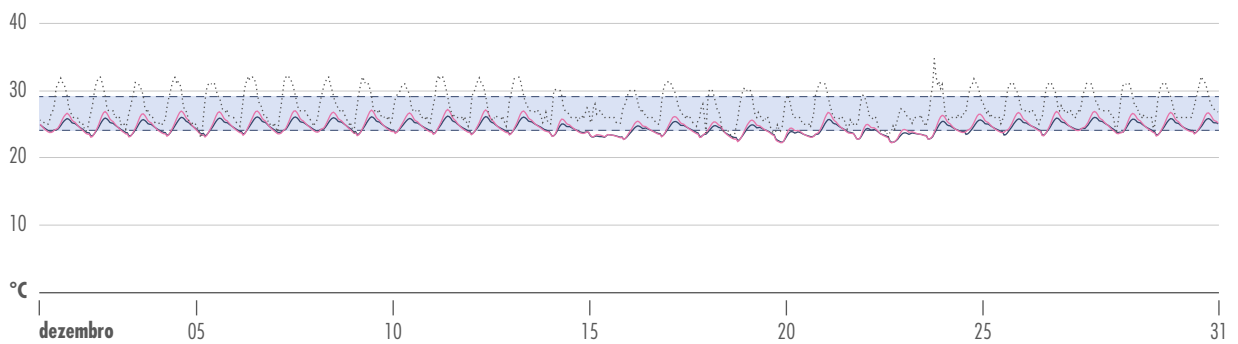


Figura 99: Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação B - quarto 01) e da faixa de conforto térmico do mês de dezembro.

— — temperatura externa — BIM+BPS — controle — faixa de conforto

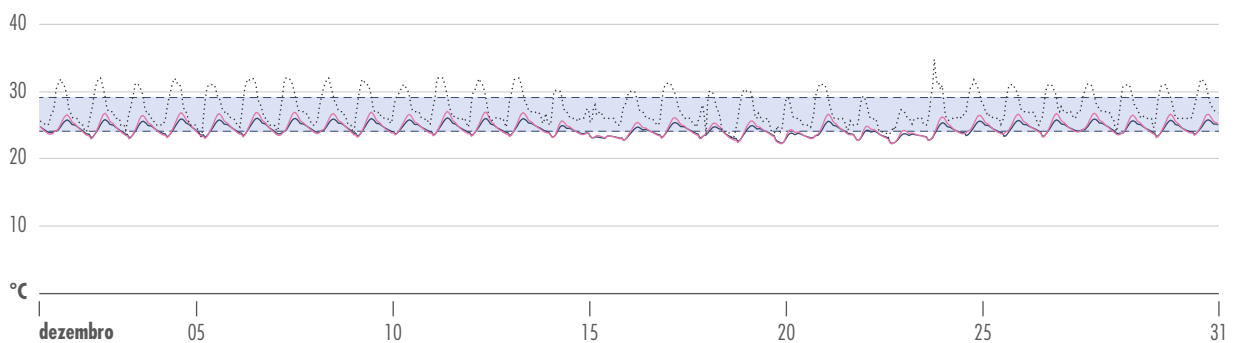


Figura 100: Comparação da variação horária da temperatura operativa neutra dos PROCESSO CONTROLE e PROCESSO BIM + BPS (variação B - quarto 02) e da faixa de conforto térmico do mês de dezembro.

— — temperatura externa — BIM+BPS — controle — faixa de conforto

5.2.1 DIFICULDADES E DESAFIOS

Durante os processos, é possível destacar dois estágios importantes de conferência dos modelos: primeiro em relação à geometria e, em seguida, em relação aos dados térmicos dos materiais, já que as informações relacionadas a aberturas, rotina e HVAC são inseridas no DesignBuilder em ambos os processos.

No modelo 01 não foram encontrados obstáculos na interoperabilidade da geometria e não foram transferidos dados térmicos de material. No modelo 02 também não foram identificados problemas de interoperabilidade da geometria e nem na importação dos dados térmicos de material.

No entanto, surgiram dificuldades em ambos aspectos no modelo 03, que conta com uma complexidade maior em relação aos outros modelos, mas que ainda assim pode se considerar um projeto simples.

Foram encontradas inconsistências de geometria no modelo, uma vez que o ambiente não tinha um formato de super simplificado e quando a cobertura apresentava alguma inclinação. Os planos inclinados também apresentaram inconsistência na importação de dados térmicos de material.

Para o ajuste e correção dessas inconsistências é necessário que o projetista tenha conhecimento das configurações do *plugin* do DesignBuilder e realize uma modelagem precisa, também pensada no modelo analítico. O *plugin* tem uma boa curva de aprendizado, ainda assim é necessário um certo conhecimento do programa DesignBuilder para desenvolver toda a análise térmica.

5.2.2 DISPARIDADE DE RESULTADOS POR COMPLEXIDADE DO MODELO

Partiu-se do princípio que: o aumento de complexidade e a adição de elementos levaria a divergências maiores nos resultados. Essa suposição se confirmou na comparação do modelo 01 com o modelo 02, onde houve um aumento da diferença média de temperatura de 0,004 graus para 0,40 graus. No entanto, do modelo 02 para o modelo 03, houve uma diminuição nos valores médios de divergência.

Essa diminuição não era esperada. Nenhum fator ou elemento foi identificado como causa da redução na divergência. Já o aumento do modelo 01 para o modelo 02 pode ser explicado principalmente pela inserção dos dados físicos dos materiais, já que os modelos geométricos e analíticos foram provados como idênticos em todos os ensaios.

Considerando a variação N, que possui o maior valor absoluto médio de divergência entre o PROCESSO CONTROLE e O PROCESSO BIM + BPS, a redução foi de 0,01 graus, quando comparado com a média dos resultados do modelo 02. Enquanto a variação C e K, ambas com menor valor absoluto médio apresentaram uma diminuição de 0,20 graus.

A partir da análise dos dados, foi possível constatar uma imprecisão numérica que não pode ser desconsiderada sob o aspecto da disciplina especializada de simulação térmica. Ainda assim, essas divergências mostraram proximidade em relação aos valores e similaridade na distribuição das ocorrências nos diversos casos, ao mesmo tempo que, observando os gráficos de dispersão, a amostra de dados com maior diferença é irrelevante, com maioria considerável de diferença entre os métodos por volta de 0,1 grau.

Quando os resultados são observados, sob a ótica do arquiteto que busca soluções de conforto térmico para o projeto, os resultados atenderam as expectativas da presente pesquisa. As últimas comparações, com o viés do conforto adaptativo, permitem chegar praticamente ao mesmo diagnóstico sobre o comportamento térmico do modelo em ambos os processos de simulação, pois as pequenas distorções numéricas observadas têm impacto desprezível tanto no diagnóstico como em eventuais soluções projetuais para melhorar o desempenho térmico dos ambientes.

Na pesquisa desenvolvida, foi possível constatar que, mesmo em fases iniciais de desenvolvimento de projeto, o método desenvolvido pode ser aplicado. O LOD adotado em processos BIM tem pouca correspondência com o nível de detalhamento geométrico necessário a simulação, devido às diferenças entre modelos analíticos e geométricos. Ainda assim, para comparação, é possível aplicar os processos explicitados nesta pesquisa, quando os componentes do modelo BIM estiverem próximos ao LOD 200 e 300.

Enquanto isso, o nível de informação é direcionado conforme cada disciplina de simulação. Em relação às

informações necessárias para a análise térmica, abordada na pesquisa, foram precisos alguns dados físicos dos materiais adotados, de domínio público. Esse processo é consideravelmente menos dispendioso para o projetista em relação ao PROCESSO CONTROLE.

Revisando os objetivos estabelecidos no início deste trabalho pode-se afirmar que todos foram atingidos. Foi possível identificar os obstáculos de interoperabilidade entre ferramentas BIM e BPS mediante uso de plugin e a precisão da análise foi realizada por diferentes perspectivas e aspectos.

Em relação ao último objetivo, que aborda a contribuição para o aperfeiçoamento do processo projetual, pode-se afirmar que:

- O PROCESSO BIM + BPS é validado neste trabalho como recurso para decisões projetuais;
- Integrar a simulação no processo de projeto implica em ampliar o repertório do projetista e sua percepção e sensibilidade na condução do projeto;
- Devolve-se ao arquiteto a responsabilidade e o interesse pelo comportamento térmico e energético da edificação e seu impacto no conforto ambiental.

O PROCESSO BIM + BPS otimiza o procedimento de análise térmica e elimina o retrabalho com modelagem e inserção de dados. Ainda assim, é importante ressaltar alguns pontos do processo. Os erros ocorridos durante os ensaios mostram ser preciso uma atenção especial na modelagem do Revit se planeja utilizar o PROCESSO BIM + BPS. No caso de geometrias com planos inclinados é aconselhado a simplificação, sempre que possível, no número de objetos paramétricos utilizados, além do alinhamento dos eixos dos elementos de projeto.

Além disso, o processo de análise tornou-se mais complexo à medida que dados e elementos geométricos eram adicionados. O procedimento também apresentou mais erros, ainda que em sua maioria contornados, estes podem se tornar empecilhos ao projetista.

A introdução dos dados físicos dos materiais fizeram os resultados obtidos divergirem mais, um comportamento já esperado inicialmente. No entanto, o aumento da complexidade de geometria não aumenta necessariamente a divergência de resultados entre processos.

Para identificar as possíveis causas das discrepâncias nos resultados entre os processos, realizou-se uma análise preliminar dos arquivos do tipo IDF gerados pelo software BPS. Este formato de arquivo incorpora todas as informações relevantes à simulação, viabilizando uma comparação direta e detalhada entre os processos. Nessa análise, identificaram-se potenciais fontes para as divergências nos resultados discutidas nesta pesquisa, fornecendo assim uma orientação para investigações futuras.

Algumas questões podem ser também aprimoradas pelos desenvolvedores dos softwares, como a divergência dos valores de transmitância de materiais aplicados a superfícies inclinadas. Assim como a transferência de detalhes das geometrias que são menores ou possuem inclinação. Além disso, considerando a predisposição a integração dos softwares BIM com BPS, é importante que os dados inseridos no BIM correspondam com os necessários para simulação. Ou seja, que as informações que o software BPS precisa possam ser inseridas no software BIM.

É importante ressaltar também que o processo de integração BIM e BPS não deve se prender a softwares e que esse trabalho pode servir como referência para outros estudos. A contribuição deste, na verdade, mostra o potencial do BIM no direcionamento de iniciativas a favor da sustentabilidade e eficiência energética na arquitetura, além do bem-estar dos usuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 10821: Esquadrias para Edificações, Parte 4: Esquadrias Externas — Requisitos Adicionais de Desempenho.** Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações.** Rio de Janeiro. 2005.

_____. **NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho.** Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15575-1: Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos — Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais.** Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15575-4: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas — SVVIE.** Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR 15575-5: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 5: Requisitos para Sistemas de Coberturas.** Rio de Janeiro, 2013c.

AHN, K.-U.; KIM, Y.-J.; PARK, C.-S.; KIM, I. *et al.* BIM interface for full vs. semi-automated building energy simulation. **Energy and Buildings**, 68, p. 671-678, 2014.

ALI, S. B. M.; MEHDIPOOR, A.; SAMSINA JOHARI, N.; HASANUZZAMAN, M. *et al.* Modeling and Performance Analysis for High-Rise Building Using ArchiCAD: Initiatives towards Energy-Efficient Building. **Sustainability**, 14, n. 15, p. 9780, 2022.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Standard 140: standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs.** Atlanta, 2011

ASHRAE. American Society Of Heating, Refrigerating, And Air-Conditioning Engineers. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Standard 55- 2004.** Atlanta: ASHRAE. 2004.

_____. **Handbook of fundamentals.** Atlanta: ASHRAE. 2001.

_____. **Thermal Conditions for Human Occupancy**. Standard 55-1992. Atlanta: ASHRAE. 1992.

ASHRAE, Guideline. Guideline 10-2016-Interactions Affecting the Achievement of Acceptable 1 Indoor Environments. **American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning**, v. 2, 2016.

AUGENBROE, G. Trends in building simulation. **Building and Environment**, 37, n. 8, p. 891-902, 2002/08/01/ 2002.

AZEVEDO, N. C. D.; TAVARES, S. F. Interoperabilidade entre as ferramentas Revit e OpenStudio para simulação termoenergética. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, 11, p. e020011, 2020-07-14 2020.

BAHAR, Y.; PERE, C.; LANDRIEU, J.; NICOLLE, C. A Thermal Simulation Tool for Building and Its Interoperability through the Building Information Modeling (BIM) Platform. **Buildings**, 3, n. 2, p. 380-398, 2013.

BAHARVAND, M.; AHMAD, M.; SAFIKHANI, T.; MAJID, A. DesignBuilder Verification and Validation for Indoor Natural Ventilation. **Journal of Basic and Applied Scientific Research**. v. 3 (4) p. 182-189, 2013.

BAZJANAC, V. Building energy performance simulation as part of interoperable software environments. **Building and Environment**, 39, n. 8, p. 879-883, 2004/08/01/ 2004.

BEAZLEY, S.; HEFFERNAN, E.; MCCARTHY, T. J. Enhancing energy efficiency in residential buildings through the use of BIM: The case for embedding parameters during design. **Energy Procedia**, 121, p. 57-64, 2017/09/01/ 2017.

BEDON, Chiara; KOZŁOWSKI, Marcin; HONFI, Dániel. Thermal Assessment of Glass Façade Panels under Radiant Heating: Experimental and Preliminary Numerical Studies. **Journal Of Façade Design & Engineering**. Volume 6 / number 3 / 2018. Disponível em: <https://click.endnote.com/viewer?doi=10.7480%2Fjfd.2018.3.2477&token=WzMzMDQwNDg-sljEwLjc0ODAvamZkZS4yMDE4LjMuMjQ3NyJd.FRyGOWFzz_B3oOhjTJPEJZr-W3Y>

BELMONTE, M.-V.; DÍAZ-LÓPEZ, C.; GAVILANES, J.; MILLÁN, E. Introducing passive strategies in the initial stage of the design to reduce the energy demand in single-family dwellings. **Building and Environment**, 197, p. 107832, 2021/06/15/ 2021.

BONOMOLO, M.; DI LISI, S.; LEONE, G. Building Information Modelling and Energy Simulation for Architecture Design. **Applied Sciences**, 11, n. 5, p. 2252, 2021.

CALDAS, L. R.; ABREU-HARBICH, L. V. de; HORA, K. E. R. Avaliação ambiental de alternativas construtivas de um edifício contêiner . **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 11, p. e020008, 2020. DOI: 10.20396/parc.v11i0.8654887. Disponível

em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8654887>>. Acesso em: 26 jun. 2023.

CALDAS, L. R.; TOLEDO FILHO, R. D. Avaliação do Ciclo de Vida de materiais cimentícios utilizados no Brasil: estudo para o bloco de concreto e diferentes argamassas. **LALCA: Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida**, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 34–61, 2019. DOI: 10.18225/lalca.v2i2.4143. Disponível em: <<https://lalca.acv.ibict.br/lalca/article/view/4143>>. Acesso em: 8 jul. 2023.

CALQUIN, D. A. L. Automated Building Data Exchange between BIM and BPS Supporting Building Environmental Assessment Methods (BEAM). In **Proceedings of the 15th IBPSA Conference San Francisco, CA, USA**. pp. 1329-1333. 2017.

CARLA SOARES GONÇALVES, J.; KUNIOCHI, E. M. U.; MARCONDES-CAVALERI, M. P.; LIMA, E. G. *et al.* Procedimentos paramétricos para a adequação ambiental da concepção arquitetônica. **Arq.urb**, n. 32, p. 42-60, 2021-12-07 2021.

CARVALHO, J.; ALMEIDA, M.; BRAGANÇA, L.; MATEUS, R. BIM-Based Energy Analysis and Sustainability Assessment—Application to Portuguese Buildings. **Buildings**, 11, n. 6, p. 246, 2021.

CASAGRANDE, Bruna Gomes. **Cenários climáticos futuros: diagnóstico prospectivo do desempenho termoenergético de edifícios comerciais no Brasil para o século XXI**. 2013.

CHEN, S.-Y. A green building information modelling approach: building energy performance analysis and design optimization. **MATEC Web of Conferences**, 169, p. 01004, 2018.

CHOI, J.-W.; JUN, Y.-J.; YOON, J.-H.; SONG, Y.-H. *et al.* A Study of Energy Simulation Integrated Process by Automated Extraction Module of the BIM Geometry Module. **Energies**, 12, n. 13, p. 2461, 2019.

COSTA, M. F. C. C. **Aplicação do DesingBuider à avaliação de soluções de aquecimento e arrefecimento de edifícios para diferentes zonas climáticas portuguesas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013. 89p.

CHVATAL, K. M. S. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**, 14, n. 4, p. 119-134, 2014-12-01 2014.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. S. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference**. 1998.

DI BICCARI, C.; CALCERANO, F.; D'UFFIZI, F.; ESPOSITO, A. *et al.* Building information modeling and building performance simulation interoperability: State-of-the-art and

trends in current literature. **Advanced Engineering Informatics**, 54,p. 101753, 2022/10/01/ 2022.

DING, Z.; ZUO, J.; WU, J.; WANG, J. Y. Key factors for the BIM adoption by architects: a China study. **Engineering, Construction and Architectural Management**, 22, n. 6, p. 732-748, 2015.

Dolzhencko, A V, A V Grebenik, M A Sedashova, and D S Rudenskyi. "Expanding the Capabilities of the ArchiCAD Software Package for Effective Solution of Construction Design Tasks." **Journal of Physics**. Conference Series 1926.1 (2021): 12015. Web.

EASTMAN, C. M.; EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P. *et al.* **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. John Wiley & Sons. 0470541377. 2011.

GONÇALVES, Joana Carla Soares; BODE, Klaus. **Edifício ambiental**. Oficina de textos, 2015.

EL ASMI, E.; ROBERT, S.; ZREIK, K.; HILAIRE, B. **Leveraging building design model from energy performance model: From an IFC/BIM to cometh simulation engine**. IBPSA. 496-503. 2018.

ELNAKLAH, R.; WALKER, I.; NATARAJAN, S. Moving to a green building: Indoor environment quality, thermal comfort and health. **Building and Environment**, 191, p. 107592, 2021/03/15/ 2021.

ELSHAFEI, G.; NEGM, A.; BADY, M.; SUZUKI, M. *et al.* Numerical and experimental investigations of the impacts of window parameters on indoor natural ventilation in a residential building. **Energy and buildings**, 141, p. 321-332, 2017.

ENERGÉTICA, E. D. P. **Fontes de Energia**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>.> Acesso em: 30 de março de 2022.

EPE. **Ações para Promoção da Eficiência Energética nas Edificações Brasileiras: No Caminho da Transição Energética**. Nota Técnica. EPE/DEA/SEE/007/2020. Agosto de 2020.

FERNANDES, L. C. Diagramas de apoio ao projeto baseados na ideia do conforto térmico adaptativo. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, 11, p. e020030, 2020.

FIGUEIREDO, K.; PIEROTT, R.; HAMMAD, A. W. A.; HADDAD, A. Sustainable material choice for construction projects: A Life Cycle Sustainability Assessment framework based on BIM and Fuzzy-AHP. **Building and Environment**, 196, p. 107805, 2021/06/01/ 2021.

FREIRE, M. R.; AMORIM, A. L. D. **A abordagem BIM como contribuição para a eficiência energética no ambiente construído.** V Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção Civil (TIC 2011), Salvador, 2011.

GABRIEL, E.; MELLER, G.; DA SILVA FACCIO, N.; MANSUELO ALVES DOMINGOS, R. Análise do desempenho termoenergético de diferentes tipologias de vidro em Habitação de Interesse Social em Cuiabá - MT. **E&S Engineering and Science**, 9, n. 1, p. 36-44, 04/23 2020.

GERVÁSIO, H.; SANTOS, P.; MARTINS, R.; SIMÕES DA SILVA, L. A macro-component approach for the assessment of building sustainability in early stages of design. **Building and Environment**, 73, p. 256-270, 2014/03/01/ 2014.

GIANNAKIS, G. I.; KATSIKAKIS, K. I.; LILIS, G. N.; ROVAS, D. V. **A Workflow for Automated Building Energy Performance Model Generation Using BIM Data.** School of Production Engineering & Management, Technical University of Crete, Greece. Institute for Environmental Design and Engineering, University College London, UK. 2019.

GIORGI, P.; GRIGOLETTI, G. D. C.; LIMA, R. C. A. D.; LORENZI, L. S. **Avaliação de sustentabilidade e habitabilidade de blocos de solo-cimento segundo a norma ABNT NBR 15575.** Matéria (Rio de Janeiro), 23, 2018.

GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. **Edifício ambiental.** Oficina de Textos, 2015. 8579751748.

GUARDA, E. L. A. D.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. Desempenho Termoenergético de Edificações Sob a Ótica das Mudanças Climáticas: Uma Revisão Sistemática. **E&S Engineering and Science**, 9, n. 1, p. 19-35, 2020-04-23 2020.

HAN, T.; HUANG, Q.; ZHANG, A.; ZHANG, Q. Simulation-Based Decision Support Tools in the Early Design Stages of a Green Building—A Review. **Sustainability**, 10, n. 10, p. 3696, 2018-10-15 2018.

HONG, T.; LANGEVIN, J.; SUN, K. Building simulation: Ten challenges. **Building Simulation**, 11, n. 5, p. 871-898, 2018-10-01 2018a.

HOSSEINI, S. M.; SHIRMOHAMMADI, R.; KASAEIAN, A.; POURFAYAZ, F. Dynamic thermal simulation based on building information modeling: A review. **International Journal of Energy Research**, 45, n. 10, p. 14221-14244, 2021/08/01 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/er.6740>.

HYGH, J. S.; DECAROLIS, J. F.; HILL, D. B.; RANJI RANJITHAN, S. Multivariate regression as an energy assessment tool in early building design. **Building and Environment**, 57, p. 165-175, 2012/11/01/ 2012.

INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, INI-C.** 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Buildings.** Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/buildings>>. Acesso em: 23 abr. 2023.

_____. **Buildings: A source of enormous untapped efficiency potential.** 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/topics/buildings>

INTEROPERABILIDADE. In: **Cambridge dictionary, 2023.** Disponível em: <<https://dictionary.cambridge.org/us/dictionary/english/interoperability>>. Acesso em: 02/10/2023.

ISLAM, R.; NAZIFA, T. H.; YUNIARTO, A.; SHANAWAZ UDDIN, A. S. M. *et al.* An empirical study of construction and demolition waste generation and implication of recycling. **Waste Management**, 95, p. 10-21, 2019.

ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). ISO 7730. Ergonomics of the Thermal Environment—Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the Pmv and Ppd Indices and Local Thermal Comfort Criteria. **Management**, v. 52, 2005.

JUDKOFF, R. and Neymark, J., 1995. **International Energy Agency building energy simulation test (BESTEST) and diagnostic method (No. NREL/TP-472-6231).** National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).

KAMAL, Rajeev *et al.* Strategic control and cost optimization of thermal energy storage in buildings using EnergyPlus. **Applied Energy**, v. 246, p. 77-90, 2019.

KARIMI, M. S.; FAZELPOUR, F.; ROSEN, M. A.; SHAMS, M. Comparative study of solar-powered underfloor heating system performance in distinctive climates. **Renewable Energy**, 130, p. 524-535, 2019/01/01/ 2019.

KIM, D.-W.; PARK, C.-S. Difficulties and limitations in performance simulation of a double skin façade with EnergyPlus. **Energy and Buildings**, 43, n. 12, p. 3635-3645, 2011/12/01/ 2011.

KLIMCZAK, M.; BOJARSKI, J.; ZIEMBICKI, P.; KESKIEWICZ, P. Analysis of the impact of simulation model simplifications on the quality of low-energy buildings simulation results. **Energy and Buildings**, 169, p. 141-147, 2018/06/15/ 2018.

KO, W. H.; SCHIAVON, S.; BRAGER, G.; LEVITT, B. Ventilation, thermal and luminous autonomy metrics for an integrated design process. **Building and Environment**, 145, p. 153-165, 2018/11/01/ 2018.

KORDJAMSHIDI, Maria; KING, Steve. Overcoming problems in house energy ratings in temperate climates: A proposed new rating framework. **Energy and Buildings**, v. 41, n. 1, p. 125-132, 2009.

LAMBERTS, R.; CLETO, L. T. **Certificação de sistemas PBE EDIFICA**. Seminário programa brasileiro de etiquetagem em eficiência energética para refrigeração e ar-condicionado, 1, 2018.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª edição. São Paulo: PW, 2013.

LAMBERTS, R.; GOULART, S.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades Brasileiras**. 1998.

LEE, D.-S.; JO, J.-H. Application of simple sky and building models for the evaluation of solar irradiance distribution at indoor locations in buildings. **Building and Environment**, 197, p. 107840, 2021/06/15/ 2021.

LLATAS, C.; SOUST-VERDAGUER, B.; PASSER, A. Implementing Life Cycle Sustainability Assessment during design stages in Building Information Modelling: From systematic literature review to a methodological approach. **Building and Environment**, 182, p. 107164, 2020/09/01/ 2020.

MASHALY, I. A.; GARCIA-HANSEN, V.; CHOLETTE, M. E.; ISOARDI, G. A daylight-oriented multi-objective optimisation of complex fenestration systems. **Building and Environment**, 197, p. 107828, 2021/06/15/ 2021.

MMA. **Construção Sustentável**. Mma.gov.br, MMA - Ministério do Meio Ambiente, 14 May 2012, antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html. Acesso em: 28 ago. 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Interoperabilidade: O que é Interoperabilidade?**. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/geoprocessamento-1/interoperabilidade#:~:text=%22Interoperabilidade%20define%20se%20dois%20componentes,de%20Inform%C3%A1tica%20%2D%20CORBA%20Workshops%20>>. Acesso em: 2 out. 2023.

MATTANA, L.; LIBRELOTTO, L. I. Contribuição do bim para a sustentabilidade econômica de edificações. **MIX Sustentável**, 3, n. 2, p. 134, 2017-04-17 2017.

MATTERN, H.; KÖNIG, M. BIM-based modeling and management of design options at early planning phases. **Advanced Engineering Informatics**, 38, p. 316-329, 2018/10/01/ 2018.

MELO, A. P.; CÓSTOLA, D.; LAMBERTS, R.; HENSEN, J. L. M. Assessing the accuracy of a simplified building energy simulation model using BESTEST: The case study of Brazilian regulation. **Energy and buildings**, 45, p. 219-228, 2012.

MITSIDI PROJETOS. **Relatório de Premissas e Roadmap 2030**. [S.l.]. 2020.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. **Modelo adaptativo de temperatura operativa neutra para avaliação de espaços semi-confinados**. Universidade de São Paulo, 2008.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Conforto térmico em ambientes semi confinados: Proposição de Modelo Adaptativo. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, 1, n. 4, p. 42, 2009.

_____. **Modelo adaptativo de temperatura operativa neutra para avaliação de espaços semi-confinados**. Universidade de São Paulo, 2008.

NATEPHRA, W.; MOTAMEDI, A.; YABUKI, N.; FUKUDA, T. Integrating 4D thermal information with BIM for building envelope thermal performance analysis and thermal comfort evaluation in naturally ventilated environments. **Building and Environment**, 124, p. 194-208, 2017/11/01/ 2017.

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**, 136, p. 128-145, 2018/05/15/ 2018.

NEGENDAHL, K. Building performance simulation in the early design stage: An introduction to integrated dynamic models. **Automation in Construction**, 54, p. 39-53, 2015/06/01/ 2015.

NEGREIROS, B. D. A. **Análise de métodos de predição de conforto térmico de habitação em clima quente-úmido com condicionamento passivo**. 2010.

NIES, Jason M.; KRYGIEL, Eddy. **Green Book: Guia de Projeto e Construção para Edifícios Verdes**. 1. ed. São Paulo: Bookman, 2009.

NOACK, F.; KATRANUSCHKOV, P.; SCHERER, R.; DIMITRIOU, V. *et al.* Technical challenges and approaches to transfer building information models to building energy. In: **eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction**. CRC Press. p. 355-362. 2017.

NUNES, V. D. L.; HIPPERT, M. A. S.; CARVALHO, A. R. D.; RUBIM, D. F. Implantação da norma NBR 15575 e seu impacto no setor de construção civil. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, 12, p. e021010, 2021.

O'DONNELL, J. T.; VAN DESSEL, M.; MAILE, T., **BIM to Building Energy Performance Simulation: An Evaluation of Current Industry Transfer Processes**. IBPSA. 2019. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.26868/25222708.2019.210241>>.

OLAWUMI, T. O.; CHAN, D. W. M. Identifying and prioritizing the benefits of integrating BIM and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey of international experts. **Sustainable Cities and Society**, 40, p. 16-27, 2018/07/01/ 2018.

OLESEN, B. W. The philosophy behind EN15251: Indoor environmental criteria for design and calculation of energy performance of buildings. **Energy and Buildings**, 39: 740 – 749, 2007.

PINHA, A. P. **Integração entre BIM e BPS: desafios na avaliação de desempenho ambiental na era do projeto e processos digitais**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Tecnologia da Arquitetura. USP: 2017.

PREUSS, J.; BLATTMANN, L.; FREY, M., Building Performance Simulation and Result Visualization in BIM. **Proceedings of the 16th IBPSA Conference Rome, Italy, Sept. 2-4**, 213-220. 2019. Disponível em: http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2019/BS2019_211404.pdf

PUČKO, Z.; MAUČEC, D.; ŠUMAN, N. Energy and Cost Analysis of Building Envelope Components Using BIM: A Systematic Approach. **Energies**, 13, n. 10, p. 2643, 2020.

QIU, Q.; ZHOU, X.; ZHAO, J.; YANG, Y. *et al.* From sketch BIM to design BIM: An element identification approach using Industry Foundation Classes and object recognition. **Building and Environment**, 188, p. 107423, 2021/01/15/ 2021.

QUEIROZ, N.; WESTPHAL, F. S.; RUTTKAY PEREIRA, F. O. A performance-based design validation study on EnergyPlus for daylighting analysis. **Building and Environment**, 183, p. 107088, 2020/10/01/ 2020.

QUEIRÓZ, G. R. D.; GRIGOLETTI, G. D. C.; SANTOS, J. C. P. D. Interoperability between Autodesk Revit and EnergyPlus for thermal simulations of buildings. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, 10, p. e019005, 2019.

RAHMAN, M. M.; RASUL, M. G.; KHAN, M. M. K. Energy conservation measures in an institutional building in sub-tropical climate in Australia. **Applied Energy**, 87, n. 10, p. 2994-3004, 2010/10/01/ 2010.

ROBERTS, F.; YANG, S.; DU, H.; YANG, R. Effect of semi-transparent a-Si PV glazing within double-skin façades on visual and energy performances under the UK climate condition. **Renewable Energy**, 207, p. 601-610, 2023/05/01/ 2023a.

RORIZ, M.; CHVATAL, K. M. S.; CAVALCANTI, F. S. Sistemas construtivos de baixa resistência térmica podem proporcionar mais conforto. **Encontro Nacional**, 10, 2009.

- SERRA, G. G. **Pesquisa em arquitetura e urbanismo: guia prático para o trabalho de pesquisadores em pós-graduação**. São Paulo: EdUSP, 2006.
- SHEN, E.; HU, J.; PATEL, M. Energy and visual comfort analysis of lighting and daylight control strategies. **Building and Environment**, 78, p. 155-170, 2014/08/01/ 2014.
- SILVA JUNIOR, M. A.; MITIDIERI FILHO, C. V. Verificação de critérios de desempenho em projetos de arquitetura com a modelagem BIM. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, 9, n. 4, p. 334-343, 2018.
- SINGH, M. M.; GEYER, P. Information requirements for multi-level-of-development BIM using sensitivity analysis for energy performance. **Advanced Engineering Informatics**, 43, p. 101026, 2020/01/01/ 2020.
- SORGATO, M. J.; MARINOSKI, D. L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública**. 2012.
- SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15575. **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, 12, 2014.
- SOUZA, L. P. D.; BAVARESCO, M. V.; VAZ, C. E. V.; LAMBERTS, R. Inserção de simulações de desempenho térmico no processo de projeto. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, 12, p. e021011, 2021.
- SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, 18, n. 3, p. 357-375, 2009/05/01/ 2009.
- TIAN, Z.; ZHANG, X.; JIN, X.; ZHOU, X. *et al.* Towards adoption of building energy simulation and optimization for passive building design: A survey and a review. **Energy and Buildings**, 158, p. 1306-1316, 2018.
- TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Sustainable energy performance in Brazilian social housing: A proposal for a Sustainability Index in the energy life cycle considering climate change. **Energy and Buildings**, 242, p. 110845, 2021.
- TSUDA, F. P. **Conforto, adequação climática e o papel dos códigos de edificações: os desafios de São Paulo frente ao estado da arte no Brasil e no mundo**. 2019.
- UNEP. **Global Status Report for Buildings and Construction**. 2021. Disponível em: <<https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>>

VAISI, S.; KHARVARI, F. Evaluation of Daylight regulations in buildings using daylight factor analysis method by radiance. **Energy for Sustainable Development**, 49, p. 100-108, 2019/04/01/ 2019

VAN DESSEL, M.; MAILE, T.; O'DONNELL, J. BIM to building energy performance simulation: An evaluation of current transfer processes. Corrado, V., Fabrizio, E., Gasparella, A. and Patuzzi, F. **Building Simulation 2019**, 2019a.

_____. BIM to building energy performance simulation: An evaluation of current transfer processes. Corrado, V., Fabrizio, E., Gasparella, A. and Patuzzi, F. **Building Simulation 2019**, 2019b.

WANG, C.; LU, S.; CHEN, H.; LI, Z. *et al.* Effectiveness of one-click feedback of building energy efficiency in supporting early-stage architecture design: An experimental study. **Building and Environment**, 196, p. 107780, 2021/06/01/ 2021.

WANG, W.; RIVARD, H.; ZMEUREANU, R. Floor shape optimization for green building design. **Advanced Engineering Informatics**, 20, n. 4, p. 363-378, 2006/10/01/ 2006.

WANG, Y.; ZHU, J.; WEI, B. Domestic and International Mainstream BIM Software Application and Comparison Study. **Journal of Physics: Conference Series**, 2185, n. 1, p. 012088, 2022/01/01 2022.

WEBER, Fernando da Silva *et al.* **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para uso no programa EnergyPlus**, 2018.

WONG, K. D.; FAN, Q. Building information modelling (BIM) for sustainable building design. **Facilities**, 31, n. 3/4, p. 138-157, 2013.

YAN, D.; HONG, T. EBC annex 66 proposal: definition and simulation of occupant behaviour in buildings. **International Energy Agency**, 2013.

YAO, R.; ZHANG, S.; DU, C.; SCHWEIKER, M. *et al.* Evolution and performance analysis of adaptive thermal comfort models – A comprehensive literature review. **Building and Environment**, 217, p. 109020, 2022/06/01/ 2022a.

YIN, P.; JI, Y.; XIE, J.; LIU, J. *et al.* Research on residential thermal environment differences in relation to transition and heating periods in Beijing. **Building and Environment**, 197, p. 107851, 2021/06/15/ 2021.

YORI, Robert, Marcus Kim, and Lance Kirby. **Mastering—Autodesk® Revit® 2020**. Newark: John Wiley & Sons, 2020.

YOSHIDA, Rosana. **Das normas de conforto térmico ao projecto de arquitectura: Estudo de Caso para Edifícios de Habitação—Zona Bioclimática Brasileira Z3—Brasil**. 2006. 2006. Tese de Doutoramento. Dissertação (Mestrado)-Curso de Arquitectura Bioclimática, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa/Portugal.

YOSHINO, H.; HONG, T.; NORD, N. IEA EBC annex 53: Total energy use in buildings—Analysis and evaluation methods. **Energy and Buildings**, 152, p. 124-136, 2017.

YU, Shui *et al.* Impact of civil envelope on energy consumption based on EnergyPlus. **Procedia Engineering**, v. 121, p. 1528-1534, 2015.

ZARDO, P.; RIBEIRO, L. A.; MUSSI, A. Q. Aplicações De Bim E Design Paramétrico Para Eficiência Energética Das Edificações: Uma Análise De Aplicações Práticas. **Arquitetura Revista**, 15, n. 2, 2019.

Capa: Fabia Reis
Projeto gráfico: Baden Vieira