

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO

FERNANDO MÁRCIO DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA BIM PARA AVALIAÇÃO
PRESCRITIVA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA INTEGRADA AO
PROCESSO DE PROJETO**

Maceió / AL

2019

FERNANDO MÁRCIO DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA BIM PARA AVALIAÇÃO
PRESCRITIVA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA INTEGRADA AO
PROCESSO DE PROJETO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Dinâmicas do Espaço Habitado da Universidade Federal de Alagoas, com o requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo
Salazar Bittencourt

Maceió / AL
2019

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale – CRB\$ - 661

O48d Oliveira, Fernando Márcio de.

Desenvolvimento de ferramenta BIM para avaliação prescritiva de eficiência energética integrada ao processo de projeto / Fernando Márcio de Oliveira. – 2019. 298 f. : il.

Orientador: Leonardo Salazar Bittencourt.

Tese (doutorado em Arquitetura e Urbanismo : Dinâmica do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2019.

Bibliografia: f. 241-257.

Apêndices: f. 258-297.

Anexo: f. 298.

1. Arquitetura – Projetos e plantas. 2. Desempenho energético. 3. Eficiência energética. 4. Modelagem de informações da construção. 5. Regulamentos Técnicos da Qualidade Residencial. I. Título.

CDU: 72.011.1

Folha de Aprovação

AUTOR: FERNANDO MÁRCIO DE OLIVEIRA


DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA BIM PARA AVALIAÇÃO PRESCRITIVA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA INTEGRADA AO PROCESSO DE PROJETO

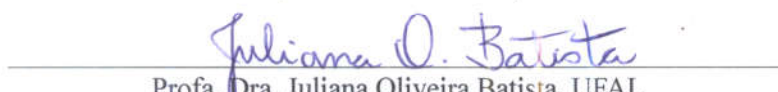
Tese de Doutorado submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação Dinâmicas do Espaço Habitado da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 22 de julho de 2019.




Prof. Dr. Leonardo Salazar Bittencourt, UFAL (Orientador)


Banca Examinadora:


Prof. Dr. Ricardo Victor Rodrigues Barbosa, UFAL
(Examinador Interno)


Profa. Dra. Juliana Oliveira Batista, UFAL
(Examinador Interno)


Prof. Dr. Dilson Batista Ferreira, UFAL
(Examinador Interno)


Prof. Dr. Fernando José de Medeiros Costa, UFRN
(Examinador Externo)


Prof. Dr. Max Lira Veras Xavier de Andrade, UFPE
(Examinador Externo)

DEDICATÓRIA

À educação, ao ensino e à pesquisa no Brasil, as únicas saídas.

Aos professores do país, guerreiros!

Aos arquitetos, e à arquitetura, não podemos parar de sonhar!

AGRADECIMENTOS

À vida, pelas grandes oportunidades que tem me oferecido de crescimento pessoal e profissional.

A meu pai e minha mãe, pelo exemplo que foram, e por me ensinarem a aprender sempre. Sem os seus cuidados e apoio, não seríamos nada.

Às minhas principais fontes de inspiração, que me deram a força necessária para buscar esse desafio, Cristiana, Lili e Nana.

Ao amigo, professor e orientador, Leonardo Bittencourt, uma grande referência para a minha formação, um agradecimento especial por ter encarado o desafio de navegar comigo por outras áreas do conhecimento, me confiado autonomia que só me fez crescer, além de ter sempre compartilhado seus conhecimentos, trazendo-me a tranquilidade para avançar nessa caminhada.

Aos colegas do Departamento de Engenharia Civil da UFS, por acreditarem na minha pesquisa e incentivarem minha dedicação ao doutoramento, em especial a professora Débora Góis, pela colaboração lá no início dessa caminhada, durante a elaboração do projeto de pesquisa.

Aos colegas do Departamento de Arquitetura e Urbanismo - UFS, por me acolherem e colaborarem durante o curso de extensão que realizamos, e que muito enriqueceu esse trabalho.

Aos professores e colegas que encontrei durante esse percurso, que me deram estímulo e alegrias no longo processo de aprendizado. Em especial ao colega Ítalo Montalvão, pelas discussões e sugestões, tão pertinentes para a evolução do trabalho. Ao professor Ariovaldo Denis, por me ensinar a gerenciar o processo da pesquisa, fundamental para nossa compreensão e desenvolvimento da revisão de literatura. Ao colega arquiteto David Doria, pelo auxílio na programação da ferramenta e pelas agradáveis discussões durante a pesquisa, navegando pelo mundo paramétrico e algoritmos.

Aos amigos da turma, que me fizeram sentir como é muito bom ser estudante, papos, críticas, incontáveis caronas, troca de ideias, pela companhia e força de grupo, que tanto nos ajudaram nessa caminhada solitária.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pelo apoio por meio da bolsa de doutorado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

A busca pela eficiência energética nas edificações está em grande parte no projeto arquitetônico, em especial nas fases iniciais de desenvolvimento, que sendo orientado por princípios bioclimáticos, pode minimizar o uso de iluminação artificial ou de condicionamento artificial do ar. O BIM propicia ao projetista a possibilidade de realizar os mais diversos tipos de simulação, e conceber um modelo parametrizado, que permite a visualização de forma ágil da volumetria, da incidência solar, a aplicação de materiais e acabamentos, e avaliação do desempenho. Com a realização rápida de diferentes tipos de simulação é possível se chegar a resultados melhores quanto às condições de desempenho do edifício. O objetivo geral da pesquisa é desenvolver uma ferramenta de suporte ao projeto que possibilite ao projetista trabalhar com a questão de eficiência energética, fazendo análises e simulações durante o desenvolvimento da proposta arquitetônica nas fases iniciais do processo do projeto. Os objetivos específicos são: incorporar a análise e simulação de eficiência energética no projeto arquitetônico através de recursos da modelagem da informação na construção; pesquisar métodos e ferramentas de análise e simulação com a intenção de mapear o estado da arte no tema; fornecer um *feedback* sobre o desempenho desejado para a tomada de decisões durante o processo de projeto; criar mecanismos para auxiliar no processo de projeto, permitindo avaliar aspectos do desempenho energético das diversas soluções de edifícios propostos. Assim, o projetista poderá, mais facilmente, avaliar os impactos das suas soluções de projeto. A metodologia é baseada no *Design Science Research*, que fundamenta e operacionaliza a condução da pesquisa quando o objetivo a ser alcançado é um artefato. A partir do estabelecimento do problema, inicia-se a Revisão Sistemática de Literatura (SLR) com o intuito de estudar e conhecer as situações existentes na área. A seguir é realizada uma análise e sugestões de possíveis soluções a partir da base teórica estabelecida. São definidos os critérios e parâmetros de eficiência energética usados no projeto, e desenvolve-se a ferramenta IDEEA, sendo necessário um estudo de linguagem de programação para esse tipo de situação. A validação da ferramenta foi realizada através de aplicações, simulações e experimentos, confrontando os resultados obtidos com o método tradicional. Após os resultados, foi necessária uma reflexão e aprendizagem oriundas do processo de produção da ferramenta, quando são realizados os ajustes necessários e uma nova validação. A aplicação da ferramenta para um grupo de voluntários em um curso de extensão forneceu uma percepção mais precisa do uso durante o processo de projeto. A ferramenta IDEEA incorpora o desempenho energético no processo de projeto, desde as fases iniciais, dando suporte para a tomada de decisões. Os resultados encontrados permitem acreditar que o objetivo geral da pesquisa foi contemplado.

Palavras-chave: Desempenho energético; Eficiência energética; BIM; Processo de projeto; RTQ-R.

ABSTRACT

The quest for energy efficiency in buildings is largely in the architectural design, especially in the early stages of development, which being guided by bioclimatic principles, can minimize the use of artificial lighting or artificial air conditioning. The BIM allows the designer to carry out the most diverse types of simulation, and to design a parameterized model, which allows the fast visualization of the volumetry, the solar incidence, the application of materials, finishes, and the performance evaluation. With the quick execution of different types of simulation is possible to get better results in the performance of the building. The overall objective of the research is to develop a project support tool that allows the designer to work with the energy efficiency issue, making analyzes and simulations during the development of the architectural proposal in the initial phases of the project process. The specific objectives are: to incorporate the analysis and simulation of energy efficiency in the architectural design through the resources of the modeling information in the construction; to research methods and tools of analysis and simulation with the intention of mapping the state of the art in the theme; to provide feedback on desired performance for decision making during the design process; create mechanisms to assist in the design process, allowing to evaluate aspects of the energy performance of the various building solutions proposed. The methodology is based on Design Science Research, which bases and operationalizes the conduct of research when the goal to be achieved is an artifact. From the establishment of the problem, it is started the Systematic Review of Literature (SLR) in order to study and know the situations in the area. The following is an analysis and suggestions of possible solutions based on the established theoretical basis. The criteria and energy efficiency parameters that are used in the design and development of the IDEEA tool are defined, and a programming language study is required for this type of situation. The validation of the tool was performed through applications, simulations, and experiments, comparing the results obtained with the traditional method. After the results, it was necessary a reflection and learning from the tool production process, when the necessary adjustments are made and a new validation. Applying the tool to a group of volunteers in an extension course provided a more accurate perception of use during the design process. The IDEEA tool incorporates the energy performance in the design process, from the initial stages, giving support to the decision making, and in this way, the results found allow us to believe that the general objective of the research has been contemplated.

Keywords: Energy performance; Energy efficiency; BIM; Design process; RTQ-R.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 - Imagem esquemática de um SMS com as cinco etapas.....	27
Ilustração 2 - Resultado da busca inicial separado por base	28
Ilustração 3 - Evolução do refinamento de busca durante o SMS	29
Ilustração 4 - Distribuição dos artigos aderentes de acordo com o ano da publicação	29
Ilustração 5 - Principais periódicos e eventos internacionais que publicaram sobre o tema	30
Ilustração 6 - Principais autores de publicações sobre o tema	30
Ilustração 7 - Principais focos dos artigos publicados	31
Ilustração 8 - Distribuição dos principais focos dos artigos publicados	32
Ilustração 9 - Evolução do consumo de energia elétrica no Brasil.....	35
Ilustração 10 - Consumo de energia por setor nos Estados Unidos (2013)	36
Ilustração 11 - Evolução do consumo de energia, consumo das famílias e números de domicílios no período 1990-2011 (1990=100)	39
Ilustração 12 - Linhas de base comparativa para avaliação do desempenho energético	42
Ilustração 13 - O formulário de avaliação operacional do EPC alemão.....	49
Ilustração 14 - Comparação dos códigos de energia dos edifícios residenciais.....	50
Ilustração 15 - Principais Políticas de Eficiência Energética no Brasil - 1984 a 2011	53
Ilustração 16 - Linha do tempo de políticas recentes de eficiência energética no Brasil - 2006 a 2011	55
Ilustração 17 - Zonas bioclimáticas brasileiras com base na ABNT NBR 15220-3.....	58
Ilustração 18 - Etiqueta de Edificação PBE Edifica nível "B"	59
Ilustração 19 - Envelope da edificação	60
Ilustração 20 - Determinando desempenho do envelope para zonas bioclimáticas Z1 e Z4	62
Ilustração 21 - Forma para representação da sequência de decisões do processo de projeto	76
Ilustração 22 - Croquis do arquiteto Aflalo & Gasperini	82
Ilustração 23 - Simulações de desempenho da luz solar no projeto do City Hall, Londres.....	84
Ilustração 24 - Processo BIM, nível de impacto e esforço no projeto usando tecnologia integrada e método tradicional.....	88
Ilustração 25 - Importância das decisões projetuais para a fase de pré-projeto	89
Ilustração 26 - Modelo de equipe tradicional e um modelo de equipe integrada.....	96

Ilustração 27 - Fluxo de trabalho por Kalay (1999) e o sugerido por Petersen e Svendsen (2010)	98
Ilustração 28 - Uma série de modelos progressivos de simulação estrutural suportados em duas colunas fixas, que representam os três estágios de otimização	100
Ilustração 29 - O processo de implementação do BPOpt para otimizar o desempenho do edifício e as ferramentas e aplicações que são usadas no processo.....	103
Ilustração 30 - Planta-baixa e vista isométrica 3D mostra as aberturas na fachada norte e painéis de cortina de vidro na fachada sul.....	105
Ilustração 31 - Gráfico mostrando o conjunto Pareto Optimal com valores de variáveis de decisão para três alternativas	105
Ilustração 32 - Ferramentas de modelagem de desempenho nas fases iniciais do projeto	115
Ilustração 33 - Ciclo BIM - Building Information Modeling	120
Ilustração 34 - Diagrama comparativo entre um processo tradicional e um processo integrado	123
Ilustração 35 - Maturidade BIM está dividida em três estágios – Visão linear	125
Ilustração 36 - Etapas do processo de implementação BIM	126
Ilustração 37 - Modelo das duas opções de projeto são consideradas: com e sem sombreamento	134
Ilustração 38 - Quadro BIM para análise de sustentabilidade.....	136
Ilustração 39 - Sumário de BIM para análise de sustentabilidade.....	137
Ilustração 40 - Metodologia da pesquisa DSRM adaptada a essa pesquisa	146
Ilustração 41 - Visão geral da metodologia DSRM e processo adotado nessa pesquisa e ordem cronológica	148
Ilustração 42 - Fluxo geral do de trabalho do processo de projeto com a IDEEA	153
Ilustração 43 - Tela do Revit com o botão do Dynamo (alto, à direita) e tela do Dynamo Player aberto	154
Ilustração 44 - Parte de um script do Dynamo com seus Nós	155
Ilustração 45 - Processo de implantação das etapas, ações e programas / aplicativos usados no fluxo de trabalho IDEEA.....	156
Ilustração 46 - Fluxograma geral da ferramenta IDEEA	157
Ilustração 47 - Modelo de parede 01 e cobertura 05, disponibilizado no template IDEEA.....	159
Ilustração 48 - Tela do Revit para preenchimento de esquema de cores.....	160
Ilustração 49 - Equação 3.21, indicador GHR da ZB8	162
Ilustração 50 - Constantes da Equação 3.21	163
Ilustração 51 - Componente de anotação Relógio de Eficiência e Vista 3D	163

Ilustração 52 - Modelo de prancha de apresentação dos resultados encontrados.....	164
Ilustração 53 - Script Dynamo IDEEA_Inserir_Template	166
Ilustração 54 - Fluxograma do script IDEEA_Processamento	168
Ilustração 55 - Grupo de rotinas de coleta de informações no modelo virtual	168
Ilustração 56 - Trecho do script escrito em linguagem escrita de programação	169
Ilustração 57 - Trechos escrito em Python	170
Ilustração 58 - Rotina para geração de mensagens de alerta no Revit ..	171
Ilustração 59- Fluxograma do script IDEEA_Equações	172
Ilustração 60 - Rotina de processamento das variáveis e cálculo das Equações.....	173
Ilustração 61 - Projeto piloto de arquitetura e modelo virtual usado para testes iniciais da ferramenta	175
Ilustração 62 - Tela do Revit de abertura para escolha de um template para um arquivo novo	177
Ilustração 63 - Elementos pré-configurados no arquivo de modelagem.	178
Ilustração 64 - Project Base Point.....	180
Ilustração 65 - Tela de entrada de dados referente às Informações de Projeto	182
Ilustração 66 - Informações necessárias na modelagem das paredes ...	183
Ilustração 67 - Informações necessárias na modelagem das janelas	184
Ilustração 68 - Informações necessárias na modelagem dos ambientes	185
Ilustração 69 - Tabela no Revit de Entrada – ambientes	186
Ilustração 70 - Abertura (h) em beirais para ventilação do ático.....	186
Ilustração 71 - Informações necessárias na modelagem da cobertura ..	187
Ilustração 72 - Esquema de informações necessárias que devem constar na modelagem virtual	188
Ilustração 73 - Tela para execução dos scripts através do Dynamo Player	189
Ilustração 74 - Planta-baixa projeto piloto: orientações de 0° a 315° ...	193
Ilustração 75 - Projeto edificação residencial multifamiliar para avaliação da ferramenta para o modelo do teste 01	201
Ilustração 76 - Modelo 3D da edificação residencial multifamiliar para avaliação da ferramenta para o modelo de teste 01	203
Ilustração 77 - Modelo de teste 01 - Resultados simulações em 3D de Eficiência Energética	204
Ilustração 78 - Planta-baixa pavimento tipo de edificação residencial multifamiliar para avaliação da ferramenta do modelo de teste 02.....	206
Ilustração 79 - Modelo 3D para avaliação da ferramenta no modelo de teste 02	207
Ilustração 80 - Modelo de teste 02 - Resultados simulações em 3D de Eficiência Energética	209

Ilustração 81 - Gráfico de participantes do curso de extensão na UFS ..	213
Ilustração 82 - Nível de conhecimento X participantes nos diversos temas	214
Ilustração 83 - Curso de aplicação da Ferramenta IDEEA na UFS	218
Ilustração 84 - Avaliação dos conteúdos ministrados pelo instrutor	221
Ilustração 85 - Imagens dos participantes durante a atividade de aplicação da ferramenta no curso de extensão	222
Ilustração 86 - Exercícios durante o curso de aplicação da IDEEA	224
Ilustração 87 - Avaliação do uso da ferramenta IDEEA, integração do processo de projeto e desempenho energético	225
Ilustração 88 - Avaliação dos participantes sobre a aplicação da ferramenta IDEEA no processo de projeto.....	226
Ilustração 89 - Acompanhamento do desenvolvimento do processo de projeto com auxílio da IDEEA - Participante P5	227
Ilustração 90 - Acompanhamento do desenvolvimento do processo de projeto com auxílio da IDEEA - Participante P12	229
Ilustração 91 - Script Inserir.Template	277
Ilustração 92 - Script IDEEA.processamento	278
Ilustração 93 - Script IDEEA.equações	279

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção Científica por pesquisador.....	31
Tabela 2 - Artigos mais citados	32
Tabela 3 - Referencias mais citadas nos artigos da Tabela 2	33
Tabela 4- Características de consumo 2010 e previsões do setor residencial e consumo de eletricidade no Brasil	40
Tabela 5- Especificação de material projeto piloto de arquitetura para testes iniciais da ferramenta	175
Tabela 6 - Características térmicas materiais do projeto piloto	176
Tabela 7 - Ensaio realizados no Modelo Base.	192
Tabela 8 - Ensaio com variações nos materiais do envelope do projeto piloto – base.....	194
Tabela 9 - Ensaio com variações (04) nas esquadrias (janelas) do projeto piloto – base.....	195
Tabela 10 - Ensaio com variações (04) na geometria (APP) do projeto piloto – base.....	196
Tabela 11 - Especificação de material projeto de arquitetura para o modelo de teste 01.....	201
Tabela 12 – Características térmicas materiais do projeto do modelo de teste 01	202
Tabela 13 - Resultados comparativos entre a IDEEA e a planilha Procel do cálculo das variáveis GHR, CR e CA no modelo de teste 01.	205
Tabela 14 - Especificação de material projeto de arquitetura para o modelo de teste 02.....	207
Tabela 15 - Características térmicas materiais do projeto do modelo de teste 02	208
Tabela 16 - Resultados comparativos entre a IDEEA e a planilha Procel do cálculo das variáveis GHR, CR e CA no estudo de modelo de teste 02 ..	210
Tabela 17 - Quadro Resumo das Atividades e carga horária do curso de extensão	216
Tabela 18 - Resumo dos Estudos comparativos entre a planilha Procel e Manual RTQ-R, para todas as Zonas Bioclimáticas	234
Tabela 19 - Tabela de Informações de Projeto (Entrada de Dados)	258
Tabela 20 - Tabela de Ambientes (Entrada de Dados)	258
Tabela 21 - Tabela de Cobertura (Entrada de Dados)	258
Tabela 22 - Tabelas de Forros (Entrada de Dados).....	258
Tabela 23 - Tabela de Pisos (Entrada de Dados).....	258
Tabela 24 - Tabela de Janelas (Entrada de Dados).....	258
Tabela 25 - Tabela de Portas (Entrada de Dados)	259
Tabela 26 - Parâmetros de Ambientes usados no Processamento e Equações (01).....	260

Tabela 27 - Parâmetros de Ambientes usados no Processamento e Equações (02).....	261
Tabela 28 - Parâmetros de Informações de Projeto usados no Processamento e Equações	262
Tabela 29 - Outros parâmetros usados no Processamento e Equações..	263
Tabela 30 - Comparativo dos resultados da pontuação total do Modelo Base, calculados pela IDEEA, ou pela Planilha Eletrobrás	264
Tabela 31 - Comparativo dos resultados da pontuação dos ambientes do Modelo Base, calculados pela IDEEA, ou pela Planilha Eletrobrás	264
Tabela 32 - Comparativo dos resultados dos pré-requisitos dos ambientes do Modelo Base, calculados pela IDEEA, ou pela Planilha Eletrobrás	265
Tabela 33 - Resultados informações dos ambientes, projeto piloto – base: orientação 0°	265
Tabela 34 - Resultados informações do projeto, projeto piloto – base: orientação 0°	267
Tabela 35 - Resultados informações do projeto, projeto piloto – base: orientações de 0° a 315 °.....	268
Tabela 36 - Resultados informações do ambiente "Quarto 01", projeto piloto – base: orientações de 0° a 315°	268
Tabela 37 - Resultados informações do projeto, projeto piloto – base: Materiais do envelope da UH	269
Tabela 38 - Resultados informações do ambiente "Quarto 01", projeto piloto – base: Materiais do envelope da UH.....	270
Tabela 39 - Resultados informações do projeto, projeto piloto – base: Esquadrias da UH	272
Tabela 40 - Resultados informações do ambiente "Quarto 01", projeto piloto – base: Esquadrias da UH	272
Tabela 41 - Resultados informações do projeto, projeto piloto – base: Geometria da UH.....	274
Tabela 42 - Resultados informações do ambiente "Quarto 01", projeto piloto – base: Geometria da UH.....	275
Tabela 43 - Estudo comparativo das constantes das equações entre Manual do RTQ-R e Planilha Procel para a ZB1	287
Tabela 44 - Estudo comparativo das constantes das equações entre Manual do RTQ-R e Planilha Procel para a ZB2	288
Tabela 45 - Estudo comparativo das constantes das equações entre Manual do RTQ-R e Planilha Procel para a ZB3	289
Tabela 46 - Estudo comparativo das constantes das equações entre Manual do RTQ-R e Planilha Procel para a ZB4	290
Tabela 47 - Estudo comparativo das constantes das equações entre Manual do RTQ-R e Planilha Procel para a ZB6	291
Tabela 48 - Estudo comparativo das constantes das equações entre Manual do RTQ-R e Planilha Procel para a ZB7	292

Tabela 49 - Estudo comparativo das constantes das equações entre Manual do RTQ-R e Planilha Procel para a ZB5 e 8	293
Tabela 50 - Planilha Eletrobrás de análise da envoltória e dos Pré-requisitos dos ambientes / RTQ - Edificações Residenciais	298

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AECO	Arquitetura, Engenharia e Construção
AIA	<i>American Institute of Architects</i>
AIE	Agência Internacional de Energia
API	<i>Application Programming Interface</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
BPS	<i>Building Performance Simulation</i>
CA	Consumo de Energia para Aquecimento
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CR	Consumo de Energia para Refrigeração
DSR	<i>Design Science Research</i>
DSRM	<i>Design Science Research Metodology</i>
EEPFD	<i>Evolutionary Energy Performance Feedback for Design</i>
EEE	Eficiência Energética em Edificações
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPBD	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
FEA	<i>Finite Elements Analisis</i>
GHR	Graus Horários de Resfriamento
GbXML	<i>Green Building eXtended Markup Language</i>
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>
IFC	<i>Industry Foudation Classes</i>
IDEEA	Incorporando Eficiência Energética na Arquitetura
IN	Instrução Normativa
IPD	<i>Integrated Project Delivery</i>
IDP	<i>Integrated Design Process</i>
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
LST	Laboratório de Sistemas Térmicos
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

MDO	<i>Multidisciplinary Design Optimization</i>
MEP	<i>Mechanical Electric and Plumbing</i>
MME	Ministério das Minas e Energia
NZEB	<i>Net Zero Energy Building</i>
OIA	Organismo de Inspeção Acreditado
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PNE	Plano Nacional de Energia
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RTQ	Regulamentos Técnicos da Qualidade
RTQ-C	Regulamentos Técnicos da Qualidade Comercial
RTQ-R	Regulamentos Técnicos da Qualidade Residencial
SMS	<i>Systematic Mapping Study</i>
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
USGBC	<i>US Building Council</i>
VPL	<i>Visual Programming Language</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

SUMÁRIO

SUMÁRIO	19
1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Questão de pesquisa / Hipótese	22
1.2 Objetivos e metodologia da tese	23
1.3 Estrutura do trabalho	24
2 REVISÃO DE LITERATURA	26
2.1 Revisão Sistemática de Literatura (RSL)	26
2.1.2 Mapeamento das pesquisas	28
2.1.3 Conclusões (RSL)	33
2.2 Eficiência energética no projeto de arquitetura	34
2.2.1 Eficiência Energética	34
2.2.2 Sistemas de Certificação	44
2.2.3 Etiquetagem no Brasil	52
2.2.4 Processo de Certificação – PROCEL	58
2.2.4.1 Envelope	60
2.2.4.2 Sistema de aquecimento de água	63
2.2.4.3 Bonificações	63
2.2.4.4 Análise crítica do RTQ-R	64
2.2.4.5 Relação ao mercado	65
2.3 Simulação no projeto de arquitetura	66
2.3.1 Considerações gerais	66
2.3.2 Simulação e desempenho no projeto.....	70
2.3.3 Processo de projeto de arquitetura	75
2.3.3.1 Fases preliminares de concepção	86
2.3.3.2 Projeto integrado e digital.....	90
2.3.3.3 Projeto baseado em desempenho.....	97
2.3.3.4 Otimização do Desempenho	100
2.3.4 Ferramentas de simulação	106
2.3.4.1 Ferramentas existentes no mercado.....	109
2.3.4.2 Faixas de aplicação	111

2.3.4.3	Limitações	111
2.3.4.4	Comparações entre as ferramentas	112
2.4	<i>Building Information Modeling (BIM)</i>	117
2.4.1	BIM - Conceitos e aplicações.....	117
2.4.2	Modelagem Paramétrica e Interoperabilidade	128
2.4.3	Modelagem e desempenho energético.....	131
2.4.4	Linguagem de programação Visual	138
2.5	Considerações finais da seção	140
3	ABORDAGEM METODOLÓGICA	143
3.1	<i>Design Science Research Methodology (DSRM)</i>	143
3.2	Procedimentos Metodológicos	145
3.3	Processo Metodológico	148
3.3.1	Revisão da Literatura	148
3.3.2	Projeto da Ferramenta	149
3.3.3	Desenvolvimento do protótipo.....	150
3.3.4	Realização de testes	150
3.3.5	Processo de avaliação	151
3.3.6	Comunicação com a comunidade.....	152
4	DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	153
4.1	IDEEA – Incorporando a Avaliação de Eficiência Energética na Arquitetura	154
4.2	Programação e construção do protótipo	164
4.2.1	IDEEA_Inserir_Template	165
4.2.2	IDEEA.Processamento	167
4.2.3	IDEEA.Equações.....	171
4.3	Demonstração da ferramenta	173
4.3.1	Projeto Piloto	174
4.3.2	Preparação do modelo virtual.....	176
4.3.2.1	Iniciando o modelo virtual.....	176
4.3.2.2	Processo projetual – alimentando o modelo virtual.....	179
4.3.2.2.1	Orientação Norte	180
4.3.2.2.2	Informações de projeto	181

4.3.2.2.3	Modelando os elementos de arquitetura.....	183
4.3.2.3	Qualidade do modelo.....	187
4.3.3	Processamento e equações.....	188
4.4	Simulações e validação dos resultados	191
4.4.1	Ensaio com variações na orientação do Norte	193
4.4.2	Ensaio com variações nas características térmicas dos materiais do envelope da unidade habitacional	193
4.4.3	Ensaio com variações nas esquadrias	195
4.4.4	Ensaio com variações na geometria.....	196
4.5	Considerações finais do desenvolvimento	197
5	APLICAÇÃO DA FERRAMENTA IDEEA	199
5.1	Realização de testes	200
5.1.1	Modelo de Teste 01 – edifício tipo sobrado	200
5.1.1.1	Projeto	200
5.1.1.2	Simulações e validação.....	203
5.1.2	Modelo de Teste 02 – edifício 04 pavimentos	205
5.1.2.1	Projeto	206
5.1.2.2	Simulações e validação.....	208
5.1.3	Considerações sobre os testes	211
5.2	Curso Extensão UFS	211
5.2.1	Garantias éticas aos participantes	214
5.2.2	Procedimentos Metodológicos	215
5.2.3	Critérios de inclusão e exclusão dos participantes da pesquisa ..	219
5.2.4	Atividades desenvolvidas.....	219
5.2.5	Dificuldades encontradas.....	220
5.2.6	Resultados apresentados.....	220
5.2.7	Acompanhamento do exercício.....	226
5.2.8	Considerações finais da atividade	230
5.3	Comunicação com a comunidade científica	232
5.4	Considerações finais da aplicação da ferramenta IDEEA	233
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	236
6.1	Contribuições científicas	236

6.2 Limitações	237
6.3 Sugestões para futuros trabalhos	237
6.4 Conclusões	238
REFERÊNCIAS	241
APÊNDICE A - TABELAS UTILIZADAS NA ENTRADA DE DADOS DA MODELAGEM	258
APÊNDICE B – PARÂMETROS USADOS	260
APÊNDICE C – RESULTADOS ENSAIOS	264
APÊNDICE D – PROGRAMAÇÃO DOS <i>SCRIPTS</i>	277
APÊNDICE E – DOCUMENTOS CURSO DE EXTENSÃO	280
APÊNDICE F – TABELAS COMPARATIVAS DAS CONSTANTES DAS EQUAÇÕES	287
APÊNDICE G – ARTIGOS PUBLICADOS	294
ANEXO A – PLANILHA ELETROBRÁS	298

1 INTRODUÇÃO

A busca pela eficiência energética em edificações depende em grande parte do projeto arquitetônico que, orientado por princípios bioclimáticos, pode dispensar o uso de condicionamento artificial do ar, ou reduzi-lo sensivelmente. Embora, em tese, a abordagem do conforto ambiental seja inerente ao processo de projeto, a produção arquitetônica que se vê nas cidades mostra que muitas questões relacionadas ao desempenho térmico dessas edificações não são contempladas, o que indica a falta de preocupação de muitos arquitetos com essas questões, ou mesmo o desconhecimento em lidar com todas as variáveis (FREIRE; AMORIM, 2013). Os edifícios representam aproximadamente 40% do nosso consumo de energia primária e 71% da eletricidade utilizada nos Estados Unidos (HOJJATI; WADE, 2012).

No tocante ao Balanço Energético Nacional 2015 (PROCEL; ELETROBRÁS, 2016), no Brasil as edificações (no segmento industrial, comercial, serviços, residencial e público) são identificadas como a principal demanda de eletricidade do país, responsável pelo consumo de cerca de 50% do total. Avalia-se que o setor residencial está com uma previsão de crescimento (em torno de 23%) até 2030, refletindo as hipóteses de crescimento do nível de renda e de sua maior distribuição, como aconteceu nos anos de 2005 a 2014. Estima-se que o consumo de eletricidade residencial *per capita*, cujo índice atual é de apenas 38 kWh/mês/hab, possa chegar em 2030 a 99 kWh/mês/hab, o que ainda é um valor bastante inferior aos parâmetros internacionais (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

Eficiência energética na arquitetura é um atributo inerente ao edifício e representa seu potencial de possibilitar conforto (térmico, visual e acústico) aos usuários com baixo consumo de energia (LAMBERTS, 2016).

O Brasil é um país em desenvolvimento, e apesar do crescimento econômico na última década, ainda consome pouca energia. Deve-se

garantir que o desenvolvimento seja sustentável, evitando o desperdício comum em países desenvolvidos (LAMBERTS, 2016).

Medidas de redução do consumo de energia em edificações podem proporcionar não apenas economia de gastos para seus proprietários, como também evitam a necessidade de investimentos para ampliação do parque gerador e do sistema de distribuição de energia elétrica. Dessa forma, reduzem-se também os impactos ao meio ambiente, ocasionados pela construção de novas usinas, sejam elas termelétricas, hidrelétricas, nucleares, entre outras (WESTPHAL, 2007).

Na fase de elaboração de projeto, o arquiteto depara-se com uma série de possibilidades para a definição do partido arquitetônico, desde os esboços iniciais até o projeto executivo, que certamente implicarão no resultado final do desempenho energético da edificação. Nessa fase, mais do que uma ferramenta de representação gráfica, a Modelagem da Informação da Construção, conhecida como BIM (*Building Information Modeling*), propicia ao arquiteto a possibilidade de realizar os mais diversos tipos de simulação, de conceber um modelo parametrizado que permite a visualização da volumetria, da incidência solar, da aplicação de materiais e acabamentos, bem como da avaliação do desempenho dos elementos arquitetônicos. Com a realização rápida de diferentes tipos de simulação, é possível se avaliar os caminhos a seguir, e os caminhos a se evitar, e pode-se chegar a resultados com melhores condições de desempenho do edifício nos diversos campos de interesses: térmico, energético, urbanístico, funcional, construtivo, etc.

O avanço na forma de projetar apoiado das ferramentas computacionais adequadas de modelagem na arquitetura tem revolucionado o processo de projeto do edifício, o que pode contribuir para a melhoria da qualidade das construções, em particular do seu desempenho energético. A modelagem do produto, cuja principal característica é a conjugação das informações geométricas, tais como forma, posição e dimensões, com as não geométricas, que incluem propriedades térmicas dos componentes construtivos, entre outras abordagens, que compõe o que

se chama de Modelagem da Informação da Construção (FREIRE; AMORIM, 2013).

O BIM tem se constituído em um campo emergente de pesquisa e aplicação (SUCCAR, 2009a). No Brasil, a pesquisa nessa área tem tido um avanço em publicações nos últimos anos, em parte pelo apoio do CNPq e da FINEP, que através de seus editais anuais incentivaram a criação de redes de pesquisa voltadas ao desenvolvimento de soluções inovadoras em tecnologia da informação e comunicação aplicadas à construção, visando à melhoria da qualidade e produtividade do segmento da habitação de interesse social, com destaque para: *Building Information Modeling* (BIM) e outras soluções para suporte ao processo de gerenciamento de projetos; simulação de desempenho; e operação de edificações, o que influenciou diretamente a produção de artigos e pesquisas no país (KASSEN; SUCCAR, 2016).

Dos conceitos abordados pelos diversos autores para o BIM, sobressai o usado por (SUCCAR, 2009a), um conjunto de políticas, processos e tecnologias que, interagindo, geram uma metodologia para a gestão, em formato digital, do projeto de uma edificação e de seus dados, durante todo seu ciclo de vida.

No caso de edificações artificialmente condicionadas, o projeto arquitetônico tem impacto significativo no consumo de eletricidade. Pedrini e Szokolay (2005) analisaram esse impacto através de simulação computacional do desempenho térmico e energético de edificações. Na análise energética de mais de 38 mil modelos de salas comerciais, constatou-se que até 70% de economia de energia poderia ser obtido através da definição adequada do desenho geométrico e da escolha de materiais e componentes construtivos da edificação em função do clima.

Uma integração sistemática paramétrica do BIM e a análise do desempenho do edifício podem fornecer um novo fluxo de trabalho que tornará o desempenho do edifício mais acessível para o projeto de edifícios eficientes energeticamente. O BIM fornece informações de construção relevantes, necessárias à construção de análises de desempenho energético

e, se usadas apropriadamente, tornam possível economizar uma quantidade significativa de tempo e esforço na preparação de dados de entrada para a simulação de desempenho de construção, reduzindo erros (KUMAR, 2008).

Em um processo tradicional para a elaboração de projetos arquitetônicos, as avaliações de desempenho estão inseridas no fluxo de trabalho apenas nas etapas mais avançadas do processo, onde o projeto se encontra bastante desenvolvido. Nesse momento, caso o desempenho não seja favorável, será preciso retornar às definições iniciais, revisando os conceitos básicos adotados. Tal fato produz um grande retrabalho no processo como um todo.

Esta tese apresenta uma ferramenta de Integração de Desempenho Energético na Arquitetura (IDEEA) que busca fornecer suporte integrado durante as fases iniciais do processo de projeto arquitetônico, auxiliando às tomadas de decisões referentes ao desempenho energético na concepção do edifício, que seja fácil de configurar e expansível, no *software* de modelagem BIM Autodesk® Revit, um programa de autoria usado na modelagem. A IDEEA usa uma interface de usuário de programação visual para que usuários configurem parâmetros de construção e funções de desempenho, utilizando os benefícios significativos da programação visual, especialmente no processo de projeto de arquitetura.

A proposta da ferramenta IDEEA de se integrar nas fases iniciais do processo de projeto de arquitetura contribui para que as decisões tomadas nessa fase sejam bem embasadas e possam ser desenvolvidos edifícios com melhor desempenho energético, e incorpora nesta o caráter de originalidade, e contribuindo cientificamente no campo de conhecimento da AEC.

1.1 Questão de pesquisa / Hipótese

A avaliação do desempenho energético da edificação durante as fases iniciais do processo de elaboração do projeto arquitetônico se constitui em

relevante aspecto no que se refere a melhores resultados concernente a qualidade do edifício.

As limitações das análises de desempenho se davam por conta das limitações dos computadores existentes, e com o avanço da tecnologia é possível uma grande melhoria no suporte computacional ao processo de projeto arquitetônico.

O impacto produzido pelo conhecimento de diferentes orientações no que se refere a incidência da radiação solar, transmissão de calor e conforto nos edifícios se constitui em aspecto fundamental do projeto arquitetônico visando auxiliar as decisões projetuais que afetam todo o conjunto da obra.

Integração do desempenho energético nas fases iniciais do processo de projeto através de uma ferramenta de suporte na plataforma BIM pode influenciar qualitativamente nos projetos de arquitetura, essa é uma hipótese que esse trabalho vai buscar descobrir.

Uma ferramenta que apresente resultados de eficiência energética, executada simultaneamente em um programa de modelagem virtual BIM, durante os estágios iniciais do desenvolvimento do processo de projeto arquitetônico, pode contribuir para melhoria do desempenho energético no projeto e influenciar em edificações com melhor desempenho energético? O uso de *feedback* sobre o desempenho desejado durante o processo de projeto pode auxiliar o arquiteto a tomada de decisão projetual?

1.2 Objetivos e metodologia da tese

Diante dessa problemática, este trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma ferramenta que apresente resultados de eficiência energética obtidos simultaneamente ao andamento do projeto arquitetônico. Pretende-se que a ferramenta vá informando ao projetista o desempenho do edifício, desde os estágios iniciais do projeto arquitetônico de edificações residenciais.

Como objetivos específicos, pretende-se (i) contribuir para o aperfeiçoamento do processo projetual, a partir da integração do

desempenho energético ao projeto arquitetônico desde as fases iniciais, (ii) estudar o formato adequado da ferramenta de forma a minimizar a interferência no processo de concepção arquitetônica utilizados pelos projetistas.

O desenvolvimento de uma ferramenta, IDEEA – Integrando Desempenho Energético e Arquitetura –, visa avaliar as soluções propostas e apresentar resultados de eficiência energética, executada simultaneamente dentro do programa de autoria BIM, usado para a modelagem virtual, durante as fases iniciais do desenvolvimento do processo de projeto arquitetônico, contribuindo para a melhoria do desempenho energético do edifício.

A metodologia de pesquisa utilizada para a condução deste trabalho é descrita pela *Design Science Research Methodology* (DSRM), como um processo proposto por Peffers (PEFFERS *et al.*, 2006). O *design* neste domínio é definido como o método de criar uma solução explícita e aplicável para a um determinado problema.

Design Science Research é o método que fundamenta e operacionaliza a condução da pesquisa quando o objetivo a ser alcançado é um artefato ou uma prescrição; desenvolver artefatos que permitam soluções satisfatórias aos problemas práticos. Pretende-se definir o problema, sugerir, desenvolver, avaliar, concluir (DRESCH; LACERDA; JOSÉ ANTONIO VALLE ANTUNES, 2015). Uma característica fundamental da pesquisa (que usa DSR) é ser orientada à solução de problemas específicos, não necessariamente buscando a solução ótima, mas a solução satisfatória para a situação.

1.3 Estrutura do trabalho

Esta tese está dividida em seis seções, que são descritos a seguir:

- Seção 1 – Introdução: descreve o problema e fornece uma visão geral do trabalho. Explica os objetivos perseguidos da pesquisa e contém uma breve visão geral sobre a estrutura proposta e suas ferramentas componentes. A

seção de introdução inclui o panorama geral da pesquisa, bem como a problemática da tese.

- Seção 2 – Revisão de literatura: esta seção revisa a literatura atual sobre eficiência energética e simulação no projeto de arquitetura e no *Building Information Modeling* (BIM). Foi desenvolvida uma revisão sistemática da literatura, na qual foram mapeadas as pesquisas no tema e discutidas as lacunas existentes.
- Seção 3 – Metodologia da pesquisa: a partir dos objetivos definidos na Seção 1, apresenta uma descrição detalhada dos métodos utilizados para realizar este trabalho e desenvolve o processo de definição do objeto de estudo.
- Seção 4 – Desenvolvimento da ferramenta computacional: esta seção fornece detalhes sobre o processo de desenvolvimento da ferramenta IDEEA, onde são abordados os critérios e parâmetros de eficiência energética, a programação e a construção do protótipo.
- Seção 5 – Aplicação da ferramenta computacional: Nessa seção foram realizadas atividades destinadas a validar a ferramenta. Foram realizados testes com tipologias diferenciadas e os resultados apresentados; e um curso de extensão sobre a aplicação da ferramenta com a finalidade de examinar a usabilidade do *software* proposto. Os resultados dessas atividades são discutidos e apresentados na conclusão da seção.
- Seção 6 – Conclusões e sugestões para trabalhos futuros: inclui a contribuição da pesquisa para o campo da arquitetura e urbanismo, suas limitações e sugestões de trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção foi efetuada uma revisão da literatura discutindo os temas “eficiência energética”, “simulação no projeto de arquitetura” e “BIM - *Building Information Modeling*”. Para uma melhor compreensão do panorama da pesquisa científica na área, foi adotada como critério para recorte bibliográfico a RSL (Revisão Sistemática de Literatura), o que contribuiu para o mapeamento e a compreensão do estado da arte do desenvolvimento científico do campo de conhecimento.

2.1 Revisão Sistemática de Literatura (RSL)

Apesar da relevância do tema, a integração entre as condicionantes arquitetônicas e o produto final (partido arquitetônico) não estão devidamente resolvidos, como exemplo dessa dissociação estão as questões ambientais particularmente aquelas ligadas a EEE (eficiência energética das edificações).

Acredita-se que essa integração não foi explorada devidamente no campo relativo a eficiência energética, o que despertou a necessidade da realização de um Mapeamento Sistemático de Literatura, ou SMS (“*Systematic Mapping Study*”), processo de busca por literatura em que se aplica o paradigma baseado em evidências (*Evidence – based paradigm*), de forma sistemática e orientada, analisando as informações provenientes dessa busca em publicações existentes.

A utilização do SMS objetiva investigar os temas envolvidos e caracterizar as publicações existentes, a fim de apresentar o mapeamento das pesquisas cujos resultados foram publicados, que associam as palavras-chaves, apontando especialmente os campos de conhecimento mais investigados e aqueles outros ainda pouco trabalhados, dentro deste cenário.

Para viabilizar essa caracterização é proposto um processo de aplicação de um SMS, visando sistematizar a busca por literatura.

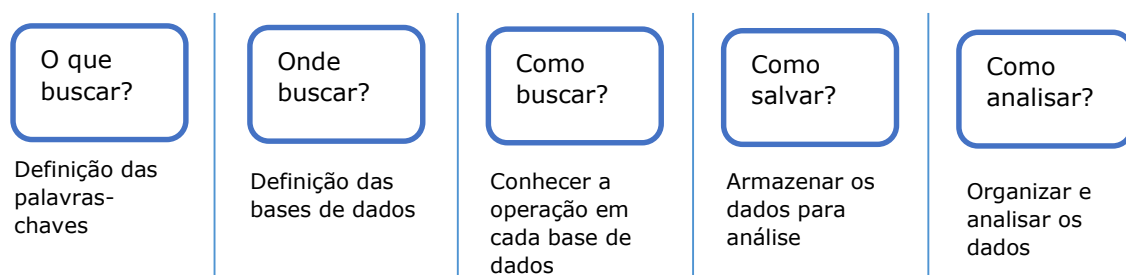
O objetivo principal é mapear as pesquisas internacionais realizadas no período de 2006 a 2015 (dez anos), que foram apresentadas nos principais congressos e periódicos dos temas de BIM e eficiência energética, identificando as principais tendências e lacunas nos estudos nessa área.

Encontrar e organizar uma base bibliográfica para a revisão de literatura através do processo de SMS e, desta forma, contribuir com a pesquisa científica através de informações que possam subsidiar outros pesquisadores com vistas a fomentar e consolidar novos conhecimentos científicos nesse tema.

O *Systematic Mapping Study* (SMS), processo de busca por literatura em que se aplica o paradigma baseado em evidências (*Evidence – based paradigm*), de forma sistemática e orientada, analisa as informações provenientes dessa busca em publicações existentes. Essa etapa de SMS antecede a revisão sistemática de literatura (*Systematic Literature Review – SLR*), e é importante nas fases iniciais de pesquisas (CONDORI-FERNANDEZ *et al.*, 2009; MUIANGA; GRANJA; RUIZ, 2014).

A Ilustração 1 mapeia as contribuições científicas mais relevantes das áreas associadas as palavras-chaves que se procura identificar. A sua aplicação possibilita encontrar as lacunas de conhecimento para refino e lapidação da questão de pesquisa de um pesquisador (BAILEY *et al.*, 2007). Pode ainda aumentar as possibilidades do desenvolvimento de estudos que contribuam com a comunidade acadêmica, seja dando continuidade a trabalhos já publicados, seja com propostas inovadoras para linhas de pesquisa. Os passos adotados para esta pesquisa estão apresentados na Ilustração 1 (RUIZ; GRANJA, 2013).

Ilustração 1 - Imagem esquemática de um SMS com as cinco etapas



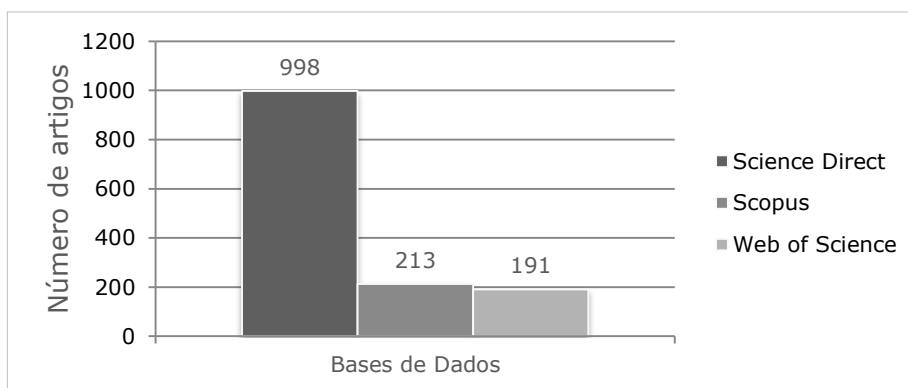
Fonte: CONDORI-FERNANDEZ *et al.*, 2009.

2.1.2 Mapeamento das pesquisas

Após a organização na planilha eletrônica de todos os artigos para cada base de dados, inicia-se o processo de análise destes, com a apresentação dos principais resultados que ilustram o cenário de publicações existentes sobre estudos que relacionam os conceitos de BIM e eficiência energética.

A Ilustração 2 apresenta o número de documentos encontrados na pesquisa inicial usando as palavras-chave 1. *Building information modeling (BIM)*, 2. Eficiência energética (*Energy Efficiency*), definidas para atender à finalidade desta pesquisa em um período de dez anos. Foram encontrados 1.402 documentos, a maioria deles na base de dados Science Direct, com 71% do total, Scopus e Web of Science 15% e 14%, respectivamente.

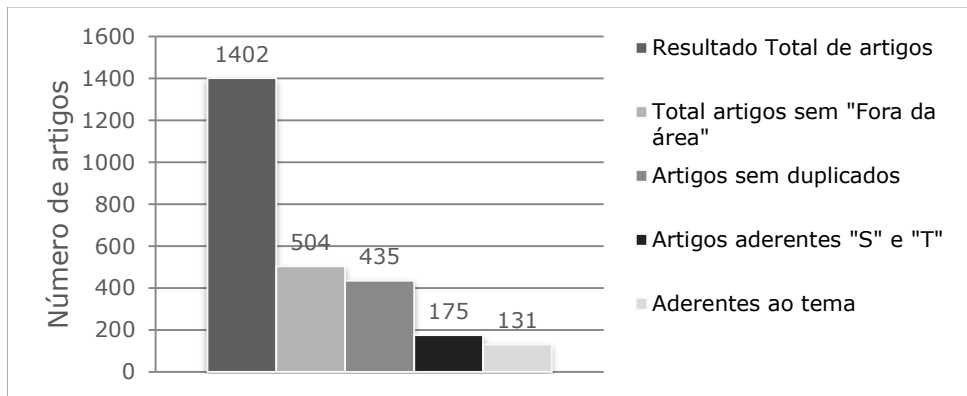
Ilustração 2 - Resultado da busca inicial separado por base



Fonte: OLIVEIRA; BITTENCOURT, 2016.

A Ilustração 3 mostra a evolução das análises. Foram identificados 1.402 textos (resultado de todas as bases de dados adicionadas). Após um exame mais aprofundado, este número foi reduzido para 131 textos, considerados aderentes ao assunto, com base na análise dos títulos e resumos - uma diminuição de 90,66%.

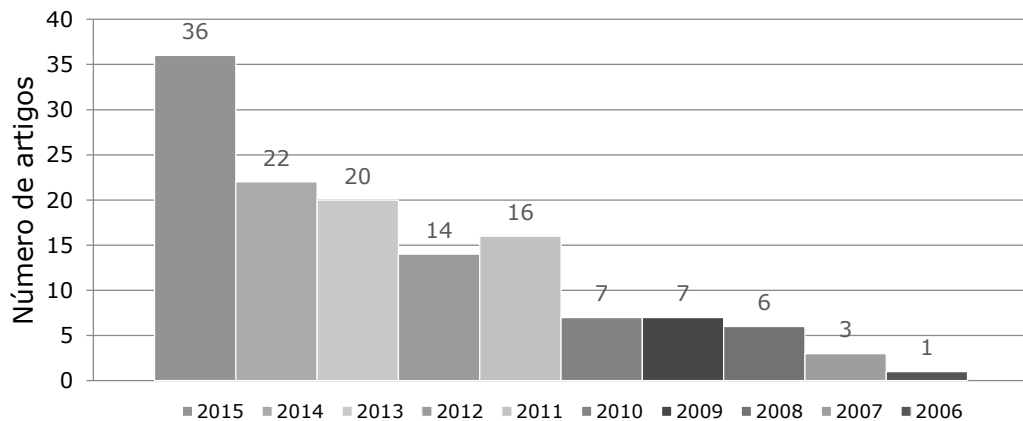
Ilustração 3 - Evolução do refinamento de busca durante o SMS



Fonte: OLIVEIRA; BITTENCOURT, 2016.

A Ilustração 4 mostra um claro aumento na quantidade de artigos publicados nos últimos anos, enfatizando que em 2015 houve um aumento substancial (mais de 60% em relação ao ano anterior). De 2010 a 2015, essa evolução passou de 7 para 36 artigos, um acréscimo de 500%. Nesses anos (2010-2015), foram publicados 108 artigos.

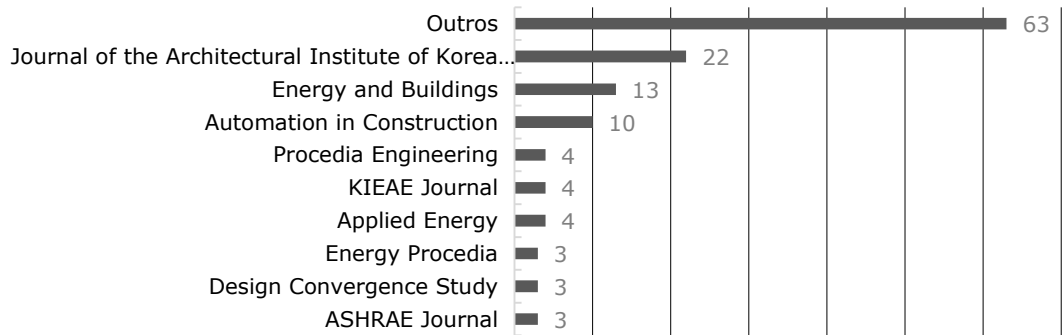
Ilustração 4 - Distribuição dos artigos aderentes de acordo com o ano da publicação



Fonte: OLIVEIRA; BITTENCOURT, 2016.

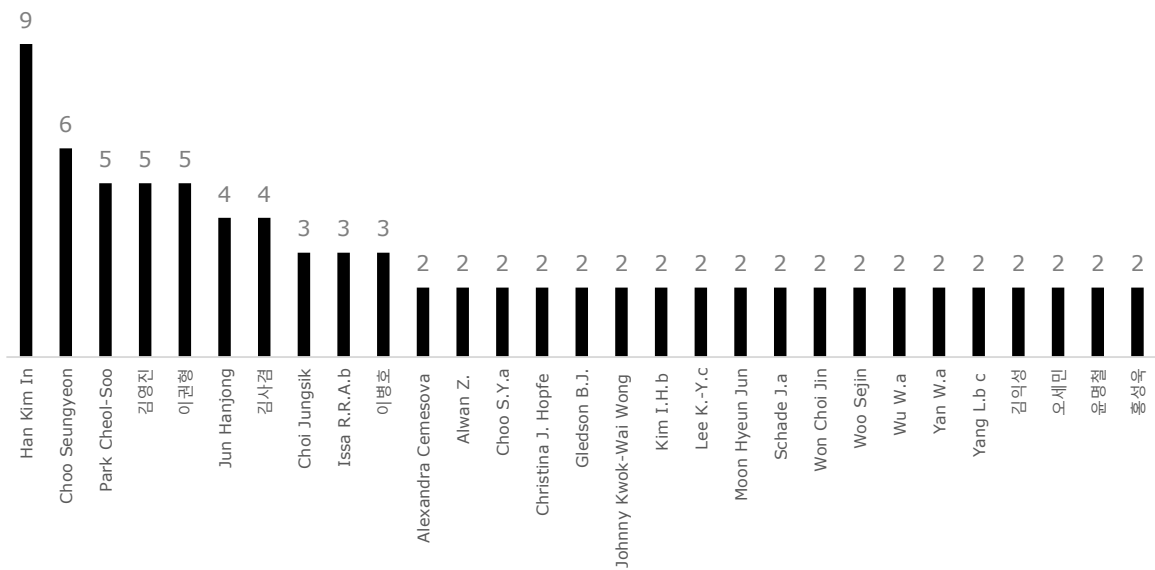
As Ilustração 5 e Ilustração 6 mostram uma ampla dispersão entre as publicações de eventos e jornais, bem como os autores do estudo.

Ilustração 5 - Principais periódicos e eventos internacionais que publicaram sobre o tema



Fonte: OLIVEIRA; BITTENCOURT, 2016.

Ilustração 6 - Principais autores de publicações sobre o tema



Fonte: OLIVEIRA; BITTENCOURT, 2016.

A Tabela 1 mostra a dispersão entre os autores que publicaram os resultados de suas pesquisas científicas. Na sua maioria (91% do total), publicaram apenas um artigo científico. Com até dois trabalhos publicados, o número de pesquisadores que trabalham no número do assunto é de 5,6%. Por outro lado, apenas 11 dos pesquisadores têm mais de duas publicações, uma porcentagem de pouco mais de 3%.

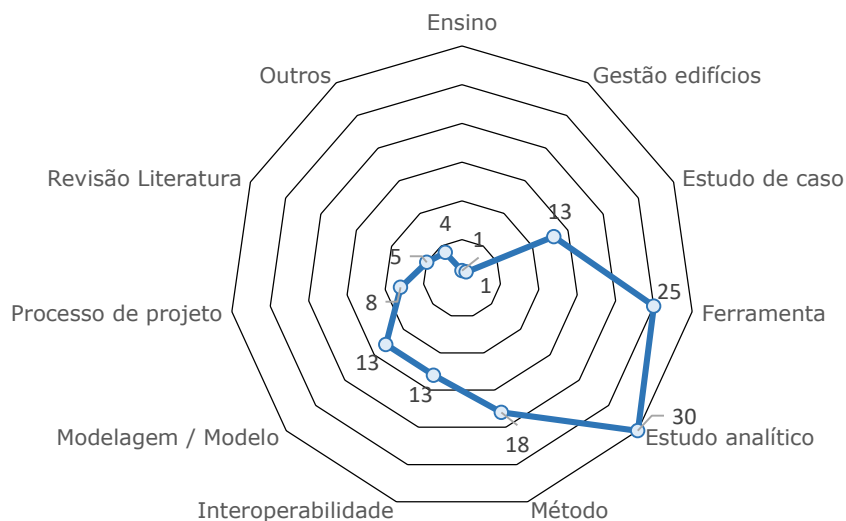
Tabela 1 - Produção Científica por pesquisador

Produção Científica	Número de Pesquisador	Percentual
09 artigos	1	0,30%
06 artigos	3	0,89%
05 artigos	2	0,59%
04 artigos	2	0,65%
03 artigos	3	0,89%
02 artigos	19	5,62%
01 artigos	308	91,12%

Fonte: OLIVEIRA; BITTENCOURT, 2016.

A Ilustração 7 mostra a classificação dos itens de acordo com o foco principal de pesquisa. Mais de metade (55%) das pesquisas estão concentradas em três áreas específicas: Estudo Analítico, Ferramenta e Método. As áreas de Ensino e Gestão Edifícios têm poucas publicações, sugerindo a necessidade de pesquisa nessas áreas.

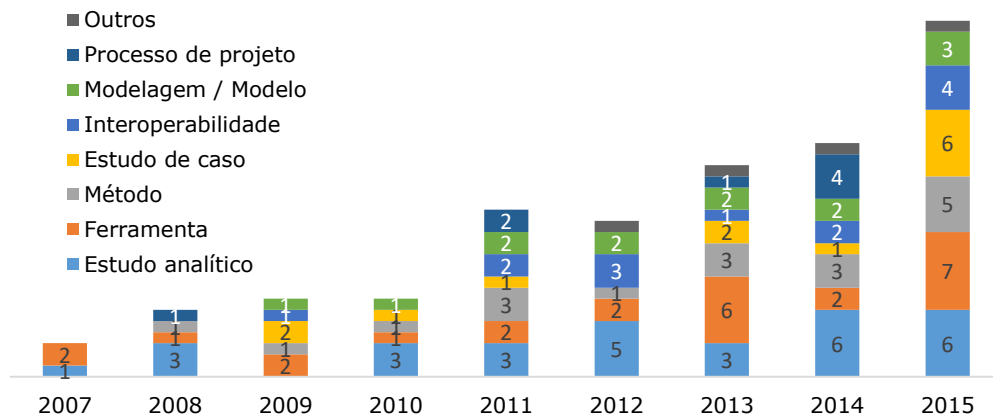
Ilustração 7 - Principais focos dos artigos publicados



Fonte: OLIVEIRA; BITTENCOURT, 2016.

A Ilustração 8 sugere o aumento do número de publicações de artigos. Isso se reflete na quantidade de pesquisa desenvolvida para os assuntos classificados anteriormente, com destaque para Ferramentas, crescimento maior em 2013 e 2015. O fenômeno ocorre para outros assuntos como Estudo Analítico, Método e Estudo de Caso.

Ilustração 8 - Distribuição dos principais focos dos artigos publicados



Fonte: OLIVEIRA; BITTENCOURT, 2016.

A Tabela 2 destaca os trabalhos mais citados por outras pesquisas e mostra as referências mais utilizadas por documentos na tabela anterior.

Tabela 2 - Artigos mais citados

Autor	Título	ANO	Citado por
Schlueter, A.; Thesseling, F.	<i>Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages</i>	2009	143
Azhar, Salman; Carlton, Wade A.; Olsen, Darren; Ahmad, Irtishad	<i>Building information modeling for sustainable design and LEED (R) rating analysis</i>	2011	73
Costa, A.; Keane, M.M.; Torrens, J.I.; Corry, E.	<i>Building operation and energy performance: Monitoring, analysis and optimization toolkit</i>	2013	35
Welle, B.; Haymaker, J.; Rogers, Z.	<i>ThermalOpt: A methodology for automated BIM-based multidisciplinary thermal simulation for use in optimization environments</i>	2011	26
Wang, Y.a; Wang, X.a; Wang, J.b; Yung, P.a; Jun, G.c	<i>Engagement of facilities management in design stage through BIM: Framework and a case study</i>	2013	22

van Treeck, C.; Rank, E.	<i>Dimensional reduction of 3D building models using graph theory and its application in building energy simulation</i>	2007	17
Stadel, A.; Eboli, J.; Ryberg, A.; Mitchell, J.; Spatari, S.	<i>Intelligent sustainable design: Integration of carbon accounting and building information modeling</i>	2011	16
Nguyen, T.H.a; Shehab, T.a; Gao, Z.b	<i>Evaluating sustainability of architectural designs using building information modeling</i>	2010	15
Sanguinetti, P.; Abdelmohsen, S.; Lee, J.; Lee, J.; Sheward, H.; Eastman, C.	<i>General system architecture for BIM: An integrated approach for design and analysis</i>	2012	14
Schade, J.; Olofsson, T.; Schreyer, M.	<i>Decision-making in a model-based design process</i>	2011	11
Díaz-Vilariño, L.; Lagüela, S.; Armest, J.; Arias, P.	<i>Semantic as-built 3d models including shades for the evaluation of solar influence on buildings</i>	2013	10

Fonte: OLIVEIRA; BITTENCOURT, 2016.

Tabela 3 - Referencias mais citadas nos artigos da Tabela 2

Autor	Ano	Título	Citações
Eastman C.M., Tiecholz P., Sacks R., Liston K.	2008	<i>BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors</i>	03
B. Dong, K.P. Lam, Y.C. Huang, G.M. Dobbs	2007	<i>A comparative study of the IFC and gbXML informational infrastructures for data exchange in computational design support environments</i>	02
Bazjanec V.	2004	<i>Building energy performance simulation as part of interoperable software environments</i>	02
Eastman C.M.	1999	<i>Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction</i>	02
Gallaher M.P., O'Conner A.C., Dettbarn J.L. Jr., Gilday L.T.	2004	<i>Cost analysis of inadequate interoperability in the U.S. capital facilities industry</i>	02
DOE	2011	<i>EnergyPlus Energy Simulation Software</i>	02
U.S. Green Building Council	2009	<i>Green Building Facts</i>	02
Bazjanac V.	2008	<i>IFC BIM-based methodology for semi-automated building energy performance simulation</i>	02
	2007	<i>International Alliance for Interoperability (IAI)</i>	02
Young N.W. Jr., Jones S.A., Bernstein H.M.	2007	<i>Interoperability in the construction industry</i>	02

Fonte: OLIVEIRA; BITTENCOURT, 2016.

2.1.3 Conclusões (RSL)

Com os resultados obtidos pela SMS, o agrupamento de textos por conhecimento em particular (ver Ilustração 7), é possível saber o que foi produzido sobre o assunto e os autores mais importantes.

Os resultados mostram uma tendência de crescimento exponencial dos trabalhos que abordam a necessidade de se integrar ao processo de projeto de arquitetura que utilizam a plataforma BIM, com informações *on-line* sobre o desempenho energético do edifício que está sendo projetado.

A partir das análises feitas, podem-se identificar tópicos que precisam de mais pesquisas, a partir dos resultados de uma revisão sistemática da literatura abordando a integração do desempenho energético dos edifícios ao processo de projeto arquitetônico.

Os resultados também sugerem o crescimento do número de pesquisas com a abordagem nos "Estudos analíticos", "Ferramentas" e "Métodos", com o objetivo de uma análise integrada de simulações de eficiência energética no BIM no desenvolvimento do projeto arquitetônico.

2.2 Eficiência energética no projeto de arquitetura

Nesse tópico é abordada a questão da eficiência energética no projeto de arquitetura e o alto impacto no consumo pelos edifícios, os sistemas de certificação utilizados nos países e as metodologias adotadas, o histórico e definições a respeito do processo de etiquetagem no Brasil, e a certificação do PROCEL como modelo de avaliação de desempenho energético adotado no país.

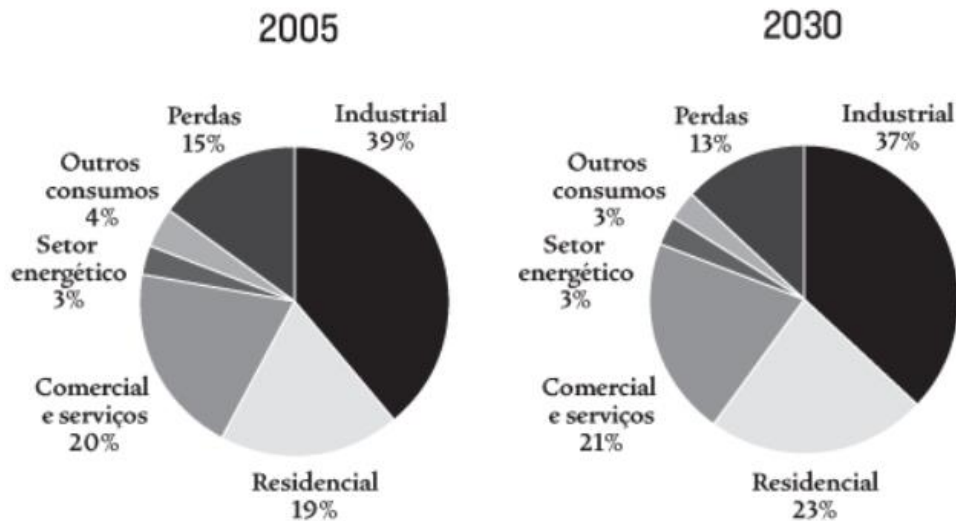
2.2.1 Eficiência Energética

Os edifícios nos países desenvolvidos consomem 20% a 40% do total de energia, percentual este que está acima dos valores da indústria e dos transportes na EU e nos EUA (PÉREZ-LOMBARD; ORTIZ; POUT, 2008).

“Estima-se que o consumo de eletricidade residencial *per capita*, cujo índice atual é de apenas 38 kWh/mês/hab., possa chegar em 2030 a 99 kWh/mês/hab., que ainda é um valor bastante inferior aos parâmetros

internacionais" (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007). A Ilustração 9 apresenta a evolução do consumo de eletricidade entre 2005 e 2030.

Ilustração 9 - Evolução do consumo de energia elétrica no Brasil



Fonte: TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007.

Essas edificações são responsáveis por um terço do consumo global de energia final e níveis semelhantes de emissões de CO² (LAUSTSEN, 2008). O desempenho energético destas tem assumido uma importância crescente em todo o mundo. A Agência Internacional da Energia descreve a eficiência energética como o "primeiro combustível" (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2014), com maior importância que qualquer tecnologia de geração; e estudos comprovam que o maior potencial de economia na obtenção de eficiência energética está no setor dos edifícios (CULLEN; ALLWOOD; BORGSTEIN, 2011; BORGSTEIN; LAMBERTS; HENSEN, 2016).

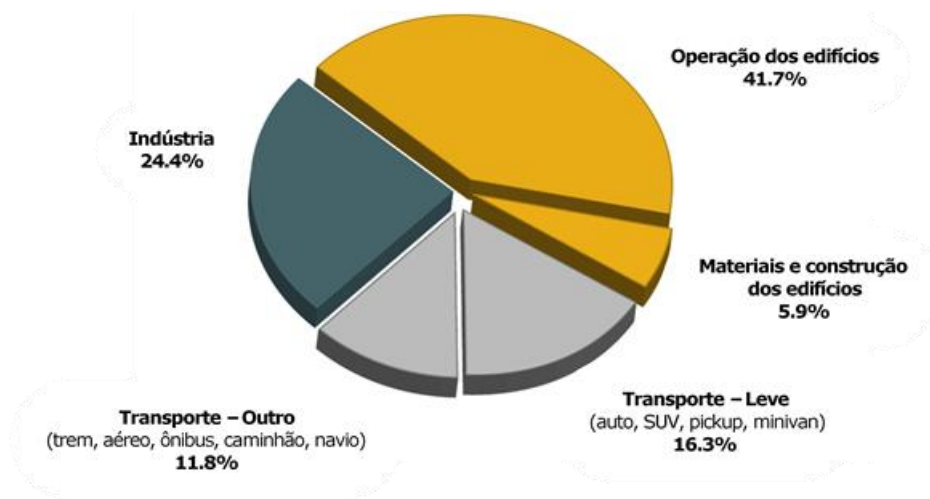
Todavia, à medida que o ambiente construído se torna cada vez mais complexo, com usos múltiplos, maiores edifícios e maior demanda por melhores condições e serviços, como conforto térmico e processamento de dados (PÉREZ-LOMBARD; ORTIZ; POUT, 2008), as análises e avaliações do desempenho desses edifícios também se tornam mais complexas. Desde a introdução das primeiras regulamentações, para a conservação de energia na década de 1970, e a identificação do aumento da preocupação relativa a essa área no final da década de 1990 e no início da década de 2000

(DAVIES, 2016), foram desenvolvidas diversas metodologias a fim de prever, analisar e avaliar o desempenho dessas edificações em relação ao consumo de energia (BORGSTEIN; LAMBERTS; HENSEN, 2016).

Estatísticas do USGreen Building Council (U.S.G.B. CONCIL, 2009) mostram que nos Estados Unidos, 72% do consumo de eletricidade, 39% do uso de energia e 38% de todo o dióxido de carbono são oriundos de edifícios (WANG, YING *et al.*, 2013).

A Agência Internacional de Energia (AIE) prevê que o consumo de energia aumentará até 2030, 40% em relação ao valor verificado em 2007. Consoante as Nações Unidas, entre os mais importantes consumidores de energia está o setor de construção civil, que representa 30 a 40% do consumo de energia do mundo (HUOVILA, 2007). Conseqüentemente, os edifícios representam um impacto importante nos custos energéticos dos países (VINAGRE DÍAZ *et al.*, 2013), como visto na Ilustração 10.

Ilustração 10 - Consumo de energia por setor nos Estados Unidos (2013)



Fonte: U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2012.

O consumo energético do setor da construção civil representa mais de 40% de toda a utilização de energia na União Europeia, sendo, portanto, o setor de maior consumo. A redução da energia necessária, com base no aumento da eficiência energética, tornou-se uma responsabilidade no âmbito de toda a sociedade civil. Edifícios projetados e construídos com um

alto grau de eficiência energética irão reduzir o consumo de energia (LADENHAUF *et al.*, 2016).

O Governo do Reino Unido anunciou a intenção de exigir o uso de programas BIM (*Building Information Modeling*) no estágio 2, 3D colaborativo, com todos os projetos e informações de ativos, documentação e dados eletrônicos, sobre os seus projetos desenvolvidos naquele país até 2016 (UK CABINET OFFICE, 2011). Além disso, estabeleceu e atingiu uma ambiciosa política ambiental exigindo que todas as casas e escolas novas reduzam para emissão de zero carbono até 2016, e todos os edifícios do setor público cheguem à emissão de zero de carbono até 2018 e, potencialmente, todos os novos edifícios até 2019 (DCLG, 2006). No Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) (HUOVILA, 2007), estão incluídos mecanismos para promover a eficiência energética, além de formas para medir o seu progresso.

O consumo de energia por unidade de área de construção na China é cerca de duas a três vezes maior que o dos países nas mesmas condições climáticas. Estima-se que mais de 95% dos edifícios mais antigos têm alto consumo de energia, enquanto os recém-construídos, que são de alto consumo de energia, somam 90% (GAO, 2012). O setor imobiliário tem sido um dos três maiores setores da indústria de consumo de energia; por isso, é necessário estabelecer um modelo econômico baseado na baixa produção de carbono, como uma estratégia de desenvolvimento do setor (HE *et al.*, 2014).

O impacto ambiental das instalações construídas tornou-se uma grande preocupação entre os profissionais da indústria da construção. Nos Estados Unidos, edifícios comerciais e residenciais são responsáveis por cerca de 40% da energia total consumida, 70% da eletricidade, 40% das matérias-primas e 12% de suprimentos de água doce (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, [S.d.]). Elas representam 30% das emissões de gases de efeito estufa e geram 136 toneladas de resíduos de construção e demolição (aproximadamente 1,27 kg / pessoa / dia) (NGUYEN, T.H.; SHEHAB; GAO, 2010).

Após a crise do petróleo, ocorrida na década de 70 do século XX, diversos países direcionaram recursos e linhas de pesquisa para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia e sistemas mais eficientes. Grande atenção foi dada ao desempenho energético das edificações (setores residencial, comercial e público), responsáveis por uma parcela significativa do consumo de energia elétrica na maioria dos países. Países da Europa e os Estados Unidos, fortemente dependentes do petróleo para o suprimento de energia elétrica, começaram a financiar iniciativas que promovessem o desenvolvimento de edificações mais eficientes, sejam elas já construídas (mediante reformas) ou em fase de projeto (adotando-se alternativas que proporcionassem menor consumo de energia) (MENDES *et al.*, 2005).

O conceito de eficiência energética passou a vigorar em muitos escritórios de engenharia e arquitetura e principalmente no setor público, que precisava promover o uso de tecnologias que proporcionassem o mesmo serviço, consumindo menos energia (MENDES *et al.*, 2005).

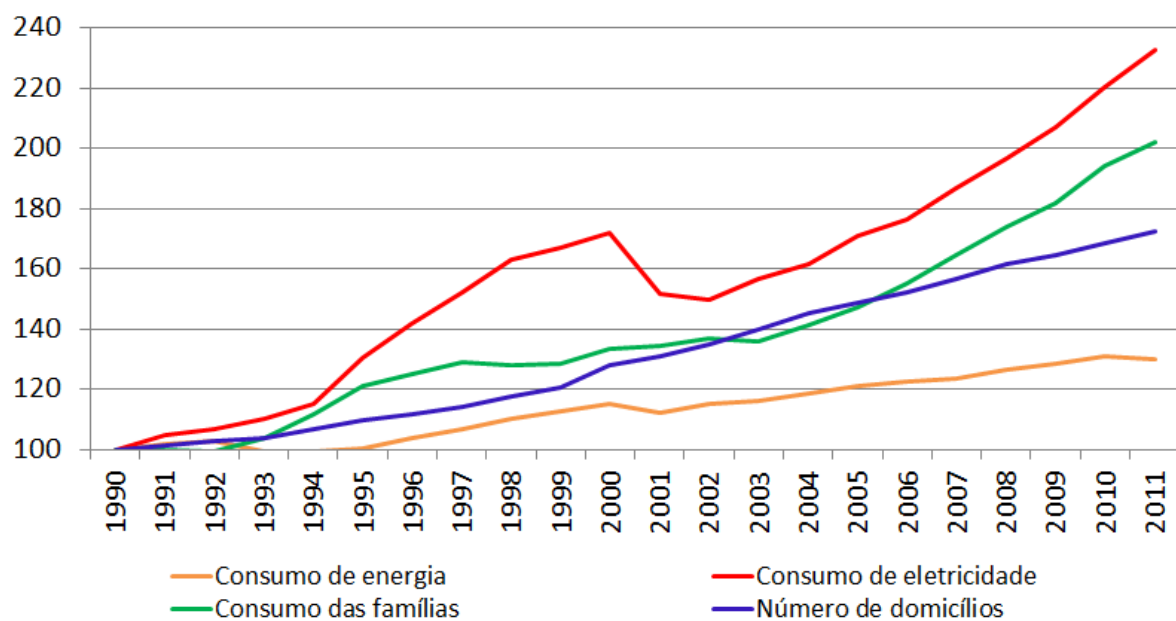
No Brasil, pode-se afirmar que crise do petróleo de 1973 não atingiu o setor elétrico brasileiro diretamente, pois o país já possuía um parque gerador predominantemente hidroelétrico. Outros países fortemente dependentes do petróleo, como os Estados Unidos, sofreram as consequências do embargo imposto pelos produtores e precisaram tomar medidas para reduzir o consumo de energia. As pesquisas para melhoria da eficiência energética no ambiente construído foram impulsionadas nessa época. O consumo de energia elétrica em edificações, ou seja, nos setores residencial, comercial e público, correspondeu a 46% da eletricidade consumida no Brasil em 2002 (MENDES *et al.*, 2005; MME, 2015).

O crescimento da população, o desenvolvimento do setor da construção, o aumento do nível de conforto e o tempo gasto nos edifícios indicam que a tendência ascendente da procura de energia continuará no futuro previsível. Em 2035, a demanda global de energia terá crescido em mais de um terço em relação ao consumo atual (IEA, 2012). A China, a Índia e o Médio Oriente responderão por 60% do aumento, devido ao

crescimento econômico gradual, mas significativo, que estão experimentando (IEA, 2012). Entre os dez maiores países consumidores de eletricidade em 2012, o Brasil está em oitava posição (FOSSATI *et al.*, 2016).

A Ilustração 11 apresenta a evolução do consumo de energia das famílias e os números de domicílios no período de 1990 a 2011 no Brasil.

Ilustração 11 - Evolução do consumo de energia, consumo das famílias e números de domicílios no período 1990-2011 (1990=100)



Fonte: MME, 2014.

Afirma-se que o setor da construção consome, em média, um terço da energia total na maioria dos países e representa uma proporção ainda maior da eletricidade (JANDA, 2009). Os edifícios residenciais representam 9,3% do consumo energético brasileiro (MME, 2015). Eles apresentam em consumo de energia uma das maiores taxas de crescimento, com um aumento médio anual de 5,7% no período 1975-2015.

A Tabela 4 mostra a informação de 2010 e uma projeção para o setor residencial referente aos anos de 2020 e 2030 com base em pesquisas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE) (MORISHITA, 2011).

Tabela 4- Características de consumo 2010 e previsões do setor residencial e consumo de eletricidade no Brasil

Descrição	Unidade	2010	2020	2030
População	Milhões	190.755,80	211.646,67	223.890,67
Número de habitações	Milhões de unidades	63.874,10	75.161,00	90.061,00
Residentes por habitação	Habitantes / habitação	3,04	2,82	2,49
Consumo Nacional	TW h/ano	415,68	687,40	1.018,90
Consumo do setor residencial	TW h/ano	107,21	168,00	284,65
Consumo relativo do setor residencial	%	25,90	24,44	27,94
Consumo por habitação	KW h/ mês	154,00	232,28	331,99

Fonte: Adaptado de MORISHITA (2011) *apud* (FOSSATI *et al.*, 2016).

Com uma matriz de energia essencialmente limpa, o Brasil, ao contrário da maioria dos países desenvolvidos, não tem metas para reduzir as emissões de carbono no setor de energia. Esse cenário, no entanto, está passando por transformações (MOREIRA, JOÃO M.L. *et al.*, 2015). De acordo com o Plano Nacional de Energia - PNE 2030 (MME, 2007), publicado em 2007, até 2030 o consumo anual de eletricidade no Brasil terá dobrado, o que levará a um aumento no uso de fontes não renováveis. Entre as estratégias para reduzir e controlar o aumento da procura de energia, o PNE 2030 requer, pela primeira vez, como premissa básica do Plano Nacional de Eficiência Energética - PNEf (MME, 2010), publicado em 2010, o objetivo da eficiência energética: 10% de redução na demanda projetada (MME, 2007; SILVA; SHAYANI; DE OLIVEIRA, 2013).

A avaliação do desempenho energético de um edifício ocorre no meio do processo de planejamento, fase na qual as mudanças costumam mais e têm um menor impacto no desempenho do edifício, durante a preparação do certificado obrigatório de eficiência energética. Decisões importantes para eficiência energética, tais como geometria, orientação, planejamento das

aberturas, no entanto, são tomadas muito antes – durante o desenvolvimento do projeto e pré-projeto. Nessa fase inicial, entretanto, ainda falta a maioria dos detalhes sobre a qualidade dos componentes, sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (HVAC), e outros, o que torna impossível a classificação completa do nível de eficiência energética do projeto em foco. No entanto, para os projetistas, os custos da estimativa preliminar de eficiência energética permanecem os mesmos, uma vez que o principal fator é a definição das áreas da envoltória do edifício (LADENHAUF *et al.*, 2016).

Assim, orientações e metodologias de projeto, para melhoria da eficiência energética em edifícios são revistos extensivamente (RUPARATHNA; HEWAGE; SADIQ, 2016), além de ser objeto de publicações e livros (MUMOVIC; SANTAMOURIS, 2013; THOMAS, 2006).

Isto posto, avaliar o desempenho energético de edificações é uma tarefa complexa que envolve grande quantidade de variáveis interdependentes e conceitos multidisciplinares. O advento do computador foi fundamental para o desenvolvimento dos modelos virtuais que representam o comportamento térmico e energético de edificações, permitindo a simulação de diferentes cenários (MENDES *et al.*, 2005).

Diante de tanta complexidade, pergunta-se: o que constitui um bom desempenho energético em um edifício? Uma extensa discussão, sobre o desempenho da classificação de edifícios, é realizada por Olofsson, Meier e Lamberts (2004), que explicitam claramente a diferença entre um edifício de baixo consumo energético, o qual pode usar a energia de forma ineficiente, e outro de alto desempenho, usando sistemas muito eficientes para fornecer um nível mais elevado de serviço. Um sistema de classificação de desempenho do edifício deve incluir três elementos (BORGSTEIN; LAMBERTS; HENSEN, 2016):

- a) O edifício deve ser eficiente em termos energéticos, mediante a sua concepção, sistemas e tecnologias;
- b) O edifício deve fornecer informações e características típicas de sua tipologia;

c) O edifício deve ser de baixo consumo energético, ou seja, deve ser operado de forma eficiente.

Para avaliar o desempenho energético, é necessário comparar o desempenho calculado ou medido de um edifício com algum valor ou quadro de referência. Os valores podem representar características dos edifícios, tais como os valores de transmitância (U) das vedações ou o consumo de energia de sistemas de edifícios específicos; contudo, é cada vez mais comum realizar avaliações com base no consumo de energia normalizado de todo o edifício. Nesses casos, define-se um Indicador de Desempenho Energético ou Intensidade de Utilização de Energia, normalmente como o consumo de energia normalizado por área de piso, kWh/m²/ano (BORGSTEIN; LAMBERTS; HENSEN, 2016).

É importante informar que existem várias maneiras de desenvolver valores de referência (ou linhas de base) para comparação com o consumo de energia do edifício, as quais estão resumidos na Ilustração 12. Cada tipo de linha de base depende de uma técnica diferente para o seu desenvolvimento (BORGSTEIN; LAMBERTS; HENSEN, 2016).

Ilustração 12 - Linhas de base comparativa para avaliação do desempenho energético

Valores de referência para comparação de desempenho (linha de base)	Técnicas para desenvolvimento de linhas de base	Técnicas Metodológicas
Histórico de desempenho energético	Medidas e verificação (M&V)	Métodos estatísticos, Cálculos de engenharia
Desempenho típico de Edifícios similares (empírico)	Modelos existentes ou questões de mercado	Métodos estatísticos
Desempenho energético esperado	Modelagem específica do edifício na fase de projeto	Simulação
Potencial de desempenho energético	Auditorias ou análises energéticas específicas de edifícios	Cálculos de engenharia, simulação
Desempenho, normas ou padrões exigidos	Metodologia de regulamentação	Cálculos de engenharia, simulação

Fonte: BORGSTEIN; LAMBERTS; HENSEN, 2016.

O projeto IEA, Anexo 53, reconheceu a discrepância entre a utilização de energia projetada e real nos edifícios e objetivou desenvolver métodos de análise e avaliação para a utilização total de energia deles (LAUSTSEN, 2008). A análise parte do princípio de que seis fatores afetam o consumo de energia nos edifícios (BORGSTEIN; LAMBERTS; HENSEN, 2016), a saber:

- Clima.
- Envelope do edifício.
- Sistemas e materiais de construção.
- Operações e manutenção.
- Comportamento do ocupante.
- Condições ambientais internas.

Os chamados níveis de referência ou "*benchmarks*" de energia têm sido usados como parâmetros desde a crise do petróleo de 1970, estabelecendo metas para os novos edifícios baseados nos melhores exemplos da época. Na Europa, um significativo grupo de países constituiu-se em líderes no campo de conservação de energia, implementando um rápido desenvolvimento. São eles: Reino Unido, Alemanha, Suíça, Áustria, Holanda e países escandinavos, cada qual tentando atingir a redução determinada para a emissão de carbono (UMAKOSHI, 2014).

Na avaliação do desempenho energético dos edifícios, o termo "*benchmarking*" é frequentemente utilizado para se referir à comparação do desempenho energético dos edifícios com seus similares (CHUNG, 2011; NIKOLAOU; KOLOKOTSA; STAVRAKAKIS, 2011; PÉREZ-LOMBARD *et al.*, 2009), embora o termo se aplique de forma mais geral a qualquer nível de desempenho normalizado que sirva como base para avaliação ou comparação (DERU; TORCELLINI, 2005). O termo "*benchmark empírico*" tem sido utilizado para se aplicar especificamente à comparação do desempenho energético dos edifícios reais (medidos) com o mercado imobiliário mais abrangente. "*Benchmarking*" é "um método simples para informar aos tomadores de decisão, com um nível relativo de precisão sobre o desempenho energético do edifício, comparando o índice de desempenho

energético de todo o edifício avaliado com padrões preestabelecidos" (WANG, SHENGWEI; YAN; XIAO, 2012).

O desempenho energético de um edifício depende das decisões tomadas durante a fase de projeto e construção, dentro de um processo, e de uma série de variáveis relacionadas com a ocupação. A operação real de um edifício é muito mais complexa do que um cenário de simulação; por essa razão, apesar de todos os rigorosos processos de predição de consumo energético, baseados em simulações computacionais durante o processo de projeto, essas previsões geralmente destoam significativamente do desempenho real do edifício (UMAKOSHI, 2014).

2.2.2 Sistemas de Certificação

No final da década de 1970 começaram a surgir na Europa os primeiros regulamentos com requisitos técnicos mínimos para o envelope do edifício, com o objetivo principal de diminuir o consumo de energia dos sistemas de aquecimento, reduzindo a transferência de calor mediante o revestimento do edifício (FOSSATI *et al.*, 2016).

Porém, só após a crise energética de 1973, foi publicado em 1975 o ASHRAE Standard 90, um padrão de consenso voluntário e nacional que estabelece requisitos mínimos de eficiência energética para edifícios. Em 2001, esta norma foi dividida em ASHRAE 90.1 - Energia Padrão para Edifícios (Exceto Residenciais baixos) e ASHRAE 90.2 - Eficiência Energética Design de Edifícios Residencial Baixos (FOSSATI *et al.*, 2016).

Dessa forma, uma das alternativas para reduzir o consumo de energia nos edifícios é estabelecer padrões para a avaliação e classificação de edifícios em termos de desempenho energético, que são reconhecidos e utilizados internacionalmente. Os dois principais mecanismos adequados para coordenar a participação em avaliações energéticas do setor de construção são regulamentos (padrões) e certificados de energia (mecanismo de mercado para promover um desempenho superior ao padrão normativo) (CASALS, 2006).

Além disso, um edifício com uma classificação energética, quer por meio de certificados, quer de rótulos, pode ter um reconhecimento especial, o que contribui para aumentar o seu valor de mercado (FOSSATI *et al.*, 2016). As melhorias na eficiência energética são também consideradas para assegurar o crescimento econômico sem aumento do consumo de energia (LOPES *et al.*, 2005).

Há uma série de normas ISO que têm como tema central o "Desempenho energético dos edifícios"; entre elas, é possível citar: ISO 16343(2013), ISO 16344(2012) e ISO 16346(2013), que tratam, respectivamente, de métodos de expressão de desempenho energético e de certificação energética de edifícios; termos comuns, definições e símbolos para a classificação global de desempenho energético e certificação; e avaliação do desempenho energético global (FOSSATI *et al.*, 2016).

Atualmente, os regulamentos para a eficiência energética do edifício podem adotar duas metodologias: (i) a definição de requisitos mínimos ou (ii) a certificação do nível de eficiência (sistemas de classificação). A primeira impõe requisitos legais para novas construções, como no caso dos existentes, enquanto o segundo atribui pontuações para diferentes níveis de eficiência, conforme um esquema de classificação (PÉREZ-LOMBARD *et al.*, 2009).

Os sistemas de classificação são geralmente divididos em dois tipos: (i) metodologias que simulam a utilização de energia (classificação de ativos) calculada pela demanda de energia com base nas características do edifício – principalmente, edifícios novos; e, ii) o desempenho do edifício em funcionamento (medida ou classificação operacional), com base no consumo energético atual do edifício, principalmente para edifícios já existentes (FOSSATI *et al.*, 2016).

De acordo com Liu *et al.* (2010), os Códigos de Eficiência Energética de Edifícios (BEECs – *Buildings Energy Efficiency Codes*) foram mais amplamente adotados em regiões de clima frio do que em regiões de clima quente. A maioria dos países industrializados tem regulamentos

obrigatórios. Mesmo entre os países em desenvolvimento, os “BEECs” prevalecem na Europa Oriental e Ásia Oriental, regiões localizadas em áreas com climas frios e que exigem aquecimento ambiental.

Nas grandes áreas urbanas dos países em desenvolvimento da América Latina e do Caribe, os BEECs foram pouco desenvolvidos e, mesmo onde estão disponíveis, eles não foram implementados. Os edifícios nessas regiões necessitam de energia principalmente para refrigeração, com exceção do sul da Argentina e do Chile (FOSSATI *et al.*, 2016).

“Nos EUA, as normas de eficiência são usadas há cerca de 30 anos e já houve adaptação progressiva da indústria construtiva aos padrões de eficiência” (CARLO; LAMBERTS, 2010). A ASHRAE 90.1 é a principal e mais antiga regulamentação para a construção de eficiência energética. A norma não certifica o nível de eficiência de construção, mas estabelece os requisitos mínimos para novos projetos. A versão mais recente da norma foi lançada em 2013 e apresenta os requisitos mínimos a serem obtidos pelo envelope da construção, sistemas de ar condicionado, ventilação, aquecimento de água, iluminação, motores elétricos e distribuição de energia elétrica (ASHRAE, 2013).

A Norma 90.1 (ASHRAE, 2013) é um exemplo cujos protótipos para simulação foram baseados em um levantamento nacional de edificações, que possui atualização quinquenal (CARLO; LAMBERTS, 2010). A norma é atualmente uma das principais referências para vários regulamentos internacionais, como os adotados no Canadá, Japão e Índia, bem como para a regulamentação comercial brasileira. Em alguns países, como a China (incluindo Hong Kong), Cingapura, Malásia e Tailândia, a base para seus BEECs foi o Valor de Transferência Térmica Geral – OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*), originalmente proposto em ASHRAE 90 -75 (ASHRAE, 2013), que é uma medida do ganho (ou perda) médio de calor em um edifício, através do envelope do edifício.

Já a Califórnia tem possivelmente os padrões de eficiência energética mínimos mais abrangentes, considerando sua aplicação para os edifícios no mundo. Os padrões são muito detalhados, incluindo exemplos e

explicações, e regulam quase toda fonte de consumo de energia em edifícios (LAUSTSEN, 2008). Desde 1978, as normas de energia abordam a eficiência energética dos edifícios residenciais e comerciais. Os Padrões de Eficiência Energética de Edifícios de 2013, do Código de Regulamentos da Califórnia, são obrigatórios em todo o estado (FOSSATI *et al.*, 2016).

A Austrália tem como prática avaliar os edifícios de forma diferenciada por região ou cidade, mas sempre se referenciam o *Building Code of Australia* – BCA (CARLO; LAMBERTS, 2010). Para avaliar o desempenho de uma residência, incluindo os materiais envolventes, são considerados os tipos de vidro, o sombreamento da envoltória, os efeitos do movimento do ar e o desempenho dos sistemas de construção (aquecimento, isolamento de tubos de água, aquecimento de espaços, iluminação e piscinas artificiais e spas) e materiais (FOSSATI *et al.*, 2016).

Há também o Esquema Nacional de Classificação Energética da Casa (NatHERS), no qual simulações de computador avaliam o potencial conforto térmico de casas australianas numa escala de zero a dez (0-10) estrelas. Quanto mais estrelas, menos provável é que os ocupantes precisarão de arrefecimento ou aquecimento para se manterem confortáveis. A moradia pode ser classificada antes ou depois de ser construída, e a classificação varia de acordo com o projeto da casa, a construção de seu telhado, paredes, janelas e piso, e a orientação das janelas e sombreamento das mesmas em relação à incidência solar e aproveitamento da brisa local, juntamente com a definição da forma como estes se ajustam ao clima local (NATHERBS, 2013).

Em Portugal, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) indicam os níveis de desempenho de edifícios sem climatização e climatizados, respectivamente (CARLO; LAMBERTS, 2010).

A EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*) determina que devem ser estabelecidos requisitos mínimos para o desempenho energético de edifícios novos, residenciais e não residenciais, edifícios existentes que

estão sujeitos a grandes renovações, edifícios que estão a ser vendidos ou alugados. Cada Estado-Membro estabelece as suas prioridades e, na maioria dos casos, a certificação obrigatória aplica-se aos edifícios novos (ANDALORO *et al.*, 2010). Devem ser estabelecidos requisitos mínimos de desempenho energético para os edifícios, com vistas a atingir determinados níveis de rentabilidade (PAGLIANO, 2010).

No Reino Unido, a emissão de Certificados de Desempenho Energético (EPC - *Energy Performance Certification*) começou em 2007 para habitações com 4 quartos ou mais e, ao longo do tempo, foi ampliada a habitações menores (UNITED KINGDOM, 2013). O certificado classifica o edifício de "A" a "G" e o desempenho é avaliado em termos da utilização prevista de energia (kWh/m².ano), eficiência energética baseada nos custos de combustível e impacto ambiental baseado nas emissões de CO². São indicados os prováveis custos associados à iluminação do edifício, ao aquecimento ambiental e ao aquecimento de água (FOSSATI *et al.*, 2016).

Na Alemanha, a discussão sobre a eficiência energética começou com a primeira Lei de Conservação de Energia em 1976 (a última versão é 2009), que definiu o desempenho térmico dos edifícios por meio do coeficiente global máximo de transferência de calor do envelope. Novas revisões incluíram requisitos regulamentares, como o consumo de energia relacionado à água e aquecimento de espaços, parâmetros para dimensionamento dos aparelhos e isolamento térmico do sistema de aquecimento (CUNHA; VAUPEL; LÜCKING, 2008). A Ilustração 13 mostra o modelo de formulário de avaliação operacional alemão.

Ilustração 13 - O formulário de avaliação operacional do EPC alemão

ENERGIEAUSWEIS für Wohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. Energieeinsparverordnung (EnEV)

Erfasster Energieverbrauch des Gebäudes
Adresse, Gebäudeteil
3

Energieverbrauchskennwert

Dieses Gebäude: kWh/(m²·a)

Energieverbrauch für Warmwasser: enthalten nicht enthalten

☐ Das Gebäude wird auch gekühlt; der typische Energieverbrauch für Kühlung beträgt bei zeitgemäßen Geräten etwa 6 kWh je m² Gebäudenutzfläche und Jahr und ist im Energieverbrauchskennwert nicht enthalten.

Verbrauchserfassung – Heizung und Warmwasser

Energieträger	Zeitraum		Energieverbrauch [kWh]	Anteil Warmwasser [kWh]	Klimafaktor	Energieverbrauchskennwert in kWh/(m²·a) (zeitlich bereinigt, klimabereinigt)		Kennwert
	von	bis				Heizung	Warmwasser	
Durchschnitt								

Vergleichswerte Endenergiebedarf

Die modellhaft ermittelten Vergleichswerte beziehen sich auf Gebäude, in denen die Wärme für Heizung und Warmwasser durch Heizkessel im Gebäude bereitgestellt wird. Soll ein Energieverbrauchskennwert verglichen werden, der keinen Warmwasseranteil enthält, ist zu beachten, dass auf die Warmwasserbereitung je nach Gebäudegröße 20 – 40 kWh/(m²·a) entfallen können. Soll ein Energieverbrauchskennwert eines mit Fern- oder Nahwärme beheizten Gebäudes verglichen werden, ist zu beachten, dass hier normalerweise ein um 15 – 30 % geringerer Energieverbrauch als bei vergleichbaren Gebäuden mit Kesselheizung zu erwarten ist.

Erläuterungen zum Verfahren

Das Verfahren zur Ermittlung von Energieverbrauchskennwerten ist durch die Energieeinsparverordnung vorgegeben. Die Werte sind spezifische Werte pro Quadratmeter Gebäudenutzfläche (A_n) nach der Energieeinsparverordnung. Der tatsächliche Verbrauch einer Wohnung oder eines Gebäudes weicht insbesondere wegen des Witterungseinflusses und sich ändernden Nutzerverhaltens vom angegebenen Energieverbrauchskennwert ab.

) EFH: Einfamilienhäuser, MFH: Mehrfamilienhäuser

Fonte: AMECKE, 2012.

Ao contrário de outros países da UE, a Alemanha não utiliza uma classificação de "A" a "G", mas os valores para a demanda de energia primária e o uso final são detalhados no certificado de energia, em termos de consumo anual de energia por unidade de área (kWh/m² ano) e informação sobre as emissões de CO² (kg/m² ano). A demanda de energia primária do edifício é comparada com um valor de referência estipulado por lei, e é usado para avaliar a eficiência energética (FOSSATI *et al.*, 2016).

No Japão, há dois códigos de energia para edifícios residenciais ou casas, ambos lançados em 1999. As Diretrizes de Projeto e Construção, para a Racionalização do Uso de Energia para Casas, é um método prescritivo, inclui isolamento do envelope do edifício, HVAC e aquecimento de água, bem como orientação sobre manutenção e operações. Os Critérios para Clientes sobre a Racionalização do Uso de Energia para Casa é uma

mistura de desempenho e códigos de energia, baseados em prescrição, e tem foco em HVAC (EVANS; SHUI; SOMASUNDARAM, 2009).

A China adotou três padrões de eficiência energética para edifícios residenciais: um de aquecimento para o clima no Norte, estabelecido em 1986; um para clima misto na região de verão quente e inverno frio, no centro, em 2001, e outro para o clima de arrefecimento, no Sul, em 2003. Os requisitos são estabelecidos com base em valores de transmitância térmica (U) da envoltória (pisos, paredes e tetos) para construções e regulamentos diferentes, e aplicam-se aos sistemas HVAC com requisitos de eficiência energética para caldeiras, ar-condicionado, isolamento das tubulações e outras instalações (LAUSTSEN, 2008).

Na Índia, não existiam requisitos de eficiência energética para os edifícios até junho de 2007, data em que foi adotado um regulamento relativo aos grandes edifícios comerciais (LAUSTSEN, 2008).

A Ilustração 14 mostra uma comparação dos códigos de energia de países para edifícios residenciais, realizados pela Parceria Internacional para a Cooperação para a Eficiência Energética (IPEEC), em parceria com a Rede Global de Desempenho de Edifícios (GBPN) e o Laboratório Nacional do Noroeste do Pacífico (PNNL) (FOSSATI *et al.*, 2016).

Ilustração 14 - Comparação dos códigos de energia dos edifícios residenciais

País	Exigência	Metodologia	Medições cobertas
Argentina	Voluntária	Cálculo detalhado na Norma IRAM 11.900:2009	Envelope, Serviço de aquecimento de água, Iluminação, Energia elétrica
Austrália	Mandatária	Prescritiva / Baseado em desempenho	Envelope, HVAC, Serviço de aquecimento de água, Iluminação, Manutenção, Conforto térmico
Brasil	Voluntária	Prescritiva / Baseado em desempenho	Envelope, HVAC, Serviço de aquecimento de água, Iluminação, Energia elétrica
Canadá	Mandatária (quando adotada nas províncias)	Abordagem do mercado / Baseado em desempenho	Envelope, HVAC, Serviço de aquecimento de água, Iluminação, Manutenção, Energia elétrica
China	Mandatária	Prescritiva / Abordagem do mercado	Envelope, HVAC, Iluminação, Energia renovável, Água quente doméstica, Aquecimento solar de água, Manutenção

França	Mandatória	Prescritiva / Baseado em desempenho	Envelope, HVAC, Serviço de aquecimento de água, Iluminação, Energia renovável, Manutenção
Alemanha	Mandatória	Baseado em desempenho	Envelope, HVAC, Serviço de aquecimento de água, Iluminação, Energia elétrica, Energia renovável, Manutenção
Índia	Mandatória	Prescritiva / Abordagem do mercado / Baseado em desempenho	Envelope, HVAC, Serviço de aquecimento de água, Iluminação, Energia elétrica
Indonésia	Mandatória	Baseado em desempenho	Envelope, HVAC, Iluminação, Manutenção
Itália	Mandatória	Baseado em desempenho	Envelope, HVAC, Serviço de aquecimento de água, Iluminação, Energia elétrica, Energia renovável
Japão	Mandatória	Abordagem do mercado / Baseado em desempenho	Envelope, HVAC, Serviço de aquecimento de água, Iluminação, Energia elétrica
México	Mandatória	Baseado em desempenho	Envelope, Iluminação
Nova Zelândia	Mandatória	Baseado em desempenho	Envelope, HVAC, Serviço de aquecimento de água, Iluminação
Rússia	Mandatória	Abordagem do mercado / Baseado em desempenho	Envelope, Aquecimento e ar-condicionado
Arábia Saudita	Voluntária	Prescritiva / Baseado em desempenho	Envelope, Sistema mecânico, Serviços de aquecimento de água, Iluminação, Energia elétrica
Singapura	Mandatória	Prescritiva / Abordagem de mercado	Envelope, HVAC, Serviço de aquecimento de água, Iluminação, Energia elétrica, Energia renovável, Manutenção
África do Sul	Mandatória	Prescritiva / Baseado em desempenho / Referência de um edifício modelo	Envelope, HVAC, Serviço de aquecimento de água, Iluminação, energia elétrica, Energia renovável, Manutenção
Coreia do Sul	Mandatória	Prescritiva / Abordagem de mercado	Envelope, HVAC, Iluminação, Energia elétrica, Energia renovável, Manutenção
Espanha	Mandatória	Baseado em desempenho	Envelope, HVAC, Serviço de aquecimento de água, Iluminação, Energia elétrica, Energia renovável, Manutenção
Turquia	Mandatória	Baseado em desempenho	Envelope
Reino Unido	Mandatória	Baseado em desempenho	Envelope, HVAC, Serviço de aquecimento de água, Iluminação, Energia elétrica, Energia renovável, Manutenção
Estados Unidos	Misturado	Prescritiva / Abordagem do mercado / Baseado em desempenho	Envelope, HVAC, Serviço de aquecimento de água, Iluminação, Energia elétrica, Manutenção

Fonte: Adaptado do IPEEC – International Partner for Energy Efficiency Cooperation *apud* FOSSATI *et al.*, 2016.

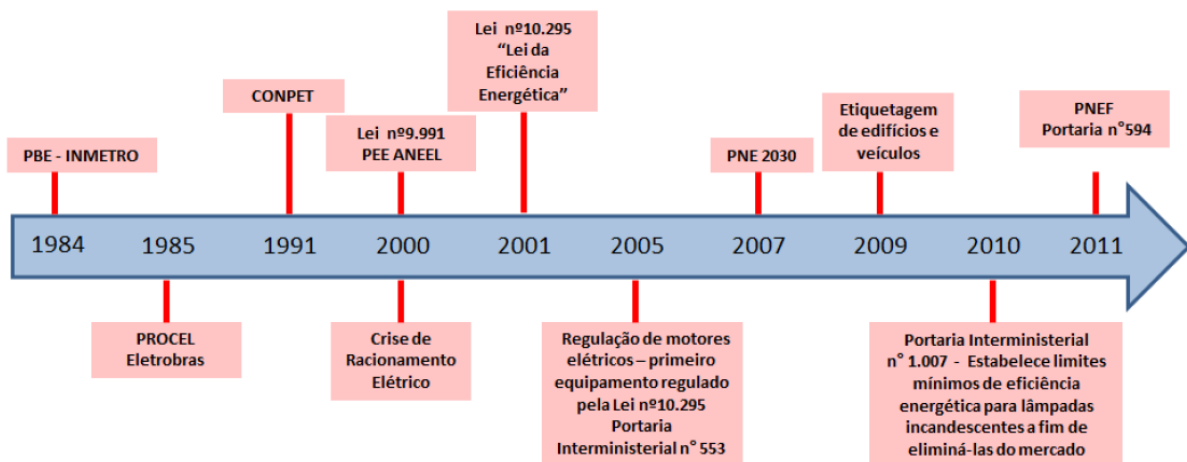
Com base na análise dos principais códigos de eficiência energética e sistemas de classificação, algumas considerações podem ser feitas. A maioria deles avalia o nível de eficiência energética do edifício, considerando os edifícios artificialmente condicionados. A ventilação natural não é mencionada na regulamentação da maioria dos países desenvolvidos, mas poderia ser usada para minimizar o uso de ar-condicionado. Essa é uma realidade para os países com climas frios, mas na maioria dos países tropicais, o conforto dos usuários pode ser alcançado com estratégias passivas e deve ser incentivado (FOSSATI *et al.*, 2016) (SOEBARTO, VERONICA; BENNETTS, 2013).

2.2.3 Etiquetagem no Brasil

Inicialmente discutidos em 1991, o desempenho do edifício no Brasil e sua necessidade de normalização, que originou as normas da ABNT atualmente vigentes: NBR 15220 (2003) e NBR 15575 (2015). As normas apresentam requisitos referentes ao desempenho térmico, como métodos de cálculo e de medição de propriedades térmicas de componentes, além de outros tópicos do desempenho térmico, como estruturas e sistemas hidrosanitários. No entanto nenhuma delas apresenta parâmetros e/ou requisitos visando diretamente à eficiência energética da edificação, e se referenciam apenas às edificações residenciais (CARLO; LAMBERTS, 2010).

Na Ilustração 15, é apresentada uma linha do tempo das principais políticas de eficiência energética no Brasil, no período de 1984 a 2011.

Ilustração 15 - Principais Políticas de Eficiência Energética no Brasil - 1984 a 2011



Fonte: MME, 2014.

Criada em 2001, a legislação federal nº 10.295 (BRASIL, 2001) instituiu a Lei de Eficiência Energética, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências: determina ainda os níveis mínimos de eficiência energética (ou máximos de consumo específico de energia) de máquinas e aparelhos consumidores de energia (elétrica, derivados de petróleo ou outros insumos energéticos) fabricados ou comercializados no país, bem como de edificações construídas, com base em indicadores técnicos pertinentes e de forma compulsória (PROCEL; ELETROBRÁS, 2016).

A Lei de Eficiência Energética prevê que o Poder Executivo desenvolverá mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no País. O MME e a Coordenação de Eficiência Energética, que têm atuado nos últimos anos para a disseminação da Ence (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia), colaboram para a implementação da Instrução Normativa, IN nº 02/2014/MPOG/SLTI. Segundo a IN, "os projetos de edificações públicas federais novas devem ser desenvolvidos ou contratados visando, obrigatoriamente, à obtenção da Ence Geral de Projeto classe 'A'" (PROCEL; ELETROBRÁS, 2016).

A Eletrobrás, por meio do Procel Edifica, que foi instituído em 2003, tem por objetivos desenvolver atividades com vistas à divulgação e ao

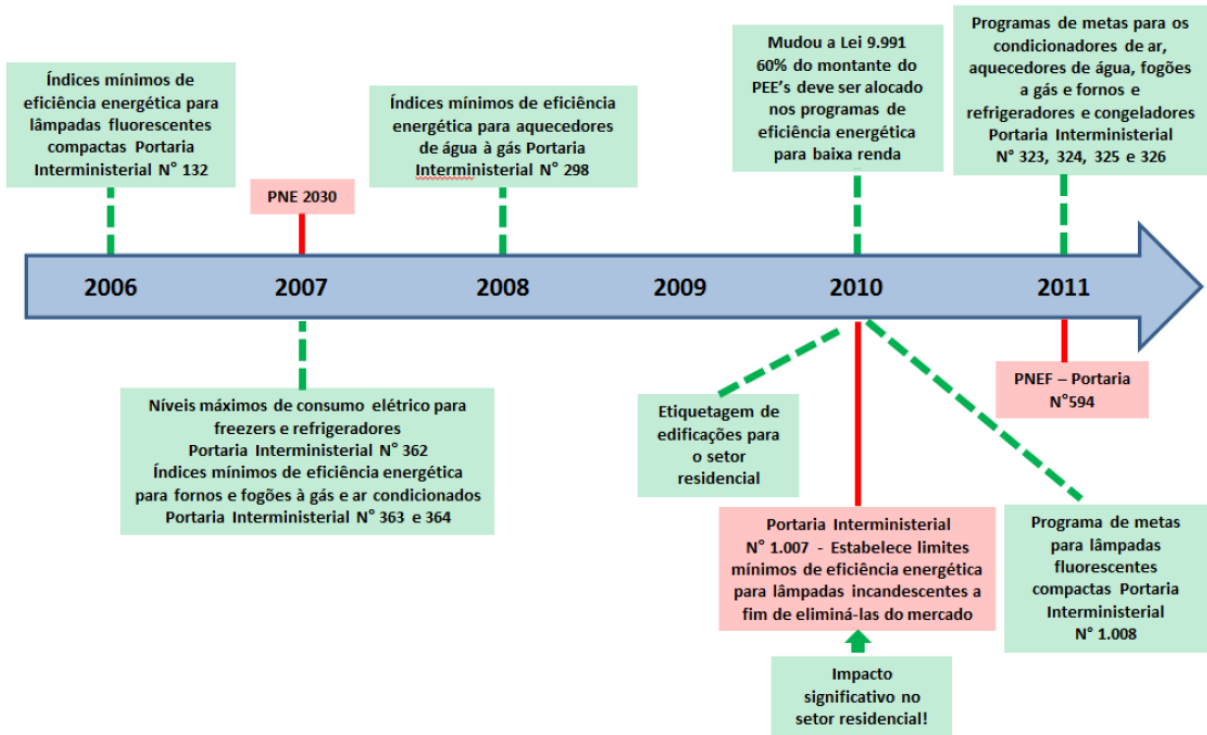
estímulo à aplicação dos conceitos de eficiência energética em edificações, apoiar a viabilização da Lei de Eficiência Energética (BRASIL, 2001), bem como contribuir com a expansão, de forma energeticamente eficiente, do setor de edificações do país, reduzindo os custos operacionais na construção, utilização e manutenção dos imóveis. Para conduzir essas atividades, a Eletrobrás coordena tecnicamente também o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica) e a Secretaria Técnica de Edificações do Grupo de Trabalho em Edificações do MME (PROCEL; ELETROBRÁS, 2016).

A sua base técnica foi desenvolvida por meio de um convênio entre a Eletrobrás / PROCEL Edifica e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), mediante o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), juntamente com a participação da ST - Secretaria Técnica de Edificações. A partir de 2009, uma parceria do Inmetro com o Procel Edifica viabilizou a implantação dos regulamentos para o Nível de Eficiência Energética de Edificações (PROCEL, 2012), com os quais seriam outorgadas etiquetas que mostrassem o desempenho das edificações em relação à eficiência energética (UMAKOSHI, 2014).

Atualmente, a aplicação destes regulamentos é de caráter voluntário. Entretanto, de acordo com o PNEf - Plano Nacional de Eficiência Energética (MME, 2010), a etiquetagem será obrigatória para os prédios públicos em, no máximo, dez anos; para edificações comerciais e de serviços, em 15 anos; e para edificações residenciais, em 20 anos. Pela primeira vez, o Plano Nacional de Energia - PNE 2030 impõe uma meta de eficiência energética: redução de 10% da demanda projetada (UMAKOSHI, 2014); (RODRIGUES, 2014).

A Ilustração 16 apresenta um histórico das políticas recentes de eficiência energética no Brasil.

Ilustração 16 - Linha do tempo de políticas recentes de eficiência energética no Brasil - 2006 a 2011



Fonte: MME, 2014.

Em 2015, houve um aumento de 45% no número de etiquetas emitidas, totalizando, até dezembro, 3.256 etiquetas. Destaca-se, também, a entrada de dois novos OIAs (Organismo de Inspeção Acreditado) no PBE Edifica, a Fundação Carlos Alberto Vanzolini e a Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), que se somaram à Fundação Certi - Centro de Referência em Tecnologias Inovadoras. A inclusão de novos organismos reflete o interesse crescente pelo mercado de etiquetagem voluntária de edificações (PROCEL; ELETROBRÁS, 2016).

Em 2018 apenas esses dois OIAs estão emitindo etiquetas, segundo o (INMETRO, [S.d.]), o que pode configurar que o interesse está em baixa pelo mercado de etiquetagem voluntária, muito provavelmente por conta do momento econômico que o país atravessa.

O nível de eficiência energética, avaliado mediante os métodos, é ilustrado em uma etiqueta, semelhante às demais, emitida pelo Inmetro para equipamentos e eletrodomésticos. A classificação é apresentada na

forma de níveis, cuja categorização varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). No caso das edificações, existem dois tipos de etiquetas: uma para o projeto e outra para a edificação construída (PROCEL, 2012).

A avaliação do nível de eficiência energética é feita mediante métodos descritos nos Regulamentos Técnicos da Qualidade (RTQ): prescritivo e de simulação. O método prescritivo é mais simplificado e pode ser utilizado para a maioria das edificações. Utiliza-se o método de simulação para geometrias mais complexas. Apesar de ser mais complexo e requerer capacitação, a simulação computacional é mais precisa, podendo alcançar níveis de desempenhos mais altos (UMAKOSHI, 2014).

Determinando o nível de eficiência energética por meio de um dos métodos de avaliação, avalia-se o atendimento aos pré-requisitos, exigências prévia e indispensável para realizar algo, e às possibilidades de bonificações. Os pré-requisitos são necessários para determinados níveis de eficiência energética. Já as bonificações são somadas ao nível de eficiência, com o objetivo de valorizar iniciativas, as quais representem economia de energia e/ou a utilização de recursos renováveis (UMAKOSHI, 2014).

A etiqueta geral para edifícios comerciais, públicos e de serviços contempla os três sistemas avaliados: envoltória, iluminação artificial e condicionamentos de ar, além do detalhamento do atendimento aos pré-requisitos e das bonificações. É possível, ainda, obter etiquetas parciais mediante a combinação de dois sistemas (UMAKOSHI, 2014).

No dia 12 de julho de 2018, foi publicada no Diário Oficial da União a consulta pública da proposta de aperfeiçoamento do Regulamento Técnico da Qualidade para a Classe de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (ELETROBRÁS, 2018). Entre as principais alterações propostas neste aperfeiçoamento, destacam-se:

- Introdução de novos métodos de avaliação do nível de eficiência energética de edificações (método simplificado e de simulação), que buscam aproximar ainda mais os resultados da avaliação do consumo real das edificações;

- Melhorias no formato das etiquetas, que passam a fornecer um conjunto complementar de informações e indicar os consumos de energia por uso final (iluminação, condicionamento de ar, água quente, etc.);
- Introdução de novas tipologias de edificações (escritórios, educacionais, hospedagem, hospitalares, etc.);
- Introdução da abordagem de energia primária, que possibilita integrar diferentes fontes de energia (elétrica, térmica, gás, solar, etc.) na avaliação do desempenho energético da edificação;
- Melhoria do indicador de desempenho, que passa a comparar a edificação com suas características reais à mesma edificação, adotando-se condições de referência, dentre outras alterações.

O Sistema Brasileiro de Etiquetagem de Edifícios Residenciais faz parte do PBE, coordenado pelo Inmetro - uma agência federal do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC). Uma OIA credenciada pelo Inmetro (baseado na ISO 17020) emite os rótulos. Envolve uma certificação de terceira parte, para inspecionar o projeto e os edifícios após a fase de construção (FOSSATI *et al.*, 2016).

O processo de obtenção consiste inicialmente no diagnóstico do projeto, ou do edifício, e na elaboração da documentação necessária a fim de dar entrada na solicitação, comumente realizado por um consultor. A análise pode ser realizada por meio do método prescritivo, simplificando o diagnóstico com a utilização de equações matemáticas, e do método de simulação, o qual usa *softwares*, que acredita serem mais fidedignos à realidade. O segundo passo consiste na verificação da documentação e dos cálculos realizados no diagnóstico por um OIA. Caso o OIA identifique que não existem “não conformidades”, a ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) é então emitida. A ENCE integra o Programa Brasileiro de Etiquetagem que, para o caso de edifícios, é denominada Etiqueta PBE Edifica (RODRIGUES, 2014).

De certa forma, a certificação tem certas deficiências, mas para o que se pretende ela atinge o objetivo, que é o de ser uma referência simplificada para uma questão mais complexa, ainda mais em países com grandes

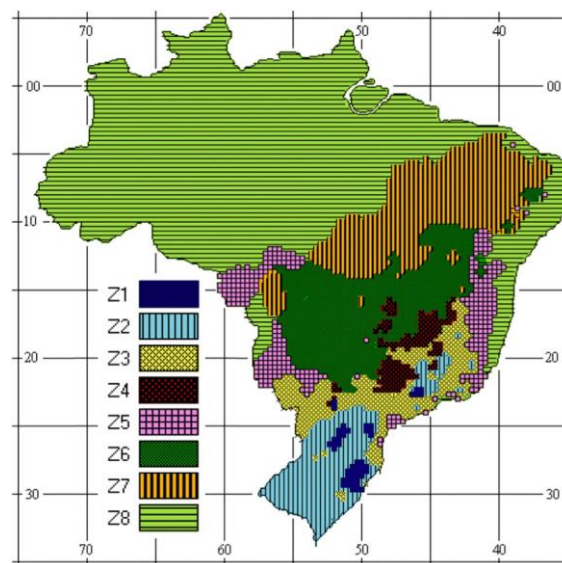
dimensões como o Brasil, e com grande diversidade climática. Serve como parâmetro geral para a grande demanda, mas com ressalvas para os casos em que se exige uma maior definição do edifício, onde se faz necessário uma maior especificidade da localização geográfica (UMAKOSHI, 2014).

2.2.4 Processo de Certificação – PROCEL

Os primeiros padrões de desempenho térmico para edifícios foram desenvolvidos em 2005, por meio da NBR 15220-3 Desempenho Térmico de Edificações. A contribuição deste padrão foi a definição das zonas bioclimáticas brasileiras (Ilustração 17), indicando as estratégias bioclimáticas recomendadas por região com características climáticas semelhantes. O Brasil tem oito zonas; sendo que a Z1 e Z2, representando as regiões mais frias, e Z7 e Z8, as regiões mais quentes do país.

Atualmente estão sendo desenvolvidos estudos cuja finalidade é rever o zoneamento bioclimático brasileiro, após a disponibilidade de mais de 400 arquivos com dados meteorológicos horários, que ampliam a base existente (FOSSATI *et al.*, 2016). As zonas climáticas da NBR foram adotadas posteriormente na etiquetagem no Brasil.

Ilustração 17 - Zonas bioclimáticas brasileiras com base na ABNT NBR 15220-3

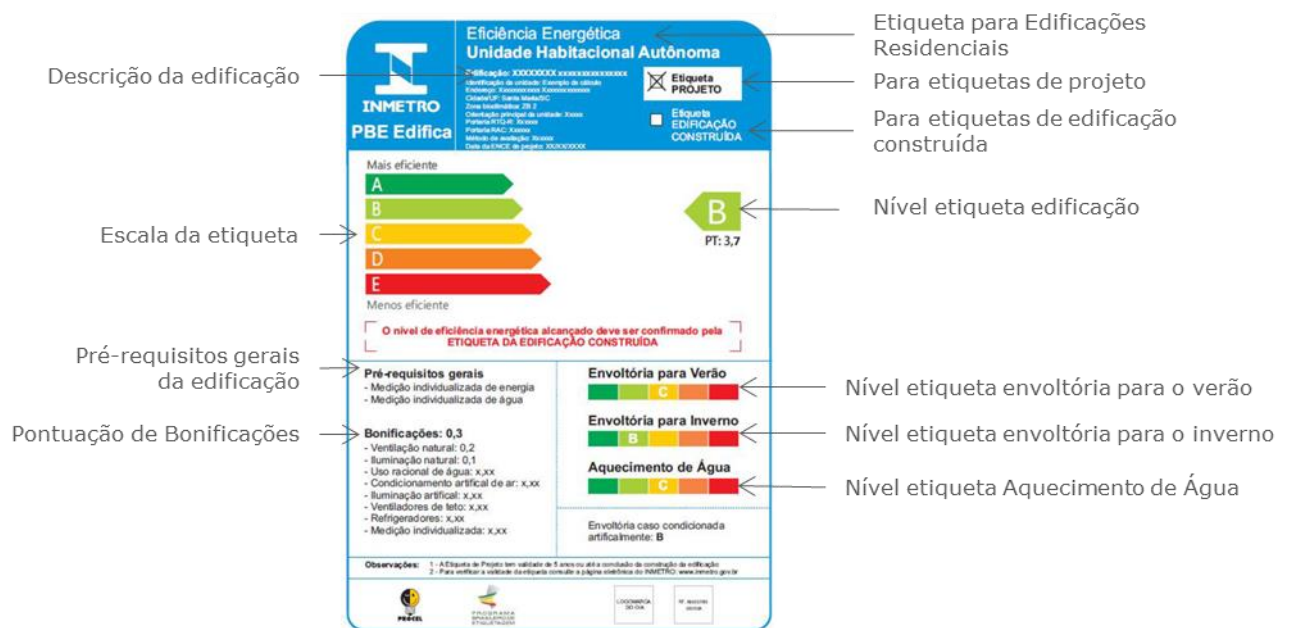


Fonte: ABNT, 2003.

O método que orienta o desempenho e a análise de edifícios ventilados naturalmente, considerando as condições de conforto do usuário, difere daqueles usados na maioria dos países com climas frios, mas é considerado mais apropriado para o clima brasileiro. Em climas frios, a avaliação da eficiência é baseada no consumo de energia, e grande parte dela está relacionada ao aquecimento (FOSSATI; LAMBERTS, 2013) FOSSATI *et al.*, 2016).

Os edifícios residenciais são avaliados considerando o desempenho do envelope no verão, o desempenho do envelope no inverno (somente para as áreas mais frias, isto é, Z1 a Z4) e o sistema de aquecimento de água. A influência de cada sistema, na equação geral, varia consoante a zona bioclimática. Tanto o envelope como o sistema de aquecimento de água são classificados de "A" a "E" (Ilustração 18). Além desses dois sistemas individuais, para obter a pontuação total e a classificação final do edifício, pré-requisitos (que, se não atendidos, podem resultar em uma diminuição de classificação) e bônus (que podem elevar a classificação de um nível) são considerados. A classificação final do edifício também varia de "A" para "E" (PROCEL, 2012).

Ilustração 18 - Etiqueta de Edificação PBE Edifica nível "B"



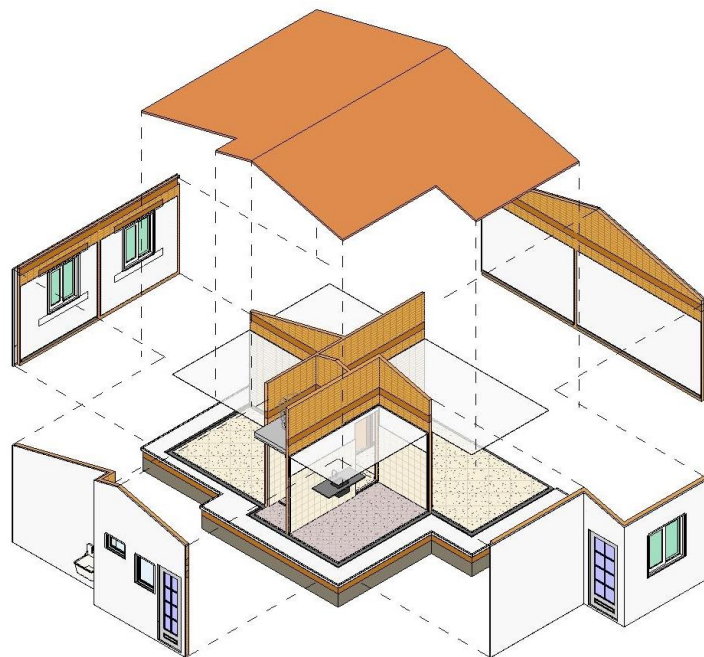
Fonte: PROCEL, 2012.

Ao invés de avaliar as residências totalmente, foi definida uma avaliação de ambientes de permanência prolongada (quartos, salas de estar, etc). Considerando questões de exposição ao exterior de cada ambiente, de acordo com a orientação da fachada. Cada ambiente é analisado e recebe um nível para a eficiência energética e a ponderação dos níveis de cada um, conforme sua área de piso, o que resulta no nível de classificação do envelope (FOSSATI *et al.*, 2016).

2.2.4.1 Envelope

São avaliados três indicadores para o envelope (Ilustração 19): o grau de resfriamento (para avaliar o desempenho do envelope no verão), o consumo de energia para o aquecimento (para o desempenho do envelope no inverno) e o consumo de energia para o resfriamento (para o desempenho do envelope quando a residência é artificialmente condicionada) (FOSSATI *et al.*, 2016).

Ilustração 19 - Envelope da edificação



Fonte: Autor, 2017.

a) Graus Horários de Resfriamento (GHR): trata-se da soma da diferença de temperatura horária quando está acima de uma temperatura de base de

arrefecimento (SORGATO; LAMBERTS, 2011). Este indicador é utilizado para avaliar o desempenho do envelope no verão (FOSSATI *et al.*, 2016).

b) Consumo de energia para aquecimento (CA): esse indicador é utilizado para avaliar o desempenho do envelope no inverno. Foi utilizado para avaliar os edifícios localizados nas zonas Z1 a Z4. Para as outras zonas bioclimáticas, não foi adotado nenhum indicador para o desempenho do aquecimento (VERSAGE; LAMBERTS, 2011); FOSSATI *et al.*, 2016).

c) Consumo de energia para refrigeração (CR): é utilizado para avaliar o desempenho do envelope quando é artificialmente condicionado e é determinado para todas as zonas bioclimáticas. (FOSSATI *et al.*, 2016).

O GHR, CA e CR foram utilizados como variáveis previstas na preparação das equações de regressão linear múltipla dos metamodelos. As características geométricas dos modelos foram consideradas como variáveis previstas, utilizadas para estimar as três variáveis dependentes. Para selecionar as variáveis a serem utilizadas no desenvolvimento das equações de regressão, os parâmetros de construção que podem afetar o desempenho térmico foram considerados. Os parâmetros de construção foram divididos em quatro categorias (VERSAGE; LAMBERTS, 2011; FOSSATI *et al.*, 2016):

(1) Variáveis térmicas: transmitância térmica, absorção solar e capacidade térmica dos elementos de construção;

(2) Variáveis geométricas: volume e áreas dos ambientes, altura do teto, áreas das paredes, áreas envidraçadas e áreas abertas para ventilação;

(3) Variáveis binárias: contato com o solo, exposição do telhado, palafitas, sombreamento nas áreas envidraçadas, tipo de construção (pesado ou leve);

(4) Variáveis combinadas: combinação de variáveis térmicas e geométricas como variáveis físicas termogeométricas;

Para as zonas bioclimáticas Z1 e Z2, foram adicionadas três variáveis: isolamento (paredes e telhado), vidros duplos e combinação de vidros duplos e isolamento (FOSSATI *et al.*, 2016). A Ilustração 20 mostra uma

parte do processo de avaliação do desempenho do envelope para as zonas bioclimáticas Z1 e Z4.

Ilustração 20 - Determinando desempenho do envelope para zonas bioclimáticas Z1 e Z4



Fonte: ELETROBRÁS *et al.*, 2012.

Após a obtenção das classificações, utilizando GHR, CA e CR, para cada método, deve-se verificar se os pré-requisitos foram cumpridos para manter o nível alcançado. Os pré-requisitos que compreendem o RTQ-R limitam a transmitância térmica e a capacidade térmicas máximas em função da absorção solar das paredes e do telhado, a percentagem mínima de aberturas para iluminação natural e ventilação e a existência de ventilação cruzada, conforme a zona climática onde o edifício está localizado (FOSSATI *et al.*, 2016).

A ponderação do desempenho, tanto para o verão como para o inverno, é levada em consideração na moradia ventilada naturalmente. O desempenho do envelope quando artificialmente refrigerado é informativo, podendo ser usado como bonificação. A classificação do envelope é regionalizada e calculada com diferentes pesos para cada zona bioclimática,

refletindo as necessidades de aquecimento e arrefecimento dos ambientes ao longo do ano (FOSSATI *et al.*, 2016).

2.2.4.2 Sistema de aquecimento de água

Visando estimular o uso crescente de sistemas eficientes em energia, o RTQ-R oferece melhores classificações para o uso de aquecimento solar, gás ou uma bomba de calor, em comparação com sistemas que consomem grandes quantidades de energia elétrica ou sistemas alimentados por derivado do petróleo. O objetivo é incentivar o uso de equipamentos eficientes certificados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e pelo Procel (FOSSATI *et al.*, 2016).

2.2.4.3 Bonificações

Foram criados bônus para incentivar iniciativas que melhorem a eficiência energética dos edifícios; e não foram incluídos na avaliação do envelope nem do sistema de aquecimento de água. A ventilação natural e a iluminação natural, a utilização de aparelhos eficientes (frigoríficos, iluminação artificial, ventiladores de teto e ar-condicionado), o uso racional da água e a medição individual de água quente estão entre as estratégias que oferecem pontos de bônus (FOSSATI *et al.*, 2016).

A classificação final é o resultado dos três elementos anteriores: a atribuição de pesos ao envelope e o aquecimento de água, dependendo da região geográfica em que a habitação está localizada, e a adição de um bônus. O Brasil está dividido em cinco regiões geográficas. Nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, o envelope tem um peso de 65% e o aquecimento de água tem um peso de 35%. Nas regiões mais quentes do país - Norte e Nordeste -, onde a maioria das residências não aquece água para o banho, o peso do envelope é maior, 95% e 90%, respectivamente (FOSSATI *et al.*, 2016).

2.2.4.4 Análise crítica do RTQ-R

Apesar de haver uma nova abordagem sobre as avaliações existentes em todo o mundo, a metodologia brasileira leva em conta o clima e as características construtivas do país, incentivando o uso de estratégias naturais e minimizando o uso de condicionamento artificial. O uso de sistemas artificiais é evitado a fim de reduzir o consumo de energia, incentivando o desenvolvimento de edifícios com estratégias passivas, como o condicionamento pela ventilação natural (FOSSATI *et al.*, 2016).

O desempenho de ambientes naturalmente condicionados é analisado considerando a soma de graus-horas de resfriamento e o desempenho de ambientes artificialmente condicionadas por meio do consumo de energia do sistema de condicionamento artificial para refrigeração e aquecimento. A realização de comparações entre os resultados é difícil, pois a influência do grau de conforto associado a um edifício mais eficiente não pode ser adicionado ao consumo de energia resultante, tornando difícil compreender os benefícios que trarão especialmente para os usuários do edifício (SORGATO; LAMBERTS, 2011).

Os resultados da simulação mostram que a estratégia do condicionamento natural difere da de condicionamento artificial. Em geral, no primeiro caso, a inércia térmica melhora o desempenho, se usado corretamente, enquanto, nesse último caso, a inércia térmica pode aumentar o consumo de energia (SORGATO; LAMBERTS, 2011). Gráficos do GHR *versus* CR demonstram as diferenças entre essas duas estratégias. É possível observar uma grande variação no consumo de energia, necessária para o resfriamento em relação ao GHR dos ambientes (FOSSATI *et al.*, 2016).

Melhoramentos contínuos estão sendo planejados mediante novos metamodelos desenvolvidos, usando redes neurais. Além disso, o número e as características dos diferentes tipos de edifícios considerados nas simulações, que geram o metamodelo, estão sendo expandidos (FOSSATI *et al.*, 2016).

2.2.4.5 Relação ao mercado

Em contraste com outros países, onde o impacto dos certificados de desempenho energético foi quantificado (Amecke, 2012; Murphy, 2014), ainda é difícil medir a efetividade real do regulamento no mercado brasileiro, dado o pequeno número de rótulos de edifícios residenciais emitidos até julho de 2015 (3.060 etiquetas emitidas para unidades habitacionais autônomas, sendo 733 referentes a edificações construídas; 31 etiquetas emitidas para a categoria multifamiliar, sendo cinco referentes a edificações construídas e oito etiquetas emitidas para a categoria "áreas comuns", sendo duas referentes a edificações construídas) (PROCEL; ELETROBRÁS, 2016).

Entre os fatores que influenciam a baixa demanda de etiquetagem, está o nível de complexidade da avaliação e a alta demanda por documentação comprobatória, o que, conseqüentemente, torna o processo demorado e caro. Simplificações estão sendo estudadas para melhorar esse cenário. Assim, o RTQ-R deve ser integrado num quadro de instrumentos que trabalhem em conjunto para melhorar o desempenho energético dos edifícios (FOSSATI *et al.*, 2016).

A quantificação da economia associada ao aumento dos níveis de eficiência nos edifícios, que ainda não foi alcançada, contribuiria para a divulgação da regulamentação entre os investidores da indústria da construção e dos consumidores. O Brasil ainda não possui Certificados de Energia (DEC), mas está em processo de estudo e desenvolvimento para edifícios comerciais e públicos. Apesar de ser recente e voluntária, a implementação do regulamento residencial representa uma marca regulatória no Brasil, pois os edifícios não têm padrões mínimos de desempenho antes de 2010. É necessária uma revisão, para se conseguir um processo mais flexível e economicamente viável, que permita ao programa estabelecer um caráter obrigatório e ser mais amplamente aceita pelos projetistas (FOSSATI *et al.*, 2016).

2.3 Simulação no projeto de arquitetura

Nesse tópico é abordada a questão da simulação no projeto de arquitetura e sua relação com o desempenho dos edifícios, o processo de projeto de arquitetura, em especial suas fases iniciais e impactos no edifício, o projeto integrado e digital, projeto baseado em desempenho e a otimização como possibilidade de melhoria para as decisões durante o processo projetual. Também foram identificadas algumas ferramentas existentes atualmente no cenário de simulação de desempenho energético.

2.3.1 Considerações gerais

Simulação é um termo repleto de significados. Portanto, suscetível a diferentes interpretações. Em algumas situações, tem a ver com a falta de correspondência com a verdade, dissimulação, fingimento, disfarce; em outras, com a imitação do funcionamento de um processo por meio do funcionamento do outro. No âmbito ao qual se restringe esta pesquisa, simulação tem a ver com teste, experiência e ensaio de um modelo (BRÍGITTE, 2013).

Apesar de relacionado a uma leitura contemporânea, o verbo “simular” é um termo associado à antiga arte de construção do modelo. Aplica-se a algumas formas muito variadas de construção deste, que vão desde pinturas renascentistas e da escultura de modelos em escala até modelos computacionais de processos cognitivos (BRÍGITTE, 2013).

“A simulação é, portanto, essencialmente uma técnica que envolve a configuração de um modelo de simulação e a realização de experimentos no modelo” (Naylor et al, 1966 *apud* BRÍGITTE, 2013).

O uso moderno da palavra tem sua origem no final dos anos 1940, quando foi utilizada para apresentar a solução de um problema não matemático probabilístico, por meio da simulação de um processo estocástico com momentos ou distribuições de probabilidades. Com o computador, no início dos anos 50, a simulação assumiu outro caráter

mediante experiências com modelos matemáticos de um computador, tornando possível a realização de experimentos controlados em outras áreas da ciência que não o faziam (CHWIF; MEDINA, 2010).

Quando se pensa em simular algo, quer-se obviamente simular algum sistema, um agrupamento de partes que operam juntas, visando a um objetivo em comum. Um sistema sempre pressupõe uma interação causa-efeito entre as partes que o compõem. Para que tais partes e, principalmente, para que as interações entre as partes sejam identificadas, o objetivo do sistema deve ser conhecido com clareza (CHWIF; MEDINA, 2010). Um edifício ou construção pode ser entendido como um sistema, e um modelo, com as suas partes conhecidas, e muitos agentes (profissionais) envolvidos, e geralmente trabalhando de forma autônoma.

A simulação computacional articula o modo como a informação pode ser incorporada na geração de uma forma ambientalmente responsável. O mecanismo que codifica essa relação navega entre dois mundos: o virtual e o meio ambiente natural, e representa um grande passo em relação à interpretação de informações (UMAKOSHI, 2014).

(...) o projeto de edifícios é uma das peças menos dispendiosas de uma estratégia global para minimizar o uso de energia e as alterações climáticas associadas. (...) A simulação de projeto também pode impedir o arquiteto de recomendar estratégias erradas (ANDERSON, 2014).

A simulação do desempenho dos edifícios exige conhecimentos especializados que visam à concepção, engenharia, construção, exploração e gestão de edifícios. Ele extrai seus recursos de muitas disciplinas diversas, incluindo física, matemática, ciência material e comportamento humano. Sua intenção é prever o comportamento de um edifício, desde a concepção até a demolição (MALKAWI, 2004).

As primeiras ferramentas computacionais para simulação de edificações foram desenvolvidas ainda na década de 1970, em computadores do tipo *mainframe*, podendo-se citar como referência dessa tecnologia o programa NBSLD (*NBS Building Service – the Computer Program for Heating and Cooling Loads in Buildings*), desenvolvido nos Estados Unidos (EUA). Em seguida, surgiram as estações de trabalho

(*workstations*), operando em ambiente Unix, no qual foram desenvolvidas algumas ferramentas computacionais utilizadas até hoje, entre elas: DOE-2, BLAST, RADIANCE e ESP-r, sendo os três primeiros desenvolvidos nos EUA e o último desenvolvido na Escócia e no Reino Unido.

A partir da década de 1990, com a popularização dos computadores pessoais (PCs), empresas e grupos de pesquisa se engajaram no desenvolvimento de interfaces para esses programas, compatíveis com o sistema operacional Windows. Com o avanço progressivo dos recursos computacionais – aumento de capacidade de processamento e memória –, programas mais modernos e complexos puderam ser desenvolvidos, tais como o EnergyPlus, o Fluent, o CFX e o Phoenics. O primeiro deles adota os principais recursos do DOE-2 e do BLAST, e os outros já utilizam o conceito de Dinâmica dos Flúidos Computacional (CFD) para representar detalhadamente o fluxo de calor e o escoamento de ar em edificações. Porém, por se tratar de fenômenos físicos complexos, essas ferramentas computacionais ainda são empregadas apenas em centros de pesquisas de universidades e institutos, com pouca transferência de tecnologia para o setor de projetos, ou seja, os escritórios de engenharia e arquitetura (MENDES *et al.*, 2005).

Mediante os programas de simulação, pode-se avaliar o desempenho térmico e energético de edificações para diferentes alternativas de projeto, sejam elas opções do desenho arquitetônico, componentes construtivos, sistemas de iluminação ou sistemas de condicionamento de ar. Com a simulação computacional, pode-se estimar o consumo de energia, o custo desse consumo e até mesmo o impacto ambiental provocado pela alternativa de projeto, antes de sua execução (MENDES *et al.*, 2005).

A simulação de construção está se estabelecendo como parte integrante do processo de projeto, e ferramentas de simulação estão disponíveis em uso comercial, sendo consideradas práticas comuns por engenheiros. Os programas de simulação do desempenho dos edifícios devem desempenhar um papel importante no processo de concepção

(AUGENBROE, 2001; HONG; CHOU; BONG, 2000; SOEBARTO, V. I.; WILLIAMSON, 2001).

O uso de simulação de edificações no Brasil ainda está concentrado nas instituições de ensino e pesquisa, com pouca transferência da tecnologia para o setor privado. O mesmo padrão de comportamento é verificado nos demais países, com exceção da Alemanha, onde escritórios de projeto vêm se destacando, mediante a aplicação de ferramentas de simulação no desenvolvimento de edificações, com alto nível de eficiência energética (MENDES *et al.*, 2005).

A complexidade das ferramentas existentes e a falta de programas nacionais são as principais causas da fraca disseminação desse tipo de tecnologia no Brasil. Algumas iniciativas já foram tomadas para popularizar o uso de simulação computacional. Como exemplo, cita-se o desenvolvimento do programa DOMUS, pelo LST/PUCPR, com interface amigável para analisar alternativas de estratégias de resfriamento passivo e de efeitos da umidade na *performance* de uma edificação. O LabEEE/UFSC iniciou o desenvolvimento de uma interface gráfica simplificada para o programa EnergyPlus (MENDES *et al.*, 2005).

Várias pesquisas foram desenvolvidas para promover o uso da simulação no país, por meio da adaptação de ferramentas internacionais ao panorama brasileiro e da elaboração de programas nacionais e metodologias, a fim de orientar os usuários na modelagem de edificações. A evolução da tecnologia de simulação, nos últimos 30 anos, resultou em códigos complexos e mais abrangentes. As interfaces acompanharam a mesma linha de desenvolvimento e estão cada vez mais detalhadas, exigindo grande quantidade de dados de entrada para a caracterização de modelos virtuais (MENDES *et al.*, 2005).

Para disseminar o uso da simulação nos escritórios, é imprescindível a elaboração de interfaces simplificadas, que reduzam o tempo gasto na modelagem e análise de diferentes alternativas, ainda na etapa de anteprojeto, na qual são assumidos os conceitos principais, os quais poderão sofrer poucas alterações no decorrer do projeto. Programas mais

recentes já adotam níveis diferentes de interface, segundo a etapa do projeto a que a simulação está sendo aplicada (MENDES *et al.*, 2005). Esse conceito é uma referência para nossa pesquisa, pois está em consonância com o que é buscado em termos de funcionamento da ferramenta IDEEA.

O desenvolvimento de ferramentas nacionais era pouco expressivo na época do século 21, podendo-se citar o Umidus, que permite a simulação da transferência de calor e umidade em estruturas porosas de edificações, e o SPTE, utilizado para estimar o desempenho térmico de componentes construtivos mediante funções de transferência. Na UFSCar (Universidade Federal de São Carlos), o programa Arqutrop, desenvolvido na década de 1980, foi amplamente utilizado por arquitetos e estudantes de arquitetura, para analisar a influência de alternativas de projeto, no consumo de energia elétrica em edificações, por meio do método das funções de transferência (MENDES *et al.*, 2005).

A simulação de construção continua a evoluir e os resultados da investigação, nesta área, estão agora sendo incorporados na concepção e construção dos edifícios; sua contribuição é evidente no avanço da construção de ambientes e novas edificações. Esse progresso foi impulsionado principalmente por esforços resultantes de pesquisas acadêmicas e ações governamentais. Ambos os setores foram beneficiados com avanços em computação, como novos paradigmas de programação e aumento do poder da tecnologia de informação e comunicação (MALKAWI, 2004).

2.3.2 Simulação e desempenho no projeto

Simulação do desempenho da construção é uma prática comum na indústria, e tem sofrido um crescimento substancial, principalmente no mundo acadêmico, mas também na construção civil, desde o seu surgimento. Além disso, muitos esforços de pesquisa, no âmbito de projetos financiados pela União Europeia (EUROPEAN COMMISSION, [S.d.]), bem como pesquisas internacionais, têm sido dedicados à resolução

das deficiências de construção, simulações disponíveis, programas de automação, e abordagens *Building Information Modeling* (BIM).

Os primeiros programas computacionais, para simulação do desempenho térmico de edificações e estimativa do consumo de energia, surgiram na década de 1970. De lá para cá, diversas ferramentas têm sido desenvolvidas para auxiliar projetistas na análise de alternativas mais eficientes, do ponto de vista energético. O Diretório de Ferramentas de Energia, mantido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE, [S.d.]), apresenta uma lista de mais de 300 programas que permitem desde a análise do desempenho térmico de um componente construtivo até a simulação integrada do comportamento energético da edificação e seus sistemas (WESTPHAL, 2007). Contudo, há poucas ferramentas que auxiliam na avaliação completa do desempenho energético de projetos alternativos e tomam decisões para produzir produtos de construção melhores e mais sustentáveis (EGUARAS-MARTÍNEZ; VIDAURRE-ARBIZU; MARTÍN-GÓMEZ, 2014).

Um problema das ferramentas de simulação de edifícios é que a maioria dos programas, originalmente, não se destina a ser usada por projetistas de edifícios. Eles, normalmente, foram projetados para serem usados por pesquisadores, e o uso dessas ferramentas geralmente requer uma curva de aprendizado íngreme. Como consequência, são usadas principalmente por especialistas da área (PAPAMICHAEL *et al.*, 1996).

As ferramentas de simulação não são usadas para apoiar a geração de alternativas de projeto, nem para fazer escolhas informadas entre diferentes opções de projeto, e não são usadas para construir e / ou otimizar o sistema (HOPFE, CHRISTINA; HENSEN, 2006).

A simulação térmica dos edifícios é uma ferramenta poderosa para avaliar o desempenho energético de um edifício, sendo recomendada para ser integrada durante a fase inicial de projeto. Durante essa fase, há mais oportunidades para influenciar e mudar o comportamento do edifício, pois o custo é bem menor ao se resolver essas questões durante as fases iniciais. Além disso, vários cenários podem ser modelados a fim de obter um melhor desenho, não apenas no desenho físico dos espaços, mas também no

cenário operacional, onde se planejam mais adequadamente as ações necessárias, de construção e operação (ANDARINI, 2014).

Pesquisas voltadas, para o processo de projeto afirmam que o desenvolvimento deste requer uma sequência de decisões na construção da solução de um determinado problema (LAWSON, 2006; WOOD; GIDADO, 2008). No projeto de edificações, é função do projetista apresentar não um universo de soluções, mas aquelas que, em princípio, atendam ao programa nos aspectos funcionais e técnicos e ao enfoque econômico que o cliente propõe (KALAY, 2004). Todavia, essas soluções devem considerar as diversas variáveis interdisciplinares presentes no processo de projeto: alto grau de interação entre as partes; mudanças e evolução contínuas; alto grau de interação não linear com o ambiente; e dificuldade de execução das atividades individuais (e isoladas) que compõem um processo (WOOD; GIDADO, 2008).

Especificamente em arquitetura, o conceito de desempenho abrange diferentes domínios, que vão desde os estéticos aos puramente técnicos (KOLAREVIC; MALKAWI, 2005). Portanto, alguns desses requisitos são baseados em parâmetros quantitativos e, por isso, mais fáceis de avaliar. Outros, ao contrário, são baseados em aspectos qualitativos, tais como comportamento humano e a percepção do edifício.

Nas questões relacionadas ao desempenho técnico-quantitativo, testar as soluções propostas por meio da utilização de ferramentas computacionais, como uma avaliação preditiva do desempenho do conjunto proposto, reduz o tempo do processo e auxilia na tomada de decisão para se determinar a solução mais adequada, já nas etapas iniciais. Pode-se dizer que a avaliação do desempenho, durante o projeto, é capaz de antecipar a identificação de deficiências, reduzindo gastos que poderiam ser gerados durante o processo ou ainda após a sua construção (BRÍGITTE, 2013).

O processo de desenvolvimento de uma edificação tem, tradicionalmente, sido um conjunto de atividades sequenciais, nas quais os projetistas começam com regras e normas existentes para criar um desenho, e depois modelam a fim de verificar suas conformidades com os

objetivos de desempenho. Se o desenho proposto não está conforme os objetivos, os projetistas retornam e recomeçam o processo. Essa abordagem de tentativa e erro continua até encontrar o desenho que satisfaça as condições de desempenho (ATTIA, SHADY *et al.*, 2012).

Ferramentas de simulação de desempenho no edifício são partes fundamentais do processo de projeto (ATHIENITIS; ATTIA, 2010; BOGENSTÄTTER, 2010; DONN, 2010) para se aplicar durante suas fases iniciais, já que as decisões tomadas nesse momento interferem fortemente no decorrer de todo o projeto e no desempenho do edifício (ATTIA, SHADY *et al.*, 2012).

Conforme formulado por Kalay (1999), a abordagem do projeto, com base em desempenho, enfatiza a tomada de decisão em relação ao desempenho, e é similar à abordagem do projeto baseado em evidência, o qual enfatiza a importância do uso de dados confiáveis a fim de influenciar o processo de projeto de arquitetura (ATTIA, SHADY *et al.*, 2012).

A experiência com edifícios de alto desempenho de energia mostra que seu processo de projeto é focado em decisão baseada em desempenho, que efetivamente integra as etapas iniciais, em todos os aspectos do projeto do edifício passivo: eficiência energética, autonomia de luz natural, níveis de conforto, instalações de energia renováveis, soluções de ar-condicionado, em adição a soluções e tecnologias inovadoras (ATHIENITIS; ATTIA, 2010; KORKMAZ *et al.*, 2010; MOLENAAR *et al.*, 2009).

Avaliar diferentes combinações de projeto e parâmetro, com base no seu desempenho, torna-se uma atividade adicional durante as etapas iniciais do projeto de edifícios de alto desempenho. Consciente desse objetivo, os projetistas têm de cumprir as sucessivas pesquisas e avanços com um objetivo, tomando por base o desempenho, em que “forma segue o desempenho” (ATTIA, SHADY *et al.*, 2012).

Os estágios conceituais iniciais do projeto de edifícios de alto desempenho podem ser divididos em cinco etapas: (1) especificando critérios de desempenho, (2) gerando ideias, (3) projeto de *layout* das zonas, (4) projeto conceitual preliminar e (5) projeto conceitual detalhado.

As etapas 2 a 5 nem sempre seguem uma ordem linear sequencial (ATTIA, SHADY *et al.*, 2012).

Experiências com avaliação pós-ocupação de edifícios de alto desempenho em energia mostram que o projeto não é intuitivo e que as ferramentas de simulação são partes fundamentais do processo de projeto. A natureza dos objetivos requer a criação antecipada de modelos de energia durante as fases de projeto pré-conceitual e conceitual (ATTIA, SHADY *et al.*, 2012).

As principais barreiras encontradas para a tomada de decisão durante as fases iniciais do projeto são (ATTIA, SHADY *et al.*, 2012):

- Representação geométrica nas ferramentas de simulação: arquitetos trabalham de diferentes formas mediante esboços, modelos físicos, imagens 2D e 3D de forma digital e analógica; e com diferentes necessidades para representação e comunicação da sua forma de projetar;
- Entrada de informações: a representação dos parâmetros de entrada na linguagem dos arquitetos é um desafio em muitas ferramentas. Existe uma clara separação entre linguagem de projeto dos arquitetos e linguagem física do edifício na maioria das ferramentas. Essa diferença está sempre endereçada por usar parâmetros de entrada reduzidos ou usar valores padrões. Contudo, preencher os parâmetros de projeto é uma questão negligenciada entre os desenvolvedores de ferramenta de simulação de desempenho do edifício;
- Suporte informativo durante a tomada de decisão: O projeto não pode prever com facilidade o impacto das decisões sobre o desempenho e custo do edifício. O processo de desenvolvimento de edifícios do NZEB (*Net Zero Energy Building*) requer uma resposta instantânea e suporte para a tomada de decisões para estratégias de projeto passivas e ativas. A maior desvantagem da maioria das ferramentas existentes é que elas funcionam como ferramentas de avaliação pós-projeto;
- Comparações avaliativas de desempenho: Durante os estágios iniciais do projeto, o "*benchmarking*" e a possibilidade de comparar alternativas são mais importantes que avaliar valores absolutos. A fase de geração de ideias

é iterativa e comparativa. A maioria das ferramentas existentes não emula o processo e foca na avaliação pós-projeto;

- Interpretação dos resultados: A representação de saídas de simulação e sua interpretação são frequentemente reportadas como uma barreira entre arquitetos (ATTIA, SHADY GALAL MOHAMED *et al.*, 2009; DONN, 2010). Resultados analíticos apresentados em tabelas de números ou gráficos são sempre muito complexos e detalhados, fornecendo uma quantidade excessiva de informações. A representação de saída muitas vezes carece de qualidades e variedades visuais. Análises e simulação de resultados devem ser apresentadas com um contexto de modelo geométrico 3D (ATTIA, SHADY *et al.*, 2012);

- Iteração informada: A barreira mais importante que os arquitetos enfrentam é o ciclo de iterações (processo chamado na programação de repetição de uma ou mais ações) informadas para o desenvolvimento e otimização de conceitos. Segundo NZEBs, eles têm de iterar para fins de otimização de desempenho, exigindo uma compreensão da física de construção e desempenho. Arquitetos precisam de compreensão fundamental da física de construção básica, que lhes permita interpretar o *feedback* de simulação e levá-los de volta para o conceito (ATTIA, SHADY *et al.*, 2012).

Acredita-se que as práticas de projeto digital baseadas no desempenho, ao contrário de limitar o potencial criativo do projetista, como acreditam aqueles que têm restrição ao uso do computador no processo de projeto, podem expandir as possibilidades de solução, melhorar a eficiência e resultar em soluções mais sustentáveis (KRYGIEL; NIES, 2008).

2.3.3 Processo de projeto de arquitetura

Do ponto de vista intelectual e técnico, o projeto de edifícios pode ser sintetizado como um processo cognitivo que transforma e cria informações, mediado por uma série de faculdades humanas, pelo conhecimento e por determinadas "técnicas", sendo orientado à concepção de objetos e à

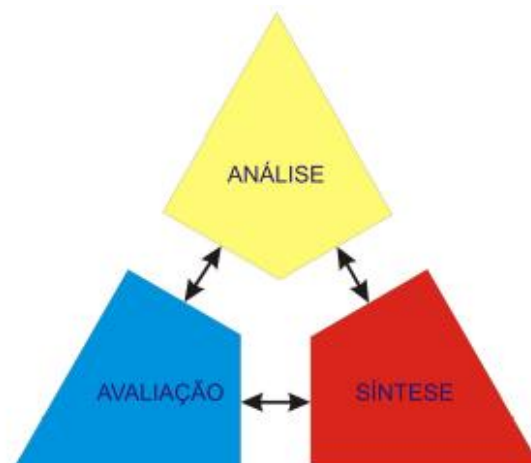
formulação de soluções, de forma a antecipar um produto e sua obra (FABRÍCIO, MÁRCIO MINTO, 2002).

Segundo FABRÍCIO e MELHADO (2011), o projeto é caracterizado como informações que são criadas e tratadas por diferentes estratégias mentais e metodológicas, e envolvem todos os sentidos, abstrações, representações, bricolagens abstratas, esquemas, algoritmos, métodos e conhecimentos.

Desta forma o projeto de edifícios pode ser definido como um processo cognitivo que transforma e cria informações, mediado por uma série de faculdades humanas, pelo conhecimento e por determinadas técnicas projetuais, sendo orientado à concepção de objetos e à formulação de soluções, de forma a antecipar um produto e sua obra. Nesse contexto são mobilizadas diferentes habilidades cognitivas, que são específicas para a criação e o desenvolvimento de novas soluções projetuais (FABRÍCIO; MELHADO, 2011).

Dessa maneira, torna-se comum no campo do projeto a busca por sistematização e estruturação do processo e gestão em etapas, na tentativa de assegurar certa progressão. De acordo com a metodologia utilizada, o número de fases do processo de projeto pode variar. No geral, o ato de projetar pode ser sintetizado por meio de um método, composto por três estágios de sistematização das informações pertinentes ao projeto: análise, síntese e avaliação (LAWSON, 2006), ilustrados na Ilustração 21.

Ilustração 21 - Forma para representação da sequência de decisões do processo de projeto



Fonte: ANDRADE, 2012.

Uma das características dos projetos na vida contemporânea de edifícios é a grande complexidade dos empreendimentos, que exigem montagem de equipes multidisciplinares de projeto com a mobilização de conhecimentos mais especializados, caracterizando um processo em que nenhum profissional, isoladamente, detém os conhecimentos e qualificações suficientes para o controle sobre a totalidade do processo de projeto (FABRICIO; MELHADO, 2011).

Montaner (2008) cita que a teoria da arquitetura e urbanismo vem sendo enriquecida com as ideias de complexidade, diversidade e sistema; onde a produção contemporânea demonstra o esforço em projetar novos sistemas de objeto. No contexto do projeto, a complexidade tende a caracterizar-se pela inter-relação recorrente entre a abundância das informações, hoje facilmente disponíveis e desconexas (MORAES, 2010). Dentro da cultura projetual, esse cenário exige dos projetistas a compreensão do conceito de gestão da complexidade, pois, ao atuarem em cenários múltiplos, fluidos e dinâmicos, terão de lidar de igual forma com o excesso de informações disponíveis. A abordagem projetual objetiva e linear, praticada para a concepção dos produtos industriais do passado, não é mais suficiente para garantir o sucesso de uma empresa ou atender às expectativas do usuário final, sendo necessário valer-se de novas ferramentas, técnicas e métodos para a compreensão e gestão da complexidade contemporânea (ROMCY, 2017).

O processo de projeto arquitetônico não tem um ponto de partida (VRIES; WAGTER, 1991); começa com alguns esboços, na tentativa de dispor um edifício num sítio. O projetista estabelece algumas conjecturas de projeto (objetivos do partido, volumetria, aparência e perfil do uso), para servirem de base, e segue aperfeiçoando. Depois, avalia e confirma, nega ou aponta outros caminhos para a solução. O que pode ser um ponto de partida em um projeto pode ser matéria de finalização em outro. Uma forma mais simplificada de representar o processo de projeto é tomar por base a

sequência de decisões compostas pela análise, síntese e avaliação (ANDRADE, 2012).

A sequência deve ser compreendida como parte de um processo de projeto flexível, articulado e com ciclos iterativos, posto de forma conjunta na Ilustração 21. Representa um modelo esquemático, flexível, adaptável a diferentes processos de projeto, abordando as sequências essenciais do projeto, ou seja, a análise, a síntese e a avaliação. O que se vê com frequência na literatura sobre metodologia de projeto é que, embora os processos variem muito, a maioria dos autores considera essa sequência como essencial de qualquer processo de projeto arquitetônico (ANDRADE, 2012).

O processo de projeto é marcado por dilemas que são apresentados e pela escolha de critérios que precisam ser estabelecidos, considerando os vários aspectos que embasarão a decisão final, isto é, o contexto mais amplo do projeto (BITTENCOURT; MONTEIRO; YANNAS, 2015).

A análise constitui-se na investigação das partes de um todo, tendo em vista conhecer sua natureza, suas características, suas funções, suas relações (ANDRADE, 2012).

No desenvolvimento do projeto, na fase de análise, devem ser elencadas as metas que a solução proposta pretende alcançar, observando as restrições que devem ser respeitadas. De maneira coerente, os problemas aparecem categorizados e relacionados entre si. É nesse momento que devem ser estabelecidos os principais requisitos de desempenho que se objetiva conquistar (BRÍGITTE, 2013).

Em arquitetura, a análise relaciona-se com o exame do problema arquitetônico. Constitui-se na investigação dos principais elementos que compõem o problema de projeto, no qual se definem as principais metas e objetivos que o projeto deve alcançar os principais critérios de desempenho do edifício, as principais restrições e os possíveis impactos das soluções para os usuários, clientes e localidade, etc. (ANDRADE, 2012).

A fase de síntese corresponde à etapa mais criativa, na qual devem ser propostas soluções possíveis para os pontos levantados na análise, não

devendo ser procuradas soluções únicas ou ideais ao problema, mas “soluções parciais”, em que várias alternativas são consideradas e combinadas no decorrer do processo (MOREIRA, DANIEL, 2007). Isso se dá porque não há meios de garantir que uma solução seja boa ou não; apesar de poder ser otimizada em alguns critérios, certamente tantos outros serão incompletos, podendo não ter todos os requisitos desejados ou conter conflitos internos. O processo de desenvolvimento de projeto é aberto, e não existe uma solução única e definitiva para cada questão levantada inicialmente (LAWSON, 2006).

A síntese associa-se à fase criativa dos estágios de decisão e é uma resposta a todas as condicionantes definidas em momentos anteriores. Nessa fase, os arquitetos concebem as ideias e possíveis soluções que atendam aos objetivos e atendam às restrições e oportunidades visualizadas na etapa de análise. A síntese se constitui de passos intuitivos na busca de soluções dos problemas, por meio de organização de formas, materiais, hierarquia de visuais, orientações predominantes, iluminação e de outros tantos condicionantes, que, quando articulados na síntese, vão constituir o edifício (KALAY, 2004; ANDRADE, 2012).

Não existe uma solução ótima para um problema de projeto, mas sim uma grande variedade de soluções aceitáveis, algumas mais, outras menos satisfatórias em alguns aspectos e para diferentes clientes ou usuários (LAWSON, 2006).

Na etapa de avaliação, não havendo uma solução definitiva, as soluções parciais deverão ser testadas, verificando a eficácia em face dos objetivos levantados na síntese. O objetivo é identificar o que é compatível e o que é conflitante, e estabelecer o grau no qual uma solução proposta atende aos requisitos de desempenho definidos, na fase de análise do problema (KALAY, 2004). Determinam-se então quais as prioridades que definirão os aspectos que deverão prevalecer sobre os demais, a depender do pensamento dos autores do projeto. O processo é retomado caso a solução não seja satisfatória.

A avaliação em arquitetura visa a garantia de que uma solução proposta seja a mais aceitável; para isso, procura detectar qualidades e deficiências no projeto antes da construção, venda e uso, quando as alterações se tornam progressivamente mais demoradas e caras. A avaliação é, tradicionalmente, vista como uma questão de experiência e julgamento; porém, à medida que a complexidade do projeto aumenta, as experiências e os julgamentos tornam-se menos efetivos (JONES, 1971 *apud* ANDRADE, 2012).

A sequência de decisões, que compreende as fases de análise, síntese e avaliação, não é linear. Deficiências detectadas na avaliação podem levar à revisão da síntese e da análise. Podem acontecer melhorias, ajustes ou mudanças nas soluções, e a redefinição de metas, restrições e requisitos de projeto (KALAY, 2004). O que torna possível a dinâmica deste processo é a retroalimentação entre essas fases (BRÍGITTE, 2013).

Na fase conceitual de projeto, os projetistas que empregam métodos tradicionais tendem a conceber, confiando na sua própria imaginação espacial e em croquis de ideias esquemáticas e soluções de projeto, combinando aos materiais gerados na etapa de análise de viabilidade. Na engenharia e arquitetura, a utilização de tecnologia digital pode efetivamente compensar essa dificuldade de usar apenas a imaginação, pois as descobertas nas primeiras fases podem ser racionalmente analisadas em um método estatístico, a fim de aprofundar uma missão e formar a concepção de casos de planejamento (HE *et al.*, 2014).

Na etapa gráfica do projeto, a tecnologia digital tem grande potencial, com uma variedade de bibliotecas de elementos específicos, os desenhos podem ser eficientemente modificados, armazenados e produzidos em tempo real. Ademais, técnicas digitais possuem um unificado sistema de gerenciamento de dados cartográficos que pode gravar e armazenar todos os dados e informações no projeto arquitetônico. Isso poderia garantir completamente o alto grau de efetividade e coordenação entre todos os conteúdos projetados, para encontrar problemas de projeto, e oportunamente resolvê-los eficientemente (HE *et al.*, 2014).

Com a finalidade de aumentar a racionalidade do projeto de arquitetura, é necessário adotar tecnologia digital, para qualitativamente e quantitativamente, analisar a grande faixa de indicadores específicos relacionados à física, ao ambiente e à função, como iluminação e ventilação natural, e insolação (HE *et al.*, 2014).

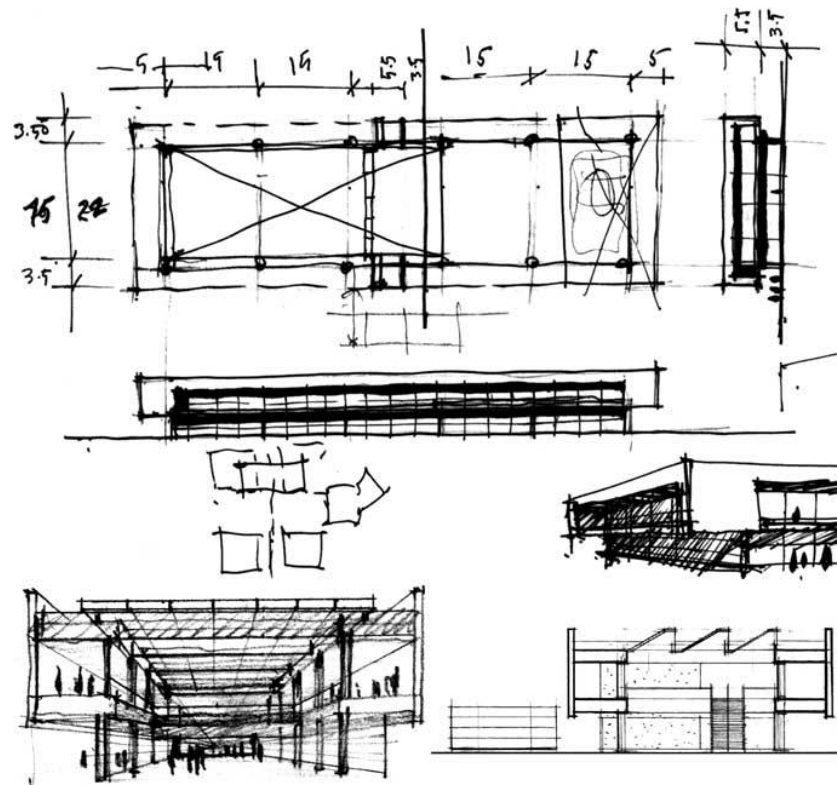
A etapa inicial do projeto do edifício é uma das mais importantes. Decisões tomadas nessa etapa têm grande impacto no desempenho energético do edifício. Há numerosos avanços em *Building Performance Simulation* (BPS) para as etapas iniciais do projeto e *Building Information Modeling* (LOBOS; TREBILCOCK, 2014).

Algumas tendências da simulação energética para o século XXI, devido à complexidade dos fenômenos que regem o comportamento térmico e energético de edificações, a avaliação mediante simulação tende a ser realizada de forma descentralizada, por meio de especialistas que atuam fora dos escritórios (AUGENBROE, 2001). Dessa forma, “especialistas remotos” seriam acionados para atuar em cada etapa do projeto, e a interoperabilidade entre as ferramentas seria uma peça fundamental para o funcionamento do processo. Os estágios iniciais dependem, na maioria das vezes, da experiência e do conhecimento do projetista, no entanto, a decisão por uma determinada tecnologia geralmente é feita pelo proprietário da edificação. O projetista costuma atuar posteriormente, com pequenos ajustes. Esse processo pode trazer equívocos e limitar o impacto das ferramentas computacionais no desempenho final da edificação (WESTPHAL, 2007).

Nas etapas iniciais, os arquitetos produzem um projeto esquemático e basicamente usam arranjos retangulares, com cada retângulo representando uma área requerida ou ambiente. Arquitetos movem e redimensionam esses retângulos até que a maioria das demandas e condicionantes estabelecidas pelos mesmos do projeto (estética, necessidades de clientes, legislação, normas e regulamentos das construções, ...) seja satisfeita (Ilustração 22). Subsequentemente, na etapa de desenvolvimento do projeto, essas formas retangulares tornam-

se paredes, janelas e portas. O resultado final é uma planta do pavimento, que contém dimensões precisas, funções e materiais (LOBOS; TREBILCOCK, 2014).

Ilustração 22 - Croquis do arquiteto Aflalo & Gasperini



Fonte: SERAPIÃO, 2008.

Em cada avaliação de qualidade, "stakeholders" no processo de construção necessitam avaliar as alternativas de projeto em relação a critérios objetivos e subjetivos, como as necessidades dos clientes e códigos de obra, antes de avançar no próximo nível de maturidade. Modelos BIM, interpretáveis pelo computador, oferecem oportunidades para checagem de critérios automatizados (EASTMAN, C. *et al.*, 2009). Isso poderá ser observado nas discussões realizadas em tópico específico sobre esse tema.

Arquitetos e engenheiros têm utilizado um grande número de variáveis e questões durante o processo de projeto, a fim de dar uma melhor resposta às necessidades do projeto, do cliente e do sítio. A complexidade pode ser relacionada a quatro fontes diferentes (GONZÁLEZ-MARQUEZ; ESPARZA, 2011):

- a) Complexidade geométrica: arquitetura mais recente mostra uma recorrente preferência por formas não-euclidianas e orgânicas. Projetistas já não se comprometem com o paradigma planta-elevação-seção, mas propõem edifícios sem nenhuma rigidez na sua geometria.
- b) Complexidade profissional: projetos são desenvolvidos pelas equipes, grupos de pessoas especializados em diversas áreas específicas, com diferentes responsabilidades e pontos de vista. Projetos de arquitetura, especialmente os maiores, não são mais definidos apenas por um arquiteto. A interdisciplinaridade é uma realidade e o projeto deve ser colaborativo, comunicativo e descentralizado. A complexidade aumenta quando diferentes ideias têm de ser colocadas juntas em um único arranjo.
- c) Complexidade tecnológica: como ciência e tecnologias evoluem, alguns desses avanços são transferidos para o mundo arquitetônico. Arquitetos e engenheiros são agora mais capazes do que nunca de analisar e prever o comportamento dos seus projetos, e conseqüentemente, a demanda colocada sobre os projetos é intensa.
- d) Complexidade de restrições: projetos não são vistos mais como conjunto de peças independentes, movidos por conceitos independentes. Como acontece dentro da mente do projetista, cada parte, dimensão ou parâmetro de um projeto é profundamente interconectado com vários outros. A interação entre diversos parâmetros representa uma enorme complexidade, se toda variável do projeto se destina a ser otimizada (GONZÁLEZ-MARQUEZ; ESPARZA, 2011).

Uma melhoria do desempenho da edificação pode ser guiada por avaliações, realizadas por meio de simulações computacionais. Decisões relacionadas ao programa arquitetônico, à forma e à envoltória do edifício podem ser tomadas durante o processo de projeto, por meio de simulações computacionais. Nesse aspecto, as ferramentas computacionais podem ser a solução para a quantificação da influência exercida pelas diversas decisões. De tal modo, pode-se embasar uma decisão projetual nos critérios de desempenho do edifício (HENSEN; LAMBERTS, 2012). Coerente com essa visão, "diferentes objetivos e escopos de projeto podem ser

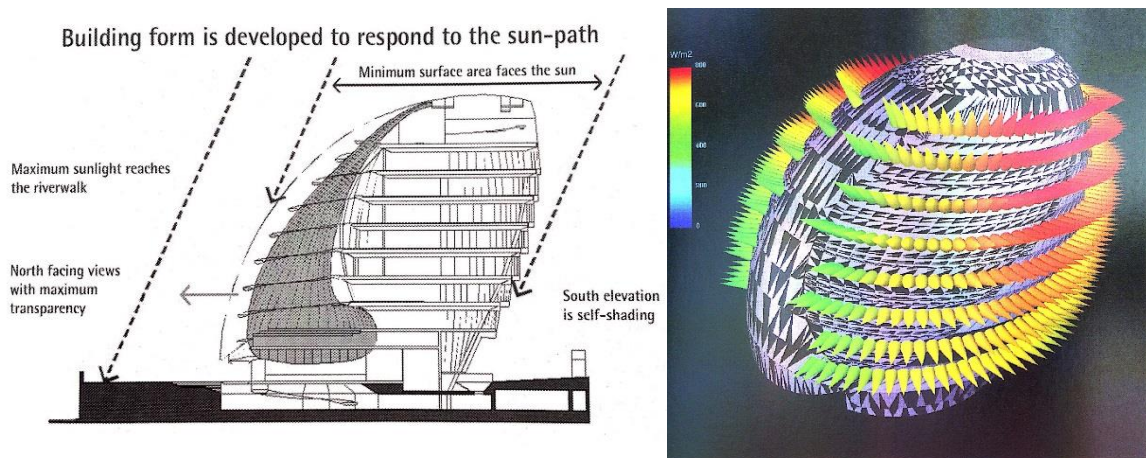
observados em diferentes etapas de projeto de um edifício" (MORBITZER *et al.*, 2001).

Os arquitetos podem utilizar as ferramentas de simulação energética ao identificarem as variáveis mais influentes no desempenho do edifício, seguindo com análises simplificadas para facilitar o entendimento (PEDRINI, 2003).

Os avanços nos sistemas computacionais para o projeto arquitetônico têm auxiliado um sofisticado nível de precisão e controle, não somente na fabricação, mas também na simulação e na mediação de forças ambientais e estruturais (UMAKOSHI, 2014).

Essa variedade de soluções liberta do reducionismo, do convencional, da forma baseada na função, sendo proporcionado assim um processo de projeto mais dinâmico. Isso possibilita o desenvolvimento de uma metodologia em que a forma arquitetônica pode ser também direcionada, diretamente, pelas análises de desempenho ambiental, facilitando um engajamento com as forças ambientais, o que permite ao arquiteto maior criatividade, ao usar os resultados das simulações de desempenho ambiental como um dos critérios de projeto (UMAKOSHI, 2014), conforme a Ilustração 23.

Ilustração 23 - Simulações de desempenho da luz solar no projeto do City Hall, Londres



Fonte: WHITEHEAD, 2009.

A integração do processo de projeto com as análises provenientes do uso de ferramentas de simulação do desempenho do edifício foi iniciada na engenharia. Alguns modelos foram desenvolvidos para abranger também a arquitetura; no entanto, os modelos de engenharia, em geral, possuem um processo mais linear, com uma sequência de estágio, requerimentos e um problema bem definido. Os modelos de arquitetura tendem a apresentar um processo de modelagem cíclico, descritivo e de resultado de muitos outros processos cíclicos; geralmente baseiam-se em requisitos implícitos ou ainda em processo de definição, relacionados a conhecimentos tácitos, achando-se o problema, muitas vezes, ainda em definição (WILDE, 2004).

A partir dos primeiros estudos de simulação integrada ao processo projetual, Wilde (2004) verificou que não existe um modelo universal para essa integração e que, frequentemente, varia de projeto para projeto. Assim, para entender a integração, é preciso começar pelo mapeamento do processo projetual e depois identificar as oportunidades de melhoria no desempenho (RODRIGUES, 2014).

A avaliação em arquitetura visa a garantia de que a solução proposta seja aceitável. Para isso, procura detectar deficiências no projeto antes da produção, venda e uso, quando as alterações se tornam progressivamente mais demoradas e caras. A solução proposta é comparada com as metas, restrições e oportunidades que o projeto deveria atender, sendo detectada na fase de análise do problema de projeto. O objetivo é distinguir o compatível e o conflitante, estabelecendo o grau no qual uma solução proposta atende aos requisitos de desempenho definidos na fase de análise. A avaliação é, tradicionalmente, vista como uma questão de experiência e julgamento, porém, como já mencionado anteriormente à medida que a complexidade do projeto aumenta, as experiências e os julgamentos tornam-se menos efetivos (ANDRADE, 2012 *apud* JONES, 1971).

Embora a divisão em fases facilite a compreensão, um mesmo problema projetual pode influenciar escolhas diferentes em cada fase de projeto. Para um aquecimento indesejado, por exemplo, Morbitzer *et al.* (2001) sugere que no esboço devem-se identificar as causas do problema

no projeto e avaliar a escala; já no anteprojeto, indica a avaliação, a questão detalhadamente, e tenta reduzi-la, introduzindo novos parâmetros à análise. Por fim, no detalhamento do projeto, pode-se simular, objetivando especificar as estratégias que atendam a essa demanda, como, por exemplo, modelar o fluxo de ar na ventilação natural (RODRIGUES, 2014).

2.3.3.1 Fases preliminares de concepção

Geralmente, as preparações para simulação energética começam apenas quando as decisões arquitetônicas e o desenho do sistema AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado) já avançaram o suficiente de modo a representar o edifício (BAZJANAC, 2008). Isso significa que o início da análise energética só tem lugar depois de algumas “decisões fundamentais, potencialmente críticas para a performance energética do edifício”, já tiverem sido tomadas. Mohamed (2012) afirma que, tradicionalmente, os arquitetos se baseavam em experiências passadas e na intuição, para tomar decisões devido à falta de uma metodologia em que o processo de concepção e técnicas para a avaliação do desempenho dos edifícios sejam orientados por evidências claras, e não por práticas antigas sem tanta segurança, que garantam o resultado desejado (FERREIRA, 2015).

A modelagem virtual, relativa ao desempenho energético, tradicionalmente é realizada como uma avaliação pós-projeto, validando ou não o desempenho do edifício. A validação pós-projeto de economia de energia é usada como uma verificação de conformidade para vários sistemas de classificação de edifícios ecológicos, e também prevê o consumo de energia de um edifício. Como a modelagem de energia é usada pós-projeto, desempenha um papel limitado nas intenções do arquiteto durante o projeto. Além disso, limitando ao domínio de especialistas, pode evitar os resultados performativos que influenciem o planejamento e o projeto de construção (HEMSATH, 2013).

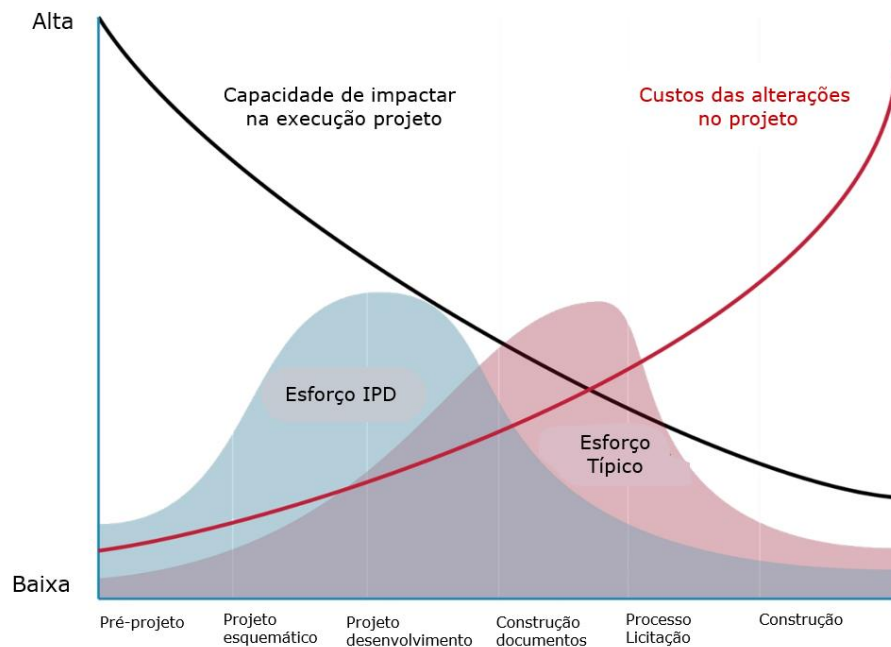
Quando se trata de conservar energia em edifícios, muitos sistemas de tecnologia para a economia de energia têm de ser considerados na fase de concepção inicial. A teoria sugere que, se assim não acontecer, dificuldades significativas surgirão e impactarão na eficiência energética, podendo ter efeitos prejudiciais no desempenho do edifício (SOVACOOOL, 2009).

Pesquisadores e profissionais reconheceram a importância das etapas iniciais do projeto quando reduziram o impacto ambiental no ciclo de vida dos edifícios. Vários pesquisadores têm mostrado que, quanto mais cedo forem tomadas decisões no processo de projeto, menores mudanças são necessárias nas etapas posteriores, e maior é o potencial para redução do impacto ambiental do edifício (BROPHY; LEWIS, 2011). Por exemplo, por selecionarem uma forma e orientação ambientalmente preferida do edifício, durante as etapas iniciais, foram capazes de reduzir um impacto ambiental em 40%. Informando aos projetistas nas etapas iniciais, com um retorno de desempenho ambiental, obtiveram-se fortes efeitos nas escolhas de projeto, resultando em edifícios com menor consumo de energia e aumentando a consciência para reduzir o consumo de mesma (SCHLUETER; THESELING, 2009; BASBAGILL *et al.*, 2013).

Durante o projeto do edifício, "o objetivo é alcançar o melhor equilíbrio entre os parâmetros essenciais do projeto versus um conjunto de critérios sujeitos a restrições específicas" (KOLOKOTSA *et al.*, 2009). Para um planejamento conceitual e preliminar, as restrições específicas de energia incluem questões como orientação do edifício, massa de construção, tipo e proporção de vidros e sombreamento (GERO; D'CRUZ; RADFORD, 1983). O uso dessas restrições, para a modelagem de energia, permite ao arquiteto entender o comportamento térmico do edifício que afeta o projeto conceitual. O planejamento conceitual e o escopo de projeto de parâmetros de simulação são diferentes da modelagem de energia de conjunto e fornecem aos usuários *feedback* sobre o desempenho do edifício, como o uso e a demanda de energia, temperatura, umidade e custos (CRAWLEY *et al.*, 2008; HEMSATH, 2013).

Com base na curva da Ilustração 24, verifica-se que um projeto arquitetônico se torna cada vez mais difícil de alterar quanto mais desenvolvido se torna. O gráfico expõe que os custos das decisões para execução são maiores à medida que o projeto evolui, bem como o impacto na qualidade do projeto diminui. Nas fases iniciais do projeto, essa relação se torna inversa, e no projeto integrado e digital permite que se tomem essas decisões antecipadamente.

Ilustração 24 - Processo BIM, nível de impacto e esforço no projeto usando tecnologia integrada e método tradicional



Fonte: DAVIS, 2017.

Na fase inicial de projeto, o conceito é baseado no estudo de viabilidade, podendo incluir itens como: implicações do terreno, funcionalidade, circulação, relações entre espaços, densidade e construção, além de métodos de avaliação ambiental e orçamento (MORBITZER *et al.*, 2001). Pedrini (2003) realizou levantamento com quatro grupos de arquitetos: alunos de pós-graduação, professores do departamento de arquitetura da Universidade de Queensland, especialistas em projeto de edificações de baixo consumo e outros arquitetos com larga experiência, por meio de questionário. Foi recorrente em todas as categorias que os

aspectos mais importantes para essa primeira fase estão relacionados à geometria do edifício: orientação, volume, leiaute interno e geometria da envoltória. Na segunda fase, estão as propriedades dos componentes construtivos e, por último, os sistemas de condicionamento de ar e de iluminação natural (Ilustração 25) (RODRIGUES, 2014).

Ilustração 25 - Importância das decisões projetuais para a fase de pré-projeto

	Pós-graduado	Membros equipe	ESD¹	Arquitetos atuantes
1	Orientação Edifício	Orientação Edifício	Orientação Edifício	Volume Edifício
2	Volume Edifício	Volume Edifício	Volume Edifício	Orientação Edifício
3	Leiaute Interior	Geometria do Envelope	Geometria do Envelope	Leiaute Interior
4	Geometria do Envelope	Propriedades dos componentes	Interior layout	Geometria do Envelope
5	Propriedades dos componentes	Leiaute Interior	Propriedades dos componentes	Propriedades dos componentes
6	Sistemas de Ar-condicionado	Sistemas de Ar-condicionado	Sistemas de Ar-condicionado	Sistemas de Ar-condicionado
7	Sistemas de Iluminação Artificial	Sistemas de Iluminação Artificial	Sistemas de Iluminação Artificial	Sistemas de Iluminação Artificial

Fonte: PEDRINI, 2003.

Pesquisas recentes mostram que os cálculos de energia usados, para o auxílio nas decisões de projeto podem ser feitos em diferentes níveis de maturidade na fase inicial do projeto (PIETRZYK; HAGENTOFT, 2008; SCHADE, 2008). Além disso, ao otimizar os parâmetros de concepção, tais como a forma do edifício, o envelope do edifício e a orientação, o ganho de calor pode ser reduzido em até 80% (FEIST *et al.*, 2005).

As ferramentas de simulação de desempenho de edifícios de hoje podem ser potencializadas pela modelagem de energia, durante fases iniciais de projeto. Para reduzir ainda mais o consumo de energia dos edifícios, as simulações energéticas realizadas durante o projeto conceitual têm grande potencial, que afeta o uso da energia a longo prazo na arquitetura (HEMSATH, 2013).

¹ ESD (*Energy Specialized Design*) é a área de conhecimento especializado em projeto de baixo consumo de energia (PEDRINI, 2003).

2.3.3.2 Projeto integrado e digital

Desenvolvimentos tecnológicos e metodológicos nos anos recentes têm permitido a mudança do foco do projeto digital, valorizando o desempenho como uma questão fundamental do processo de projeto. Estas mudanças visam à incorporação do desempenho na geração, avaliação e otimização da forma arquitetônica já nas etapas iniciais do processo de projeto, de modo a contribuir para a melhoria da eficiência do projeto (ANDRADE, 2012).

O aumento da complexidade dos projetos, associado à crescente exigência de desempenho e ao aumento do número de profissionais especializados participando de um mesmo projeto, tem acarretado maior necessidade de obtenção, filtragem e organização de informações de projeto (MITCHELL; McCULLOUGH, 1995 apud ANDRADE, 2012). O resultado é que o número de informações torna-se excessivamente grande e difícil de ser gerenciado de modo analógico (ANDRADE, 2012).

Essas tendências mostram que os edifícios estão se tornando mais complicados de construir. Eles estão levando mais recursos para construir e operar, e isso se traduz no aumento do custo do ciclo de vida de um edifício. À medida que esses custos e complexidades aumentam, estamos inundados com mais informações e dados para gerenciar o edifício (KRYGIEL; NIES, 2008).

O projeto de edifícios sustentáveis depende da capacidade de obter informações sobre os resultados da construção através da análise, previsão e otimização do projeto para reduzir o impacto ambiental através da redução do consumo de energia... (DEUTSCH, 2011).

A partir do final da década de 1990, e mais intensamente nos anos 2000 as técnicas digitais começaram a ter a possibilidade de uma grande diversidade de composições formais (NATIVIDADE, 2010).

A geração recente de sistemas de projeto assistido por computador ocorre com o desenvolvimento de *softwares* mais inteligentes. Primeiramente, em áreas como a indústria eletrônica, automotiva e aeroespacial, e depois em arquitetura, com diversos esforços, principalmente da comunidade acadêmica. Essa geração é marcada por

resgatar o foco do uso do computador como instrumento de suporte ao processo de projeto arquitetônico; aprofundar pesquisas em áreas como Programação de Objeto Orientado – *Object-Orient Programming* (OOP), Artificial Intelligence (IA), sistemas de gerenciamento de banco de dados, *Data-Base Management Systems* (DBMS); análise paramétrica, etc.; consolidar e desenvolver processos de projeto digital (ANDRADE, 2012; KALAY, 2004).

No final do século 20 surge uma nova geração de uso do computador no processo de projeto, que começa a ter uma expressividade internacional, a partir dos anos 1990, no momento da terceira geração de projetos assistidos por computador, e que foi comentado em diferentes conferências, quando surgiu da exploração do meio digital como ferramenta, usada na determinação da forma e em sua transformação (OXMAN, 2006). Essa abordagem implica profundas mudanças metodológicas no projeto de arquitetura (ANDRADE, 2012).

Substituem-se as teorias e os métodos que embasaram as gerações anteriores de projetos arquitetônicos assistidos por computador (que tinham seus fundamentos nos processos de projeto tradicionais, intermediados pela representação baseado no papel) por uma reintrodução de diferentes métodos de conceituação (ANDRADE apud OXMAN, 2006). Nesse cenário, o conceito de Projeto Assistido por Computador – *Computer-Aided Design* (CAD) – é substituído pelo Projeto Arquitetônico Digital, *Digital Architectural Design* (DAD) (OXMAN, 2008). Por outro lado, vê-se a importância de incorporar modelagem topológica (estudo da disposição e das propriedades dos diferentes elementos de um conjunto) nas ferramentas computacionais de autoria BIM, tradicionalmente tipológico; e melhorar nas ferramentas BIM o fluxo de informação digital, como meio de aproveitamento dessa informação nos diversos estágios do processo de projeto (ANDRADE, 2012).

As representações gráficas são ao mesmo tempo suporte e resultado de pensar o projeto, portanto a capacidade de desenvolvê-las e gerenciá-las é uma das principais habilidades ao projetar. É possível a realização de

mudanças e experimentações antes da produção do objeto propriamente dito. A escolha e a manipulação dessas ferramentas interferem diretamente na descoberta de possibilidades e soluções projetuais (LAWSON, 2006).

No âmbito do método de projetar, verifica-se o aparecimento de novas metodologias de projeto, que utilizam ferramentas computacionais tecnológicas, capazes de gerar modelos em 3D totalmente parametrizados, orientados a objetos e capazes de armazenar informações detalhadas dos mesmos. Enquanto a experimentação de formas na arquitetura se concentra em *softwares* que dão apoio ao método de projeto e permitem essa manipulação livremente, projetando com parâmetros, algoritmos e até códigos genéticos, a indústria da construção se concentrou em trabalhar de maneira mais linear, com o armazenamento e tratamento de dados e a otimização da construção, como no caso do BIM (UMAKOSHI, 2014).

O projeto do edifício requer disciplinas diferentes da engenharia e arquitetura para trabalhar e colaborar em um processo de projeto. A equipe tradicional hierárquica de projeto evoluiu para uma equipe de projeto integrada, devido à necessidade de adotar um processo mais eficiente. Com o intuito de simplificar o processo de projeto ponto a ponto, reconhecido pela maioria das partes envolvidas no projeto de construção, a simulação de desempenho de construção é usada mais extensivamente para reduzir a iteração do projeto. No entanto, uma revisão de *software* e entrevistas com profissionais de projeto confirmaram a hipótese de que as ferramentas de simulação de desempenho do edifício (BPS) de última geração não atendem às necessidades dos profissionais durante os estágios iniciais do projeto (HOPFE, CHRISTINA J. *et al.*, 2006).

A fim de superar esse maior obstáculo, uma nova abordagem que utiliza um processo de projeto integrado deve ser introduzida na indústria de construção (ALAWINI *et al.*, 2013). Alguns novos métodos em projeto arquitetônico digital passaram a usar o BIM, não apenas como meio de armazenar e gerenciar conhecimentos do edifício, mas também visando contribuir para a transformação e a geração de novas soluções de projeto (EASTMAN, CHUCK *et al.*, 2008).

“Métodos de projeto digital, baseados no desempenho, por exemplo, aparecem, a partir dos anos 1990, como resultado de experimentações em uma área nova e intrigante da prática de projeto”, segundo ANDRADE, (2012) *apud* KOLAREVIC (2004), KOLAREVIC e MALKAWI, (2005).

O termo “*computational design*”, ainda sem tradução oficial para o português, segundo Celani *apud* Umakoshi (2014), refere-se à metodologia de projeto que utiliza procedimentos sistemáticos e a lógica matemática para a geração da forma, sem necessariamente utilizar o computador. Além deste, os termos CAD e CAAD (*Computer-Aided Architectural Design*) precisam ser diferenciados, pois o primeiro faz referência ao desenho assistido pelo computador; e o segundo tem o objetivo de utilizar o computador de maneira exploratória, na busca da excelência do projeto de arquitetura, e não apenas da eficiência no desenho (CELANI *apud* UMAKOSHI, 2014).

Outros dois termos muito discutidos referem-se aos dois processos digitais de destaque na arquitetura atualmente: o processo paramétrico e o algorítmico. O processo paramétrico é baseado em relações entre objetos, nos quais uma modificação pode se propagar por todo o sistema (MEREDITH *apud* UMAKOSHI, 2014). Um projeto paramétrico relaciona dimensões e parâmetros à geometria dentro de um intervalo predefinido (LEACH *apud* UMAKOSHI, 2014). Com isso, ao se modificar um desses parâmetros, todo sistema é alterado. Os *softwares* paramétricos não criam necessariamente um novo vocabulário de formas, mas garantem uma rapidez de mudança e controle destas (UMAKOSHI, 2014).

O processo algorítmico é aquele que utiliza processos matemáticos para a resolução de problemas de projeto. É um processo de projeto em que o arquiteto não manipula a forma, mas um código, ou um *script*², por meio de uma sequência de operações lógicas. Pode-se dizer que o processo paramétrico está ligado à manipulação das formas e propriedades, e o

² *Scripts* são “roteiros” de ações seguidos por sistemas computacionais que trazem informações que são processadas e transformadas em ações efetuadas por um programa principal.

processo algorítmico pode ser usado para criação de um script de modelo paramétrico. Processos paramétricos e algorítmicos respondem a problemas diferentes em projeto, no entanto, podem participar do mesmo processo, ou seja, a forma pode ser gerada por meio da utilização de algoritmo e modificada mediante um processo paramétrico (UMAKOSHI, 2014).

O processo paramétrico de projeto é dinâmico, baseado em regras, controlado por variação e parâmetros, no qual soluções múltiplas de projeto podem ser desenvolvidas em paralelo (STOUFFS *et al.*, 2013). O termo parâmetro está relacionado a fatores que determinam uma série de variações. Em arquitetura, parâmetros são, geralmente, variáveis que afetam o desempenho do edifício definido. Os projetistas não apenas aplicam o conhecimento de projeto, mas também definem regras e as suas relações lógicas, utilizando parâmetros (STOUFFS *et al.*, 2013).

O projeto paramétrico exige que o arquiteto tenha bons conhecimentos, tanto das ferramentas quanto dos conceitos de geometria e matemática, a fim de interpretar quais parâmetros são necessários para se conseguir a forma desejada. Vale ressaltar que a variedade de formas que podem ser geradas pela geometria tradicional é limitada, e as novas técnicas computacionais de geração de forma revolucionaram a geometria (POTTMANN *et al.*, 2015).

Em função da capacidade de processamento do computador, os projetistas com algoritmos podem gerar soluções inovadoras, merecendo destaque, ainda, a capacidade humana de imaginação, haja vista que o computador testa, em pouco tempo, todas as combinações possíveis para as regras estabelecidas nos *scripts*. Além da óbvia capacidade de cálculo, a imprevisibilidade entre dados de *input* e *output*, que se dá em nível altamente abstrato, desafia os nichos tradicionais de projeto, tais como: a tomada de decisão, a criatividade, a intuição, a intenção e o controle (TERZIDIS, 2006).

Tomando-se por base esses princípios básicos, os computadores complementam o raciocínio humano porque oferecem perspectivas distintas

(TERZIDIS, 2006). O processo evolui por meio de repetições do procedimento até que o projetista encontre uma solução que julgue satisfatória; daí a denominação de processo evolutivo (UMAKOSHI, 2014).

De forma geral, além da proficiência em computação, a utilização dessas estratégias ordena certas competências digitais, tais como noções de composições, gráficos vetoriais, manipulação de imagem, modelagem de superfície, modelagem de sólidos, edição de vídeo, renderização, animação, operações de banco de dados e interface com a web, além de conhecimento de geometria e afins. No entanto, a lista cada vez maior e mais exigente em habilidades múltiplas não significa o desenvolvimento da destreza computacional em detrimento de um posicionamento arquitetônico crítico (UMAKOSHI, 2014).

Transferir o ato de tomada de decisão do plano consciente da mente humana para um agente inconsciente como o computador pode gerar grandes mudanças na maneira de pensar a arquitetura, a qual se deu fundamentalmente por meio do domínio total do arquiteto sobre o objeto projetado. Em outras palavras, os computadores podem ser capazes de complementar o raciocínio humano, sugerindo perspectivas distintas do mesmo (TERZIDIS, 2006; UMAKOSHI, 2014).

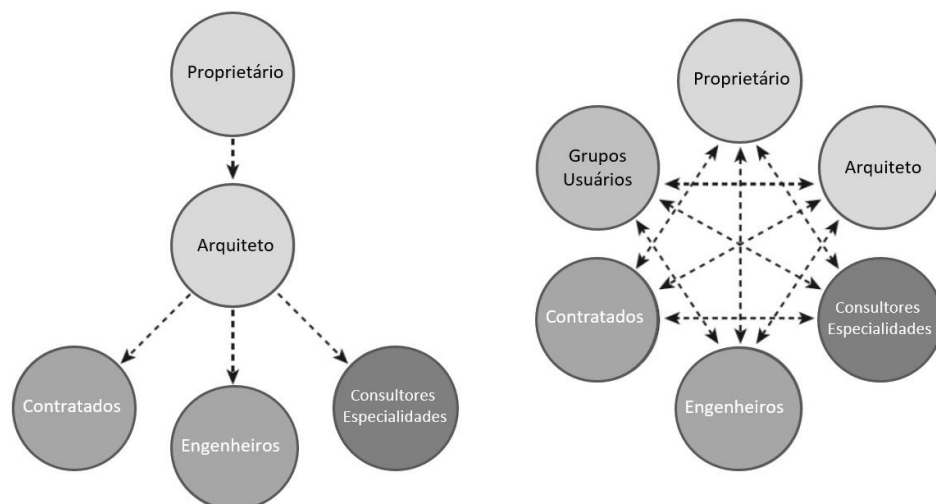
Essas transformações no processo de projeto resultam em mudanças no meio de representação, transmissão e gerenciamento de informação do edifício. Todavia, contribuem pouco para reformulações dos processos de geração da forma arquitetônica e, como consequência, interferem pouco na qualidade da arquitetura. "O deslumbramento com o uso dessas tecnologias, não traz melhorias significativas para a mudança das práticas arquitetônicas, se forem pensadas apenas como informatização" (ANDRADE *apud* KALAY, 2006).

Uma metodologia teórica e conceitual específica para o projeto digital ainda se encontra em formação, delineando transformações substanciais em diversas instâncias. Os modelos paradigmáticos propostos por Oxman (2006) e a estrutura para a modelagem da informação da construção (BIM)

estabelecida por Succar (2009) são contribuições importantes nesse aspecto (GONÇALVES; MOURA; UMAKOSHI, 2015).

Os termos integração e interoperabilidade e a noção de projeto colaborativo ampliaram a importância multidisciplinar nas decisões projetuais, compartilhando informações e responsabilidades nas intervenções. Assim, diluíram-se as hierarquias e, embora incrementando a complexidade, diversas demandas - relacionadas a custos e execução da obra, sistema construtivo, utilidades, eficiência energética, gerenciamento pré, durante e pós-obra - começaram a ser computadas em um processo integrado já nas fases iniciais da concepção, como demonstra a Ilustração 26. A responsabilidade passou a ser compartilhada por todos os agentes do processo (arquitetos, engenheiros, consultores, gerentes, construtores), e o próprio cliente passou a ter uma participação ativa, alterando-se os modelos contratuais do empreendimento (GONÇALVES; MOURA; UMAKOSHI, 2015).

Ilustração 26 - Modelo de equipe tradicional e um modelo de equipe integrada



Fonte: FERREIRA, 2015.

O Processo de Projeto Integrado (IDP – *Integrated Design Process*) sugere uma abordagem colaborativa na operação nas fases iniciais do projeto e define a equipe de projeto composta de atores, onde os atores referem-se a todos os participantes do projeto que têm uma relevante influência no conteúdo e curso da concepção e realização do projeto. Isso

determina a necessidade de um modelo integrado por várias contribuições, incluindo arquitetos e engenheiros (NEGENDAHL, 2015).

2.3.3.3 Projeto baseado em desempenho

O paradigma chamado de *Performance-Based Design* (KALAY, 1999), no qual o projeto de edificações é um processo iterativo de exploração, e as alternativas devem ser propostas e avaliadas em um dado contexto, na tentativa de auxiliar o projetista a representar e refletir sobre a conveniência da utilização de determinada solução (BRÍGITTE, 2013).

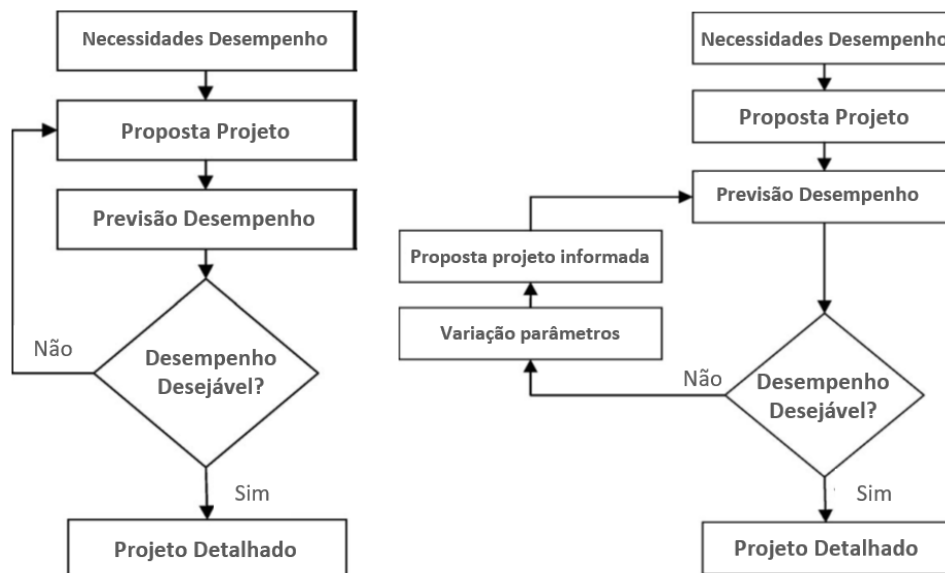
Performance-Based Design, ou Projeto Baseado em Desempenho, trata-se realmente de retornar ao básico e aos princípios iniciais, tendo em conta a experiência adquirida com o tempo, com observações de campo e laboratório, sobre o comportamento não-linear de elementos e componentes. É a combinação dos primeiros princípios com a experiência e as observações que é o potencial fundamental da filosofia do projeto (LUEBERKEMAN, 2003).

O fluxo de trabalho do Projeto Baseado em Desempenho é o ideal para a integração de ferramentas computacionais de simulação na predição do desempenho de uma proposta de projeto. Enquanto o uso de uma ferramenta pode fornecer informações necessárias à tomada de decisão mediante avaliação de uma proposta, ter ou não o desempenho desejável, ela não fornece qualquer sugestão no caso do desempenho indesejável. Sugere algumas alterações no fluxo, por não utilizar todo o potencial das ferramentas de simulação de edificações, propondo pequenos ajustes, de modo a torná-las um condutor ativo do desenvolvimento do projeto, e não apenas representar um meio passivo de prever o desempenho, conforme expõe a Ilustração 27 (PETERSEN; SVENDSEN, 2010).

Geralmente a decisão tomada é de ajustá-la, uma tarefa de tentativa e erro, com o risco de os projetistas fazerem os ajustes necessários, podendo provocar erros em uma exigência já satisfeita. Então, o projetista

é obrigado a fazer outra iteração, e quantas mais se fizerem necessárias (PETERSEN; SVENDSEN, 2010), como apresentado na Ilustração 27.

Ilustração 27 - Fluxo de trabalho por Kalay (1999) e o sugerido por Petersen e Svendsen (2010)



Fonte: PETERSEN; SVENDSEN, 2010.

Dentro do universo dos projetos digitais baseados no desempenho, existe uma categoria, bastante promissora, de métodos de projetos digitais que usa o desempenho não apenas como meios avaliativos, mas como instrumento de transformação das ideias e conceitos em matéria e forma arquitetônica. Para isso, lança mão de mecanismos digitais que incorporam princípios de informatização a estruturas computacionais; e essa categoria de projeto digital é classificada (OXMAN, 2007, 2008) como Projeto Performativo (ANDRADE, 2012).

Do ponto de vista da prática observada, considera-se o fato de que desde os primeiros métodos que procuravam empregar um modelo mais performativo (Andrade, 2012), várias técnicas desenvolveram-se e aperfeiçoaram-se; algumas delas baseadas em avaliação de múltiplos critérios de desempenho, interatividade, transformabilidade e controle paramétrico (BRÍGITTE, 2013).

Determinar os diferentes aspectos performativos de um certo projeto, reconciliando, muitas vezes, objetivos conflitantes com o desempenho e gerando formas criativas e constitui um dos principais desafios do projeto baseado em desempenho (KOLAREVIC; MALKAWI, 2005).

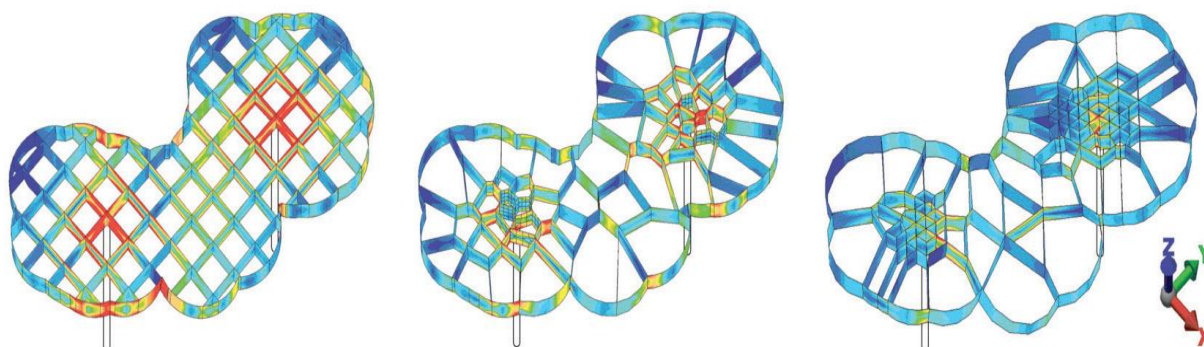
A avaliação de desempenho é uma etapa de projeto que considera alguns parâmetros prioritários aos quais o edifício deve responder. Nessa abordagem, a prioridade é o desempenho do edifício e não a forma (KOLAREVIC; MALKAWI, 2005). É importante ressaltar que, neste caso, o *software* não gera a forma propriamente, mas instrui o projetista na mudança da geometria, para o alcance do melhor desempenho dentre os aspectos analisados, a fim de depois submetê-la novamente à análise (UMAKOSHI, 2014).

Conceitualmente, as avaliações de desempenho têm cumprido papel pragmático nas arquiteturas digitais; as técnicas de simulação de desempenho têm sido empregadas para simular aspectos quantitativos e qualitativos do edifício, e assim oferecer nova aproximação entre projeto arquitetônico e o ambiente (KOLAREVIC; MALKAWI, 2005). A arquitetura digital vem se utilizando de vários processos generativos digitais para abrir novos territórios de explorações conceituais, formal e tectônicos, articulando a morfologia arquitetônica, centrada nas propriedades emergentes e nas propriedades adaptativas da forma (UMAKOSHI, 2014).

A "*Forms Follows Performance*" (Forma segue o desempenho) é uma agenda crítica que pode preencher uma lacuna atual entre avanços tecnológicos recentes e as necessidades funcionais genuínas dos arquitetos. Os dados de entrada do projeto são baseados em desempenho, em vez de seguir uma abordagem subjetiva de criação de formas. A Análise de Elementos Finitos (FEA – *Finite Elements Analysis*) na simulação estrutural abre drasticamente a possibilidade de aplicação de formas estruturais complexas na arquitetura, enquanto as ferramentas paramétricas de modelagem 3D permitem converter esses resultados de simulação visual / numérica em várias formas arquitetônicas ou propriedades de componentes arquitetônicos, tal como espessura e densidade (OKUDA; PING, 2011).

Na Ilustração 28, apresenta-se uma série de modelos de simulação estrutural que demonstram o processo de escolha das soluções que melhor se amoldam ao desempenho desejado.

Ilustração 28 - Uma série de modelos progressivos de simulação estrutural suportados em duas colunas fixas, que representam os três estágios de otimização



Fonte: OKUDA; PING, 2011.

2.3.3.4 Otimização do Desempenho

Otimização multidisciplinar para projetos de edifícios de alto desempenho é um método com grande potencial, pois: (1) fornece *feedback* de desempenho desejado para a tomada de decisão durante o processo de projeto; (2) ajuda projetistas com processo criativo de exploração espacial e proporciona um conjunto expandido de alternativas de projeto e a avaliação de seus impactos no desempenho; e (3) apoia projetistas na tomada de decisões por meio da classificação das alternativas de concepção de acordo com vários critérios (LIN, SHIH-HSIN EVE; GERBER, 2014).

Embora a otimização seja um método promissor para alcançar o projeto de edifícios de alto desempenho, devido à sua complexidade, não é comumente usada na prática de projetos; ainda e atualmente seu uso é limitado principalmente a alguns estudos de pesquisa acadêmica. A complexidade provém do grande número de parâmetros inter-relacionados multidisciplinares, envolvidos na otimização do desempenho do edifício, bem como das naturezas complexas dos resultados da simulação de edifícios (NGUYEN, ANH-TUAN; REITER; RIGO, 2014).

Devido à alta complexidade na configuração de um modelo de construção para a otimização multiobjetiva de projeto, existe uma grande demanda de utilização e integração das tecnologias avançadas de modelagem e simulação, incluindo BIM, modelagem paramétrica, simulação baseada na nuvem e algoritmos de otimização, bem como uma nova interface de usuário que facilita a configuração de parâmetros de construção (variáveis de decisão) e funções de desempenho (objetivos de projeto) para gerar, avaliar e otimizar automaticamente várias opções de projeto (RAHMANI ASL *et al.*, 2015).

Uma integração sistemática de modelagem paramétrica de informação de edifícios (BIM) e análise de desempenho de edifícios pode proporcionar um novo fluxo de trabalho, que tornará a otimização de desempenho de edifícios mais acessível a projetos inovadores e eficientes em termos energéticos. O BIM fornece informações de construção relevantes e necessárias para a construção de uma análise de desempenho energético e, se usado adequadamente, pode economizar uma quantidade significativa de tempo e esforço na preparação de dados de entrada para a simulação de desempenho de edifícios, enquanto reduz os erros (KUMAR, 2008).

Embora a otimização paramétrica de desempenho baseada em BIM possa beneficiar significativamente o projeto de construção de alto desempenho, há apenas um número muito limitado de estudos de pesquisa sobre a criação de uma estrutura metodológica integrada para a otimização de desempenho multidisciplinar baseada em BIM (RAHMANI ASL *et al.*, 2015).

Welle, Benjamin Ross (2012) desenvolveram o *ThermalOpt*, um fluxo de trabalho multidisciplinar de otimização de projeto (MDO - *Multidisciplinary Design Optimization*) para simulação térmica automatizada baseada em BIM. O *ThermalOpt* foi o primeiro estudo de pesquisa relatado a mitigar barreiras técnicas à otimização de desempenho multidisciplinar baseada em BIM, integrando tecnologias comercialmente disponíveis em um fluxo de trabalho.

Welle *et al.* (2011) relatou que há sete requisitos de modelagem para o *ThermalOpt* que o projetista precisa seguir (a maioria deles deve-se às limitações da ferramenta BIM) para conduzir uma otimização bem-sucedida. Além disso, *ThermalOpt* usa *Model Center*[®] (PHOENIX INTEGRATION, 2013) como o ambiente MDO que requer treinamento extensivo para definir a estratégia de estudo. Mais recentemente, Lin (2014) desenvolveu uma estrutura de Desempenho Energético Evolutivo para o Desenho (EPPFD - *Evolutionary Energy Performance Feedback for Design*) que permite a exploração de formas geométricas complexas mediante *feedback* de desempenho energético na fase de projeto inicial, usando uma ferramenta BIM.

O EPPFD usa o *Microsoft*[®] *Excel* para armazenar parâmetros e fórmulas financeiras, e também uma de interface do usuário na qual os projetistas podem configurar os parâmetros de projeto. O EPPFD é projetado para os modelos conceituais paramétricos de família de massa *Autodesk*[®] *Revit* e, como resultado, não utiliza plenamente as propriedades analíticas detalhadas de objetos de construção (propriedades térmicas) no BIM para análise de desempenho (RAHMANI ASL *et al.*, 2015).

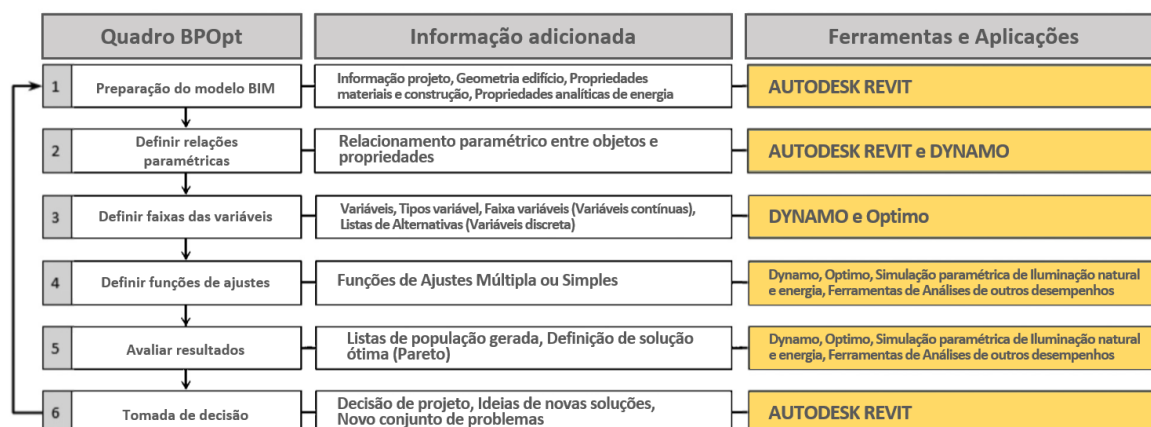
A pesquisa introduz um quadro metodológico para mitigar as barreiras técnicas da simulação térmica baseada em BIM e otimização do projeto e torná-los mais acessíveis no processo de projeto. É apresentada uma estrutura de otimização de desempenho baseada em BIM (*BPOpt*), vista na Ilustração 29, que tenta superar as limitações dos estudos de pesquisa e fornece uma ferramenta de otimização de desempenho multidisciplinar integrada, fácil de configurar e expansível, plataforma BIM, *Autodesk*[®] *Revit*. O *BPOpt* usa uma interface de usuário de programação visual, para que os usuários configurem parâmetros de construção e funções de ajustes de desempenho, utilizando os benefícios significativos da programação visual (MYERS, 1990), especialmente na arquitetura (BOEYKENS; NEUCKERMANS, 2009).

O *BPOpt* integra o BIM paramétrico, baseado em programação visual, com a construção de simulações térmicas e de iluminação natural para

otimizar o projeto do edifício. Como parte do *BPOpt*, o Optimo foi desenvolvido pelos autores como uma ferramenta de Otimização Multifuncional (MOO - *Multi-Objective Optimization*) baseada em programação, de código aberto, para o BIM, a fim de explorar o espaço de projeto e fornece um conjunto de soluções IDEEAis para os projetistas. A aplicabilidade da estrutura *BPOpt* não se limita a estas duas métricas de desempenho (térmica e iluminação) e pode ser expandida para incluir outras métricas de desempenho do edifício (RAHMANI ASL *et al.*, 2015).

O processo de implementação do *BPOpt* para otimizar o desempenho do edifício e obter *feedback* para decisões de projeto pode ser descrito nas seis etapas principais demonstradas na Ilustração 29, junto com as ferramentas usadas em cada etapa.

Ilustração 29 - O processo de implementação do BPOpt para otimizar o desempenho do edifício e as ferramentas e aplicações que são usadas no processo



Fonte: RAHMANI ASL *et al.*, 2015.

O aumento das preocupações ambientais globais, acompanhado da disponibilidade de ferramentas de simulação do desempenho dos edifícios, teve um impacto significativo na forma como os edifícios são concebidos (MALKAWI, 2004). Como resultado dessa mudança, espera-se que os projetistas considerem o desempenho energético, explorando alternativas de projeto que são mais promissoras para economizar energia nas fases iniciais do projeto. No entanto, explorar as alternativas de projeto parametricamente e otimizar o desempenho na fase de concepção inicial

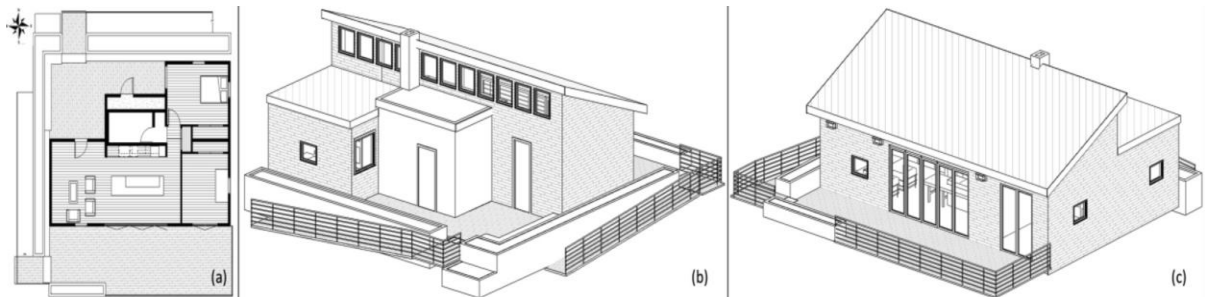
ainda é um desafio para os profissionais devido à falta de ferramentas apropriadas (LIN, SHIH-HSIN EVE; GERBER, 2014).

Nos últimos anos, uma quantidade crescente de literatura sobre a otimização do desempenho dos edifícios foi publicada (DE BOECK *et al.*, 2015), mas a otimização do desempenho do edifício baseada no BIM tem apenas alguns estudos de pesquisa (F FLAGER *et al.*, 2012; LIN, SHIH-HSIN EVE; GERBER, 2014; WELLE, BENJAMIN; HAYMAKER; ROGERS, 2011).

Outra abordagem é estabelecer múltiplos objetivos e usar o conceito de otimização de Pareto, que é um conjunto de soluções promissoras, conhecido como conjunto Pareto-ótimo (FONSECA; FLEMING; OTHERS, 1993), tendo em vista múltiplos objetivos. A Otimização de Pareto apoia a tomada de decisão, encontrando as soluções igualmente ótimas, de tal forma que não é possível melhorar um único objetivo individual sem fazer com que pelo menos um outro objetivo individual fique pior (HOES *et al.*, 2011). Selecionar a melhor solução do conjunto de Pareto não é um problema trivial, pois depende de um número de aspectos (NGUYEN, ANH-TUAN; REITER; RIGO, 2014). Um conjunto de preferências *a posteriori* pode ser usado para avaliar as soluções ótimas e encontrar a solução exclusiva pelos projetistas (GOSSARD; LARTIGUE; THELLIER, 2013).

A fim de avaliar o desempenho do fluxo de trabalho desenvolvido, proposto nesta pesquisa foi realizado um estudo de caso no modelo BIM da casa Solar *Decathlon* 2013 da Universidade de *Stanford* ("The Start.Home", 2014) com pequenas modificações. Um edifício residencial com uma área de 95m². Ilustração 30 mostra a planta e vistas 3D noroeste e sudoeste da casa. O edifício tem janelas de vidro transparente na parede norte (Ilustração 30b) e as janelas do painel de cortina na parede sul (Ilustração 30c).

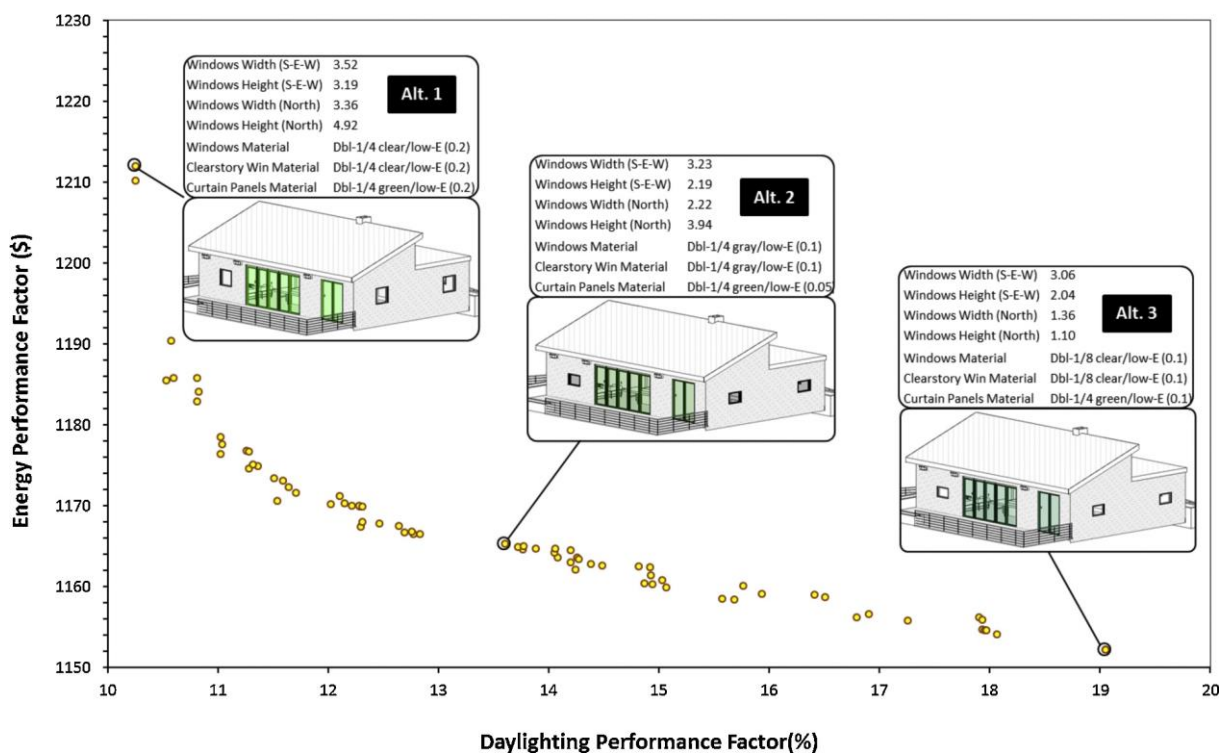
Ilustração 30 - Planta-baixa e vista isométrica 3D mostra as aberturas na fachada norte e painéis de cortina de vidro na fachada sul



Fonte: "The Start.Home", 2014.

A Ilustração 31 mostra o conjunto de Pareto Optimal, obtido dentro do tempo de processo e visualizado utilizando os resultados. A ilustração pode ajudar os projetistas a entender a relação entre objetivos de desempenho conflitantes. Nesta figura, três alternativas de amostra são destacadas e seus valores de variáveis de decisão são fornecidos.

Ilustração 31 - Gráfico mostrando o conjunto Pareto Optimal com valores de variáveis de decisão para três alternativas



Fonte: RAHMANI ASL *et al.*, 2015.

A alternativa 1 tem o melhor desempenho energético, mas o pior em desempenho de luz natural entre todas as alternativas Pareto Optimal. A

alternativa 2 é moderada em energia e desempenho de iluminação natural, e a alternativa 3 tem o mais alto desempenho iluminação natural, mas não é eficiente em energia. Analisando o conjunto Pareto Optimal, o projetista tem a opção de escolher qualquer uma das alternativas que satisfaçam objetivos de projeto mais abrangentes, incluindo, por exemplo, funções e estética (RAHMANI ASL *et al.*, 2015).

Otimização do desempenho do edifício com base na simulação mostra um grande potencial no projeto do edifício de alto desempenho. A incorporação de uma ampla variedade de simulações, em diferentes domínios no sistema, levará a uma exploração mais abrangente do espaço da solução e proporcionará um melhor suporte à decisão para os projetistas. Devido aos requisitos de construção de edifícios verdes e ao avanço de métodos computacionais e ferramentas, há um claro crescimento na popularidade dos métodos de otimização de desempenho de construção (RAHMANI ASL *et al.*, 2015).

2.3.4 Ferramentas de simulação

O papel das ferramentas de simulação, na concepção e engenharia de edifícios, foi firmemente estabelecido ao longo das duas últimas décadas. A simulação é creditada com a aceleração do processo de projeto, aumentando a eficiência e permitindo a comparação de uma gama mais ampla de variáveis de projeto, levando a projetos mais otimizados. A simulação fornece uma melhor compreensão das consequências das decisões de projeto, o que aumenta a eficácia do processo de projeto de engenharia.

Com o trabalho de base feito nos anos 1960 e 1970, uma rápida proliferação de pacotes de simulação avançada, para muitos aspectos do desempenho do edifício, tem ocorrido ao longo dos últimos vinte anos. O desafio da próxima década é integrar melhor a simulação no processo de projeto totalmente, aumentar o controle de qualidade e explorar a explosão de oportunidades que a internet oferece (AUGENBROE, 2002).

Essas ferramentas podem servir de suporte na aplicação de normas de eficiência energética e no projeto de edificações de alta eficiência. Para a obtenção de bons resultados nesse sentido, a prática de simulação deve estar incorporada na rotina de projeto dos escritórios de arquitetura e engenharia (Mendes *et al.*, 2005), e surgem da intenção de fazer entender e analisar o comportamento do edifício, desde a sua concepção até a demolição. Muitos profissionais são envolvidos, uma vez que a diversidade de análises requer proporcionalmente agentes com conhecimentos específicos, pois diferentes problemas exigem diferentes simulações (BRÍGITTE, 2013).

As ferramentas que permitem BIM são compreendidas por aplicativos de autoria e integração (TOBIN, 2008). Ferramentas de autoria podem ser: de modelagem e de análise ou simulação sobre o modelo. Os mais conhecidos programas de ferramentas de autoria para modelagem paramétrica BIM são: Archicad, Revit (Architecture, Structure e MEP) e Vector Work. Ecotec e Robot são respectivamente exemplos de ferramentas de autoria para análise e simulação do desempenho ambiental e estrutural, (RUSCHEL, REGINA COELI *et al.*, 2013).

Os aplicativos de integração permitem integrar vários modelos, e também o compartilhamento destes entre agentes. Ferramentas que integram têm a função de compor um modelo a partir de outros e compatibilizar entre estes, que pode ser física, temporal ou dinâmica. Ainda há as ferramentas que permitem a troca de modelos de informação entre os intervenientes por meio do compartilhamento dos mesmos (RUSCHEL, REGINA COELI *et al.*, 2013).

As ferramentas de simulação de edifícios tornaram-se parte integrante do conjunto de aplicações tecnológicas para a concepção, engenharia e (em certa medida) operação de edifícios. O objetivo principal de seu uso é realizar uma análise de desempenho que subsidie uma decisão de projeto pendente, uma escolha de parâmetro de dimensão ou uma alocação de orçamento para manutenção (AUGENBROE, 2002).

Desde a década de 1980 acredita-se que a simulação computacional mediante modelagem é capaz de fornecer uma avaliação rigorosa e detalhada do projeto energético do edifício. Entretanto, sua utilização sempre esteve atrelada a profissionais cada vez mais qualificados e especializados, visto que as ferramentas, apesar do grande avanço conquistado, ainda não apresentam uma interface naturalmente amistosa aos usuários, que, por vezes, desconhecem suas propriedades e limitações (BRÍGITTE, 2013).

Malkawi e Augenbroe já citavam em 2004 que as dificuldades levantadas tendem a gerar uma agenda que impulsionará pesquisadores, profissionais e fabricantes dos *softwares* a melhorias contínuas da simulação durante as etapas do projeto, sendo incorporada ao processo de tomada de decisão (BRÍGITTE, 2013).

O programa *EnergyPlus*[®] (CRAWLEY *et al.*, 2001) era citado como um marco na nova era de programas, os quais permitiram a integração de módulos desenvolvidos independentemente. Por possuir estrutura de simulação orientada a objeto, o *EnergyPlus*[®] possibilita o desenvolvimento de interfaces voltadas aos usuários menos experientes, sem abrir mão de um código de simulação robusto (WESTPHAL, 2007).

Em termos de aplicação dos programas em projetos de engenharia, a contribuição dos métodos de otimização, tais como os algoritmos genéticos, que têm sido aplicados em problemas de otimização dos desempenhos térmico e luminoso, em função de características da envoltória, sistemas instalados e padrões de uso da edificação (MALKAWI, 2004). Porém, a obtenção de resultados com base nesses métodos ainda requer boa experiência e prática do usuário. Mesmo com os esforços aplicados no desenvolvimento e aperfeiçoamento das ferramentas e métodos de simulação nas últimas três décadas, verifica-se a necessidade de se ampliar a integração entre os programas e as diversas etapas de projeto e operação da edificação (WESTPHAL, 2007).

Pesquisas nacionais, voltadas às diferentes áreas do conforto, apontam a utilização de ferramentas de simulação para a concepção de

projetos mais eficientes (DELBIN, 2006). Entretanto, é necessário conhecê-las nas diferentes aplicações, para que o projeto possa ser analisado de forma integrada, otimizando as decisões finais (BRÍGITTE, 2013).

O desenvolvimento de ferramentas de simulação "simplificadas" para projetistas de arquitetura recebeu muita atenção da comunidade de pesquisa no passado, mas parece estar se desvanecendo ultimamente. Tendências passadas foram estimuladas pela crença de que as tarefas de simulação deveriam se mover progressivamente em direção ao não especialista, nesse caso, o projetista de arquitetura (AUGENBROE, 2002).

2.3.4.1 Ferramentas existentes no mercado

Os primeiros programas computacionais para simulação do desempenho térmico de edificações e estimativa do consumo de energia surgiram na década de 1970 (MENDES *et al.*, 2005; WESTPHAL, 2007). Desde então, o desenvolvimento de ferramentas, para apoio às soluções mais eficientes nos diferentes campos do conforto, tem tido um crescimento exponencial (BRÍGITTE, 2013).

Em abril de 2005, existia um total de 295 programas cadastrados no diretório de ferramentas, disponibilizados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), voltados à simulação do conforto ambiental e eficiência energética para edifícios (DELBIN, 2006). Em julho de 2011 esse número passou a 395 (BRÍGITTE, 2013).

Uma grande quantidade de opções e a dificuldade em categorizá-los devido às constantes alterações e propriedades, que vão desde a simples e mais aproximada à mais detalhada, levaram diversos pesquisadores a realizar estudos comparativos das ferramentas disponíveis (BRÍGITTE, 2013). Destacam-se os realizados por Attia (2010), Attia *et al.* (2009), Crawley *et al.* (2008) e Yezioro *et al.* (2008).

Yezioro *et al.* (2008) realizaram um estudo comparativo entre o *Energy_10*, *Green Building Studio web tool*, *eQUEST* e *EnergyPlus*® quanto

à confiabilidade e precisão dos resultados, enquanto a pesquisa realizada por Crawley *et al.* (2008) compreende as características de 20 programas: BLAST, BSim, DeST, DOE-2.1E, ECOTECT, EnerWin, *Energy Express*, *Energy-10*, *EnergyPlus*[®], eQUEST, ESP-r, IDA ICE, IES/VES, HAP, HEED, *PowerDomus*, SUNREL, Tas, *TRACE and TRNSYS*. No primeiro estudo, constata-se um erro médio absoluto de 3%, no qual a simulação mais detalhada tem o melhor desempenho da simulação. No segundo, a conclusão aponta a necessidade de uniformizar a comunicação dentro do setor para que as comparações possam ser mais claras (BRÍGITTE, 2013).

Como complementação de Attia *et al.* (2009), Attia (2010) apresenta em formato de relatório, os potenciais desafios e oportunidades da simulação na construção, por meio de uma análise comparativa entre as dez ferramentas em duas visões distintas, a do arquiteto e a do engenheiro no mercado americano (BRÍGITTE, 2013).

Procurando identificar as experiências com simulação e necessidades em termos de aprimoramento das ferramentas existentes, Donn *et al.* (1995) realizou um levantamento junto a usuários de programas de simulação energética na Nova Zelândia e nos Estados Unidos. Dos 44 entrevistados, mais da metade (58%) considera os programas difíceis de serem utilizados; a maioria dos usuários afirma que grande parcela do tempo gasto com o uso das ferramentas, está no processo de modelagem da edificação. Como sugestões para melhoria dos programas existentes, 40% dos usuários indicam a necessidade de aperfeiçoamento das interfaces. Entre as prioridades, salienta-se a falta de valores predefinidos para dados de entrada, principalmente para caracterizar os padrões de uso e ocupação.

Verifica-se também uma necessidade de se desenvolver diferentes níveis de simulação para os diferentes estágios do projeto, além de meios para garantir o controle de qualidade na simulação em cada uma dessas etapas. Objetivando disseminar o uso das ferramentas de simulação – da mesma forma como os editores de texto são comuns atualmente – Donn *et al.* (1995) salienta a falta de recursos para garantir que:

- a) a modelagem da edificação seja rápida;
- b) o modelo climático utilizado seja apropriado para a condição de projeto em que a simulação está sendo empregada;
- c) o modelo da edificação seja compatível com a realidade;
- d) a relação entre os dados de entrada e saída possa ser analisada sistematicamente;
- e) os resultados práticos da simulação sejam repassados ao cliente.

2.3.4.2 Faixas de aplicação

As ferramentas têm a função de (BRÍGITTE, 2013):

- Auxiliar a inovação de soluções durante a fase cognitiva do projeto;
- Ajudar a testar e avaliar as soluções projetuais do projeto;
- Aferir as exigências normativas;
- Estudos econômicos no impacto de conservação de energia e conforto dos usuários.

As aplicações mais utilizadas compreendem (BRÍGITTE, 2013):

- Simulações acústicas;
- Simulações de iluminação natural e artificial;
- Simulações termoenergética (HVAC).

2.3.4.3 Limitações

Dentre os resultados elencados por Attia (2010) na avaliação das ferramentas de simulação pelos usuários durante o processo de projeto, treinamento e viabilidade econômica, destacam-se algumas limitações (BRÍGITTE, 2013):

- Não apresentam interfaces amigáveis aos usuários;
- Não são práticas durante o processo de projeto;
- Ainda não são capazes de integrar diferentes domínios de desempenhos em um *software* único;
- As entradas iniciais são detalhadas e correspondem a dados indisponíveis durante as etapas iniciais, devendo ser assumidos ao se fazer a análise;

- Baixa confiabilidade das ferramentas para análises finais;
- Saídas gráficas;
- Necessidade de treinamentos apropriados;
- Custos elevados das ferramentas a estudantes.

Para que as ferramentas possam ser úteis durante a fase inicial de projeto, são necessárias interfaces mais amigáveis que requeiram um mínimo de dados de entrada, permitindo a obtenção de respostas rápidas. O intercâmbio de dados, com programas de simulação detalhada, permitiria a análise mais apurada das estimativas realizadas durante as fases iniciais do projeto (WESTPHAL, 2007).

Enquanto pesquisadores e cientistas procuram ferramentas mais precisas que representem bem o mundo real, arquitetos e projetistas estão mais interessados em ferramentas simples, diretas e intuitivas (ELLIS; MATHEWS, 2002). A simplificação dos dados de entrada e o uso de valores predefinidos poderiam reduzir a complexidade dos programas de simulação (WESTPHAL, 2007).

A maioria dos pesquisadores refere-se à complexidade das ferramentas de simulação como um dos principais fatores para a dificuldade de utilização desses programas por profissionais na elaboração do projeto de edificações. Outro fator seria a falta de clareza dos resultados ou a falta de confiança do usuário nos resultados fornecidos pela simulação (WESTPHAL, 2007).

2.3.4.4 Comparações entre as ferramentas

Muitos usuários estão confiando em uma única ferramenta de simulação quando eles poderiam ser mais produtivos com um conjunto de ferramentas para escolher. As primeiras decisões de projeto podem não exigir um programa detalhado de simulação para lidar com a massa ou outros problemas iniciais de projeto. Encorajamos os usuários a considerar a adoção de um conjunto de ferramentas que suportam a gama de

simulação, bem como as necessidades que geralmente observam em sua prática (CRAWLEY *et al.*, 2008).

Ferramentas de *Design Performance Modeling* (DPM) são concebidas para o suporte precoce de tomada de decisão, e o desenvolvimento contínuo à medida que o projeto aumenta o nível de detalhe. Muitas dessas ferramentas são razoavelmente fáceis de usar; elas são capazes de uma análise básica, apropriada para informar decisões de projeto iniciais, mas não destinadas a fornecer uma análise completa para a conformidade de código.

Para torná-las rápidas e fáceis de aprender e usar, a maioria desses programas foram desenvolvidos como autônomos que não se integram perfeitamente com os pacotes de *software* CAD existentes e às plataformas (AIA, 2012):

- a) *Ecotect*: É um programa da Autodesk³ que aceita prontamente a entrada de *REVIT* ou *Autocad*. Seus resultados são relatados em exposições gráficas intuitivamente compreensíveis. O programa usa um mecanismo de análise fechado que atualmente não é bem suportado, e modelos importados não são compatíveis com Revit ou Autocad (programas da Autodesk) se edições foram feitas no Ecotect.
- b) *OpenStudio* ("OpenStudio | OpenStudio", [S.d.]): Desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energia Renovável, fornece um *plug-in* para o *SketchUp* ("SketchUp", 2016), juntamente com uma interface de suporte para o mecanismo de modelagem de energia de todo o edifício no *EnergyPlus*. O *OpenStudio* inclui a capacidade de definir e aplicar tipos de espaço, zonas térmicas, sistemas de HVAC e conceitos de iluminação natural, com uma plataforma de análise subjacente para avaliar compromissos de projeto. O programa inclui recursos de visualização de resultados básicos, para converter os resultados em um formato mais digerível pelo usuário, e arquivos podem ser exportados do *OpenStudio*

³ Autodesk, Inc. é uma empresa de software de design e de conteúdo digital. Foi fundada por John Walker e 12 outros co-fundadores em 1982. Ao longo da sua história, teve sede em várias localizações de Marin County na Califórnia ("Autodesk | Software de projeto 3D, engenharia e entretenimento", [S.d.]).

como modelos *EnergyPlus* ou modelos Radiance, para uma análise mais detalhada.

c) *Sefaira Concept* ("Sefaira", 2016): Fornece uma estrutura ampla para análise de sustentabilidade, em tempo real, que integra dados de construção existentes com modelagem baseada em física. O programa oferece suporte a decisões profundas para ajudar projetistas, planejadores e consultores a escolherem as estratégias ideais, visando alcançar o melhor uso de energia e reduzir as emissões de carbono.

O conceito de *Sefaira* é construído especificamente para o projeto no estágio avançado, e fornece aos projetistas muitos benefícios, tais como o poder da nuvem para a análise térmica rápida e dinâmica dos edifícios e a modelagem integrada da energia, da água, do carbono e das energias renováveis. Ele permite aos usuários comparar várias alternativas de massa em tempo real. Aceita importação direta do *SketchUp* e do *Revit*. Sua interface fornece maneiras elegantes para economizar tempo e reduzir o volume de planilhas, e é baseado na Web para fácil colaboração.

d) COMFEN and RESFEN ("LBNL Window & Daylighting Software -- COMFEN", [S.d.]): Livre para baixar, foi desenvolvido pelo Lawrence Berkley National Laboratory; esses programas fornecem análise detalhada de um modelo de zona única para energia, luz natural e conforto, com o mecanismo *EnergyPlus* sob sua cobertura. Permitem uma análise rápida e comparativa de diferentes cenários, explorando as primeiras ideias de projeto, relacionadas à fachada no contexto da imagem energética global para o espaço. Além disso, os modelos podem ser facilmente configurados para orientações e tamanhos múltiplos, que podem informar as decisões de projeto no nível geral do edifício e influenciar os insumos posteriores do *Building Energy Modeling* (BEM). O programa COMFEN, em particular, fornece saída gráfica, processando resultados em um formato mais fácil de usar, que compara opções entre si, além de fornecer saída numérica que pode ser importada para o *Excel* e ser graficada da maneira que o usuário desejar (AIA, 2012).

e) EMIT1.2™: é uma compilação de calculadoras baseadas em planilhas desenvolvidas em resposta à necessidade de ferramentas que ajudam os profissionais de construção a traduzirem dados de projeto e requisitos de código (ASHRAE 90.1-2007). Também inclui um recurso que irá gerar horários com base em dados de planilha para uso em *eQUEST* e *EnergyPlus*. A modelagem de edifícios inteiros adicionais é necessária para prever o desempenho global do edifício e a conformidade com o código (AIA, 2012).

A seguir na Ilustração 32 um resumo das vantagens e desafios das ferramentas de modelagem.

Ilustração 32 - Ferramentas de modelagem de desempenho nas fases iniciais do projeto

Ferramenta de modelagem	Vantagens	Desafios
Ecotect	Resultados gráficos compreensíveis Fácil de usar e aprender	<i>Software</i> pago Não tem bom suporte Modelos não oferecem retorno para o programa de modelagem
OpenStudio	Modelos de entrada via SketchUp <i>Software</i> livre Mecanismo de análise EnergyPlus Fácil de usar com SketchUp	Só oferece saída numérica (resultados gráficos correntes) SketchUp ainda não compatível com AutoCAD / Revit / ArchiCAD, etc.
COMFEN (Projetos Comerciais) RESFEN (Projetos Residenciais)	Fácil de usar <i>Software</i> livre Bom suporte (LBNL suporte) Mecanismo de análise EnergyPlus Resultados gráficos compreensíveis Fornece a gama de difusão de implicações de desempenho (incluindo energia)	Provem apenas análise alternativas do envelope Apenas avaliações de desempenho de uma zona-simples (não permite avaliar todo o edifício) Ainda não compatível com Autocad / Revit / ArchiCAD, etc.
Spreadsheets (RMI-EMIT 1.2)	Fácil de usar de familiarizado com planilhas <i>Software</i> livre	Avalia apenas específicos componentes Oferece saída numérica com resultados gráficos básicos
Sefaira	Usuário amigável, com SketchUp entrada de dados Modelo de todo o edifício (pode especificar diferentes sistemas mecânicos conceptuais) Resultados gráficos compreensíveis	<i>Software</i> pago Ainda não compatível com Autocad / Revit / ArchiCAD, etc. Usa seu próprio mecanismo (fechado e não validado pela ASHRAE) Não fornece informações de conformidade do código

	Permite comparações de múltiplas opções lado-a-lado Usa seu próprio mecanismo (mais rápido, múltiplos modelos)	
Whole-Building EM-Tools (EQUEST, Simergy, etc.)	Pouco compatível com Revit / Autocad / ArchiCAD / SketchUp A avaliação precoce de componentes pode facilmente fazer a transição para uma análise de energia do edifício completo	Um <i>software</i> pago, outro gratuito Não é fácil de aprender / usar sem treinamento Tipicamente apenas oferece saída numérica

Fonte: AIA, 2012

Segundo pesquisa realizada pelo AIA, relataram-se características que as ferramentas BEM criadas para arquitetos precisam ter (AIA, 2012):

- Ter interface gráfica amigável ao arquiteto (gráfico);
- Ter código-aberto e informação facilmente exportável com outros programas profissionais;
- Corresponder na sua sofisticação às complexidades do projeto de edifícios;
- Permitir avanço nos níveis de informação a ser adicionada;
- Corresponder ao nível de detalhe em cada estágio do projeto;
- Manter o ritmo com o processo de projeto;
- Gerar perspectiva dos resultados rapidamente;
- Ser capaz de quantificar melhor elementos de projeto passivo, incluindo atraso/absorção térmica, ventilação natural, orientação e uso de água;
- Quantificar energia incorporada, carbono e ciclo de vida / custo / retorno de investimento;
- Permitir opções tipos de sistemas HVAC serem parte de análise em estágios iniciais;
- Fornecer resultados amigáveis ao cliente (gráfico).

Waltz (1992) *apud* AIA (2012) salienta que um alto nível de precisão nos resultados de uma simulação computacional está relacionado com um profundo entendimento sobre a ferramenta utilizada e o comportamento da edificação a ser simulada. Além disso, uma análise cuidadosa e crítica sobre os resultados fornecidos pelo programa de simulação é imprescindível.

2.4 Building Information Modeling (BIM)

Para uma melhor compreensão da pesquisa, neste tópico é abordada a questão da Modelagem da Informação da Construção (BIM), sendo apresentado um panorama de aplicações e conceitos, modelagem paramétrica, interoperabilidade, e desempenho energético. Para finalizar, é enfocada a questão dos programas de modelagem virtual, e linguagem de programação visual.

2.4.1 BIM - Conceitos e aplicações

Do acrônimo da língua inglesa para *Building Information Modelling*, tem sua tradução no Brasil como Modelagem da Informação da Construção, conforme indicação da NBR-ISSO 12.006-2 (CAREZZATO, 2018).

Os conceitos do BIM podem ser encontrados na descrição do processo de produção automatizada de projetos feita por Engelbart em 1962 (DA MOTTA GASPAR; RUSCHEL, 2017). Entende-se que a associação entre tecnologias e processos é o marco de um novo paradigma na forma de projetar. Os conceitos foram evoluindo, sendo usados diversos termos para a tecnologia, até que o termo *Building Information Model* ganhou força a partir de 2004 e se tornou o mais utilizado entre 2008 e 2009; hoje, seu uso é predominante.

A Modelação da Informação da Construção está no centro de uma transformação digital do setor da construção e do ambiente construído. Os governos e as entidades públicas adjudicantes na Europa e no mundo reconhecem o valor do BIM como meio estratégico para viabilizar os objetivos em matéria de custos, qualidade e política. Muitos estão a tomar medidas proativas para fomentar a utilização do BIM nos respetivos setores da construção e na execução e operação de ativos públicos, de forma a garantir esses benefícios econômicos, ambientais e sociais (EUBIM TASKGROUP, 2018).

Ao longo dos últimos cem anos, a indústria de projeto e construção mudou drasticamente. Edifícios tornaram-se muito mais complexos e muito mais inter-relacionados e com sistemas integrados. Durante este período, foi adicionada uma série de sistemas de construção e outras camadas de projeto que não existiam no mesmo nível de complexidade, ou que antes ou simplesmente não existiam (KRYGIEL; NIES, 2008).

Essas camadas exigiram mais documentação por parte do arquiteto para projetar, com muito mais pranchas e detalhes adicionados aos conjuntos de desenho. Isso requer mais tempo para coordenar todos esses sistemas; coordenar e gerenciar os comércios e instaladores adicionais no local para o empreiteiro e uma equipe mais experiente para manter esses sistemas por parte do proprietário. Esse aumento na especialização, escala e complexidade tem acrescentado tempo e custo ao processo e ciclo de vida do edifício. Não somente esses, mas também outros fatores conduziram a um declínio global do desempenho dos edifícios e a um aumento do consumo de energia (KRYGIEL; NIES, 2008).

Em um sistema tradicional de projeto e documentação, um projetista elaborará um conjunto de documentos, usando lápis ou um aplicativo baseado em CAD. Essas impressões, como papel impresso, ou digitalmente, como uma série de arquivos individuais, não possuem nenhuma inteligência integrada, isoladamente ou em conjunto. É estritamente um método representacional de comunicação e distribuição de informação. Esses desenhos não são mais do que uma coleção de linhas em uma página; e essas linhas têm pouca adição de significado além dos gráficos que transmitem (KRYGIEL; NIES, 2008).

O BIM consiste em dois componentes principais: uma reprodução gráfica tridimensional da geometria do edifício e uma base de dados relacionada, na qual todos os dados, propriedades e relações são armazenados (COSTA *et al.*, 2013). Requer uma abordagem conceitual, para o desenho e construção de edifícios, que compreende todos os dados gráficos e linguísticos de construção para projeto e detalhamento e facilita

o intercâmbio de informações de construção entre a fase de projeto, construção e operação (WANG, YING *et al.*, 2013).

O BIM é um sistema complexo que serve o processo de gerar, armazenar, gerenciar, trocar e compartilhar informações de construção ao longo do ciclo de vida de um edifício (SZÓNYI, 2010). Um processo que envolve a criação, partilha, utilização e reutilização estruturada de informação digital, sobre um edifício ou um ativo construído ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a concepção até a aquisição e construção, e além, até à sua operação e gestão. Isso envolve o uso de modelos de projeto 3D coordenados, enriquecidos com dados que são criados e gerenciados, usando uma gama de tecnologias interoperáveis (ALWAN; GREENWOOD; GLEDSON, 2015). É um processo de utilização de sistemas para desenvolver modelos gerados por computador que podem simular o planejamento, projeto, construção e operação de um edifício (AZHAR, 2011).

A US National BIM Standards Committee (NBIMS) assim define *Building Information Modeling*:

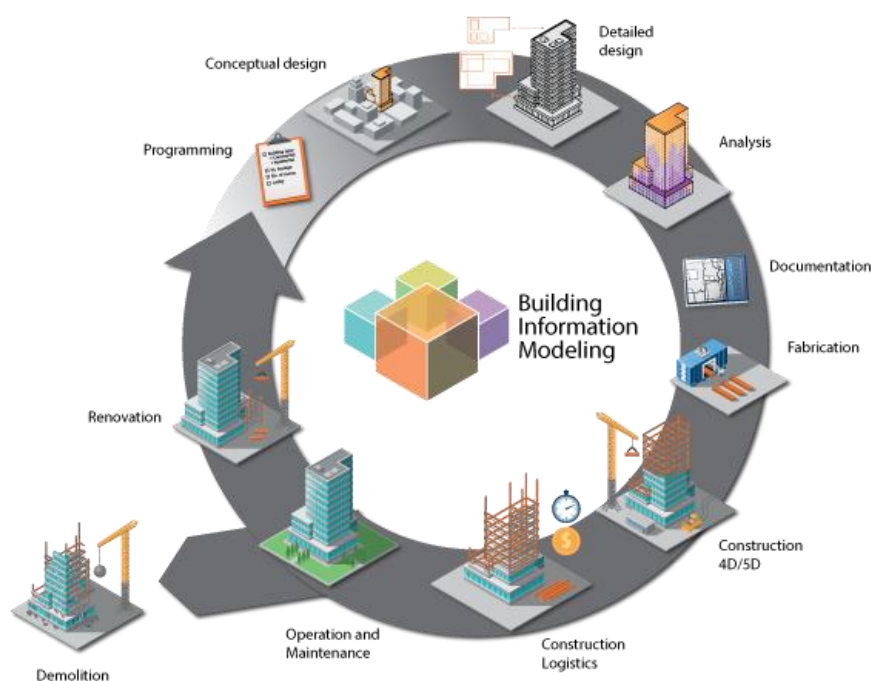
É a representação digital de características físicas e funcionais de uma instalação, criando um recurso de conhecimento compartilhado para obter informações sobre ele e formar uma base confiável para decisões durante seu ciclo de vida, desde a concepção mais antiga até a demolição (SKOOK, 2009).

BIM é um conjunto inter-relacionado de processos, tecnologias e políticas de gerenciamento do fluxo da informação digital na AECO, como demonstra a Ilustração 33 (SUCCAR, 2009a). Como processos, o BIM envolve o projeto, a construção, a fabricação, o uso e a manutenção do edifício. Como tecnologia, relaciona-se com o desenvolvimento e suporte de sistemas e aplicativos de comunicação, servidores de modelo, e tecnologias de banco de dados. Como política, engloba as melhores práticas, focadas nas diretrizes, regulamentações, padronizações, e pesquisas (ANDRADE, 2012). Apoiar-se em duas tecnologias principais, a modelagem paramétrica e a interoperabilidade. No que se refere ao método de trabalho, utilizam-se conceitos como colaboração, coordenação e interoperabilidade (UMAKOSHI, 2014). A Ilustração 33 demonstra o ciclo BIM, desde a etapa de viabilidade

do projeto, passando pela análise, documentação, até a demolição e/ou renovação do edifício.

Um modelo de informação do edifício caracteriza a geometria, as relações espaciais, a informação geográfica, as quantidades e as propriedades dos elementos de construção, as estimativas de custos, os inventários de materiais e o cronograma do projeto (AZHAR, 2011).

Ilustração 33 - Ciclo BIM - Building Information Modeling



Fonte: LLOYD'S REGISTER GROUP SERVICES LIMITED, 2016.

O BIM fornece uma representação precisa de um edifício em ambiente de dados integrados. Os processos de construção, em geral, serão mais eficazes devido às simulações precisas (*just-in-time*) e de custo. Assim, o uso de BIM elimina até 40% de alterações não planejadas (ALAWINI *et al.*, 2013). O valor do BIM, criado durante a fase de concepção e construção, foi pesquisado e pode resultar em uma redução estimada de 30% nos custos totais de construção (DEMAID; QUINTAS, 2006).

A evolução dos sistemas CAD, com base no suporte oferecido ao desenho técnico, mediante ferramentas de desenho bidimensional (CAD 2D), inclui recursos tridimensionais (CAD 3D), cuja necessidade de facilitar a modelagem fez surgir modelos 3D parametrizados (RUSCHEL, 2009).

Esse modelo aos poucos foi agregando informações não gráficas, como tempo (CAD 4D) (Flood; Issa; O'Brien, 2003), custo, material entre outras e o CAD evoluíram finalmente para nD (AOUND; LEE; WU, 2005). A necessidade da precisão na representação da informação de AEC de forma integrada e inteligente, como propulsora para a interoperabilidade entre sistemas CAD e todo o ferramental computacional, participante do ciclo de vida da edificação, essa necessidade direcionou o surgimento do conceito BIM (RUSCHEL, 2009).

Segundo o AIA, o BIM é definido como uma tecnologia baseada em modelos, vinculada a um banco de dados de informações do projeto, que pode ser acessado e compartilhado entre os diferentes participantes do projeto (LEE; SACKS; EASTMAN, 2006). Informações incorporadas em objetos estão disponíveis em todo o processo de projeto e construção. Os dados podem ser vistos como um modelo 3D ou desenhos de construção 2D tradicionais, e podem ser integrados com outros programas para estimativa de construção, agendamento e gerenciamento de projetos. Todas as atualizações necessárias na documentação de construção, incluindo agendas e estimativas, podem ser feitas por uma única mudança (NGUYEN, T.H.; SHEHAB; GAO, 2010). Foi regulamentado pelo Reino Unido para todos os projetos de edifícios do setor público a partir de 2016, e a sua adoção é defendida por organismos reguladores e governamentais na China, Singapura, Coreia do Sul, Austrália, Ásia, Países Nórdicos e alguns Estados do Golfo e EUA (ALWAN; GREENWOOD; GLEDSON, 2015).

A modelagem BIM permite, desde o princípio, estudos de conforto ambiental, de consumo energético, de desempenho estrutural e de conformidade com os códigos e legislações, além de estimativas de custos, o que não é possível dentro da metodologia de projeto corrente (EASTMAN, CHUCK *et al.*, 2008). Essas avaliações podem ser sucessivas e num curto intervalo de tempo, melhorando a qualidade de projeto e resultando em soluções mais coerentes com os requisitos de desempenho estabelecidos no programa arquitetônico. É nessa fase que as tomadas de decisões irão

influenciar mais nos custos, no desempenho e na qualidade da edificação (UMAKOSHI, 2014).

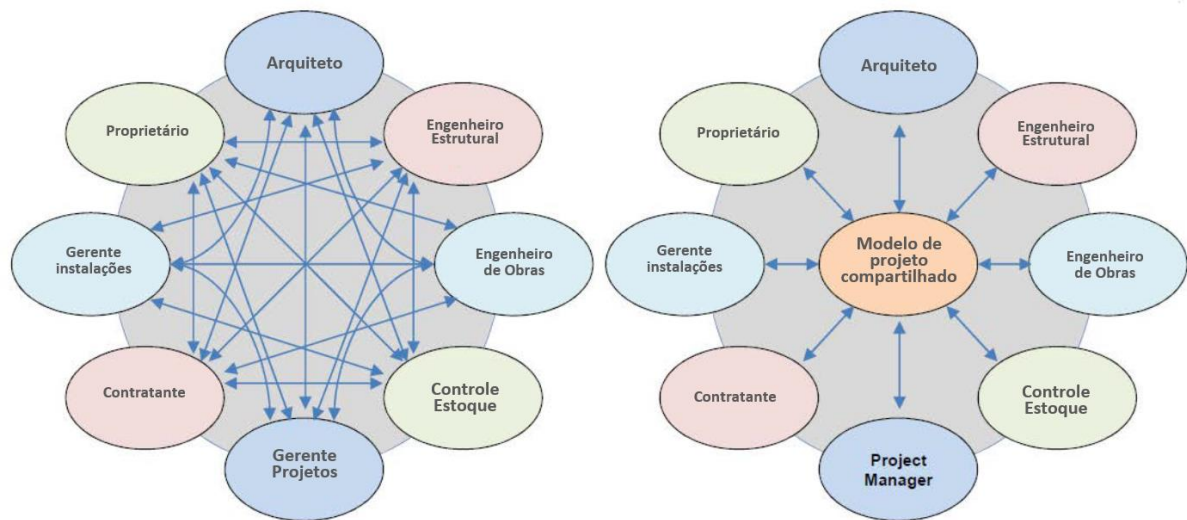
A teoria é que todos os dados de construção seriam mantidos em um único formato de dados, o qual permite que todas as aplicações compartilhem dados com todas as outras aplicações. Isso inclui intercâmbio interdisciplinar de dados (WILKINS; KIVINIEMI, 2008).

Um modelo BIM pode ser usado holisticamente ao longo do processo de projeto e construção. O objetivo do BIM é proporcionar uma visão geral do edifício ou projeto, incluindo tudo em um modelo de fonte única, que permite um refinamento contínuo, sem mudança drástica (KRYGIEL; NIES, 2008).

Uma das metas da modelagem de informações de construção é tornar a cooperação entre as partes interessadas no processo de construção mais eficiente. Isso se consegue armazenando informações relevantes de projeto de cada etapa do processo de projeto. Esta capacidade do modelo, para servir como um repositório de dados interdependentes e multidisciplinares, adota novas abordagens sobre a integração da análise de desempenho em projeto possível. Os parâmetros definidos durante o processo de projeto podem ser acessados e editados durante o processo de projeto e utilizados para o cálculo do desempenho (SCHLUETER; THESSELING, 2009).

O modelo BIM permite mais facilmente que o processo de projeto possa ocorrer de forma mais integrada, como demonstrado na Ilustração 34.

Ilustração 34 - Diagrama comparativo entre um processo tradicional e um processo integrado



Fonte: FERREIRA, 2015.

Ferramentas BIM têm a capacidade de exportar informações para outras plataformas de modelagem de computador, a fim de executar auditorias de custo ou de energia. A estrutura de dados e os métodos do *software* permitem a comunicação com outros programas, possibilitando um processo de projeto mais integrado, permitindo que arquitetos e engenheiros vejam, de forma mais eficiente, como as mudanças que eles afetam outros sistemas da estrutura. Além de exportar dados para análise de energia, alguns programas complementares (*plug-ins*) podem ser instalados em ferramentas para determinar a observância de padrões de consumo de energia, potencial de uso de materiais de construção ecológicos e conformidade com LEED (EASTMAN, CHUCK *et al.*, 2011; STADEL *et al.*, 2011).

Entre os programas BIM, o Autodesk Revit Building foi construído usando a tecnologia de modelagem de edifícios paramétricos, na qual os edifícios são representados como um banco de dados integrado contendo informações gráficas e não-gráficas (KIM, MARCUS; KIRBY; KRYGIEL, 2016). Além de representar graficamente o projeto, os modelos BIM no Autodesk Revit contêm parâmetros necessários para suportar projetos sustentáveis que podem ser capturados automaticamente durante o

processo de projeto. No *Revit*, cada componente de construção ou projeto está associado a parâmetros predefinidos que são agrupados em duas categorias: parâmetros de tipo e parâmetros de instância (NGUYEN, T.H.; SHEHAB; GAO, 2010).

Os parâmetros de tipo e instância são categorizados em grupos diferentes. Cada parâmetro pode ser armazenado em diferentes formatos, tais como: texto, número inteiro, comprimento, área, volume, ângulo, URL, material e sim/não. Além disso, novos parâmetros, como indicadores de sustentabilidade, podem ser criados e armazenados como parâmetros do projeto, podendo ser usados com o objetivo de determinar a magnitude da sustentabilidade de um projeto de construção (NGUYEN, T.H.; SHEHAB; GAO, 2010).

O BIM é uma plataforma de comunicação comumente utilizada e eficaz, a qual permite à equipe projetar o edifício/infraestrutura, monitorar o trabalho de construção e gerenciar as instalações de forma integrada. Com a crescente preocupação com os efeitos e o esgotamento dos recursos não-renováveis, o BIM também está sendo cada vez mais adotado como um meio de prever e monitorar os efeitos ambientais da construção (WONG, JOHNNY KWOK-WAI; KUAN, 2014).

Ao construir virtualmente o edifício antes que a construção física comece no local, o BIM adiciona um nível de precisão tanto às quantidades de construção quanto à qualidade, que supera processos históricos de design e documentação (KRYGIEL; NIES, 2008). A pré-construção virtual do projeto permite análise e simulações de uso, operação e construção, antecipando ocorrências futuras, e dando a possibilidade de projeto e edifícios com melhor desempenho.

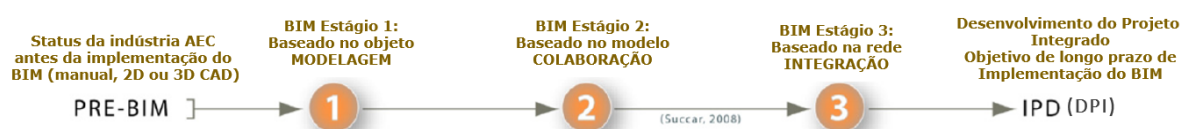
O BIM suporta modelagem tridimensional, semanticamente rica e paramétrica para projeto e construção durante o ciclo de vida de um edifício (EASTMAN, CHUCK *et al.*, 2008; LEE; SACKS; EASTMAN, 2006). Através de programas de modelagem BIM, os desenvolvedores de *softwares* podem acessar dados de componentes de construção específicos e criar um banco

de dados abrangente por meio da API⁴, usando a linguagem C# (C Sharp) (AUTODESK INC, 2014; JEONG *et al.*, 2014) e *Python*, ou mesmo linguagem de programação visual, como o *Dynamo*.

O BIM tem como objetivo apoiar a criação, o intercâmbio e as aplicações de informações no ciclo de vida dos edifícios na indústria AEC. As ferramentas de criação fornecem API que permite aos desenvolvedores de programas estender as ferramentas, para API do *Autodesk Revit* em C# e VB.NET; API *Graphisoft ArchiCAD* em linguagem de programação C e C++; As macros do *Bentley MicroStation* em VB.NET, C++ e C#, assim como as Bibliotecas de Desenvolvimento *MicroStation* em C, permitem modelagem geométrica complexa, acesso a informações de objetos BIM, criação abrangente de banco de dados e apresentação de resultados de análise associados a objetos BIM correspondentes (KIM, JONG BUM *et al.*, 2015).

Trabalhando em um modelo centralizado desde o início do projeto até a conclusão e além, todas as agendas, folhas de desenho, visualização 2D e visualização 3D são uma apresentação direta de informações do mesmo banco de dados subjacente. O diagrama na Ilustração 35 é uma ilustração da evolução do que pode agora ser chamado de "tradicional" CAD (*Computer Aided Drafting*) à esquerda, para um modelo de informação de construção integrada, e interoperável (BIM ou iBIM) à direita (SKOOK, 2009).

Ilustração 35 - Maturidade BIM está dividida em três estágios – Visão linear

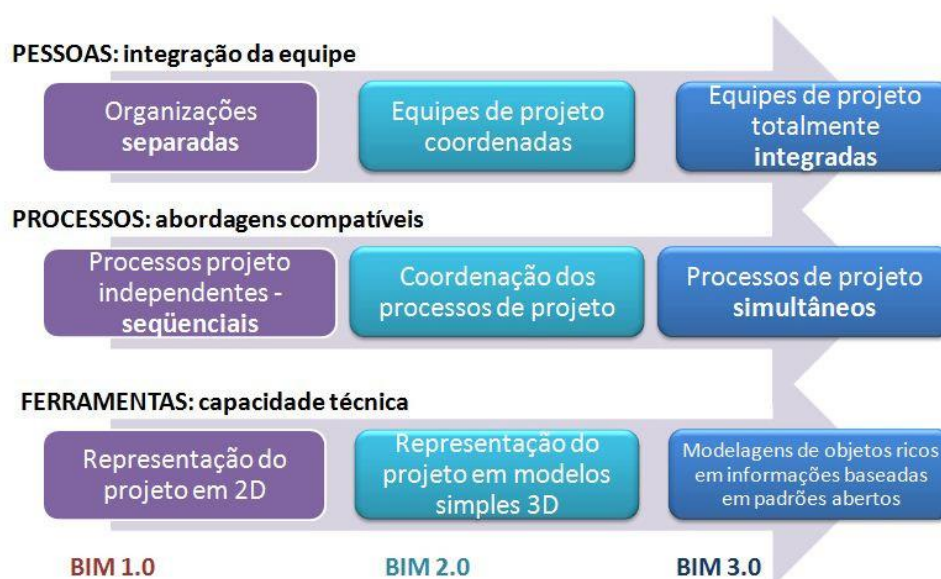


Fonte: SUCCAR, 2009b.

⁴ API é o acrônimo de *Application Programming Interface* ou, em português, Interface de Programação de Aplicativos. Esta interface é o conjunto de padrões de programação que permite a construção de aplicativos e a sua utilização de maneira não tão evidente para os usuários (CIRIACO, 2009). Recentemente, o uso de API tem se generalizado nos plugins (acessórios que complementam a funcionalidade de um programa). Os autores do programa principal fornecem uma API específica para que outros autores criem plugins, estendendo as funcionalidades do programa.

Para compreender melhor o estágio de consolidação do BIM na AECO, é importante identificar mudanças as quais vêm ocorrendo nos processos, tecnologias e estruturas das equipes de trabalho. Segundo Tobin (2008) *apud* Andrade (2012), essas mudanças ocorrem em três estágios, como visto na Ilustração 36, a que ele chama Eras: BIM 1.0; 2.0; e 3.0. Além desses três estágios, Succar (2009) acrescenta um estágio chamado de pré-BIM e o *Integrated Project Delivery*, como o que se deseja alcançar com o BIM. Em cada estágio, pode-se observar um progressivo aumento nos níveis de integração de equipes, de coesão entre os processos, e na melhoria da capacidade técnica computacional (ANDRADE, 2012).

Ilustração 36 - Etapas do processo de implementação BIM



Fonte: ANDRADE, 2012.

O conceito BIM envolve principalmente processos e tecnologias e tem como característica a busca por uma prática de projeto integrado, em um sentido em que todos os participantes da AEC convirjam seus esforços para a construção de um "modelo único" de edifício (ANDRADE; RUSCHEL, 2009) (EASTMAN, CHUCK *et al.*, 2008).

O estágio BIM 1.0 representa a emergência dos aplicativos baseados em objetos, que substituem os aplicativos baseados em entidades. A ênfase

está na modelagem paramétrica. Geralmente envolve uma única disciplina de projeto no desenvolvimento do modelo 3D (ANDRADE, 2012).

As práticas colaborativas são semelhantes às da era pré-BIM, pois não há trocas significativas entre diferentes disciplinas com base no modelo, e os fluxos de informação são unidirecionais, com uma comunicação assíncrona e desarticulada. Nesse estágio de adoção, observam-se baixas mudanças em políticas, médias mudanças em processo e alta mudança em tecnologia (SUCCAR, 2009a). Pode ser daí a impressão inicial de que BIM trata apenas de tecnologia (ANDRADE, 2012).

O BIM 2.0 é um estágio de convergências e de popularização do uso de ambientes de interação, com programas integrados de análise, de modelos 4D (planejamento das construções) e 5D (orçamento de obras). Tem ênfase no compartilhamento multidisciplinar do modelo, entre uma ou duas fases do processo de projeto, envolvendo até duas disciplinas ou dois agentes diferentes (ANDRADE, 2012).

O BIM 2.0 representa o início de mudanças significativas para o processo de projeto de arquitetura. As mudanças ocorrem no gerenciamento das informações, na necessidade de uma prática integrada e no uso de ferramentas, que permitem a revisão, simulação e avaliação de soluções de projeto, de modo semiautomatizado. Torna-se essencial o uso de formatos de arquivos de intercâmbio (ANDRADE, 2012).

O estágio BIM 3.0 ou BIG BIM (JERNIGAN, 2007) representa a prática de trabalho em equipes multidisciplinares, com modelos integrados e fluxos de informação contínua, sem perdas ou sobreposições. A ênfase está na criação compartilhada e colaborativa do modelo em todas as fases de projeto, construção e operação (ANDRADE, 2012).

Os estágios descritos acima representam momentos evolutivos do BIM. O ponto final é o *Integrated Project Delivery* (IPD) (Succar, 2009a), que é o momento de fusão dos domínios tecnológicos, dos processos e das políticas, integrando pessoas, sistemas e práticas em um processo colaborativo. O IPD visa à otimização dos resultados do projeto, o aumento

do valor agregado, à redução de perdas e eficiência nas fases de projeto e à fabricação, construção e operação do edifício (ANDRADE, 2012).

2.4.2 Modelagem Paramétrica e Interoperabilidade

Três aspectos fundamentais do BIM: (1) a modelagem paramétrica para desenvolvimento do 'modelo único'; (2) a interoperabilidade para integração e colaboração e troca de informações dos envolvidos; (3) a possibilidade de gestão e avaliação do projeto em todo seu ciclo de vida (RUSCHEL *et al.*, 2010 *apud* BRÍGITTE, 2013).

Atualmente, os avanços realizados na área da computação associados à comunicação, síncrona e assíncrona, e ao setor de AEC, possibilitam uma alteração no processo do projeto que, sendo realizado sobre uma plataforma colaborativa, permite aos agentes de diferentes áreas de conhecimento participar de maneira mais ativa no desenvolvimento, antecipadamente ao que era de costume. Propondo alterações, desde o conceito inicial do projeto, contribuem com a melhor qualidade e desempenho, e nos menores custo e tempo para a qualidade final. Inicialmente, a ênfase no auxílio ao projeto estava associada aos recursos de máquina (*computer aided*), e evoluiu gradativamente, agregando ênfase na informação (*information modeling*) (RUSCHEL, 2009).

O processo de projeto constitui-se de sequências de decisões que ocorrem em ciclos, com análises, sínteses e avaliações. Em diversos momentos da síntese, geram-se variações na geometria do modelo para testar. Esses testes permitem, dentro do espaço de soluções, verificar qual dos modelos melhor resolve o problema de projeto (ANDRADE, 2012). O uso da modelagem paramétrica possibilita a realização de variações no modelo geométrico, que se torna um modelo paramétrico, baseado em ferramenta de CAD "inteligente". Com isso, o processo de busca de soluções de projeto passa a ser mais rápido e flexível (HERNANDEZ, 2004).

Em várias fases de um projeto de edifício, os projetistas precisam interagir com várias ferramentas de projeto e simulação, e prever o

desempenho do modelo, que torna a interoperabilidade, entre diferentes ferramentas, uma necessidade. Um corpo grande e crescente de literatura tem relatado que a integração perfeita entre esses programas é relativamente difícil (ATTIA, SHADY *et al.*, 2012; LIN, SHIH-HSIN; GERBER, 2014; WELLE, BENJAMIN; HAYMAKER; ROGERS, 2011; YAN *et al.*, [S.d.]).

Augenbroe (2002) relatou dois movimentos principais começados paralelamente com objetivos similares para tratar: (1) um esforço coletivo por indústria, por organizações governamentais e de pesquisa, para estabelecer padrões da troca de dados para a indústria de edifício, tais como classes da fundação da indústria (IFC) (BAZJANAC; CRAWLEY, 1999) ou *Green Building eXtended Markup Language* (gbXML) (GBXML, 2014); e (2) os pesquisadores e a indústria tentam abordar os problemas de interoperabilidade existentes em diferentes plataformas, mediante interfaces de *script* e aplicações autodesenvolvidas entre os domínios de projeto e análise de desempenho (ATTIA, SHADY *et al.*, 2012; LIN, SHIH-HSIN EVE; GERBER, 2014; WELLE, BENJAMIN; HAYMAKER; ROGERS, 2011).

Considerando que o primeiro tenta compensar ineficiências na partilha de dados, representando os dados relevantes em cada programa, para um modelo de dados comum, genérico que contém as informações necessárias por todos os outros programas, este último objetiva criar, funcionalmente, uma conexão entre dois ou mais programas de simulação de desempenho para objetivos específicos (RAHMANI ASL *et al.*, 2015).

Com a utilização de ferramentas computacionais embebidas por objetos paramétricos, o projetista pode explorar diferentes opções de soluções de projeto, de modo rápido e seguro. Essas diversas opções podem ser criadas e reconstituídas sem apagar ou criar outro desenho (ANDRADE, 2012).

Mediante o BIM, um modelo tridimensional preciso do edifício é construído digitalmente com o uso de informações paramétricas e torna os objetos “inteligentes”. A principal característica do BIM que o distingue das tecnologias de projeto que o precedem, não é a modelagem tridimensional,

mas a informação sistematizada, que pode ser organizada, definida e permutável (SMITH; TARDIF, 2009).

O modelo paramétrico é uma representação computacional de um objeto construído com entidades, geralmente geométricas, que têm atributos que são fixos e outros que podem ser variáveis (BARRIOS HERNANDEZ, 2006). A grande vantagem reside na facilidade de alternativas por meio de regras que garantem uma manipulação segura ao projetista (BRÍGITTE, 2013).

A interoperabilidade elimina a necessidade de réplica de dados de entrada que já tenham sido gerados e facilita, de forma automatizada e sem obstáculos, o fluxo de trabalho entre diferentes aplicativos durante o processo de projeto (ANDRADE; RUSCHEL, 2009). Eastman *et al.* (2011) apresentam quatro maneiras para a troca de dados entre dois aplicativos BIM: ligação direta; formato de arquivo de troca proprietário; formatos de trocas de dados de domínio público; formatos de troca de dados baseados em *eXtensible Markup Language* (XML) (BRÍGITTE, 2013).

A interoperabilidade envolve a capacidade de identificação e troca de dados e informações necessários para serem passados entre diferentes aplicativos, permitindo aos profissionais de diversas disciplinas trocar ou agregar informações de maneira colaborativa e ágil (RUSCHEL, R. C. *et al.*, 2010). Com o reconhecimento do potencial de colaboração entre modelagem paramétrica e BIM, alguns exemplos vêm sendo desenvolvidos para estabelecer formatos de troca ou ambientes que fazem interagir essas diferentes funções. Um deles consiste no *Dynamo*, que insere um ambiente próprio de linguagem de programação visual no aplicativo *Revit*, e permite ao projetista um maior controle e personalização de famílias em ambiente BIM (ROMCY, 2017).

A simulação, mediante a ferramenta computacional, para avaliação das decisões projetuais, existe tanto no contexto CAD como no contexto BIM; a diferença está na ênfase do segundo no reuso da informação por meio da interoperabilidade. Como um mesmo projeto deve ser submetido a diferentes simulações, portanto, a diferentes aplicativos, o modelo final

deve conter todas as informações necessárias às diferentes análises; não obstante, os programas devem possuir um formato de troca mutuamente suportado. A variação consiste apenas no nível de detalhamento das informações (BRÍGITTE, 2013), sendo essa uma das características mais valiosas do BIM, pois permite o múltiplo uso da modelagem para as diversas finalidades.

Essa necessidade tornou possível o desenvolvimento de ambientes e plataformas que conseguem a integração das análises do projeto com bases em representações semânticas, as quais suportam a interação de dados dos objetos (KOLAREVIC; MALKAWI, 2005). O principal formato utilizado hoje para a troca de dados é o IFC, capaz de manter as associações entre o modelo completo e o simulado (BRÍGITTE, 2013).

Um entrave encontra-se na segmentação no setor de AEC, pois algumas plataformas restringem a troca de dados em ambientes internos, suportados pelo mesmo fornecedor. Isso, aliado ao desconhecimento dos usuários e à possibilidade da perda de informações, acaba inviabilizando algumas tentativas de aferir as soluções durante o desenvolvimento do projeto. Nesse sentido, verifica-se uma lacuna à evolução do processo de projeto, sendo a interoperabilidade peça fundamental para sua concretização (BRÍGITTE, 2013).

2.4.3 Modelagem e desempenho energético

O BIM está se tornando o padrão da indústria de construção, desde a fase inicial de concepção do processo de projeto até à gestão do edifício durante o seu ciclo de utilização. Apresenta vantagens ao permitir fluxos de trabalho e decisões de projeto baseadas em dados (SANTIAGO, 2016).

Utilizar modelos BIM em simulações ambientais pode ajudar arquitetos e engenheiros a oferecer uma melhor construção, apoiando decisões de desempenho energético em várias fases do processo de projeto (KUSLIKIS, 2011).

A energia é um tópico-chave na concepção e utilização de edifícios. A fim de determinar a quantidade de energia necessária para aquecer ou

resfriar o edifício, muitos fatores devem ser considerados. Alguns fatores básicos incluem os materiais utilizados, as quantidades de materiais, o tamanho e a configuração do espaço e a localização do edifício. Os edifícios são analisados para determinar os seus requisitos de entrada de energia e, em seguida, os sistemas, que são projetados para atender a esses requisitos, são analisados para determinar o seu uso real de energia. A maioria das informações necessárias para a análise de energia é realmente criada durante o projeto de edifícios por arquitetos, engenheiros estruturais e outros. Se essas informações puderem ser capturadas e compartilhadas com analistas de energia, o trabalho necessário na coleta e verificação de dados pode ser dramaticamente reduzido e o tempo total necessário para realizar a análise pode ser encurtado (KIM, HYUNJOO; ANDERSON, 2013).

O uso de energia é um requisito importante na construção de sistemas de avaliação de desempenho, como o sistema LEED desenvolvido pelo USGBC, que requer uma simulação de desempenho energético completo, a ser realizada e uma melhoria substancial no desempenho do edifício. A análise de energia, durante o projeto, fornece uma oportunidade para tomar decisões de custo efetivo no início do ciclo de vida do edifício e para atender às metas de conservação de energia (KIM, HYUNJOO; ANDERSON, 2013).

Estabelecendo uma meta energética para o edifício, pode-se começar a testar o projeto em fase preliminar de modo a otimizá-lo e proceder às mudanças adequadas. É importante perceber que a análise energética é uma ciência. Os seus especialistas estudam como diferentes sistemas e cargas têm impacto umas nas outras e afetam a *performance* geral do edifício. É importante também perceber o que esperar dessa análise em diferentes fases do projeto. Nas fases iniciais, a análise tem uma função indicativa, não a de tentar medir cargas precisas; isso porque muitas decisões que irão acontecer ao longo do processo ainda não foram tomadas, portanto, não é possível determinar com exatidão as suas cargas (FERREIRA, 2015).

Na etapa conceitual, em que se irão estudar os impactos de mudanças maiores à forma do edifício, os resultados irão servir a um propósito

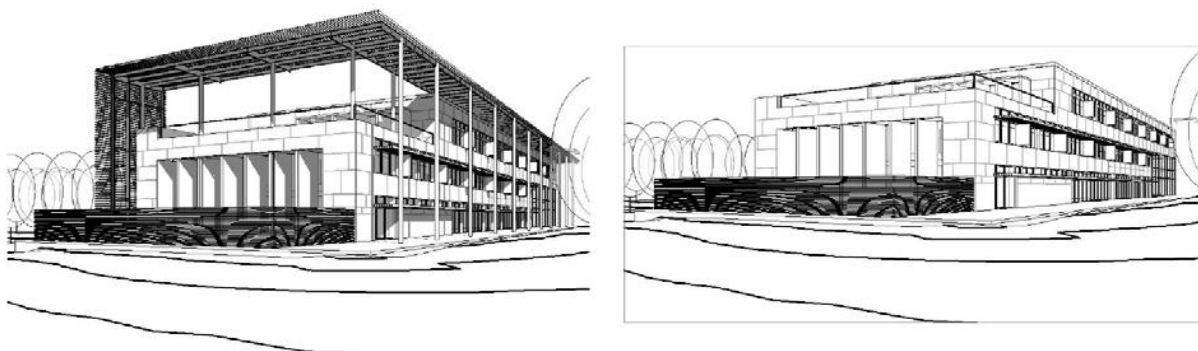
comparativo (por exemplo, se um edifício alto e estreito tem melhor *performance* que um baixo e largo), sem determinar os números exatos de cada um. No entanto, numa fase final, em que o projeto está mais desenvolvido, é possível fazer comparações em incrementos menores e precisos (KRYGIEL; NIES, 2008).

O benefício da análise precoce - mesmo no início do projeto conceitual - é que permite a maior influência na construção de desempenho com o menor esforço. A adaptabilidade do BIM é compatível com o projeto orientado ao desempenho (sustentável). BIM torna-se um ambiente de projeto sustentável, então, como este potencialmente integra análise quantitativa no processo de tomada de decisão (LÉVY, 2012).

Ao manter o modelo energético atualizado, é possível compreender como a volumetria do edifício, localização das janelas, orientação e outras opções irão afetar as necessidades energéticas, ajudando assim o arquiteto a fazer opções mais precisas (FERREIRA, 2015).

Para estas análises serem prolíficas, é preciso um modelo BIM sólido e bem construído, que não significa que são necessários todos os materiais e detalhes, mas certas condições de base como as paredes e tetos (envelope). Em um exemplo de projeto, estudando especificamente a melhor solução para uma determinada fachada, procurava-se perceber o impacto energético relativo que duas iterações do projeto teriam. Numa delas foi adicionado um mecanismo de sombreamento externo, e na outra, não, conforme mostra a Ilustração 37. Interessava saber se o sombreamento traria melhorias no ciclo de vida do edifício que justificassem o preço inicial de construção do mesmo (KRYGIEL; NIES, 2008).

Ilustração 37 - Modelo das duas opções de projeto são consideradas: com e sem sombreamento



Fonte: FERREIRA, 2015

Nesse sentido, foram exportados ambos os modelos para um serviço de análise energética, revelando que os custos anuais do edifício seriam suficientemente reduzidos com a adição de sombreamento para justificar um maior investimento inicial (KRYGIEL; NIES, 2008). Esse método pode ser usado para fazer comparações em qualquer tipo de mudança no desenho do projeto e regularmente perceber se estas irão revelar-se benéficas a longo prazo ou não. Considerando-se que estudos referem que um ligeiro aumento de 2% do custo inicial de um edifício pode gerar poupanças na ordem dos 20% ao longo do seu ciclo de vida (MOTAWA; CARTER, 2013), esse tipo de abordagem que o BIM potencializa e torna-se altamente sustentável a longo prazo (FERREIRA, 2015).

Recorrer a simulações de modo a estimar o desempenho do ciclo de vida de determinada proposta nas suas diversas formas é a “melhor prática” (SOEBARTO, V. I.; WILLIAMSON, 2001).

Um princípio fundamental de verdadeira sustentabilidade é a integração total dos sistemas do edifício entre si, bem como de fatores econômicos e ambientais externos (KRYGIEL; NIES, 2008). Quando a equipe é capaz de partilhar e influenciar o modelo tridimensional na tentativa avaliar o impacto do trabalho de cada um no todo, a integração torna-se mais real e convincente (FERREIRA, 2015).

O futuro combinado do BIM com o desenho sustentável pode ajudar a chegar mais rapidamente a um ambiente mais saudável para o planeta (KRYGIEL; NIES, 2008). É difícil saber, com certeza, o que o futuro aguarda, mas, tendo em conta as pistas atuais, a expectativa é que a modelagem paramétrica avançará muito além da relação entre objetos: tanto o modelo como o arquiteto terão conhecimento da região e do clima, da tipologia do edifício, dos valores de insolação, coeficientes de ganhos de energia solar e até mesmo dos impactos socioeconômicos na zona aplicável (FERREIRA, 2015).

À medida que o edifício é modelado, notificações poderão informar o arquiteto sobre o impacto da orientação escolhida, do tamanho do sistema mecânico e do conforto dos ocupantes. A quantidade de chuva e radiação solares esperadas estarão imediatamente disponíveis para dimensionar reservatórios e sistemas de energia renováveis. O futuro do modelo BIM será um sistema interativo com informação-chave sobre edifícios, clima, requerimentos e impactos, de modo que a concepção e o retorno de informação entre os sistemas sejam imediatos e simbióticos (FERREIRA, 2015).

A tendência para os edifícios sustentáveis oferece oportunidades para propor formas de certificação de edifícios verdes pelos profissionais da AECO (AMARNTH; HSIEH; MANOJ, 2016). O BIM foi implementado por empresas de construção civil a fim de melhorar os edifícios em termos de produtividade a longo prazo. O projeto arquitetônico se utiliza de técnicas BIM para extrair dados dos modelos arquitetônicos digitais e, determinar o nível de sustentabilidade (NGUYEN, T.H.; SHEHAB; GAO, 2010).

O BIM facilita uma colaboração eficaz, que desempenha um papel importante nessa transformação. Quando aplicado ao projeto de edifícios sustentáveis, é capaz de alinhar as metas do processo de tomada de decisão e dos *stakeholders* do projeto, e o processo permite uma certificação de edifícios mais eficiente (AZHAR; BROWN, 2009).

Ao avaliar de forma eficaz o desempenho do edifício durante as fases de concepção e pré-construção, podem-se obter dados abrangentes sobre a forma de um edifício, o contexto, os materiais e os sistemas hidrosanitário, ar-condicionado e eléctrico (MEP). O BIM permite a superposição de dados multidisciplinares para um modelo, criando assim a oportunidade para que a sustentabilidade das medidas seja incorporada em todo o processo de projeto (SOLLA *et al.*, 2016).

A Ilustração 38 mostra um panorama BIM para análise de sustentabilidade e os programas BIM que estão atualmente disponíveis no setor de construção (AEC). Essas ferramentas e o fluxo de trabalho têm duas fases: a primeira fase cria os modelos básicos com o programa inerente apropriado, enquanto a segunda fase exporta esses modelos para ferramentas básicas de análise, conforme necessário. Essa fase é explicada em detalhes a seguir, usando Revit e Ecotect como exemplos.

Ilustração 38 - Quadro BIM para análise de sustentabilidade

	Fase 1: Modelagem BIM	Fase 2: Simulação BIM
Programas	<i>Revit, ArchiCAD, Bentley, Graphisoft, TriForma (Beta), etc.</i>	<i>Ecotect, IES-VE, Green Building Studio (GBS), EnergyPlus, TRACE700, eQUEST, etc.</i>
Estratégicas sustentáveis	Orientação do edifício; Massa do edifício; Entrada de Dados, etc.	Cálculo de cargas do edifício; Análise de energia, Projeto de iluminação; Ventilação; Materiais, etc.

Fonte: WONG, KAM-DIN; FAN, 2013.

Alguns pesquisadores estudaram as formas pelas quais o BIM pode interagir com sistemas de classificação de edifícios sustentáveis. Azhar *et al.* (2011) descobriram que créditos máximos LEED podem ser obtidos com as ferramentas analíticas BIM. Biswas *et al.* (2009) relataram a ligação entre a efetiva integração de ferramentas de construção ecológica com a aplicação durável do BIM (SOLLA *et al.*, 2016).

O setor de construção geralmente usa três programas de análise de sustentabilidade, baseados em BIM no mercado: o *Autodesk Green Building*

Studio (GBS), o *Autodesk ECOTECH* e o Ambiente Virtual de Soluções Ambientais Integradas (IES). Alguns autores examinaram a integração de BIM com GBS (STUMPF; KIM; JENICEK, 2011; RUNDELL, 2007).

BIM e sustentabilidade são conceitos relativamente novos na construção, e estão relacionados à melhoria da indústria AEC. Azhar *et al.* (2011) definiu o uso do BIM para selecionar a orientação e a avaliação do edifício, e realizou estudos para posicionamento em um local selecionado durante a fase de projeto, aumentando assim sua sustentabilidade (SOLLA *et al.*, 2016), como apresentado na Ilustração 39.

Ilustração 39 - Sumário de BIM para análise de sustentabilidade

	Funções	Benefícios	Realizações
Inerentes BIM	Visualização Modelo 3d Conformidade com os regulamentos	Desenvolvimento de Projeto Integrado (IPD); Otimização do projeto	Redução de energia; Economia de Água
Ferramentas de análise base BIM	Análise energia; Análise Solar; Análise Térmica; Projeto de Iluminação; Análise Acústica; Ventilação e Fluxo de Ar; Gerenciamento de Recursos/Materiais	Melhor comunicação e Coordenação mais acurado e eficiente	Diminuição de desperdício IEQ Melhorias

Fonte: SOLLA *et al.*, 2016.

O uso de ferramentas BIM no processo de projeto geralmente se concentra no final de cada fase. As ferramentas não são, portanto, incorporadas ao processo, mas principalmente usadas como pedágio passivo para avaliar o projeto. O uso de ferramentas BIM pode ser incorporado desde a fase de análise até a fase de síntese e, portanto, pode ser uma parte ativa do processo de projeto desde o início (THUESEN; KIRKEGAARD; JENSEN, 2010).

Novas conexões entre o projeto paramétrico, as simulações energéticas e a otimização dos algoritmos permitem uma customização de partes do edifício ou até do edifício no seu total, em busca de um melhor

desempenho energético (UMAKOSHI, 2014). Ferramentas digitais estão agregando, ao projeto paramétrico, as simulações energéticas e os algoritmos, gerando um grande potencial para a criação de novas expressões arquitetônicas (GLASSMAN 2011 *apud* UMAKOSHI, 2014).

2.4.4 Linguagem de programação Visual

As linguagens de programação visuais, ou VPL (*Visual Programming Language*), foram desenvolvidas nos anos 70 e surgiram da união de trabalhos nos campos da computação gráfica, das linguagens de programação e da interação humano computador (BOSHERNITSAN; DOWNES, 2004).

A ideia principal por trás desse tipo de linguagem é facilitar a sua utilização e aprendizado, por meio do uso de artefatos gráficos, em oposição ao uso de uma linguagem de programação textual (DEHOUCK, 2015).

Em linguagens de programação textuais, os usuários precisam aprender a sintaxe das estruturas da linguagem para que possam codificar programas. Nas ferramentas baseadas em VPL, a lógica dos programas é construída usando diagramas chamados de grafos, que são compostos de elementos chamados de nós (Monteiro, 2016). Oferecem uma interface humana e um computador muito mais amigável aos seus usuários, sendo pensada para facilitar o aprendizado e a utilização dos recursos de uma linguagem de programação.

As ferramentas VPL têm sido utilizadas no contexto do BIM já há alguns anos, em particular em estudos de formas arquitetônicas complexas (STAVRIC; MARINA, 2011) e no suporte à fabricação digital (LACHAUER; RIPPMANN; BLOCK, 2010).

Ferramentas baseadas em linguagem de programação visual permitem a codificação de regras que, ao serem processadas, podem gerar modelos 3D, ou mesmo interferir nos modelos existentes. Ferramentas como *Dynamo*, *Grasshopper* e *Generative Components* são exemplos de aplicativos que utilizam esse tipo de linguagem (MONTEIRO, 2016).

A ferramenta *Dynamo* é integrada com o *Autodesk Revit* e a ferramenta *Generative Components* é integrada com o *Bentley AECOsim*. O *Grasshopper* foi desenvolvido originalmente para trabalhar de forma integrada à ferramenta de modelagem 3D *Rhinoceros* da empresa *McNell*. O *Graphisoft ArchiCAD* permite a integração com o *Rhinoceros* e o *Grasshopper* (MONTEIRO, 2016).

O *Dynamo* é quase sempre relacionado a geometrias incríveis, como a de algum edifício em Dubai, ou então vemos ele sendo usado por grandes escritórios em projetos imensos, nos EUA, Europa, etc. O *Dynamo* pode ser utilizado para automatizar procedimentos comuns e repetitivos do dia a dia do escritório de projetos (FREITAS, 2017).

Embora a proposta da VPL seja programar sem precisar lidar com códigos de programação, as ferramentas VPL também oferecem, como opção aos usuários que dominem alguma linguagem de programação textual, recursos para a utilização dessas linguagens, ou mesmo incorporação de linguagens de programação textual dentro de seus *scripts*.

As linguagens de programação textuais disponíveis em ferramentas VPL são classificadas como linguagens de *scripting* ou *script*. Linguagens desse tipo são utilizadas para desenvolver programas que rodam dentro de outras aplicações com o objetivo de estendê-las ou customizá-las.

O *Dynamo* é uma ferramenta VPL que pode ser usada fora ou dentro do *Autodesk Revit*; quando utilizada dentro desse *software*, possui recursos que permitem interagir com os componentes (ou famílias, na terminologia adotada pela Autodesk) do modelo BIM.

O *Dynamo* possui recursos específicos para lidar não só com uma simples modelagem geométrica, mas também com uma complexa modelagem BIM. O conjunto de recursos de programação do *Autodesk Revit* também conhecido como *RevitAPI*, pode ser acessado a partir da utilização da linguagem programação de alto nível⁵ Python, em programas

⁵ Linguagem de alto nível é uma linguagem de programação com alto nível de abstração, longe do código de máquina e mais próximo à linguagem humana, como, por exemplo, *Python* e *JavaScript*.

desenvolvidos no *Dynamo*, O que amplia ainda mais as possibilidades de manipulação de modelos BIM. No entanto, isso exige um conhecimento mais avançado dos usuários em desenvolvimento de *software*.

A forte integração entre o *Dynamo* e *Autodesk Revit* motivou a escolha dessas ferramentas para os experimentos realizados nesta pesquisa.

2.5 Considerações finais da seção

A revisão de literatura levantou uma série de questões pertinentes que orientou o desenvolvimento da pesquisa. Estas são lembradas de forma resumida a seguir.

As edificações são responsáveis por uma grande parte do consumo de energia e emissão de gases na natureza. Desta forma, seu desempenho energético destas tem grande importância em todo o mundo, ao ponto de se descrever a eficiência energética como o primeiro combustível, com mais relevância do que qualquer tecnologia de geração.

Apesar disto, as preparações para simulação energética geralmente se iniciam quando as decisões arquitetônicas já avançaram o suficiente para a representar, adequadamente, o comportamento térmico das edificações, e isso significa que a análise térmica só tem lugar depois que algumas decisões fundamentais já tiverem sido tomadas - algumas potencialmente críticas para a *performance* energética do edifício.

A etapa inicial do projeto do edifício é uma das mais importantes, e decisões tomadas nessa etapa têm grande impacto no desempenho energético do edifício.

O arquiteto depara-se com um conjunto de possibilidades para definição do partido arquitetônico, desde os esboços iniciais até o projeto executivo. As definições e ajustes inerentes a cada etapa do projeto afetam o desempenho energético da edificação e, por sua vez, sugerem adaptações que precisam ser implementadas, como a implantação de protetores solares em determinadas fachadas, por exemplo.

Uma das principais características dos projetos contemporâneos de edifícios é o fato de a complexidade crescente dos empreendimentos exigir a montagem de equipes de projeto maiores, e a mobilização de conhecimentos mais especializados, caracterizando um processo multidisciplinar em que nenhum profissional, isoladamente, detém os conhecimentos e qualificações necessárias para exercer um controle sobre a totalidade do processo de projeto.

A simulação térmica dos edifícios é uma ferramenta poderosa para avaliar o desempenho energético de um edifício, devendo ocorrer na fase inicial de projeto. Durante essa fase, há mais oportunidades para influenciar e mudar o comportamento do edifício, pois o custo é bem menor ao se resolver essas questões durante as fases iniciais.

A avaliação do desempenho energético de um edifício em um processo tradicional de projeto ocorre no meio do planejamento, fase na qual as mudanças custam mais e têm um menor impacto no desempenho do edifício, durante a preparação do certificado obrigatório de eficiência energética. Decisões importantes para eficiência energética, tais como geometria, orientação, planejamento das aberturas, no entanto, são tomadas muito antes - durante o desenvolvimento do projeto e pré-projeto.

Para disseminar o uso da simulação nos escritórios, é imprescindível a elaboração de interfaces simplificadas que reduzam o tempo gasto na modelagem e análise de diferentes alternativas, ainda na etapa de anteprojeto, na qual são assumidos os conceitos principais, os quais poderão sofrer poucas alterações no decorrer do projeto.

Um problema das ferramentas de simulação de edifícios é que a maioria dos programas, originalmente, não se destina a ser usada por projetistas de edifícios, e normalmente foi projetada para serem usados por pesquisadores. O uso dessas ferramentas geralmente requer uma curva de aprendizado íngreme.

Uma integração sistemática paramétrica no BIM e a análise do desempenho do edifício podem fornecer um novo fluxo de trabalho que tornaria as análises do desempenho do edifício mais acessíveis, no que se

refere ao processo de projeto de edifícios eficientes. O BIM pode fornecer informações construtivas relevantes para as análises do desempenho energético. Usado apropriadamente, pode economizar uma quantidade significativa de tempo e esforço na preparação de dados de entrada para a simulação de desempenho de construção, reduzindo prazos e margens de erros.

Em um processo tradicional para elaboração de projetos de arquitetônicos, o fluxo de trabalho localiza as avaliações de desempenho do projeto nas etapas mais avançadas do processo, quando o projeto se encontra bastante desenvolvido. Nesse momento, caso o desempenho não seja favorável, será preciso retornar às definições iniciais, revisando os conceitos básicos adotados. Tal fato produz um grande retrabalho no processo como um todo.

Diante dessa problemática, este trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma ferramenta que apresente resultados de eficiência energética obtidos simultaneamente ao andamento do projeto arquitetônico.

3 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Nesta seção, aborda-se a metodologia adotada para o desenvolvimento de uma ferramenta digital, a IDEEA – Incorporando a Avaliação de Eficiência Energética na Arquitetura, que apresente resultados de eficiência energética, executada dentro do programa de modelagem virtual BIM, durante os estágios iniciais do desenvolvimento do processo de projeto arquitetônico, visando contribuir para a incorporação da avaliação da eficiência energética na arquitetura e pode contribuir com a melhoria do desempenho energético de novos edifícios.

A IDEEA surge a partir da necessidade de suporte à tomada de decisões durante o processo de projeto, em especial nas fases iniciais, onde se definem os principais fatores que determinam o desempenho do edifício, como o partido arquitetônico, volumetria, a disposição dos ambientes, elementos arquitetônicos, portas e janelas, entre outros. Com o auxílio da ferramenta e sendo o projeto desenvolvido em ambiente BIM, o projetista pode fazer as simulações necessárias para obter um desempenho energético mais eficiente, de acordo com os critérios de desempenho adotados do RTQ-R.

O RTQ-R é o padrão de referência brasileira para desempenho energético, e visa estabelecer as condições para a classificação do nível de eficiência energética de edificações residenciais a fim de possibilitar a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), concedida no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro) (ELETROBRÁS *et al.*, 2012).

3.1 Design Science Research Methodology (DSRM)

A metodologia de pesquisa utilizada para a condução desta pesquisa pode ser descrita pela *Design Science Research Methodology* (DSRM), processo proposto por Peffers (PEFFERS *et al.*, 2006). O *design* neste

domínio é definido como o ato de criar uma solução explícita e aplicável para um problema, o que se encaixa diretamente com a proposta de nossa pesquisa, de criação de uma ferramenta para incorporação da avaliação de eficiência energética nas fases iniciais do processo de projeto.

O DSRM foi proposto para incorporar princípios, práticas e procedimento necessários para realizar a pesquisa aplicada, incluindo o desenvolvimento de sistemas. A metodologia de pesquisa para o desenvolvimento do sistema foi inicialmente proposta por Nunamaker e Chen (1990) *apud* ASL (2015), e modificada para fornecer uma estrutura comumente aceita.

Na metodologia de pesquisa de desenvolvimento de sistemas proposto, a integração do desenvolvimento do sistema é defendida no processo de pesquisa, propondo uma abordagem multimetodológica, que inclua construção de teoria, desenvolvimento de sistemas, experimentação e observações (PEFFERS *et al.*, 2006).

Design Science é a ciência que procura desenvolver e projetar soluções para melhorar sistemas existentes, resolver problemas, ou ainda, criar novos artefatos que contribuam para uma melhor atuação humana, seja na sociedade, seja nas organizações (DRESCH; LACERDA; JOSÉ ANTONIO VALLE ANTUNES, 2015).

Design Science Research é o método que fundamenta e operacionaliza a condução da pesquisa quando o objetivo a ser alcançado é um artefato ou uma prescrição que confira soluções satisfatórias aos problemas práticos. Trata-se de definir o problema, sugerir, desenvolver, avaliar e concluir (DRESCH; LACERDA; JOSÉ ANTONIO VALLE ANTUNES, 2015). Uma característica fundamental desta pesquisa é ser orientada à solução de problemas específicos, não necessariamente buscando a solução ótima, mas a solução satisfatória para a situação.

A abordagem da pesquisa construtiva consiste na produção de “construções inovadoras”, destinadas a resolver problemas enfrentados no mundo real e contribuir para a teoria da disciplina em que é aplicada. O conceito de “construção inovadora” nesse contexto se relaciona a todos os

artefatos humanos, tais como modelos, diagramas, planos, estruturas da organização, produtos comerciais e projetos de sistemas de informação. Sua principal característica é a de ser inventada e desenvolvida, não descoberta (LUKKA, 2003).

Artefatos podem ser entendidos como algo que é construído pelo homem, ou objetos artificiais, que podem ser caracterizados em termos de objetivos, funções e adaptações; interface entre o mundo natural e artificial (DRESCH; LACERDA; JOSÉ ANTONIO VALLE ANTUNES, 2015).

Hevner e Chatterjee (2010) citam que o processo de construção e aplicação de um artefato inovador permite ao pesquisador uma compreensão melhor do problema e a viabilidade da solução proposta.

3.2 Procedimentos Metodológicos

A ferramenta IDEEA foi desenvolvida como um sistema baseado em um processo iterativo com seis etapas (Peffers *et al.*, 2006), como está na Ilustração 40.

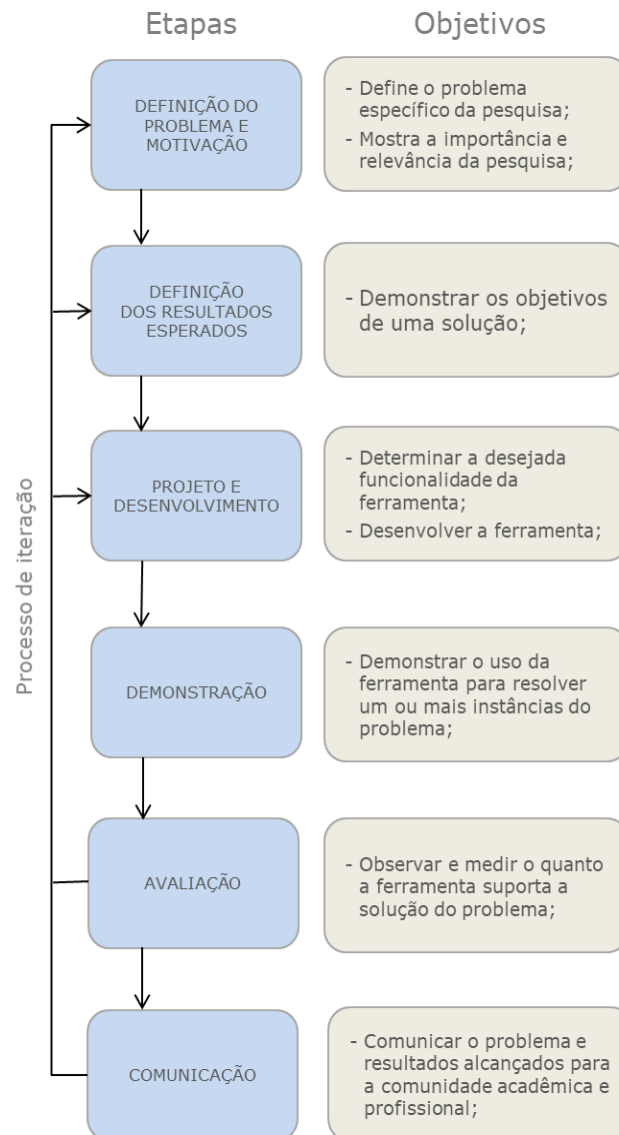
a) Identificação do Problema: essa é a primeira atividade realizada no método proposto, além da definição dos pontos que motivam a realização da pesquisa. O problema de pesquisa é definido.

Recursos requeridos: Conhecimento sobre o estado da arte e a importância da sua solução.

b) Definição dos Resultados Esperados: os objetivos da pesquisa e critério de uma ferramenta que seria capaz de responder aos problemas e lacunas identificados são definidos.

Recursos requeridos: Conhecimento do problema e solução existentes.

Ilustração 40 - Metodologia da pesquisa DSRM adaptada a essa pesquisa



Fonte: Autor, 2017, baseado em RAHMANI ASL *et al.*, 2015.

c) Projeto e Desenvolvimento: A ferramenta é desenhada baseada nos objetivos definidos e nas funcionalidades desejadas. Um protótipo é desenvolvido para testar o uso geral e a precisão dos resultados. O protótipo da ferramenta pode ser usado para testes e validação nas próximas etapas. Recursos requeridos: Conhecimento da base teórica que pode ser implementada para a solução.

d) Demonstração: nessa etapa, o protótipo da ferramenta é usado para apoiar o projetista a resolver pequenas amostras de problemas, visando

demonstrar a utilidade da solução proposta. Foram realizados testes com duas diferentes tipologias para essa etapa.

Recursos requeridos: Conhecimento de como usar a ferramenta desenvolvida para solucionar o problema.

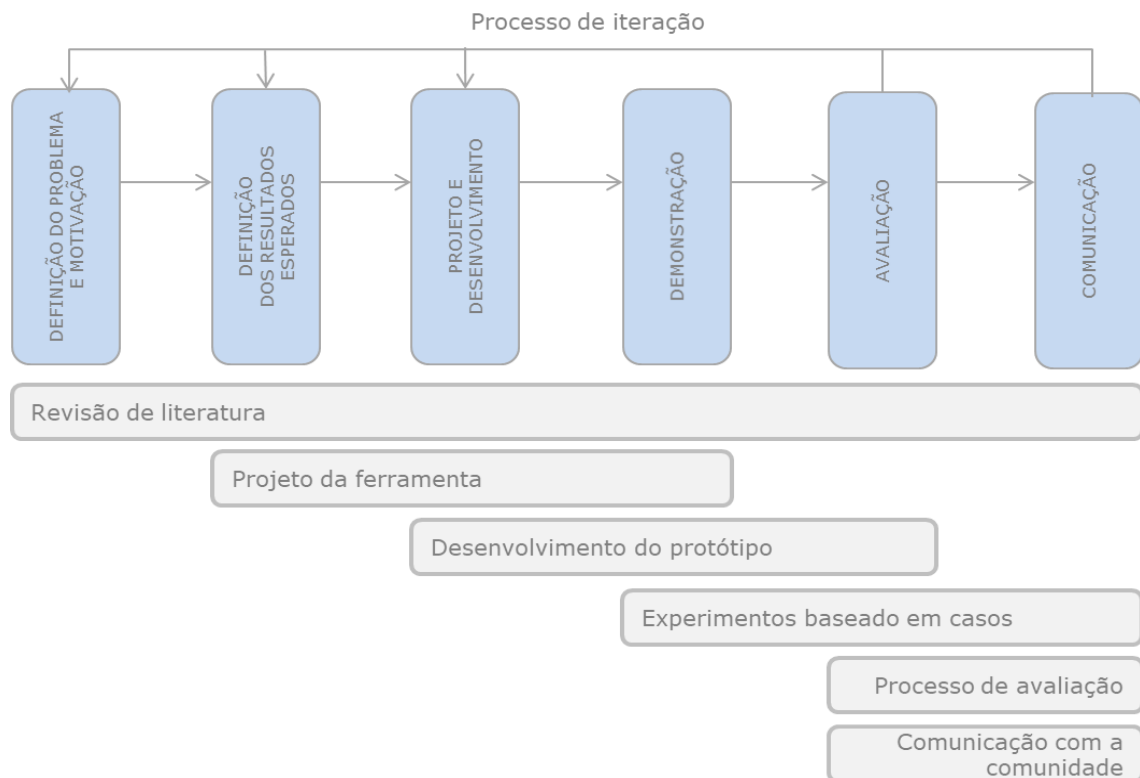
e) Avaliação: nessa etapa, o pesquisador ministra uma oficina de treinamento e acompanha experimentos com grupos focais de profissionais e alunos de arquitetura e urbanismo, onde se observa e mensura como o protótipo da ferramenta pode ou não solucionar os problemas identificados na primeira etapa, com base no RTQ-R. Caso o resultado encontrado não seja o esperado, poderá retorna à etapa Projeto e Desenvolvimento a fim de desenvolver nova proposta de artefato. Recursos requeridos: Conhecimento da métrica relevante e técnicas de análise / Domínio do estudo.

f) Comunicação: O pesquisador comunica o problema e sua importância, e a solução proposta para outros pesquisadores, a comunidade e profissionais da área.

Recursos requeridos: Conhecimento e meios de publicações existentes.

Uma vez que vários métodos e atividades são seguidos simultaneamente durante o processo de pesquisa, a ordem dessas etapas e suas atividades relacionadas não são uma indicação da ordem cronológica do processo para esta pesquisa. A Ilustração 41 mostra a metodologia geral de pesquisa do DSRM para as etapas de desenvolvimento da ferramenta e a ordem cronológica das etapas tomadas para esta pesquisa.

Ilustração 41 - Visão geral da metodologia DSRM e processo adotado nessa pesquisa e ordem cronológica



Fonte: Autor, 2017, adaptado de RAHMANI ASL *et al.*, 2015.

3.3 Processo Metodológico

A seguir, uma descrição com mais detalhes de cada etapa do processo metodológico.

3.3.1 Revisão da Literatura

Um estudo abrangente sobre as abordagens existentes publicadas nas áreas de eficiência energética do edifício, simulação no processo de projeto e BIM foi conduzido na fase inicial desta pesquisa, seção 2.

A revisão da literatura ajudou a compreender as questões e lacunas existentes neste campo e as potenciais soluções e métodos que poderiam ser usados no processo de desenvolvimento do projeto da ferramenta e como protótipo nos próximos passos. Como mostra a Ilustração 41, a revisão começa no início da pesquisa, e foi sendo atualizada continuamente

durante todo o percurso. Uma revisão da literatura sobre o tema desta pesquisa fornece o conhecimento dos problemas e das soluções atuais durante todo o período do projeto.

Nesta pesquisa foi realizada uma revisão da literatura para a construção de ferramentas de simulação de desempenho energético, introduzindo recursos que forneceram informações sobre as ferramentas de simulação energética de edifícios mais utilizadas. A revisão detalhada da literatura nos forneceu base de conhecimento necessário a respeito de:

- a) Critérios de desempenho energético utilizados no Brasil;
- b) Uso da simulação no processo de projeto na arquitetura;
- c) Estudos recentes sobre a análise de desempenho de construção baseada em *Building Information Modeling* (BIM).

Esses três tópicos estão diretamente relacionados aos objetivos apresentados e desenvolvidos nesta pesquisa.

3.3.2 Projeto da Ferramenta

Na fase de projeto da ferramenta, os objetivos da IDEEA foram definidos com base no conhecimento reunido na revisão da literatura, para abordar o problema identificado como incorporação da avaliação de eficiência energética nas fases iniciais do processo de projeto arquitetônico, considerando os métodos disponíveis.

A IDEEA deve apresentar as seguintes características:

- a) avaliar o desempenho energético da edificação em desenvolvimento desde as etapas iniciais;
- b) ter robustez e agilidade de processamento com base nas equações propostas pelo RTQ-R / Inmetro;
- c) apresentar interface amigável e boa capacidade de ser integrada a um amplo espectro de cenários de projeto;
- d) fácil implantação e análise por arquitetos no processo de projeto.

A ferramenta IDEEA foi projetada para abordar essas características, e sua arquitetura deverá evoluir na fase de desenvolvimento e

demonstração do protótipo, com base na percepção e sugestões recebidas. As funcionalidades desejadas da ferramenta são definidas como seguindo:

- a) a capacidade de fornecer uma rápida avaliação de alternativas de projeto;
- b) dar suporte para permitir ao projetista avaliar as soluções com melhor desempenho energético para a edificação.

3.3.3 Desenvolvimento do protótipo

Para explorar a aplicabilidade da IDEEA no processo de projeto, foram desenvolvidas quatro etapas, utilizadas como parte deste estudo, e que serão mais bem detalhadas na seção 4 desta pesquisa:

- a) Preparação do modelo virtual;
- b) Processamento das informações;
- c) Cálculo das Equações recomendadas pelo RTQ-R / Inmetro;
- d) Apresentação dos resultados.

A ferramenta IDEEA foi desenvolvida pela integração sistemática dessas etapas para proporcionar uma exploração eficiente no processo de projeto, auxiliando o projetista desde as fases iniciais do processo. Conforme demonstrado na Ilustração 41, o protótipo desenvolvido foi melhorado com base nas observações das etapas de demonstração, avaliação e comunicação.

3.3.4 Realização de testes

Dois situações de testes foram realizadas para para aplicação da ferramenta e aferição dos resultados apresentados, onde serão feitas observações referentes ao processo de projeto. Nesses testes foram determinados por duas outras diferentes tipologias construtivas (sobrado e apartamento), além da edificação térrea usada na construção do protótipo. Isto permitiu uma validação da ferramenta em distintos modelos arquitetônicos típicos de habitações de interesse social, e que foram

largamente usados no programa do governo federal MCMV (Minha Casa Minha Vida). A escolha pelo programa habitacional deve-se à grande escala de empreendimento nos últimos anos, o que traz um grande impacto no uso de energia elétrica.

Foram feitas alterações nos projetos originais, buscando diversas situações de projeto e resultados alternados de desempenho energético.

3.3.5 Processo de avaliação

Os resultados dos experimentos foram avaliados e analisados com relação a operação, precisão e como instrumento de suporte ao projeto, onde serão avaliados os resultados encontrados, ajustando-se a ferramenta para sua melhor adequação.

Com o intuito de que esse processo tenha um respaldo quanto a sua utilização, foi programado um curso de extensão com um treinamento e aplicação da ferramenta para profissionais que atuam com projetos, e para alunos de arquitetura e urbanismo.

Para a realização do curso, é necessária aprovação do comitê de ética da universidade de um projeto de pesquisa com o detalhamento das condições programadas, especificando os objetivos, hipótese, local de realização, população a ser estudada, garantias éticas aos participantes, método a ser utilizado, cronograma, critério de inclusão ou exclusão de participantes, riscos e benefícios envolvidos na execução da pesquisa, entre outros aspectos. Tal projeto foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), pela Plataforma Brasil no dia 9/10/2018, sendo aprovado em 4/4/2019 com o Nº do CAAE: 02846918.7.0000.5013.

O curso de extensão será realizado com um grupo de no mínimo dez voluntários, constituído por arquitetos, professores e alunos do curso de arquitetura e urbanismo da Universidade Federal de Sergipe, *Campus Laranjeiras*, não havendo restrições de sexo, etnia ou idade.

Explicações detalhadas sobre os testes de avaliação são apresentadas na seção 5.

3.3.6 Comunicação com a comunidade

A ferramenta desenvolvida e os resultados dessa pesquisa foram apresentados para a comunidade científica em revistas e conferências da área. Espera-se receber críticas e sugestões para aprimorar a avaliação da mesma.

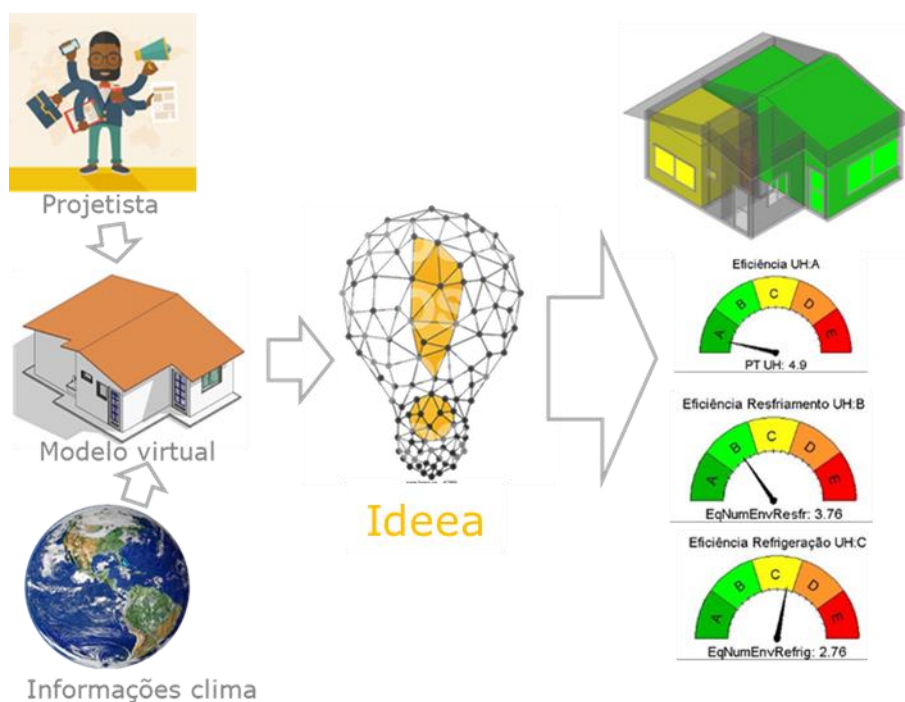
4 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

No desenvolvimento do protótipo, os objetivos da ferramenta IDEEA foram definidos com base no conhecimento reunido na revisão da literatura, para abordar o problema identificado, considerando os métodos disponíveis, da seguinte forma:

- capacidade de fornecer respostas para as soluções de projeto propostas, para o desempenho energético do edifício residencial, com o objetivo de suporte à tomada de decisão nas fases iniciais do processo de elaboração projeto arquitetônico desenvolvido no ambiente BIM;
- capacidade de ser adaptada a amplas possibilidades de cenários de projeto;
- facilmente utilizada por arquitetos durante o processo de projeto.

Na Ilustração 42 está apresentado um esquema geral do fluxo de trabalho da ferramenta. Nele, constam as informações técnicas de projeto, geometria e clima sendo alimentadas pelo projetista na modelagem virtual, sendo processado na ferramenta IDEEA, e os resultados extraídos na sequência pelo *Revit*.

Ilustração 42 - Fluxo geral do de trabalho do processo de projeto com a IDEEA



Fonte: Autor, 2018.

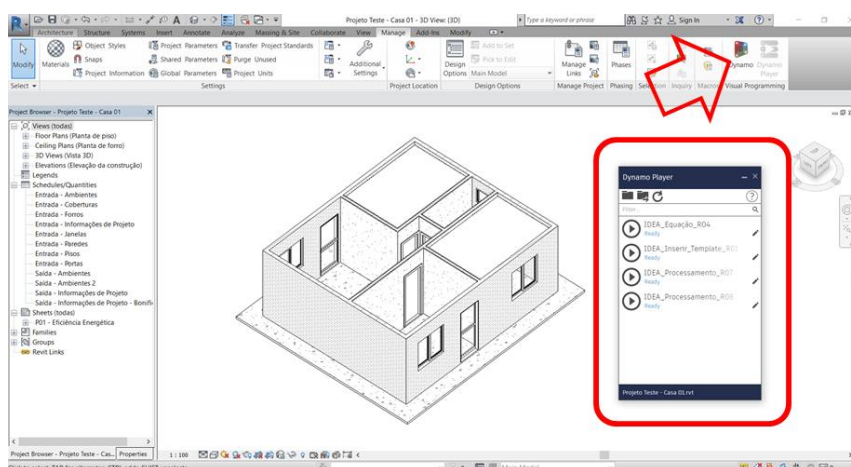
A estrutura da ferramenta foi projetada para abordar esses objetivos nessa etapa de desenvolvimento da pesquisa, porém deverá ser melhorada algumas vezes nas fases de validação e demonstração do protótipo, com base na nossa percepção dos resultados encontrados e nos comentários recebidos.

4.1 IDEEA – Incorporando a Avaliação de Eficiência Energética na Arquitetura

O fluxo de trabalho da ferramenta IDEEA foi elaborado pensando em se adequar ao processo de projeto dos arquitetos no BIM, e ser implementado nas fases iniciais do projeto, fornecendo suporte às etapas de desenvolvimento e concepção.

Essa estrutura é desenvolvida no topo de a ferramenta BIM de modelagem virtual mais amplamente utilizada no país, que é o *Autodesk Revit* na versão 2019, ilustrado na Ilustração 43, sua linguagem de programação visual (VPL) *Dynamo* (2.0), e na linguagem de programação *Python*⁶, para integrar a informação armazenada no modelo virtual paramétrico e simular o desempenho energético do edifício, e fornecer respostas de desempenho mais acessíveis no processo de projeto.

Ilustração 43 - Tela do Revit com o botão do Dynamo (alto, à direita) e tela do Dynamo Player aberto

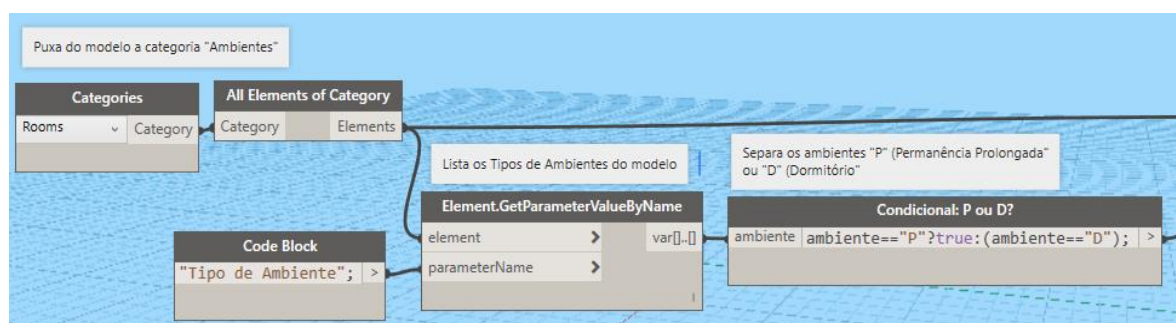


Fonte: Autor, 2018.

⁶ *Python* é uma linguagem de programação criada por Guido van Rossum em 1991, com o objetivo de produtividade e legibilidade, que foi criada para produzir código bom e fácil de manter de maneira rápida ("*Python: O que é? Por que usar?*" - PyScience-Brasil", [S.d.]).

Dynamo é uma aplicação de programação visual, de código aberto, que interage com o *Revit* a fim de ampliar seus recursos paramétricos, para o nível de projeto do BIM. Ele também fornece um ambiente apropriado para criar pacotes personalizados, usando *scripts* e compartilhá-lo com outros usuários. Na Ilustração 44 pode ter a noção do que é uma parte de um *script* da linguagem de programação visual *Dynamo*, com os seus nós de comandos (caixas cinza) e suas linhas de conexão entre eles, que constituem um comando para uma determinada ação que o programa vai realizar. Nesse exemplo, os nós estão com textos explicativos inseridos pelos autores para uma melhor compreensão da programação.

Ilustração 44 - Parte de um *script* do *Dynamo* com seus Nós



Fonte: Autor, 2018.

Na programação foram utilizados inicialmente pacotes de nós externos de outros usuários, como o *archi-lab.net* (2016.13.4), *Clockwork dor Dynamo 1.x* (1.03), e *Spring nodes* (121.0.2), e foram importantes para resolverem certas operações que se teria maior dificuldade de processamento para solucionar com os comandos internos. Esses pacotes de nós são *scripts* já desenvolvidos por outros programadores para se fazer determinadas funções, disponibilizados de forma gratuita.

Para a execução dos programas, usa-se o aplicativo *Dynamo player*, que funciona de forma auxiliar ao *Dynamo*, e possibilita ao usuário executar os *scripts* sem a necessidade de abrir o arquivo (*dyn*). No item 2.4.4 acham-se descritos com mais detalhes os conceitos e funcionamento da linguagem de programação visual.

A estrutura teórica da IDEEA baseia-se na integração de BIM, modelagem paramétrica, e programação visual, por um lado, e na interação

com os projetistas, por outro lado. Na Ilustração 45 podem ser observadas as etapas de implantação da ferramenta, que seguem um fluxo de trabalho com o objetivo de fornecer suporte para uma melhor tomada de decisão, visando edifícios com melhor desempenho energético.

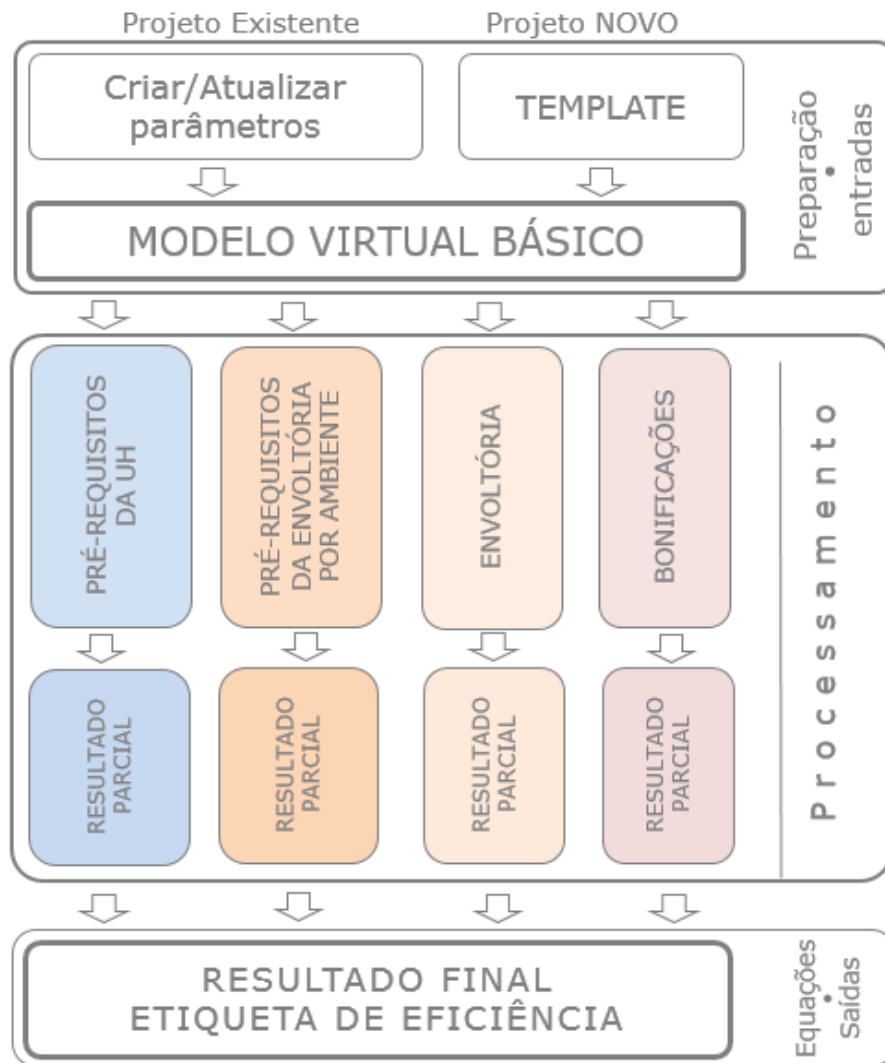
Ilustração 45 - Processo de implantação das etapas, ações e programas / aplicativos usados no fluxo de trabalho IDEEA



Fonte: Autor, 2017.

A ferramenta IDEEA está configurada na Ilustração 46, e caracterizada em três fases: (i) Preparação / Entradas, (ii) Processamento, e (iii) Equações / Saídas, para uma melhor compreensão e uso durante processo de projeto. Essas fases são descritas logo a seguir. A 1ª Etapa - Preparação do Modelo Virtual e Entrada de informações – é a fase em que são inseridas as informações necessárias para o processamento dos dados. Para realização na preparação do modelo virtual, foram pensados dois caminhos diferentes, e para cada um deles, foram desenvolvidas rotinas para auxílio ao projetista.

Ilustração 46 - Fluxograma geral da ferramenta IDEEA



Fonte: Autor, 2017.

O projetista pode iniciar um projeto novo, a partir do começo do processo, ou pode ter iniciado em um arquivo próprio, um projeto existente, sendo necessária uma atualização dos parâmetros usados para o processamento:

a) PROJETO NOVO – para a construção de um modelo virtual, a partir de um projeto inicial, com as informações necessárias para o processamento dos dados, foi desenvolvido o IDEEA.template (rte) para um arquivo *Revit*, onde estão inseridos os parâmetros necessários para a entrada de dados e a concepção da geometria do projeto. No IDEEA.template, constam os seguintes componentes:

- Famílias de sistema (paredes, pisos, forros, coberturas) – com os parâmetros de informações necessários, descritos no tópico adiante;
- Famílias de carregáveis⁷ (portas, janelas, anotações de bonificação e pré-requisitos, relógio de análise de desempenho) – com os parâmetros de informações necessários, descritos no tópico adiante;
- Tabelas de entrada e saída de dados – preparadas para a entrada dos dados necessários e demonstração dos resultados calculados;
- Esquema de cores para análise de eficiência – para melhor visualização dos resultados calculados;
- Parâmetros de ambiente – com os parâmetros de informações necessários, descritos no tópico adiante;
- Parâmetros de informações de projeto – com os parâmetros de informações necessários, descritos no tópico adiante.

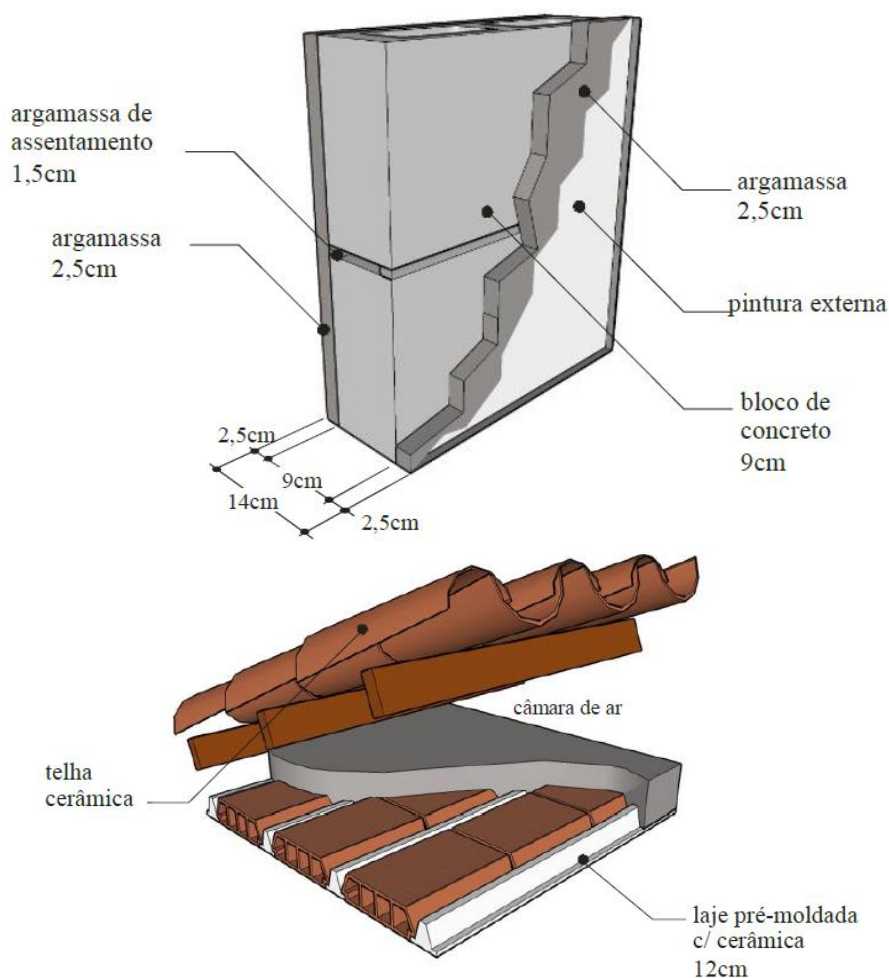
No template foram disponibilizados modelos mais comuns de parede para a realidade da região nordeste, de acordo com o Anexo V da Portaria INMETRO Nº50/2013 (Catálogo de Propriedade Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros), e os modelos escolhidos foram os de número 01 (Ilustração 47), 05, 09, 14, 18, 19, 22, 23, 25, 31, 33, 34, 37, 39, 38 e 40, com valores de absorvância solar definidos para a pintura externa das paredes relativos à cor branca foram selecionadas de acordo com a Tabela B.2 do Anexo B da NBR 15220-2 (ABNT, 2003b).

Para os elementos de cobertura (telhados, forros e pisos/lajes), também foram criados alguns modelos usuais no país, e de acordo com o Anexo V da Portaria INMETRO Nº50/2013 (Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros), item “b”, e Tabela D.4 do Anexo D da NBR 15220-3; modelos escolhidos do Anexo do INMETRO: 01, 02, 04, 05 (Ilustração 47), 06, 08, 09, 10, 11, 13, 17, 19, 28, 29, 20, 31; do anexo da NBR: 01 (Telha Cerâmica) e 02 (Telha Fibrocimento); valores de absorvância solar definidos para pintura externa na cor branca foram selecionadas de acordo com a Tabela B.2 do Anexo B da NBR 15220-2; e

⁷ A *Autodesk Revit* define as famílias como três tipos: de sistema, carregáveis e modeladas no local (AUTODESK. HELP, [S.d.]).

valores de refletância dos tetos definidos a partir da Tabela 2 do Manual de Iluminação PROCEL EPP.

Ilustração 47 - Modelo de parede 01 e cobertura 05, disponibilizado no template IDEEA



Fonte: ABNT, 2003.

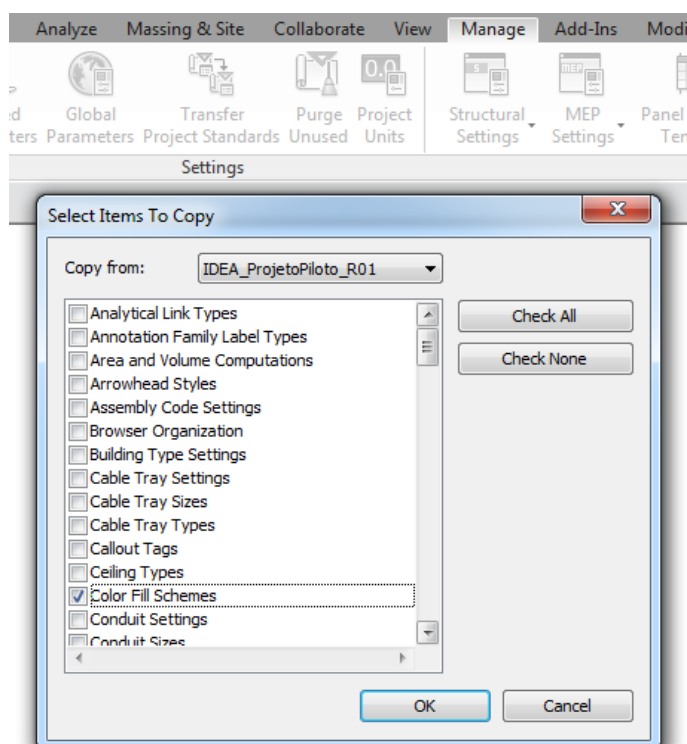
Foram criadas famílias de portas e janelas, mais usuais, com os parâmetros de fatores de iluminação e ventilação das esquadrias inseridos de acordo com a Tabela de Descontos das Esquadrias do Anexo II do Manual de Aplicação do RTQ-R. No tópico 4.2 serão detalhadas as informações e os parâmetros usados no modelo virtual.

b) PROJETO EXISTENTE – para modelagem virtual, a partir de um projeto existente, quando já foi iniciada em um arquivo sem os parâmetros e esquemas necessários, ou que foi gerado a partir de um template próprio do projetista, sem as informações necessárias para o processamento dos

dados, foi desenvolvido um *script* (IDEEA.inserir_template) para inserir as informações e parâmetros do no arquivo Revit.

O processo deve ser complementado com a transferência do esquema de cores do arquivo IDEEA.Template para o arquivo que será usado para concepção do modelo virtual. Tais informações devem ser passadas ao modelo, com o comando no *Autodesk Revit* “Transferir normas de projeto” na aba Gerenciar (*Manage*), apresentado na Ilustração 48.

Ilustração 48 - Tela do Revit para preenchimento de esquema de cores



Fonte: Autor, 2017.

Nesse processo são inseridos os mesmos parâmetros descritos na situação anterior, de projeto novo. Para a conclusão dessa etapa, é necessário o início do processo de projeto, concepção e geração do modelo virtual, com a entrada das informações necessárias para o processamento dos dados, que são detalhadas a seguir, no tópico 4.2. Todo o processo que adiante depende da qualidade das informações inseridas nessa etapa, e o modelo deve conter todas as informações relacionadas ao edifício, em especial as características das vedações e dos ambientes.

Foram elaboradas algumas tabelas, onde podem ser visualizadas as informações necessárias dentro do *Revit*, e entrada das mesmas, conforme estão ilustrados no APÊNDICE A - TABELAS UTILIZADAS NA ENTRADA DE DADOS DA MODELAGEM, e apresentadas a seguir:

- Tabela de Informações de Projeto (Entradas);
- Tabela de Ambientes (Entradas);
- Tabela de Coberturas (Entradas);
- Tabela de Forros (Entradas);
- Tabela de Pisos (Entradas);
- Tabela de Janelas (Entradas);
- Tabela de Portas (Entradas).

O projetista precisa atentar para o preenchimento de todas as informações necessárias para o processamento, sob o risco do aplicativo acusar mensagens de erro durante essa fase, pois a presença de todas as informações é essencial para o cálculo, e precisão dos resultados.

A 2ª Etapa - Processamento dos dados – é para processar as informações inseridas no projeto modelado na fase anterior e cálculo das variáveis do processo, foi desenvolvido o *script* IDEEA.processamento, que é responsável por buscar as informações necessárias, presentes na modelagem do projeto no *Revit*, fazendo a captura, processando os dados e gravando de volta no modelo virtual os resultados processados.

Esse processamento envolve a verificação dos dados inseridos, do atendimento aos pré-requisitos da UH e da Envoltória, das variáveis da envoltória dos ambientes de permanência prolongada e das bonificações. O *script* alimenta os parâmetros dos ambientes e de informações de projeto, salvando essas informações no arquivo da modelagem *Revit*, para realizar os cálculos das equações na fase seguinte do processo IDEEA.

Nessa fase são levantadas informações importantes no processamento e equações, tais como: norte verdadeiro de projeto, orientação das esquadrias, zona bioclimática (Brasil), região geográfica, geometria dos ambientes, paredes, esquadrias, forros e coberturas, pé-

direito e volume do ambiente, características térmicas das componentes paredes, forros e coberturas, além de outras.

A 3ª Etapa - Equações e saídas – no *script* IDEEA. Equações são realizados os cálculos das variáveis que determinam a eficiência dos ambientes de permanência prolongada, da envoltória e da Unidade Habitacional. São coletadas as informações geradas na etapa anterior de processamento, e alimentadas nas equações de acordo com a zona bioclimática (ZB), junto com uma relação de constantes que compõem a equação, como demonstrado na Ilustração 49.

Ilustração 49 - Equação 3.21, indicador GHR da ZB8

$$\begin{aligned} \text{GHR} = & (a) + (b * \text{somb}) + (c * \alpha_{\text{cob}}) + (d * \alpha_{\text{par}}) + (e * \text{CT}_{\text{baixa}}) + (f * P_{\text{ambO}}) + (g * \text{solo} * \\ & \text{AU}_{\text{amb}}) + (h * \text{AP}_{\text{ambL}} * U_{\text{par}} * \alpha_{\text{par}}) + (i * P_{\text{ambN}}) + (j * \text{pil} * \text{AU}_{\text{amb}}) + (k * \text{AAbO} * (1 - \text{somb})) + \\ & (l * F_{\text{vent}}) + (m * \text{AAbS} * (1 - \text{somb})) + (n * U_{\text{cob}} * \alpha_{\text{cob}} * \text{cob} * \text{AU}_{\text{amb}}) + (o * \text{cob} * \text{AU}_{\text{amb}}) + (p \\ & * \text{AbN}) + (q * \text{AP}_{\text{ambN}}) + (r * \text{AP}_{\text{ambS}}) + (s * P_{\text{ambL}}) + (t * \text{AP}_{\text{ambN}} * U_{\text{par}} * \alpha_{\text{par}}) + (u * \text{AbL}) + (v \\ & * \text{PD}/\text{AU}_{\text{amb}}) + (w * \text{solo}) + (x * \text{SomA}_{\text{par}}) + (y * \text{AP}_{\text{ambO}} * U_{\text{par}} * \alpha_{\text{par}}) + (z * \text{CT}_{\text{cob}}) + (\text{aa} * \\ & \text{CT}_{\text{alta}}) + (\text{ab} * U_{\text{cob}}) + (\text{ac} * \text{AP}_{\text{ambL}} * \alpha_{\text{par}}) + (\text{ad} * P_{\text{ambS}}) + (\text{ae} * \text{pil}) + (\text{af} * \text{AAbL} * (1 - \text{somb})) \\ & + (\text{ag} * \text{AAbN} * \text{somb}) + (\text{ah} * \text{PD} * \text{AU}_{\text{amb}}) + (\text{ai} * \text{A}_{\text{parInt}}) + (\text{aj} * \text{AU}_{\text{amb}}) + (\text{ak} * \text{AAbN} * F_{\text{vent}}) \\ & + (\text{al} * \text{AAbS} * F_{\text{vent}}) + (\text{am} * \text{AAbL} * F_{\text{vent}}) + (\text{an} * \text{AbS}) \end{aligned}$$

Fonte: ELETROBRÁS *et al.*, 2012.

As constantes são inseridas nas equações, apresentadas na Ilustração 50, de acordo com a zona bioclimática, e são efetuados os cálculos necessários a partir do valor de GHR.

Ilustração 50 - Constantes da Equação 3.21

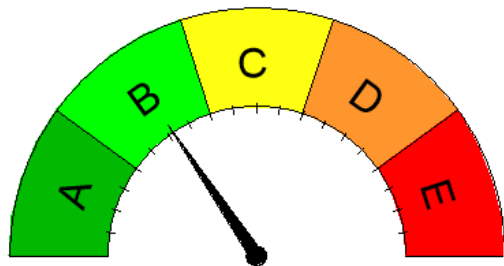
a	4957,7051	k	267,5110	u	-1089,0840	ae	-398,7255
b	-4358,3120	l	-1923,1450	v	4861,2191	af	66,4689
c	3875,5023	m	-135,5828	w	-703,1389	ag	-40,6794
d	4833,6329	n	76,0281	x	-3,4004	ah	-78,9077
e	2649,1399	o	-21,8897	y	55,4737	ai	59,9755
f	2224,2664	p	-1503,2234	z	-0,3847	aj	152,9115
g	-19,6341	q	-31,3561	aa	338,3054	ak	98,2787
h	40,0109	r	106,7381	ab	-556,2222	al	112,5051
i	3128,2421	s	1524,3703	ac	91,9860	am	93,0504
j	-15,3035	t	41,4009	ad	340,0819	an	-586,4518

Fonte: ELETROBRÁS et al., 2012.

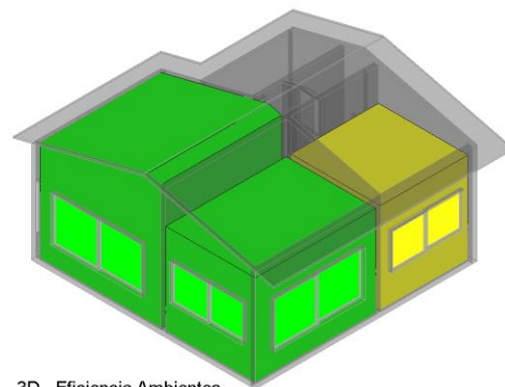
A partir dos resultados encontrados, são calculados os valores de equivalentes numéricos e as eficiências dos ambientes e envoltória, e são geradas tabelas com resultados, modelos 3D, para facilitar a análise dos dados, e componentes de anotação, apresentados na Ilustração 51.

Ilustração 51 - Componente de anotação Relógio de Eficiência e Vista 3D

Eficiência Resfriamento UH:B



EqNumEnvResfr: 3.76

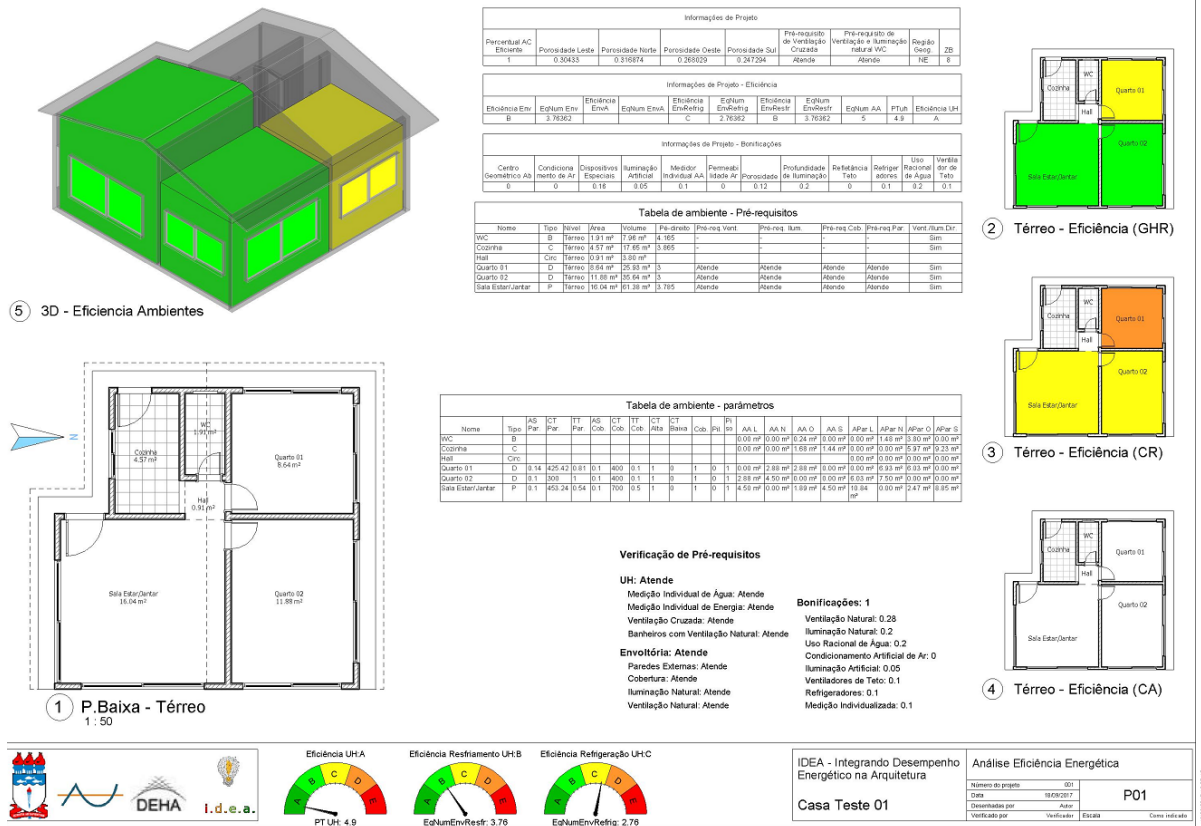


3D - Eficiência Ambientes

Fonte: Autor, 2017.

Os resultados calculados podem ser manipulados para serem expostos de acordo com as preferências dos projetistas, e apresentadas ou não em pranchas específicas, conforme Ilustração 52, mediante tabelas de dados, planta com esquemas de cores, e os componentes de medição criados.

Ilustração 52 - Modelo de prancha de apresentação dos resultados encontrados



Fonte: Autor, 2017.

4.2 Programação e construção do protótipo

Neste item está detalhada a etapa de programação da ferramenta, no qual foi utilizada a VPL Dynamo, e posteriormente a linguagem de programação Python, para a construção do protótipo da ferramenta. Foram criados três *scripts* usados para a integração do desempenho energético no processo de projeto, como demonstrado no Fluxograma Geral da IDEEA, Ilustração 46.

Esta pesquisa deverá ser encaminhada para fazer o registro de propriedade intelectual da ferramenta com o intuito de garantir direitos legais e segurança.

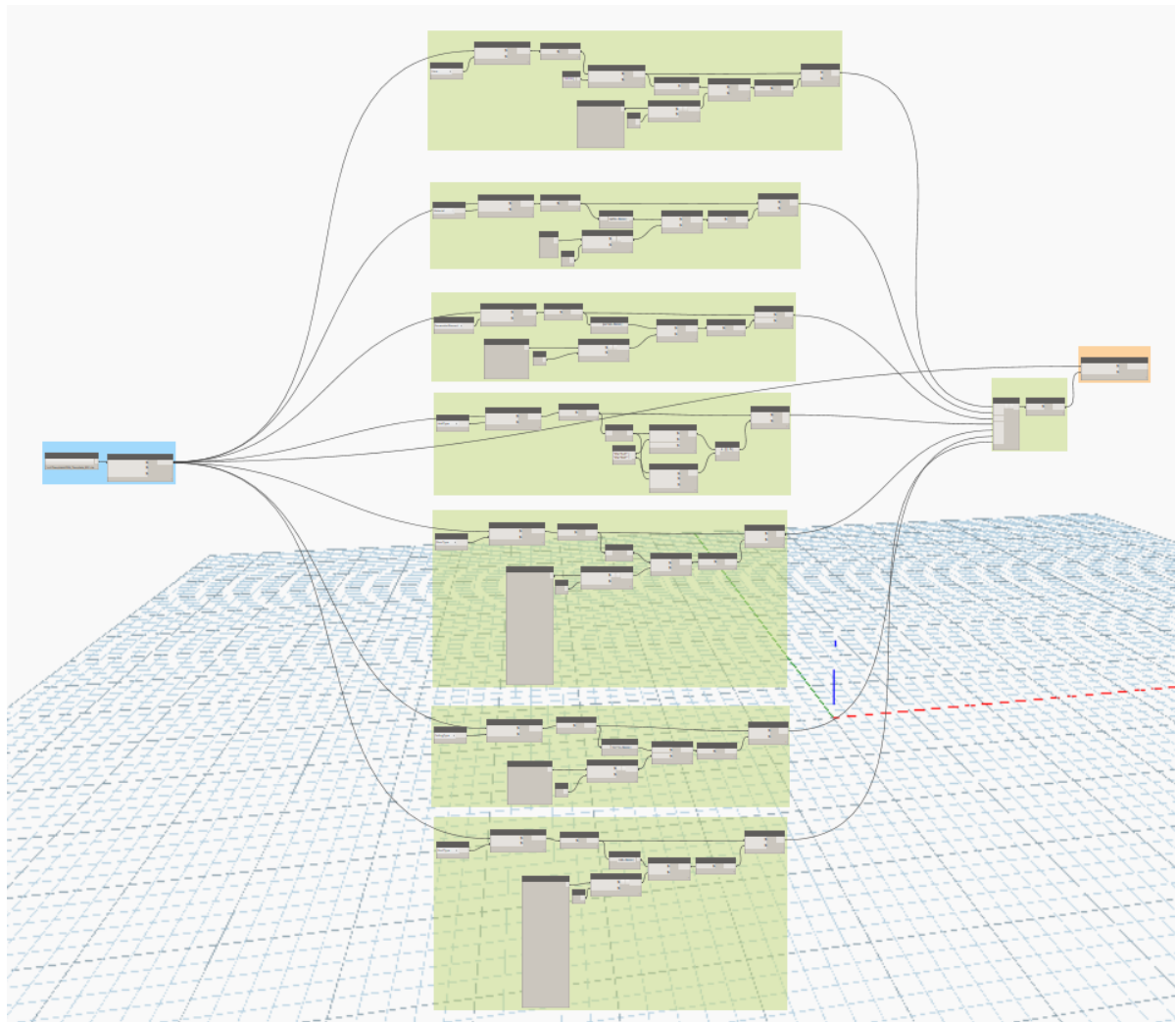
Considerando que confidencialidade é imprescindível para a tramitação dos pedidos de proteção junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial, além de ser um meio capaz de impedir que terceiros

se apoderem de forma ilegítima da intelectualidade gerada nesta instituição e por isso é uma preocupação da comunidade universitária.

Desta forma os códigos de programação não serão totalmente expostos nesse trabalho, para que seja garantida a confidencialidade necessária para a tramitação do pedido. A intenção é garantir a propriedade intelectual da ferramenta até o registro do *software*, e ao final desse processo, fazer a divulgação para uso livre pelos interessados.

4.2.1 IDEEA_Inserir_Template

O *script* IDEEA_Inserir_Template (Ilustração 53) é utilizado quando é necessário ajustar os parâmetros do arquivo *Revit* (*rvt*) para que a modelagem possa carregar as informações necessárias, e também prepara o modelo virtual com os campos gravação dos dados calculados nos *scripts* de processamento e equações. Essa tarefa demandaria um certo tempo e maior conhecimento no programa (*Revit*) a fim de que o arquivo ficasse preparado para receber os dados, e foi pensado para que pudesse minimizar os erros decorrentes dessa operação, além de facilitar o processo.

Ilustração 53 - *Script Dynamo IDEEA_Inserir_Template*

Fonte: Autor, 2018.

O funcionamento desse *script* é mais simples que os demais pois não envolvem coleta e preparação dos dados, e processamento de cálculos; apenas grava os parâmetros no arquivo *Revit* que está aberto naquele momento pelo programa.

O *Dynamo* vai buscar no arquivo *template*, em uma pasta definida, as informações dos parâmetros que devem ser configurados: vistas, materiais de representação, parâmetros de informações de projeto e ambientes, tipos de paredes, forros, coberturas e pisos. Esse *script* deve ser executado na primeira vez em que se for atualizar o arquivo do modelo virtual, e apenas se a modelagem não partiu do *template* pré-configurado.

4.2.2 IDEEA.Processamento

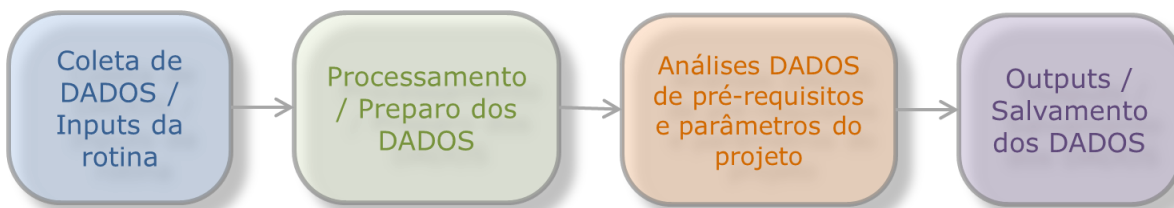
Para processar as informações inseridas, e cálculo das variáveis do processo, foi desenvolvido o *script* IDEEA_Processamento_R10 (ver APÊNDICE D – PROGRAMAÇÃO DOS *SCRIPTS*), que é responsável por capturar os dados no modelo do projeto no *Revit*, filtrando, processando e organizando as informações e salvando no mesmo arquivo os resultados processados.

Inicialmente são analisados o atendimento aos pré-requisitos da UH - unidade habitacional: a medição individual de água e energia, ventilação cruzada e banheiros com ventilação. Em um segundo momento, o atendimento aos pré-requisitos da envoltória - paredes, cobertura, iluminação e ventilação natural.

Nessa fase são calculados para os ambientes de permanência prolongada características térmicas das paredes e coberturas (absortância solar (AS), transmitância térmica (TT) e capacidade térmica (CT)), CT Baixa e Alta, área das paredes e aberturas por orientação do norte, porosidade e abertura das fachadas, área das paredes internas, pé-direito, fator de ventilação (Fvent) e sombreamento das esquadrias, profundidade de iluminação, e refletância do teto.

O IDEEA_Processamento como demonstra o fluxograma apresentado na Ilustração 54, faz a coleta dos dados presentes no modelo virtual, faz uma filtragem e organização inicial, processando e verificando a integridade das informações, preparando sequencialmente para serem usadas nos cálculos dos parâmetros de projeto, e por fim salva os dados processados no mesmo arquivo de modelagem *Revit*, sendo esse um fator importante nesse processo, pois não é necessária a criação de arquivos auxiliares, e todas as informações de todo o processo ficam numa única base de dados, facilitando o seu manuseio.

Ilustração 54 - Fluxograma do *script* IDEEA_Processamento

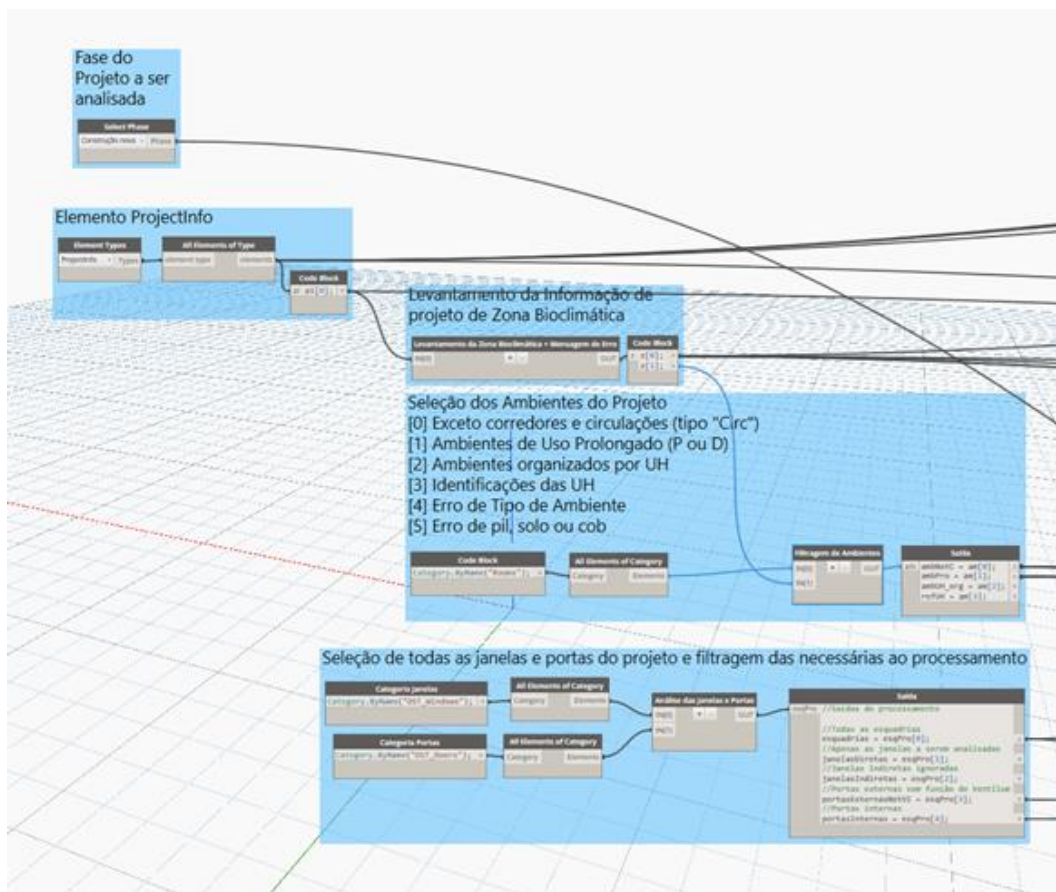


Fonte: Autor, 2018.

Na programação utilizam-se cores para facilitar a organização, agrupando operações, e leitura dos *scripts*, e permitindo a edição mais facilmente.

Na Ilustração 55, está apresentado parte da programação dos códigos, sendo mostrado os grupos azuis de nós da rotina processamento, que representam o trecho do *script* que é responsável pela coleta das informações do Projeto, como a Zona Bioclimática, lista de Janelas, Portas e Ambientes.

Ilustração 55 – Grupo de rotinas de coleta de informações no modelo virtual

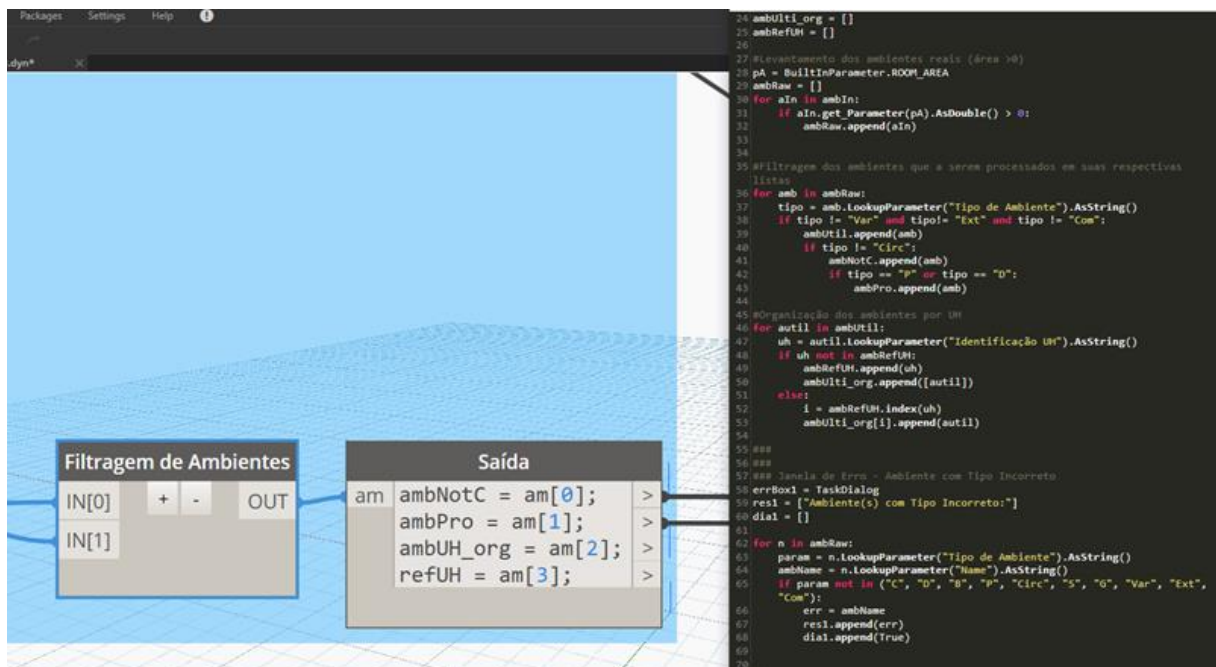


Fonte: Autor, 2018.

A estrutura dessas listas⁸ de elementos é fundamental para o processamento da ferramenta, pois é a partir destas que se garante a correta organização dos dados que coletados e produzidos.

Além dos nós nativos do Dynamo, também são utilizados nós especiais que permitem escrever *scripts* diretamente na linguagem de programação Python. Isso permite uma maior velocidade na execução da rotina como um todo, devido a uma menor alocação de dados à memória do sistema. Também permite o acesso a funções diretamente da API do Revit, sem depender dos nós existentes no Dynamo ou de Pacotes externos, ampliando ações e garantindo a independência da ferramenta de instalações extras. Por ser uma linguagem escrita, o Python permite também maior facilidade na execução de rotinas de iteração sobre listas e análises condicionais sobre os respectivos itens das listas. Na Ilustração 56 é possível perceber a diferença dos nós do Dynamo (caixa cinza) e o texto de programação em Python (fundo preto).

Ilustração 56 - Trecho do script escrito em linguagem escrita de programação



Fonte: Autor, 2018.

⁸ Uma lista é uma coleção de elementos ou itens. No Dynamo, os dados da lista são ordenados e o primeiro item de cada lista tem um índice "0". ("What's a List | The Dynamo Primer", [S.d.]

A seguir um exemplo (Ilustração 57) do trecho das linhas 35 a 43 do script Python da ilustração anterior.

Ilustração 57 - Trechos escrito em Python

```
#Filtragem dos ambientes que a serem processados em suas respectivas listas
for amb in ambRaw:
    tipo = amb.LookupParameter("Tipo de Ambiente").AsString()
    if tipo != "Var" and tipo != "Ext" and tipo != "Com":
        ambUtil.append(amb)
    if tipo != "Circ":
        ambNotC.append(amb)
    if tipo == "P" or tipo == "D":
        ambPro.append(amb)
```

Fonte: Autor, 2018.

Este trecho é responsável pela classificação dos ambientes do projeto, carregados em uma lista, em outras listas que serão processadas adiante na ferramenta. Na primeira linha os operadores "**for (...) in (...):**", ou seja, "**para cada (...) em (...):**", indicam que para cada item da lista de ambientes coletados do projeto, serão executados as operações das linhas seguintes. A primeira operação é atribuir à variável "*tipo*" o valor do parâmetro "*Tipo de Ambiente*", presente em todos os ambientes.

A linha seguinte verifica se (com o operador **if**) o valor da variável "*tipo*" do ambiente analisado não é igual (com o operador condicional "**!=**") aos valores "*Var*", "*Ext*" ou "*Com*", que correspondem aos indicadores de Varanda, Área Externa e Área Comum, respectivamente. Caso esta condição seja verdadeira, o ambiente é adicional à lista "*ambUtil*", que posteriormente servirá para o cálculo da área útil da Unidade Habitacional.

Os ambientes que atendem à condição anterior agora são testados, na linha seguinte, para verificar se não são do tipo Circulação. Os que atendem a esta nova condição são adicionados à lista "*ambNotC*", para posterior processamento, e seguem para o exame condicional da próxima linha.

Por fim, os ambientes que atendem a todas as condições anteriores passam mais uma vez por um operador condicional **if** para verificar se seu tipo é "*P*" (prolongado) ou "*D*" (dormitório). Os que atendem a essa

condição são adicionados à lista “*ambPro*”, que armazena todos os ambientes de uso prolongado para posterior processamento na ferramenta.

É importante destacar que a continuidade dessas análises condicionais acontece em camadas, sendo uma condicional aplicada sobre o resultado da sua anterior.

A utilização de scripts em Python permite o acesso direto a funções da *API* do Revit. Isso significa que é possível acessar dentro da rotina no Dynamo as funções, propriedades e elementos do Revit sem depender apenas dos nós que acompanham o Dynamo (que não cobrem todas as funcionalidades possíveis) ou instalados a partir de pacotes externos (que criam dependências desnecessárias para a implantação pelo usuário).

Na Ilustração 58, foi usado a função *TaskDialog*, responsável pela criação de janelas na tela do Revit, para exibir mensagens de erro para o usuário, indicando o que o causa e o que deve ser feito para solucionar.

Ilustração 58 - Rotina para geração de mensagens de alerta no Revit



Fonte: Autor, 2018.

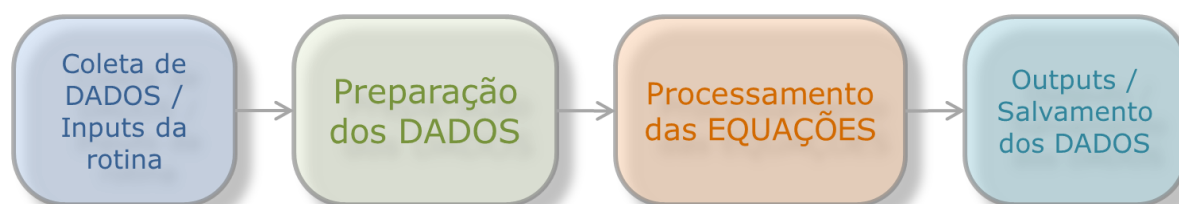
4.2.3 IDEEA.Equações

No *script* *IDEEA_Equação* (ver APÊNDICE D – PROGRAMAÇÃO DOS *SCRIPTS*) são realizados os cálculos das variáveis que determinam a eficiência dos ambientes de permanência prolongada, da envoltória e da

Unidade Habitacional. Nesse momento são coletadas as informações geradas na fase anterior, e alimentadas nas devidas equações de acordo com a sua zona bioclimática (ZB), junto com uma relação de constantes que compõem a equação, como GHR (indicador de Graus-hora de Resfriamento), CA (Coeficiente de aquecimento) e CR (Coeficiente de Refrigeração).

O fluxograma do *script* na Ilustração 59 demonstra as etapas para execução das ações de cálculos das equações: primeiramente são coletados os dados da modelagem (arquivo *Revit*), que são preparados e organizados para a etapa seguinte de processamento das Equações, e o cálculo das bonificações. Por último, as informações são salvas no arquivo origem, e alimentados os componentes de anotações (Relógios e tabelas).

Ilustração 59- Fluxograma do *script* IDEEA_Equações



Fonte: Autor, 2018.

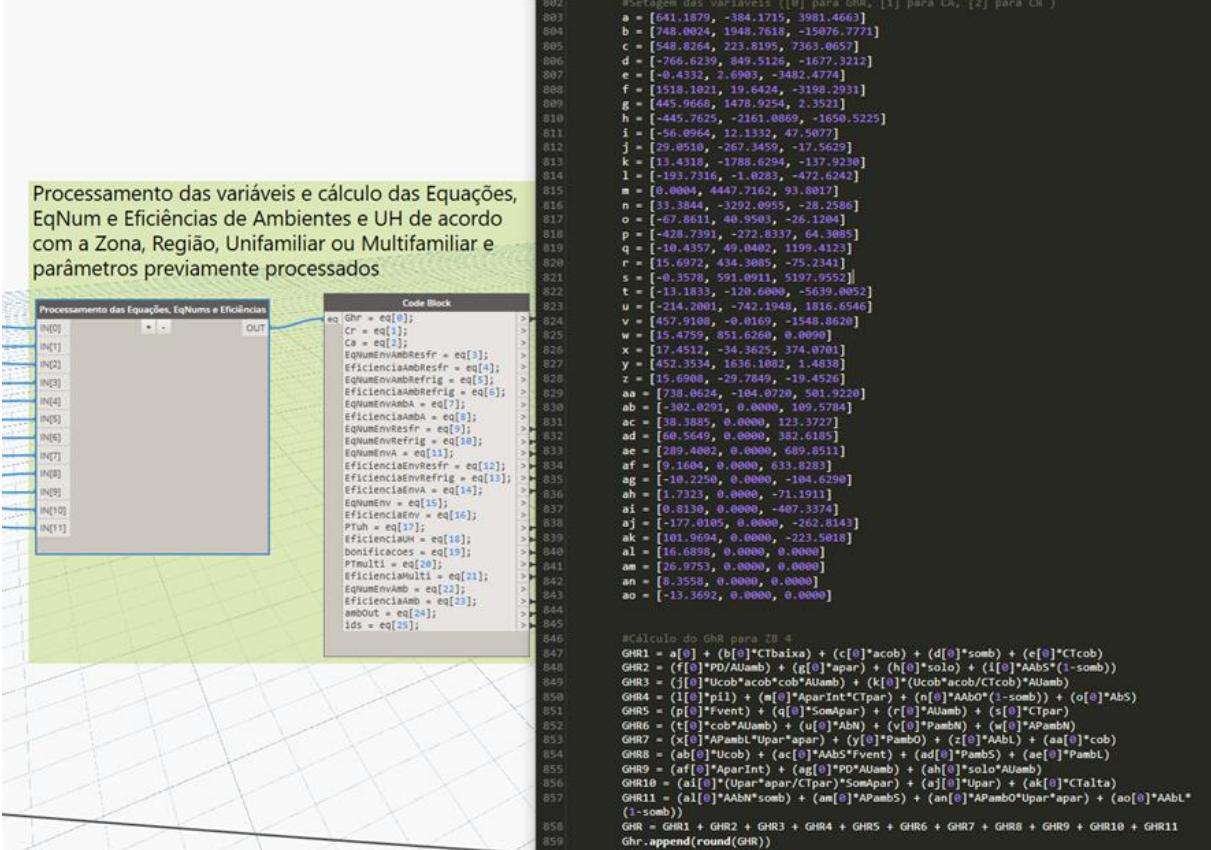
Optou-se pelo uso de elementos gráficos para facilitar a análise dos resultados e a tomada de decisão. Em ambos os *scripts*, para a etapa inicial do Projeto Piloto foram usados pacotes de nós prontos, que estão disponíveis nos fóruns virtuais da *Autodesk* e *Dynamo*.

Na sequência do trabalho, verificaram-se alguns problemas de atualização que os pacotes de nós poderiam trazer para o uso no escritório, e a necessidade de atualização, que sempre ocorre com estes. Durante os estudos de caso, descrito no capítulo seguinte, foram refeitos os *scripts* para funcionamento sem os pacotes, e inserção de comandos através da linguagem de programação *Python*.

Na rotina das Equações, foi utilizado um único nó *Python* para realizar todos os cálculos de GHR, CA e CR, aos Equivalentes Numéricos e Eficiências para cada ambiente e/ou unidade habitacional. Neste ponto, entram neste

nó as listas, já propriamente organizadas, de Ambientes e outras informações necessárias para os cálculos.

Ilustração 60 - Rotina de processamento das variáveis e cálculo das Equações



Processamento das Equações, EqNums e Eficiências de Ambientes e UH de acordo com a Zona, Região, Unifamiliar ou Multifamiliar e parâmetros previamente processados

```

802 #Rotina das variáveis [10] para GHR, [1] para CA, [2] para CR
803 a = [641.1879, -384.1715, 3981.4663]
804 b = [748.0024, 1948.7618, -15076.7771]
805 c = [548.8264, 223.8195, 7363.0657]
806 d = [-766.6239, 849.5126, -1677.3212]
807 e = [-0.4332, 2.0903, -3482.4774]
808 f = [1518.1021, 19.6424, -3189.2931]
809 g = [445.9668, 1476.9254, 2.3521]
810 h = [-445.7625, -2161.0869, -1650.5225]
811 i = [-56.0964, 12.1332, 47.5077]
812 j = [29.0510, -267.3459, -17.5629]
813 k = [13.4318, -1788.6294, -137.9230]
814 l = [-193.7316, -1.0283, -472.6242]
815 m = [0.0004, 4447.7162, 93.8017]
816 n = [33.3844, -3292.0955, -28.2586]
817 o = [-67.8611, 40.9503, -26.1204]
818 p = [-428.7391, -272.8337, 64.3085]
819 q = [-10.4557, 49.0402, 1199.4123]
820 r = [15.6972, 434.3085, -75.2341]
821 s = [-0.3578, 591.0911, 5197.9552]
822 t = [-13.1833, -120.6000, -5639.0052]
823 u = [-214.2001, -742.1948, 1816.6546]
824 v = [457.9108, -0.0169, -1548.0620]
825 w = [15.4759, 851.6260, 0.0090]
826 x = [17.4512, -34.3625, 374.0701]
827 y = [452.3534, 1636.1082, 1.4838]
828 z = [15.6908, -29.7849, -19.4526]
829 aa = [738.0624, -104.0720, 501.9220]
830 ab = [-302.0291, 0.0000, 109.5784]
831 ac = [30.3885, 0.0000, 123.3727]
832 ad = [60.5649, 0.0000, 382.6185]
833 ae = [289.4002, 0.0000, 609.0511]
834 af = [9.1604, 0.0000, 633.8283]
835 ag = [-10.2250, 0.0000, -104.6290]
836 ah = [1.7323, 0.0000, -71.1911]
837 ai = [0.8130, 0.0000, -407.3374]
838 aj = [-177.0105, 0.0000, -262.8143]
839 ak = [101.9694, 0.0000, -223.5018]
840 al = [16.6898, 0.0000, 0.0000]
841 am = [26.9753, 0.0000, 0.0000]
842 an = [0.3558, 0.0000, 0.0000]
843 ao = [-13.3692, 0.0000, 0.0000]
844
845
846 #Cálculo do GHR para TB 4
847 GHR1 = a[0] + (b[0]*CTbaixa) + (c[0]*acob) + (d[0]*somb) + (e[0]*CTcob)
848 GHR2 = (f[0]*PD*AUamb) + (g[0]*Upar) + (h[0]*solo) + (i[0]*AAbS*(1-somb))
849 GHR3 = (j[0]*Ucob*acob*cob*AUamb) + (k[0]*(Ucob*acob/CTcob)*AUamb)
850 GHR4 = ((l[0]*pil) + (m[0]*AparInt*CTpar) + (n[0]*AAbO*(1-somb)) + (o[0]*AbS)
851 GHR5 = (p[0]*Fvent) + (q[0]*SomApar) + (r[0]*AUamb) + (s[0]*CTpar)
852 GHR6 = (t[0]*cob*AUamb) + (u[0]*AbN) + (v[0]*PambN) + (w[0]*APambN)
853 GHR7 = (x[0]*APambL*Upar*apar) + (y[0]*PambO) + (z[0]*AAbL) + (aa[0]*cob)
854 GHR8 = (ab[0]*Ucob) + (ac[0]*AAbS*Fvent) + (ad[0]*PambS) + (ae[0]*PambL)
855 GHR9 = (af[0]*AparInt) + (ag[0]*PD*AUamb) + (ah[0]*solo*AUamb)
856 GHR10 = (ai[0]*(Upar*apar/CTpar)*SomApar) + (aj[0]*Upar) + (ak[0]*CTalta)
857 GHR11 = (al[0]*AAbN*somb) + (am[0]*APambS) + (an[0]*APambO*Upar*apar) + (ao[0]*AAbL*(1-somb))
858
859 GHR = GHR1 + GHR2 + GHR3 + GHR4 + GHR5 + GHR6 + GHR7 + GHR8 + GHR9 + GHR10 + GHR11
860 Ghr.append(round(GHR))

```

Fonte: Autor, 2018.

As equações de GHR, CR e CA foram implementadas de maneira semelhante para cada uma das zonas bioclimáticas, onde são definidas as constantes das equações são definidas de acordo com a ZB do projeto.

A divisão das equações organizada em linhas, facilita a sua visualização e verificação de possíveis erros, pois sua estrutura fica semelhante à encontrada no RTQ-R. Essa organização dos códigos de programação ajudou no momento de conferência dos valores de cada constante definidos no Manual do RTQ-R, a qual foram seguidos fielmente.

4.3 Demonstração da ferramenta

A ferramenta IDEEA foi pensada em quatro etapas, para facilitar a utilização pelos projetistas, sendo o uso descrito de forma mais detalhada a seguir.

Ressalta-se que para a utilização da ferramenta, desenvolvida para que seja usada em um aplicativo BIM, o programa de modelagem *Autodesk Revit* na versão 2017.2, e posteriormente atualizado para a versão 2019, onde os projetistas deverão ter um domínio sobre o processo de projeto nessa plataforma. Faz-se necessário que a modelagem virtual da edificação esteja com as informações para atender ao processamento e cálculos dos parâmetros de desempenho energético do RTQ-R, conforme descrito no tópico anterior.

Nas atividades realizadas na pesquisa, foi utilizado nos testes, para demonstração e estudos de caso, um computador pessoal portátil (notebook) com processador Intel I7 8ª geração, 16mb de memória, placa de vídeo dedicada de 4mb, monitor de 15" e disco rígido de 1Tb.

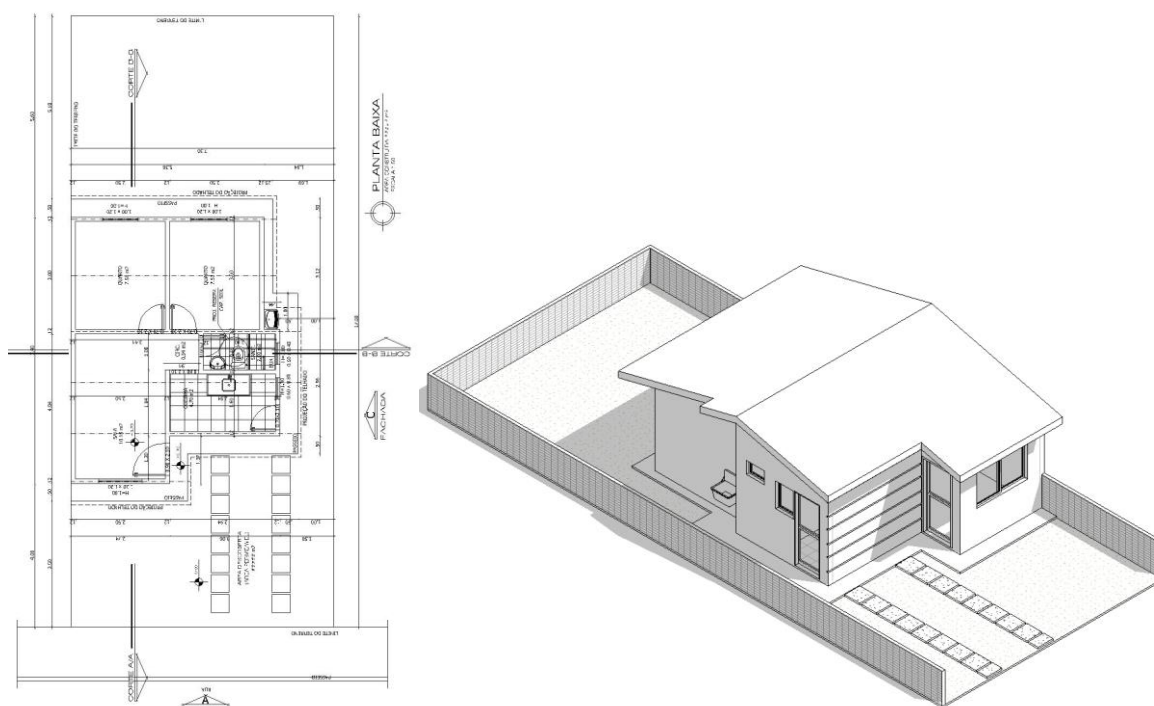
4.3.1 Projeto Piloto

O modelo escolhido para essa primeira etapa de simulação é o de uma edificação residencial unifamiliar: o Modelo (virtual) Base com área construída de 39,36m², similar aos utilizados para habitação de interesse social. A intenção de se utilizar essa tipologia deve-se a ter sido largamente usada e possuir um elevado potencial de impactar o consumo energético.

O projeto está apresentado a seguir na Ilustração 61, e as especificações gerais são descritas nas Tabela 5 e Tabela 6. O programa de necessidades do projeto é composto de três ambientes de permanência prolongada (APP): Sala, Quarto 1 e Quarto 2; dois ambientes de uso transitório: Cozinha e Banheiro; e um ambiente de circulação: Hall.

Vale ressaltar que no projeto piloto usado para as simulações nesta pesquisa, foram modelados apenas os elementos necessários ao processamento dos cálculos e à definição da geometria.

Ilustração 61 - Projeto piloto de arquitetura e modelo virtual usado para testes iniciais da ferramenta



Fonte: Autor, 2017.

Tabela 5- Especificação de material projeto piloto de arquitetura para testes iniciais da ferramenta

Paredes	Bloco de concreto estrutural de 14cm; Exterior: chapisco 0,5cm, massa única 4,5cm, emassamento acrílico branco; Interior: Sala / Quartos / Hall: chapisco 0,5cm, massa única 2,5cm, emassamento pva látex, pintura látex; Banheiro e Cozinha: chapisco 0,5cm, emboço interno 2,5cm, revestimento cerâmico 1,0cm;
Coberta	Telha cerâmica colonial, com estrutura em madeira aparente;
Janelas	Alumínio natural, de correr, com vidro: Sala: 1,20 x 1,20m; Quarto 1: 1,20 x 1,00m; Quarto 2: 1,20 x 1,20m; Cozinha: basculante alumínio natural e vidro, 0,80 x 0,40m;

Banheiro: basculante alumínio natural, 0,60 x 0,40m;

Portas Internas: Madeira lisa, semioca, 0,70 ou 0,80m;
 Externas: Alumínio natural, de abrir, com vidro 6mm:
 Sala: 0,90 x 2,10m;
 Cozinha: 0,70 x 2,10m;

Fonte: Autor, 2017.

Os materiais escolhidos inicialmente para o Modelo Base seguem a especificação geralmente adotada para essas edificações, e nos ensaios realizados serão feitas simulações com alterações nos mesmos, conforme se verá adiante.

Tabela 6 - Características térmicas materiais do projeto piloto

	Refletância	Absortância Solar	Capacidade Térmica (J/m²K)	Transmitância Térmica
Parede Externa		0,20	272,00	2,69
Telhado	0,25	0,30	18,00	4,55

Fonte: Autor, 2017.

4.3.2 Preparação do modelo virtual

Neste tópico acham-se descritos procedimentos para desenvolvimento da modelagem, como preparação para o processamento da ferramenta IDEEA, uma etapa fundamental para o bom funcionamento da mesma, e para obtenção de resultados qualificados que possam refletir bem a proposta arquitetônica desejada.

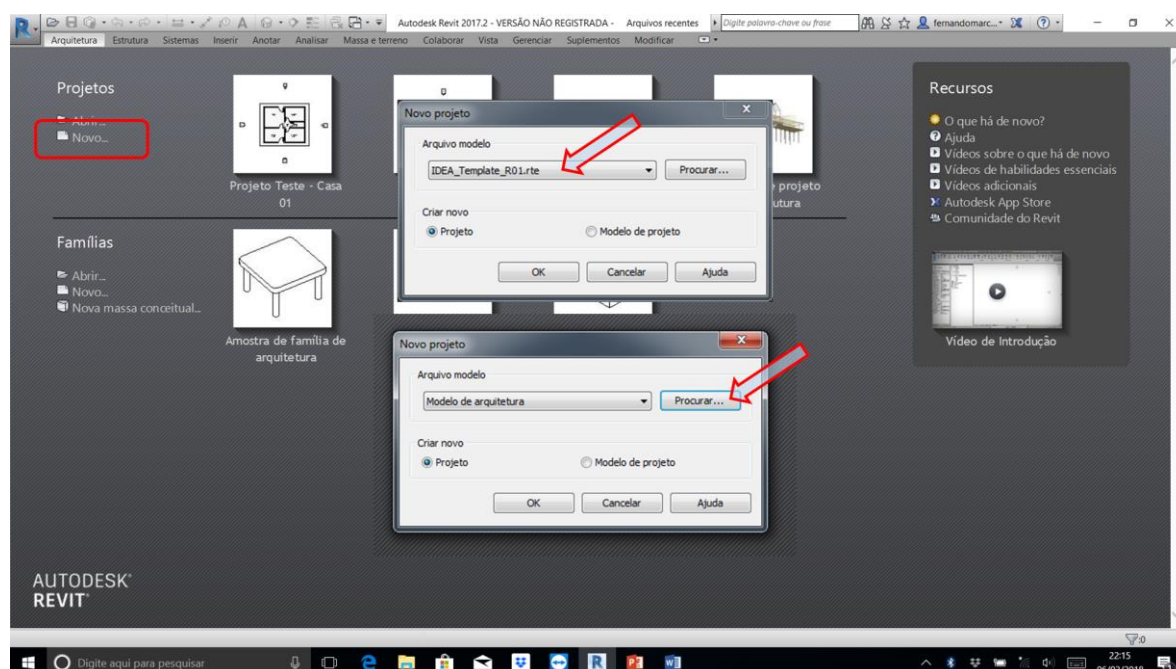
4.3.2.1 Iniciando o modelo virtual

Ao iniciar uma nova modelagem no *Revit*, o projetista pode usar o IDEEA.template já configurado com os parâmetros necessários para os cálculos que são realizados nos *scripts*, onde temos famílias (paredes, esquadrias, pisos, forros, telhados), parâmetros necessários, e vistas pré-configuradas para exibir os resultados dos ambientes por tipo de eficiência

(Final, Aquecimento, Refrigeração, Resfriamento), vistas em 3D com as massas dos ambientes coloridas por eficiência, bem como tabelas de entradas e saídas de parâmetros e resultados.

Esse processo de iniciar um novo arquivo funciona de forma natural como em um processo qualquer de início de modelagem do programa; apenas o *template* (modelo de documento preparado para determinada atividade) já vem com preparado para receber os valores e variáveis que serão informados ou calculados durante o processo, visto na Ilustração 62.

Ilustração 62 - Tela do Revit de abertura para escolha de um template para um arquivo novo



Fonte: Autor, 2018.

O diferencial desse processo através do *IDEEA.template* consiste em ter as configurações necessárias já preparadas para a modelagem. No caso de o projetista já possuir a modelagem em um arquivo Revit, o processo pode ser desenvolvido através de uma operação que abordará a seguir.

Em caso de o projetista possuir o seu *template* personalizado, o que normalmente ocorre nos casos de escritórios e projetistas, é aconselhado utilizar o fluxo de trabalho como se tivesse uma modelagem iniciada, e inserir o template no arquivo de trabalho do *Revit*, e continuar o processo

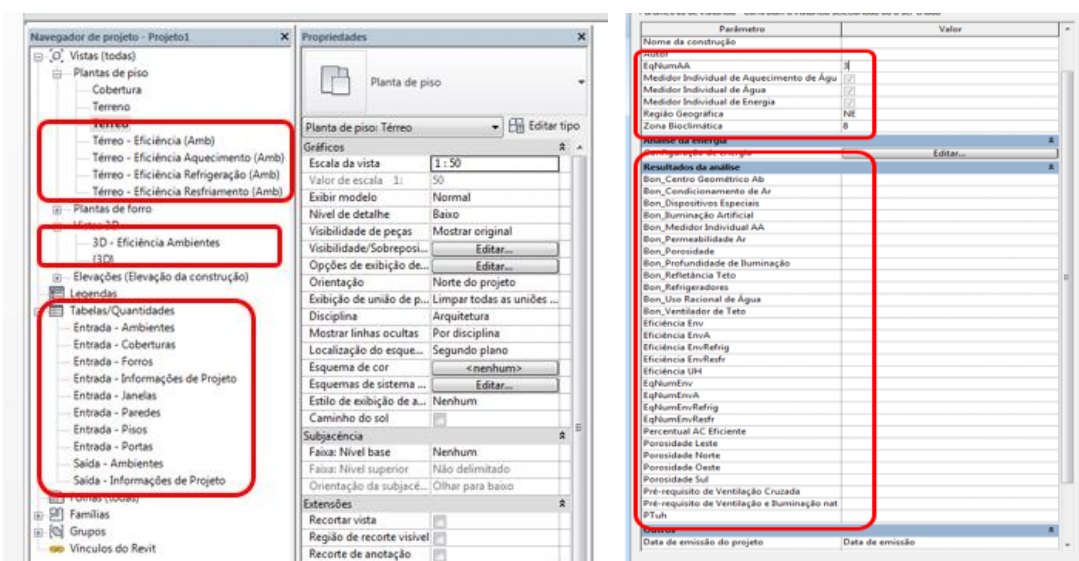
de projeto, até que a modelagem esteja com as informações necessárias para o processamento e equações, e será descrito nas páginas seguintes.

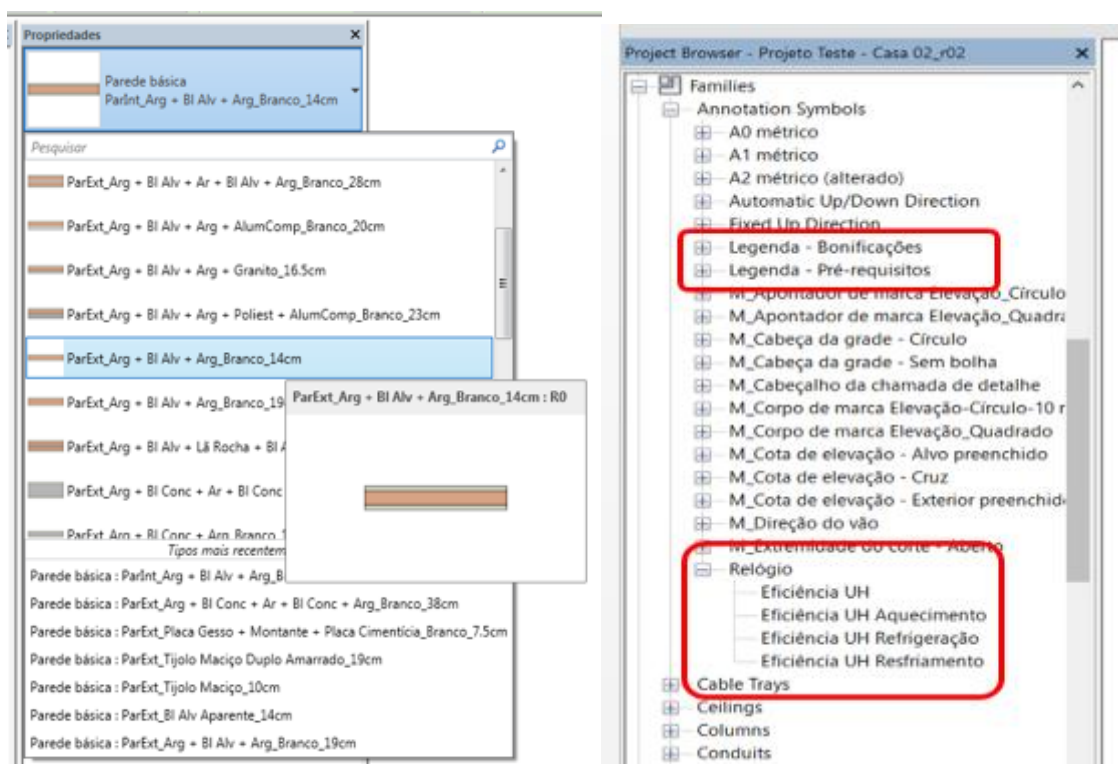
Nos casos de arquivo de modelagem existente, e não tendo esse arquivo sem as configurações necessárias, o *script* IDEEA.inserirtemplate faz essa atualização, deixando a modelagem preparada para receber as informações que serão usadas no processamento e nas equações. O *script* deve ser executado no Revit, e dentro do próprio arquivo, através do *Dynamo Player*, um processo simples que não demanda nenhuma informação complementar.

Com o arquivo pronto para a modelagem, é possível perceber bem as alterações ocorridas, como visto na Ilustração 63:

- Viewports* (Vistas) específicas de desempenho;
- Componentes configurados como paredes, pisos, cobertas, de acordo com a Tabela B.2 do Anexo B da NBR 15220-2 (ABNT, 2003b);
- Informações de projetos;
- Parâmetros necessários nos ambientes;
- Tabelas de entradas e saídas de informações;
- Componentes de anotação.

Ilustração 63 - Elementos pré-configurados no arquivo de modelagem





Fonte: Autor, 2018.

A partir desse momento, o arquivo está pronto para o início do processo projetual. Nos casos de já existir uma modelagem executada, o processo agora será de complementação das informações que serão utilizadas no processamento e nas equações.

4.3.2.2 Processo projetual – alimentando o modelo virtual

O processo projetual decorre normalmente como qualquer outro dentro da plataforma BIM, onde são modeladas as informações do projeto de acordo com a metodologia mais adequada ao projetista. Nesse processo são definidos os elementos arquitetônicos que fazem parte do partido, resultado do que o projetista imagina para a situação, porém, para a simulação do desempenho energético, são essenciais as definições da geometria, paredes, pisos, cobertas, forros, ambientes, portas, janelas, e alguns mobiliários, caso existam, equipamentos são levados em consideração no cálculo do desempenho, a exemplo dos ventiladores de teto e geladeiras.

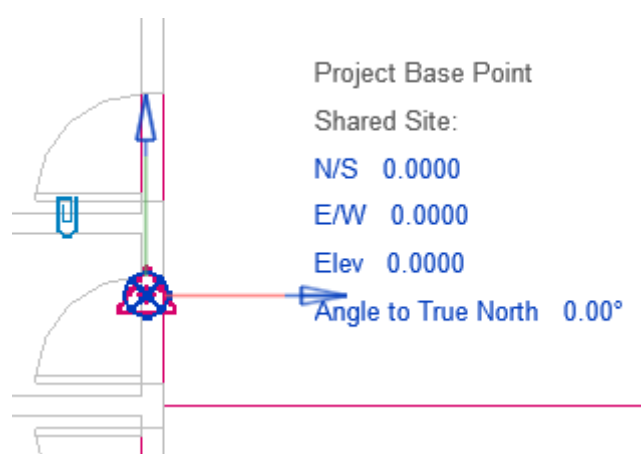
Um passo a passo do processo de modelagem será demonstrado a seguir, para que se tenha uma compreensão por parte do leitor do funcionamento e sua possível adequação aos diversos métodos do projetista. A sequência adotada é uma escolha particular; cada projetista deve ter a sua própria, de acordo com suas preferências, escalas e/ou tipo de projeto.

4.3.2.2.1 Orientação Norte

Dentro do processo projetual, uma informação bem relevante para definição do desempenho energético e adequação ao clima é a orientação do Norte Verdadeiro⁹, e dela decorre o posicionamento dos ambientes de maior permanência, aberturas como portas e janelas, coberturas e beirais, etc.

A orientação do Norte pode ser feita no *Revit* através do *Project Base Point*, onde constam o ponto base de referência e sua localização geográfica, como demonstrado na Ilustração 64.

Ilustração 64 - *Project Base Point*



Fonte: Autor, 2018.

O ajuste para a orientação de acordo com o projeto realizado é feito de forma fácil no programa, e faz parte do processo de modelagem,

⁹ Norte verdadeiro é a direção tomada à superfície da Terra que aponta para o Polo Norte geográfico.

independentemente de fazer parte de simulação ou não, e é através desse recurso que se pode analisar a incidência solar durante o processo.

4.3.2.2.2 Informações de projeto

As informações de projeto são acessadas na aba gerenciar (Manage) do Revit, onde estão disponíveis para entrada de dados na parte superior da janela na sequência, Ilustração 65:

- EqNumAA: Equivalente Numérico do Aquecimento de Água, valor inteiro de zero a cinco, sendo cinco mais eficiente, e zero ineficiente;
- Medidor Individual de Aquecimento de Água: Marcar o campo caso tenha medição individual de aquecimento de água;
- Medidor Individual de Água: Marcar o campo caso tenha medição individual de água;
- Medidor Individual de Energia: Marcar o campo caso tenha medição individual de energia;
- Região Geográfica: Referente às regiões brasileiras, Nordeste (NE), Norte (N), Centro-Oeste (CO), Sul (S) e Sudeste (SE);
- Zona Bioclimática: Definir qual a zona bioclimática brasileira em que o projeto está inserido, valores inteiros de 1 a 8, com base na ABNT NBR 15220-3 (Ilustração 17).

Ilustração 65 - Tela de entrada de dados referente às Informações de Projeto

Parâmetro	Valor
Nome da construção	
Autor	
EqNumAA	3
Medidor Individual de Aquecimento de Água	<input checked="" type="checkbox"/>
Medidor Individual de Água	<input checked="" type="checkbox"/>
Medidor Individual de Energia	<input checked="" type="checkbox"/>
Região Geográfica	NE
Zona Bioclimática	8

Parâmetro	Valor
Bon_Centro Geométrico Ab	
Bon_Condicionamento de Ar	
Bon_Dispositivos Especiais	
Bon_Iluminação Artificial	
Bon_Medidor Individual AA	
Bon_Permabilidade Ar	
Bon_Porosidade	
Bon_Profundidade de Iluminação	
Bon_Refletância Teto	
Bon_Refrigeradores	
Bon_Uso Racional de Água	
Bon_Ventilador de Teto	
Eficiência Env	
Eficiência EnvA	
Eficiência EnvRefrig	
Eficiência EnvResfr	
Eficiência UH	
EqNumEnv	
EqNumEnvA	
EqNumEnvRefrig	
EqNumEnvResfr	
Percentual AC Eficiente	
Porosidade Leste	
Porosidade Norte	
Porosidade Oeste	
Porosidade Sul	
Pré-requisito de Ventilação Cruzada	
Pré-requisito de Ventilação e Iluminação nat	
PTuh	

Fonte: Autor, 2018.

Na parte inferior da janela de informações de projeto estão os valores calculados no processamento e equações, como todas as bonificações, eficiências (Env, EnvA, EnvRefrig, EnvResfr e UH), percentual AC eficiente, Porosidades (Fachadas Leste, Norte, Oeste e Sul), pré-requisitos (Ventilação Cruzada e Ventilação e Iluminação Natural) e pontuação total da unidade habitacional (PTuh). Os valores serão gravados no arquivo e podem ser visualizados nessa janela.

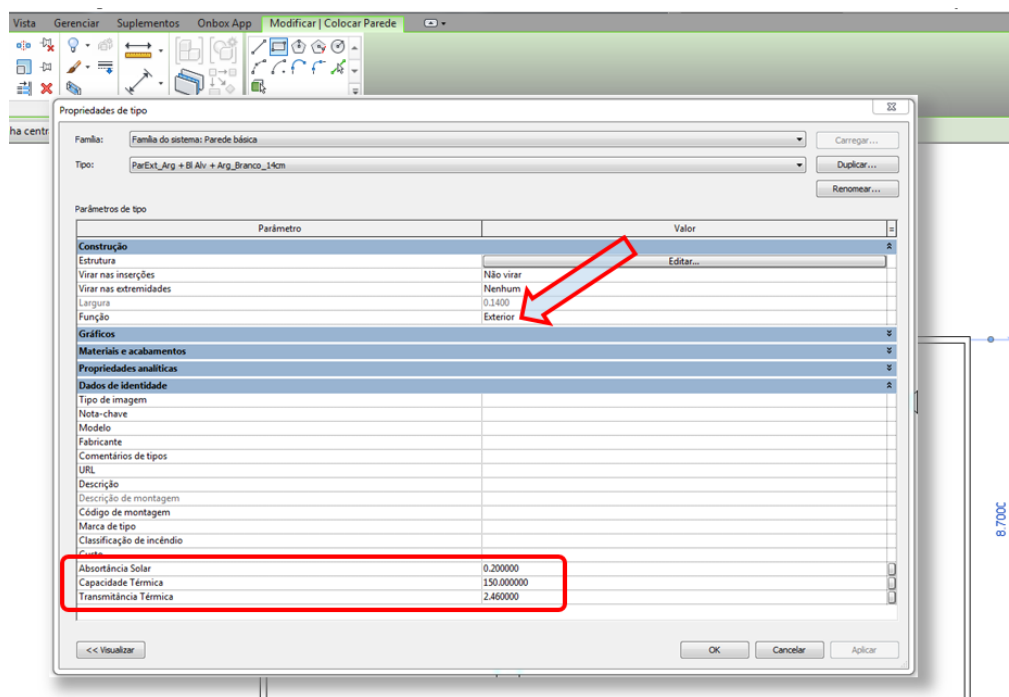
4.3.2.2.3 Modelando os elementos de arquitetura

A modelagem dos elementos de arquitetura deve ser realizada de forma natural, de acordo com a metodologia de cada projetista. Nesta pesquisa foi definida uma sequência aleatória apenas para demonstrar os cuidados necessários a fim de que o modelo virtual possa ter as informações importantes para os cálculos do processamento e equações.

a) Paredes: como esses elementos arquitetônicos fazem parte da separação de ambientes, e de vedação, são importantes para a definição do desempenho energético da edificação, e desta forma são necessários alguns cuidados para assegurar informações fiéis ao pensamento do projetista.

Ao iniciar a modelagem, além da atenção natural do processo de construção do modelo, deve-se atentar para que, quanto à parede escolhida, sua composição esteja informada os parâmetros térmicos (Absortância Solar (AS), Capacidade Térmica (CT) e Transmitância Térmica (TT)), bem como sua função, se exterior ou interior (Ilustração 66)

Ilustração 66 - Informações necessárias na modelagem das paredes



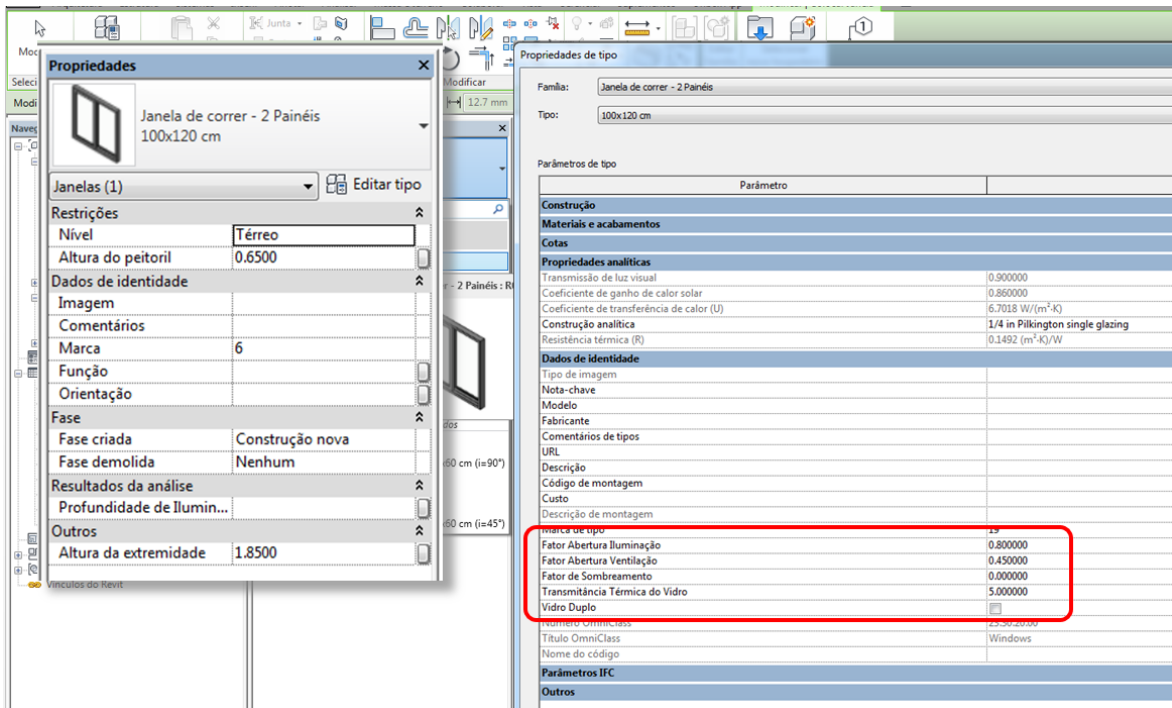
Fonte: Autor, 2018.

Importante também atentar para que as faces internas e externas definidas na composição estejam corretamente voltadas para os lados corretos da edificação.

b) Janelas: fazem parte da separação e da comunicação dos ambientes interno e externo, e de vedação, sendo, portanto, importantes para a definição do desempenho energético da edificação.

Ao inserir esses elementos nas paredes, além da atenção natural do processo de construção do modelo, deve-se atentar para que, no tocante às janelas escolhidas, sejam informados os parâmetros importantes para o cálculo (Fator Abertura Iluminação, Fator Abertura Ventilação, Fator de Sombreamento, Transmitância Térmica do Vidro e Vidro Duplo), bem como deve se definir corretamente os lados externo e interno do elemento (Ilustração 67).

Ilustração 67 - Informações necessárias na modelagem das janelas



Fonte: Autor, 2018.

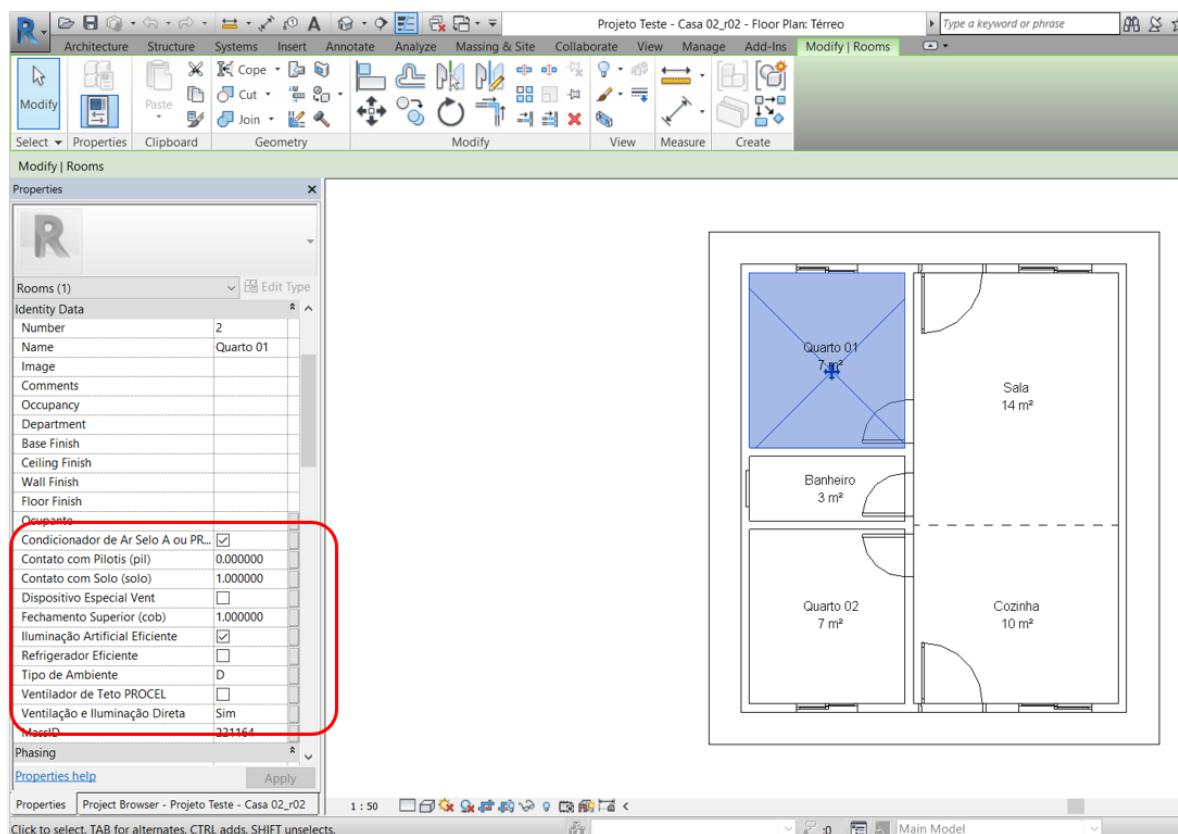
c) Portas: para esses elementos arquitetônicos, os cuidados e informações são idênticos ao anterior (janelas), apenas acrescentando a

opção a ser definida de que a porta será usada para iluminação e ventilação natural.

d) Ambientes: para modelagem dos ambientes, o processo é muito similar ao processo de projeto usado nos escritórios; o que difere são as informações agora presentes no componente.

Esses elementos devem conter as informações necessárias para o cálculo (se possui Condicionador de Ar Selo A ou PROCEL, Contato com o Pilotis (PIL), Contato com o Solo (solo), Dispositivo especial de ventilação, Fechamento superior (cob), Iluminação Artificial Eficiente, Refrigerador Eficiente, Tipo de ambiente (B – banheiro, C – Cozinha, Circ – Circulação, D – Dormitório, P – Prolongado), Ventilador de Teto PROCEL, Ventilação e Iluminação Direta), como demonstrado na Ilustração 68.

Ilustração 68 - Informações necessárias na modelagem dos ambientes



Fonte: Autor, 2018.

Os elementos modelados precisam de informações de entrada para o cálculo de processamento e equações. Os dados podem ser inseridos no

momento da modelagem ou após a modelagem, através das tabelas de entrada de dados pré-configuradas no *template*, como as tabelas de Ambientes (Ilustração 69), cobertas, forros, informações de projeto, janelas, paredes, pisos e portas.

Ilustração 69 - Tabela no Revit de Entrada – ambientes

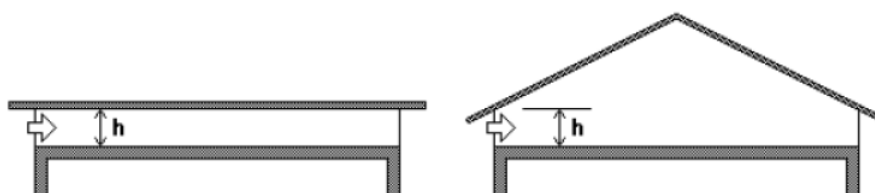
<Entrada - Ambientes>									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Ambiente	Tipo	Cond. Ar Selo A	Contato Pilotis	Contato Solo	Fecham. Sup.	Disp. Esp. Vent.	Ilum. Artif. Efic.	Refrig. Eficiente	Ventil. Teto
Banheiro	B	<input type="checkbox"/>	0	1	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cozinha	C	<input type="checkbox"/>	0	1	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Quarto 01	D	<input checked="" type="checkbox"/>	0	1	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Quarto 02	D	<input type="checkbox"/>	0	1	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sala	P	<input type="checkbox"/>	0	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Fonte: Autor, 2018.

As tabelas foram criadas para a conferência e análise das informações inseridas nos componentes. Além das tabelas de entrada de dados, estão pré-configuradas as tabelas de saída dos dados, após o processamento dos cálculos das equações.

e) Cobertas: para modelagem desse componente, o processo também é similar ao processo natural de projeto usado nos escritórios; o que difere são as informações agora presentes (Absortância Solar (AS), Capacidade Térmica (CT), Refletância e Transmitância Térmica (TT)), e como nos demais elementos, no *template* estão contidos vários modelos de cobertas de acordo com a Tabela B.2 do Anexo B da NBR 15220-2 (ABNT, 2003b), como está demonstrado na Ilustração 71. No componente coberta, deve constar a informação da cobertura ser ventilada ou não, e caso seja, qual a altura da área de ventilação (Ilustração 70).

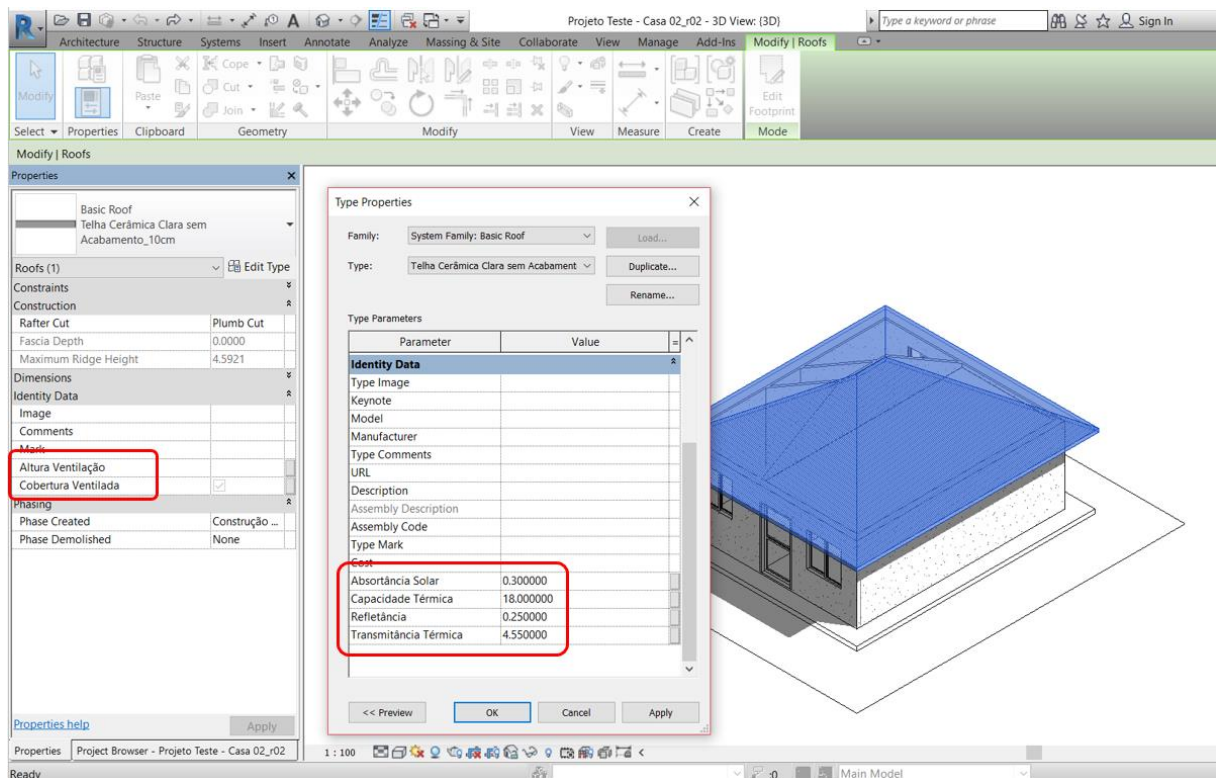
Ilustração 70 - Abertura (h) em beirais para ventilação do ático



Fonte: (ELETROBRÁS *et al.*, 2012)

Na modelagem do elemento coberta, é preciso atentar para quando houver forro, pois, deverá conter os valores de todo o conjunto, forro + coberta, porque o *script* vai buscar no elemento em contato com o ambiente as informações de AS, CT, TT e Refletância (Ilustração 71). Quando não existir forro, o programa faz a leitura dos dados no elemento em contato com o ambiente, nesse caso a cobertura.

Ilustração 71 - Informações necessárias na modelagem da cobertura



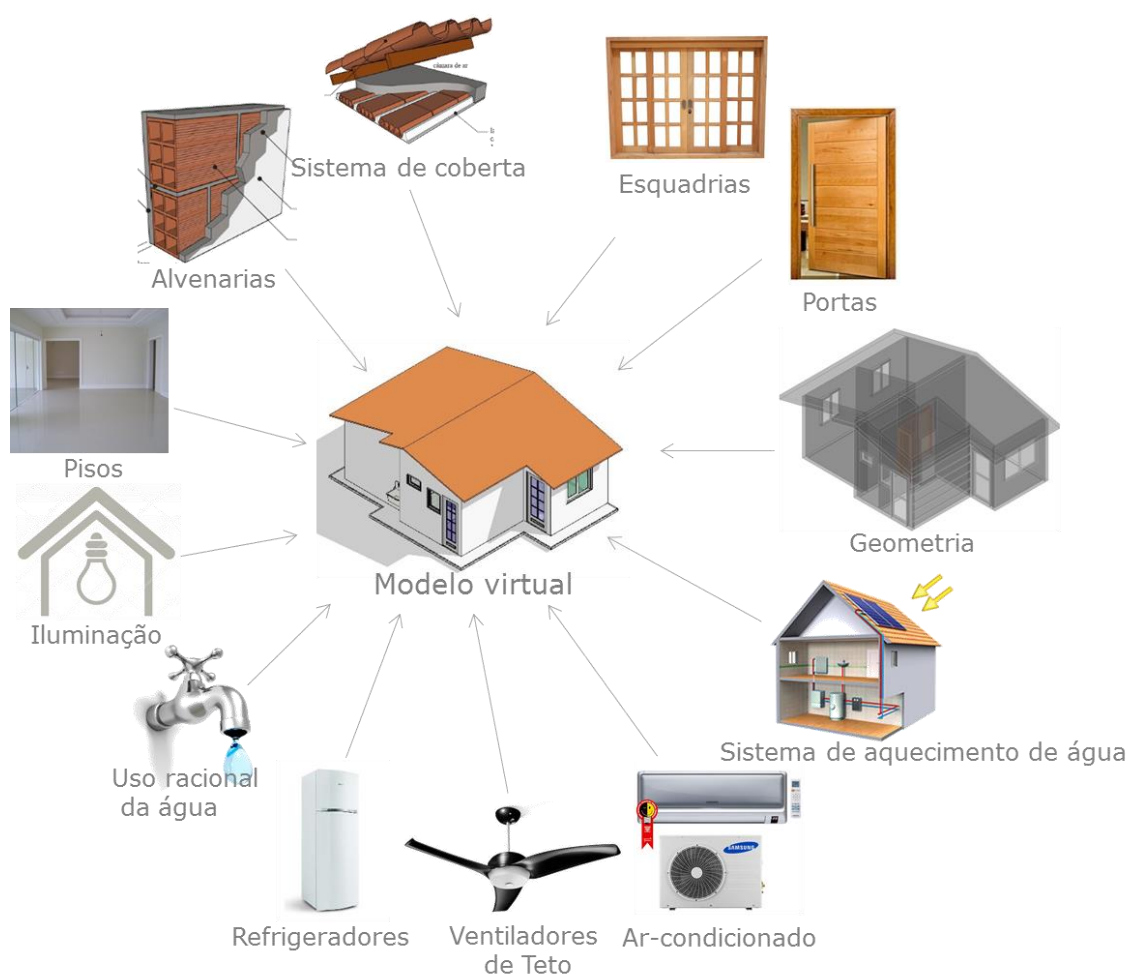
Fonte: Autor, 2018.

4.3.2.3 Qualidade do modelo

Como citado anteriormente, é importante que a modelagem esteja com as informações necessárias e que reflita com fidelidade a ideia do projetista, para que o resultado não contenha distorções de desempenho energético. A Ilustração 72 é um esquema geral dos principais elementos que devem constar, caso existam, no modelo virtual, pois é nesse modelo que a ferramenta IDEEA vai buscar as informações para os cálculos do processamento e equações.

A atenção em informar pormenores, para que a modelagem seja o fiel reflexo do projeto foi abordada nos tópicos anteriores, como também citada as tabelas que estão pré-configuradas para que o projetista possa conferir e analisar os dados informados, fazendo os ajustes necessários para sua atualização.

Ilustração 72 - Esquema de informações necessárias que devem constar na modelagem virtual



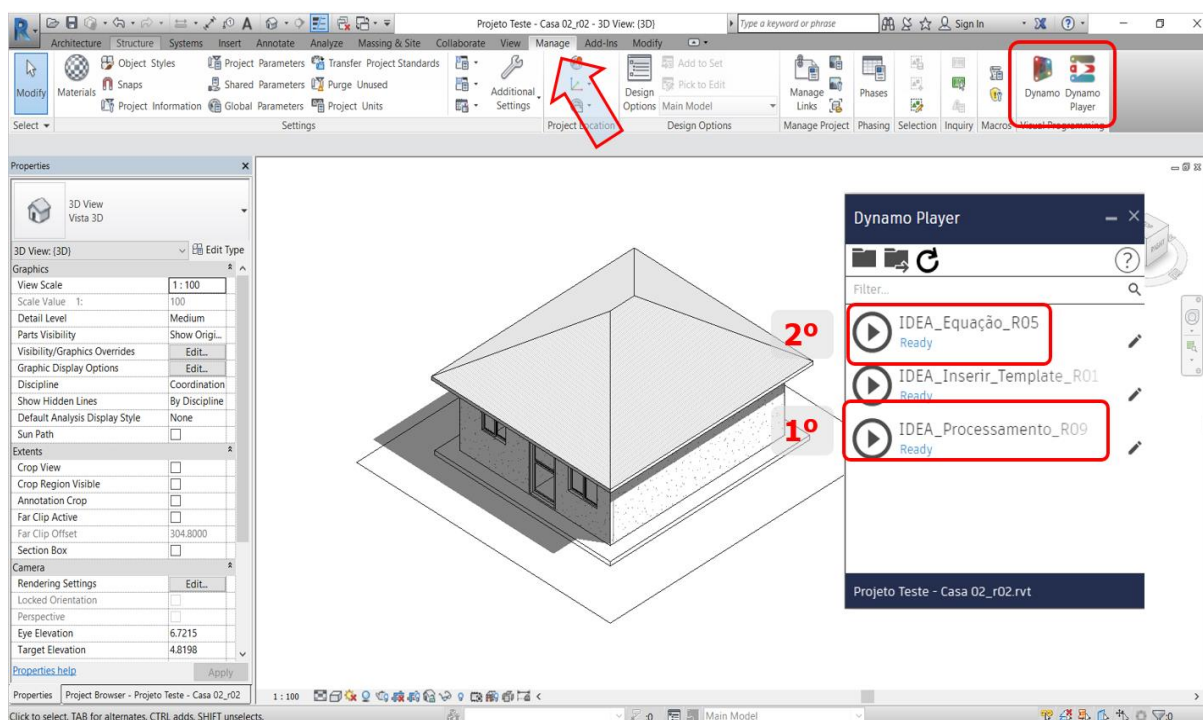
Fonte: Autor, 2018.

4.3.3 Processamento e equações

Conforme comentado anteriormente, os resultados a serem extraídos do modelo virtual dependem de forma direta da qualidade das informações inseridas. Os *scripts* IDEEA_Processamento e IDEEA_Equações buscam esses dados dos elementos arquitetônicos e da geometria na modelagem, para preencher as variáveis presentes no cálculo.

A operação da IDEEA.processamento é simples, e não exige conhecimento no *Dynamo*, pois o projetista não tem contato com o *script*. Apenas deve executar o programa através do *Dynamo Player*, um programa auxiliar que facilita a execução dos *scripts*, conforme demonstra a Ilustração 73.

Ilustração 73 - Tela para execução dos *scripts* através do *Dynamo Player*



Fonte: Autor, 2018.

É importante salientar que o projetista faz toda a operação com a modelagem aberta dentro do programa *Revit*, sem a necessidade de exportar para outro ambiente, e com os resultados visualizados mais rapidamente.

O processamento dos *scripts* leva normalmente pouco tempo para fazer os cálculos de uma residência como a usada no projeto piloto, em torno de 20 segundos, a depender da configuração do computador. Durante o tempo de execução o *script* faz uma conferência para saber se alguns dados informados estão incorretos:

- Valor do Equivalente Numérico de Aquecimento de Água (EqNumAA) não está preenchido;
- Zona Bioclimática deve ser número entre 1 a 8;

- Região Geográfica deve ser sigla N, NE, CO, SE e S;
- Ambiente com Tipo incorreto: Ambiente X;
- Ambiente com parâmetro não preenchido:
 - Ambiente X:
 - Contato com pilotis (pil);
 - Contato com o solo (solo);
 - Fechamento superior (cob);
- Tipo (s) de cobertura com parâmetro (s) não preenchido:
 - Telhado X:
 - Absortância Solar;
 - Transmitância Térmica;
 - Capacidade Térmica;
- Tipo (s) de esquadria (s) com parâmetro (s) não preenchido:
 - Janela X:
 - Fator de Ventilação;
 - Fator de Iluminação;
 - Fator de Sombreamento;
 - Vidro Duplo;
 - Transmitância térmica do vidro;
 - Porta X:
 - Fator de Ventilação;
 - Fator de Iluminação;
 - Fator de Sombreamento;
 - Vidro Duplo;
 - Transmitância térmica do vidro;
- Tipo (s) de paredes com parâmetros não preenchidos:
 - Parede X:
 - Absortância Solar;
 - Transmitância Térmica;
 - Capacidade Térmica.

Para a execução do IDEEA_Processamento e IDEEA_Equações durante a demonstração nesse projeto piloto, o computador usado na

pesquisa leva 20/15 segundos respectivamente para cada um, um tempo considerado adequado para contribuição durante o processo projetual, e levando-se em conta que o processo poderá se repetir inúmeras vezes durante o desenvolvimento do projeto. Durante o curso de extensão de aplicação da ferramenta, foi avaliado junto aos participantes se acharam o tempo adequado de execução das operações.

Após a execução da ferramenta, o projetista pode analisar os resultados encontrados nas tabelas, componentes (relógios) e vistas pré-configuradas, e adotar as decisões a serem tomadas no projeto. O projetista também pode criar sua própria vista / corte / planta / 3D que melhor auxilie no desenvolvimento do seu projeto.

4.4 Simulações e validação dos resultados

Para a validação dos resultados gerados pelo programa foi adotada, como referencial para verificação e comparação dos valores encontrados no processamento e equações, a planilha de cálculo disponibilizada pela Eletrobrás, no formato *Microsoft Excel*. Usada tradicionalmente para inserir os dados gerados manualmente através de levantamentos no projeto, e encontrados os valores dos parâmetros de eficiência da unidade habitacional, a planilha está disponibilizada no *site* do PROCEL Edifica (ELETROBRÁS, 2003), ilustrada na Tabela 50 - Planilha Eletrobrás de análise da envoltória e dos Pré-requisitos dos ambientes / RTQ - Edificações Residenciais.

Um dos objetivos das simulações, descrito a seguir, é a verificação da confiabilidade dos dados e cálculos gerados pela ferramenta em cada etapa do processo. Os resultados apresentados pela ferramenta IDEEA demonstraram uma precisão dentro dos modelos escolhidos para os ensaios que serão apresentados, uma vez que a base de cálculo foi a mesma nos dois casos.

Entre os resultados, um valor distingue-se dos cálculos gerados pela planilha e encontrados pela ferramenta. Ocorreu por conta de uma regra do RTQ-R que consta na ferramenta, mas não foi inserida na planilha,

provavelmente devido às limitações do *software*. Para esclarecer a diferença, foi alterada a forma de processamento na ferramenta e os resultados ficaram idênticos à planilha, porém se manteve o processamento original, por estar sendo realizado conforme disposto no RTQ-R (ELETROBRÁS *et al.*, 2012):

As UHs devem atender aos seguintes pré-requisitos de ventilação natural, de percentual de áreas mínimas de abertura para ventilação dos ambientes de permanência prolongada, que devem possuir percentual de áreas mínimas de aberturas para ventilação. O não atendimento a este pré-requisito implica em no máximo nível C (EqNum= 3) no equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento (EqNumEnvAmbResfr).

O não atendimento a algum pré-requisito limita o Equivalente numérico do ambiente para resfriamento ao valor máximo de 3, e conseqüentemente a uma eficiência dessa questão ao nível C. Na planilha adotada da Eletrobrás não há esse limitador, o que gera uma diferença nos resultados, conforme se verá adiante. Sugere-se para uma maior precisão dos resultados produzidos pela planilha, seja incluída essa verificação.

De forma geral, as simulações foram realizadas como referência de um Projeto piloto, de onde foi desenvolvida uma modelagem que chamada de Modelo Base, apresentado anteriormente. Os ensaios realizados procuraram fazer alterações no Modelo Base, como demonstra a Tabela 7.

Tabela 7 - Ensaios realizados no Modelo Base.

Tipo	Números de ensaios
1. Orientação	07
2. Materiais	08
3. Esquadrias	04
4. Geometria	04

Fonte: Autor, 2017.

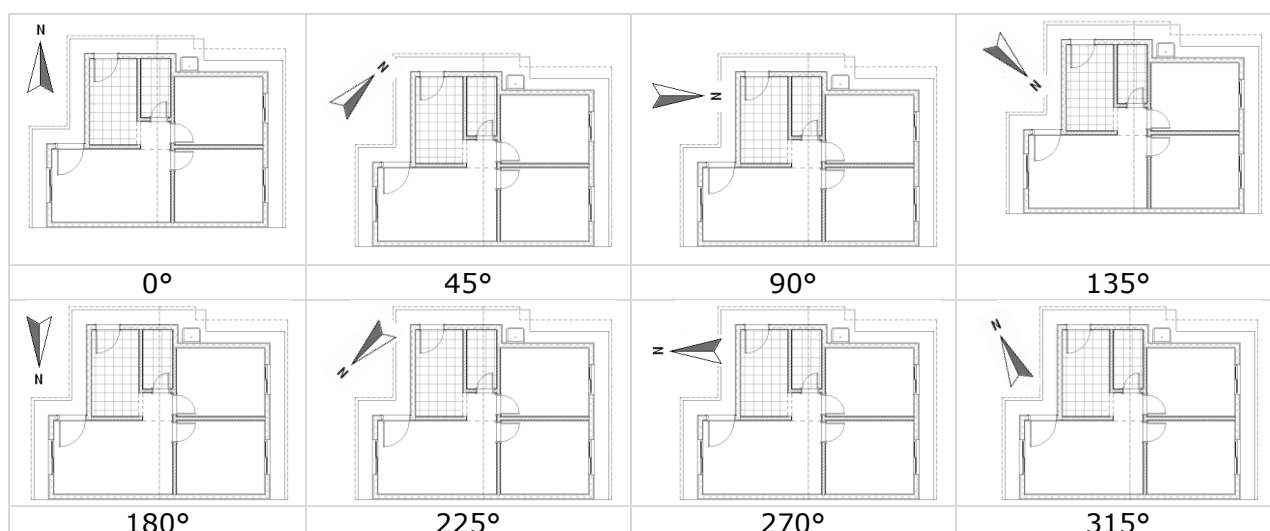
Para cada ensaio realizado foram processados todos os cálculos necessários para a extração dos valores de todos os parâmetros que

determinam a eficiência energética do modelo simulado. Aham-se apresentados em tabelas no APÊNDICE C – RESULTADOS ENSAIOS.

4.4.1 Ensaio com variações na orientação do Norte

Nesses ensaios variou-se a orientação do Norte Verdadeiro em 45° para cada modelo, a partir do Modelo Base de 0° (ver Tabela 5 Tabela 6, e Ilustração 64), gerando dessa forma sete diferentes orientações conforme a Ilustração 74.

Ilustração 74 - Planta-baixa projeto piloto: orientações de 0° a 315°



Fonte: Autor, 2018.

Os resultados foram tabelados e estão apresentados no APÊNDICE C – RESULTADOS ENSAIOS, e demonstraram consistência desejada, e estão relacionados nas Tabela 35 - Resultados informações do projeto, projeto piloto – base: orientações de 0o a 315o e Tabela 36 - Resultados informações do ambiente "Quarto 01", projeto piloto – base: orientações de 0o a 315o (APÊNDICE C – RESULTADOS ENSAIOS).

4.4.2 Ensaio com variações nas características térmicas dos materiais do envelope da unidade habitacional

Nesses ensaios variou-se os materiais do envelope do projeto piloto – base, gerando dessa forma oito diferentes arranjos conforme está ilustrado na Tabela 8. Os resultados demonstraram consistência desejada e foram tabelados no APÊNDICE C – RESULTADOS ENSAIOS, e, nas Tabela 37 - Resultados informações do projeto, projeto piloto – base: Materiais do envelope da UHe Tabela 38 - Resultados informações do ambiente "Quarto 01", projeto piloto – base: Materiais do envelope da UH.

Tabela 8 - Ensaios com variações nos materiais do envelope do projeto piloto – base

	PAREDES EXTERNAS			COBERTURA					
	Especificações	AS	CT	TT	Especificações	Reflet.	AS	CT	TT
MOD. BASE	Bloco de concreto estrutural de 14cm; Argamassa interna e externa 2,5cm, pintura ext. branco;	0,20	272	2,69	Telha cerâmica colonial, estrutura em mad. aparente, sem forro;	0,25	0,30	18	4,55
MOD. PAR-01	Bloco de concreto estrutural de 9cm; Argamassa interna e externa 2,5cm, pintura ext. branco;	0,20	209	2,78	Telha cerâmica colonial, estrutura em mad. aparente, sem forro;	0,25	0,30	18	4,55
MOD. PAR-02	Bloco cerâmico 9cm, Argamassa interna e externa 2,5cm, pintura ext. branco;	0,20	150	2,46	Telha cerâmica colonial, estrutura em mad. aparente, sem forro;	0,25	0,30	18	4,55
MOD. PAR-03	Bloco cerâmico 14cm, gesso (placa 2,0cm) interna e argamassa externa 2,5cm, pintura ext. branco;	0,20	125	1,74	Telha cerâmica colonial, estrutura em mad. aparente, sem forro;	0,25	0,30	18	4,55
MOD. COB-01	Bloco de concreto estrutural de 14cm; Argamassa interna e externa 2,5cm, pintura ext. branco;	0,20	272	2,69	Telha cerâmica colonial, estrutura em mad. aparente, camada de ar >5cm, forro de PVC 1cm;	0,80	0,30	21	1,75
MOD. COB-02	Bloco de concreto estrutural de 14cm; Argamassa interna e externa 2,5cm, pintura ext. branco;	0,20	272	2,69	Telha cerâmica colonial, estrutura em mad. aparente, camada de ar >5cm, forro de madeira 1cm;	0,30	0,30	26	2,02

MOD. COB-03	Bloco de concreto estrutural de 14cm; Argamassa interna e externa 2,5cm, pintura ext. branco;	0,20	272	2,69	Telha cerâmica colonial, estrutura em mad. aparente, camada de ar >5cm, laje pré-moldada c/ cerâmica 12cm;	0,80	0,30	185	1,79
MOD. COB-04	Bloco de concreto estrutural de 9cm; Argamassa interna e externa 2,5cm, pintura ext. branco;	0,20	209	2,78	Telhado veget. Extensivo: Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm + lajota cerâmica 7cm + argam. 1cm), Terra argilosa seca (10cm), Vegetação;	0,80	0,50	310	1,88
MOD. MISTO	Bloco cerâmico 14cm, gesso (placa 2,0cm) interna e argamassa externa 2,5cm, pintura ext. branco;	0,20	125	1,74	Telha cerâmica colonial, estrutura em mad. Aparente, camada de ar >5cm, forro de PVC 1cm;	0,8	0,3	21	1,75

Legenda: AS - Absortância Solar / CT - Coeficiente Térmico / TT - Transmitância Térmica

Fonte: Autor, 2017.

4.4.3 Ensaio com variações nas esquadrias

Nesses ensaios variou-se as esquadrias do projeto piloto - base, gerando dessa forma quatro diferentes arranjos conforme está ilustrado na Tabela 9. Os resultados demonstraram consistência desejada e foram organizados nas Tabela 39 e Tabela 40 (APÊNDICE C).

Tabela 9 - Ensaio com variações (04) nas esquadrias (janelas) do projeto piloto - base.

MODELO	ESQUADRIAS (APP)
	Especificações
MOD. BASE	Sala: 1,20 x 1,20m Quarto 1: 1,00 x 1,20m; Quarto 2: 1,20 x 1,20m;
MOD. ESQ-01	Sala: 1,40 x 1,20m; Quarto 1: 1,20 x 1,20m; Quarto 2: 1,40 x 1,20m;
MOD. ESQ-02	Sala: 1,60 x 1,20m; Quarto 1: 1,40 x 1,20m; Quarto 2: 1,60 x 1,20m;

MOD. ESQ-03	Sala: 1,80 x 1,20m; Quarto 1: 1,60 x 1,20m; Quarto 2: 1,80 x 1,20m;
MOD. ESQ-04	Sala: 2,00 x 1,20m; Quarto 1: 1,80 x 1,20m; Quarto 2: 2,00 x 1,20m;

Fonte: Autor, 2017.

4.4.4 Ensaio com variações na geometria

Nesses ensaios variou-se a geometria do projeto piloto – base, gerando dessa forma 04 diferentes arranjos conforme está ilustrado na Tabela 10. Os resultados demonstraram consistência e foram tabelados no APÊNDICE C – RESULTADOS ENSAIOS, nas Tabela 41 e Tabela 42.

Tabela 10 - Ensaio com variações (04) na geometria (APP) do projeto piloto – base

		GEOMETRIA (APP)				
		Especificações	Larg.	Comp.	Área	Pé- Direito médio
MOD. BASE	SALA	2,51	4,05	10,14	3,26	
	QUARTO 1	2,32	3,01	6,96	3,18	
	QUARTO 2	2,51	3,01	7,56	3,18	
MOD. GEO-01	SALA	2,51	4,55	11,41	3,29	
	QUARTO 1	2,32	3,01	6,96	3,18	
	QUARTO 2	2,51	3,01	7,56	3,18	
MOD. GEO-02	SALA	3,01	4,55	13,70	3,29	
	QUARTO 1	2,32	3,01	6,96	3,18	
	QUARTO 2	3,01	3,01	9,05	3,18	
MOD. GEO-03	SALA	3,01	4,55	13,70	3,32	
	QUARTO 1	2,32	3,51	8,13	3,25	
	QUARTO 2	3,01	3,51	10,57	3,25	
MOD. GEO-04	SALA	3,01	4,55	13,70	3,32	
	QUARTO 1	2,95	3,51	10,34	3,25	
	QUARTO 2	3,01	3,51	10,57	3,25	

Fonte: Autor, 2017.

Os resultados dos ensaios puderam auxiliar no desenvolvimento da ferramenta, colaborando para sanar pequenos problemas de cálculos e levantamento das informações no modelo virtual, demonstrando precisão ao final nas operações efetuadas.

Durante a realização dos ensaios, pôde-se verificar melhor o processamento das informações, como o levantamento de áreas específicas de paredes externas e internas, áreas de aberturas separadas por fachadas, ponderação das áreas das UHs, organização das informações em forma de listas (método adotado pelo *Dynamo*), e separação das informações por situações específicas para cálculo das variáveis, como o caso dos ambientes de permanência prolongada.

Nas variações do modelo virtual demonstrado nos ensaios, procurou-se expor a ferramenta a variadas situações rotineiras num processo projetual. No amadurecimento do projeto ocorrem alterações no *layout*, buscando-se a melhor configuração para se atingir os objetivos da proposta arquitetônica.

4.5 Considerações finais do desenvolvimento

Nesta seção foi apresentada a IDEEA, sua concepção, programação do protótipo, demonstração de uso e aplicação, e, por fim, foram realizadas simulações e variações no projeto piloto, visando analisar os valores encontrados e comparando ao método tradicional de definição do desempenho energético.

Diante da consistência encontrada nos resultados, pode-se concluir que a ferramenta está funcionando corretamente, trazendo para os projetistas o conhecimento sobre os dados de desempenho energético da edificação em projeto e oferecendo ao projetista apoio para encontrar soluções mais eficientes.

Com os resultados apresentados, pode-se concluir que a ferramenta está apta para ser submetida a outras situações e variações de processo

projetual, a outras tipologias e a outros usuários, avaliando-se seu desempenho nos resultados encontrados e na incorporação ao projeto de arquitetura, onde se espera contribuir para produção de edifícios com um melhor desempenho energética.

Nessa seção a ferramenta foi testada com um modelo único de projeto, modelo base, e os resultados demonstraram robustez e precisão nos cálculos das equações.

Na seção seguinte serão feitas outras simulações com outras tipologias, e também uma avaliação em um curso de extensão por participantes voluntários, como alunos, professores e profissionais de Arquitetura e Urbanismo.

5 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA IDEEA

Nesta seção é apresentada a aplicação da ferramenta em diferentes situações, para ser analisado seu funcionamento e operação. O objetivo é dar continuidade à validação da ferramenta IDEEA, através de novas tipologias diferenciadas do modelo base adotado na seção anterior, acompanhando sua aplicação em um curso de extensão e divulgando-a para a comunidade científica.

Após os ensaios realizados na seção anterior, e a validação dos resultados, foi pensado que poderia evoluir a IDEEA para atendimento a edificações residenciais multifamiliares, o que demandou ajustes na programação dos *scripts*. Acredita-se que essa tipologia pode ampliar a aplicação da ferramenta, trazendo uma maior utilidade para sua aplicação em escritórios.

Os ajustes na programação da ferramenta foram significativos, e demandaram uma pesquisa maior na busca de melhores recursos de programação, acarretando o uso de uma linguagem de programação escrita, o *Python* junto com o *Dynamo*, para resolver as dificuldades encontradas, como acesso a alguns recursos não disponíveis na VPL, e possíveis problemas para atualização dos pacotes pré-configurados de nós.

Para facilitar a implementação da ferramenta, optou-se por remover os pacotes externos que estavam sendo utilizados e reproduzir suas funcionalidades através dos códigos próprios. Como algumas dessas funcionalidades não seriam possíveis de reproduzir apenas com os comandos nativos do *Dynamo*, pois dependiam de acesso e uso da API⁴ do Revit, foi necessária a implementação de nós com rotinas em uma linguagem de alto nível como o *Python*, que permite o acesso direto. O uso de comandos escritos diretamente na linguagem também tem como vantagem a melhoria no desempenho da rotina em geral, diminuindo a quantidade de nós da rotina (migração da programação visual para visual e escrita).

Na implementação das diversas Zonas Bioclimáticas e suas equações, assim como das tipologias unifamiliar e multifamiliar, o uso do Python facilitou o processo de definição da rotina, pois sua forma de condicionamento e iteração (comandos *if*, *for*) sobre os caminhos possíveis que o algoritmo deveria seguir é significativamente mais ágil que a programação nativa do Dynamo.

Para o projetista, a mudança na operação da ferramenta deu-se apenas na opção de Informações de Projeto, onde surgem a necessidade de inserir a indicação da tipologia (Unifamiliar ou Multifamiliar), e informar nos ambientes, a identificação da UH, para multifamiliar, e o nível relativo ao meio-fio do terreno.

Essa versão da IDEEA não tem limites para a quantidade de UHs e permite processamento de tipologias horizontais e verticais, ou ambas no mesmo projeto.

5.1 Realização de testes

Os modelos a serem testados foram selecionados com base nas características dos padrões mais recorrentes na arquitetura de edifícios residenciais para habitações de interesse social, o mesmo critério adotado no projeto piloto. Nesses casos são apresentados projetos multifamiliares com configurações distintas do modelo base.

5.1.1 Modelo de Teste 01 – edifício tipo sobrado

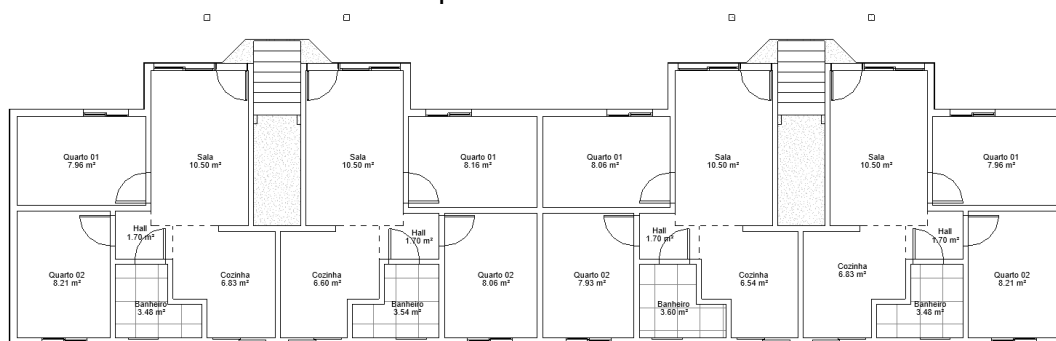
O modelo do teste 01 está configurado como uma edificação multifamiliar residencial do tipo “Sobrado”, que compreende agrupamentos de casas em dois pavimentos, térreo e superior, normalmente agrupadas em quatro, oito ou mais unidades habitacionais. Essa tipologia pode ser construída unindo outros blocos de sobrados, a depender do projeto e do terreno onde se acha localizada.

5.1.1.1 Projeto

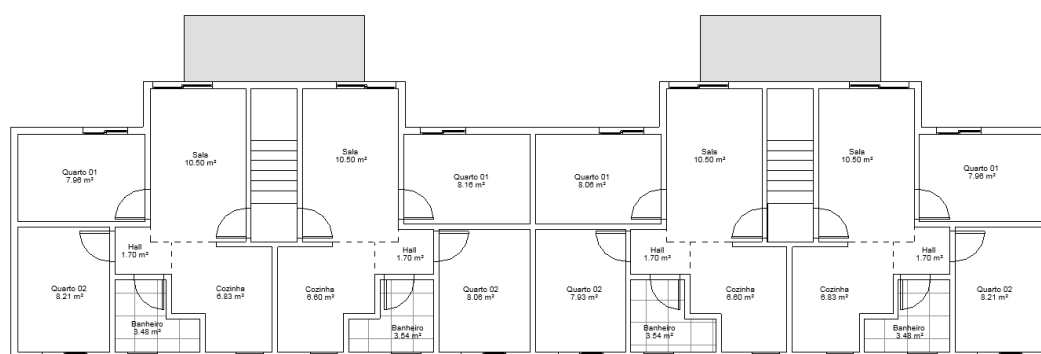
O modelo escolhido para o teste é uma edificação residencial multifamiliar, com área útil média por UH de 38,70m². O projeto está apresentado a seguir nas Ilustração 75 e Ilustração 76, e especificações gerais acham-se descritas nas Tabela 11 e Tabela 12. O programa de necessidades do projeto é composto de 03 ambientes de permanência prolongada (APP): Sala e Quartos (02); 02 ambientes de uso transitório: Cozinha e Banheiro; e circulação.

Vale ressaltar que no projeto usado para esse trabalho, foram modelados apenas os elementos necessários para o processamento dos cálculos, e à definição da geometria.

Ilustração 75 - Projeto edificação residencial multifamiliar para avaliação da ferramenta para o modelo do teste 01



Pavimento Térreo



Pavimento Superior

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 11 - Especificação de material projeto de arquitetura para o modelo de teste 01

Paredes	Bloco de concreto estrutural de 19cm; Exterior: chapisco 0,5cm, massa única 4,5cm, emassamento acrílico branco;
----------------	--

Interior: chapisco 0,5cm, massa única 2,5cm, emassamento pva látex, pintura látex, para Sala, Quartos e Hall;
Chapisco 0,5cm, emboço interno 2,5cm, revestimento cerâmico 1,0cm, para Banheiro e Cozinha;

Coberta Telha Cerâmica tipo Capa e Canal claro sem acabamento, com estrutura em madeira, sob laje pré-fabricada de 12cm;

Janelas Alumínio natural, de correr, com vidro 4mm;
Sala: 1,60 x 1,20m;
Quarto 1 e 2: 1,20 x 1,20m;
Cozinha: basculante alumínio natural, 1,40 x 0,60m;
Banheiro: basculante alumínio natural, 0,80 x 0,60m;

Portas Internas: Madeira lisa, semioca, 0,70 ou 0,80m;
Externas: Alumínio natural, de abrir, com vidro de 6mm:
Sala: 0,90 x 2,10m;
Cozinha: 0,70 x 2,10m;

Fonte: Autor, 2019.

Os materiais escolhidos para o Modelo virtual deste estudo seguem especificações padrão, adotadas para essa tipologia.

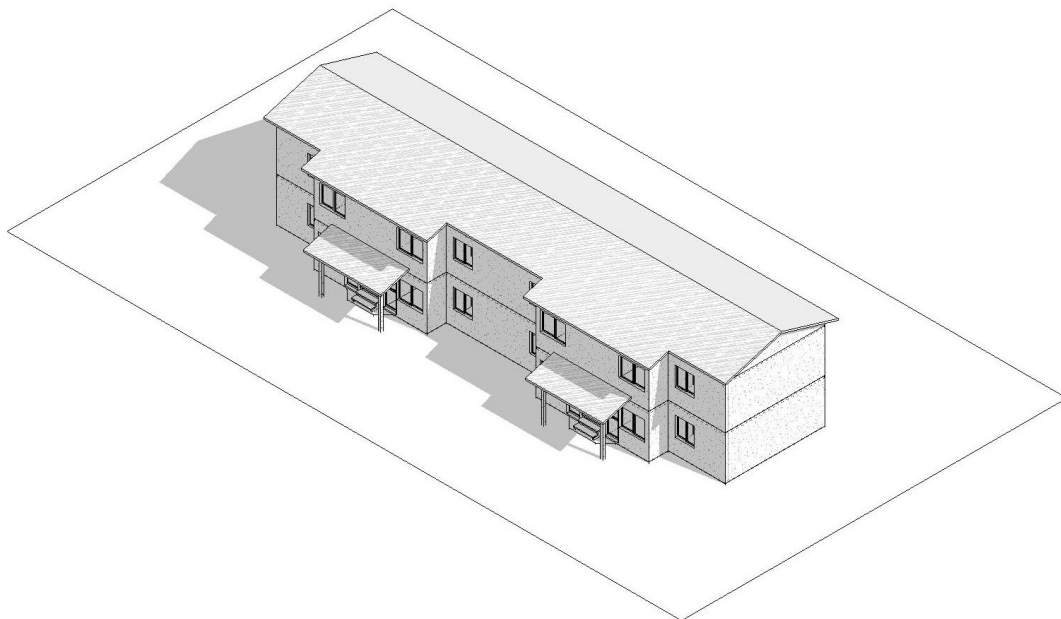
Tabela 12 – Características térmicas materiais do projeto do modelo de teste 01

	Refletância	Absortância Solar	Capacidade Térmica (J/m ² K)	Transmitância Térmica
Parede Externa		0,20	161,00	1,85
Telhado	0,25	0,75	238,00	2,05

Fonte: Autor, 2019.

Esse tipo de configuração de projeto reúne dois blocos geminados de 04 UHs, em um total de 08 UHs, dispostos no pavimento térreo (04) e superior (04). Essa configuração permite ser agrupados de forma linear com mais blocos (4, 8, 12, 16, 20, etc.). O acesso para o pavimento superior é feito por uma escada externa.

Ilustração 76 - Modelo 3D da edificação residencial multifamiliar para avaliação da ferramenta para o modelo de teste 01

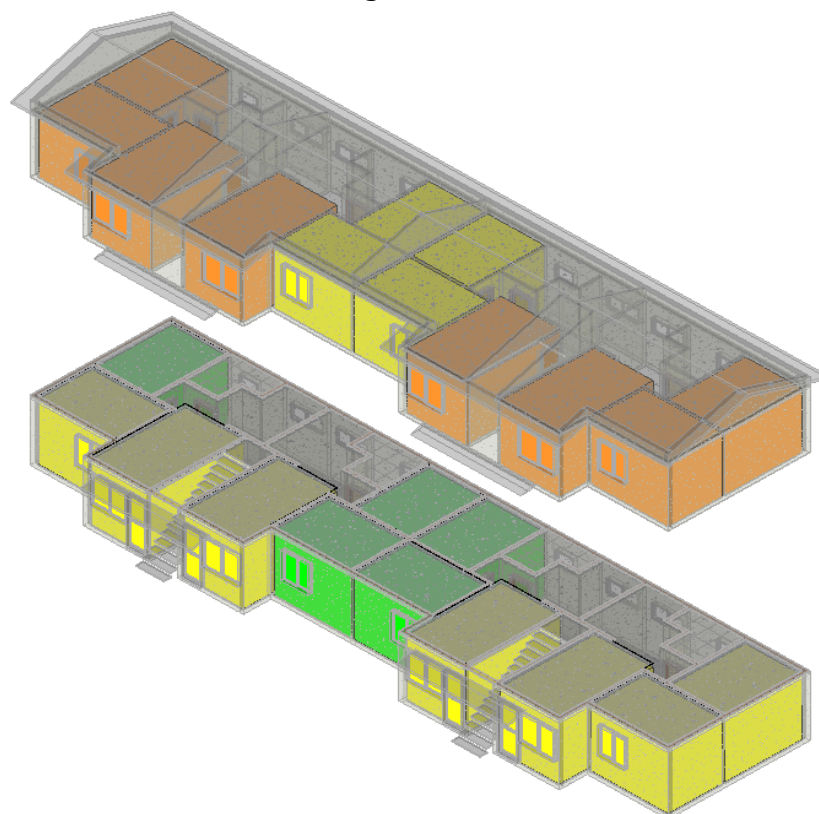


Fonte: Autor, 2018.

5.1.1.2 Simulações e validação

O processamento das informações e equações deu-se sem nenhuma ocorrência, e mesmo com as alterações na programação, a ferramenta manteve a estabilidade, e os resultados apresentados na Ilustração 77.

Ilustração 77 - Modelo de teste 01 - Resultados simulações em 3D de Eficiência Energética



Fonte: Autor, 2019.

Para a validação foi usada uma unidade habitacional (UH8), escolhida aleatoriamente, variando as sete Zonas Bioclimáticas. Para a ZB 5 e 8, que tem equação e constantes iguais, simulou-se também outra UH, no caso a UH1, perfazendo um total de oito simulações. O objetivo neste estudo foi verificar o comportamento dos cálculos das equações, bem como validar a funcionalidade da tipologia multifamiliar.

A validação dos resultados ocorreu da mesma forma que o Projeto Piloto, comparando os resultados calculados pela ferramenta com a planilha Procel. Os resultados foram comparados para as variáveis GHR, CR e CA, e os valores tiveram pequenas diferenças entre os cálculos pelos dois métodos, conforme a Tabela 13, a seguir.

Tabela 13 - Resultados comparativos entre a IDEEA e a planilha Procel do cálculo das variáveis GHR, CR e CA no modelo de teste 01.

ZB's	UH	AMBIENTES	GHR		CR		CA	
			IDEEA	Planilha PROCEL	IDEEA	Planilha PROCEL	IDEEA	Planilha PROCEL
ZB1	UH8	Quarto 01	221	221	7,173	7,168	45,367	45,367
		Quarto 02	200	200	6,844	6,840	50,210	50,210
		Sala	217	217	Não se Aplica	Não se Aplica	29,531	29,531
ZB2	UH8	Quarto 01	9790	9790	41,935	41,988	23,406	23,413
		Quarto 02	8821	8821	38,013	38,066	27,215	25,207
		Sala	9611	9611	Não se Aplica	Não se Aplica	19,014	19,019
ZB3	UH8	Quarto 01	3204	3204	19,609	19,609	7,713	7,713
		Quarto 02	2984	2984	18,350	18,337	10,174	10,178
		Sala	3084	3083	Não se Aplica	Não se Aplica	8,311	8,313
ZB4	UH8	Quarto 01	1908	1908	7,411	7,411	3,796	3,796
		Quarto 02	1627	1627	7,190	7,195	5,168	5,167
		Sala	1863	1863	Não se Aplica	Não se Aplica	3,489	3,489
ZB5 e 8	UH1	Quarto 01	10031	10031	63,111	63,106	Não se Aplica	Não se Aplica
		Quarto 02	8601	8602	58,899	58,893	Não se Aplica	Não se Aplica
		Sala	9605	9606	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
ZB5 e 8	UH8	Quarto 01	12709	12709	60,642	60,642	Não se Aplica	Não se Aplica
		Quarto 02	11353	11353	56,495	56,495	Não se Aplica	Não se Aplica
		Sala	12571	12571	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
ZB6	UH8	Quarto 01	10766	10766	38,638	38,638	Não se aplica	Não se aplica
		Quarto 02	9643	9643	35,633	35,616	Não se aplica	Não se aplica
		Sala	10715	10715	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
ZB7	UH8	Quarto 01	26457	26457	85,648	85,648	Não se aplica	Não se aplica
		Quarto 02	24970	24968	83,321	83,277	Não se aplica	Não se aplica
		Sala	26203	26202	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica

Fonte: Autor, 2019.

As diferenças ocorrem na casa centesimal e milesimal de uma parte dos resultados, e foram realizadas investigações para identificar a origem das variações, sendo apresentadas no final desta seção.

Diferenças nos valores foram encontradas na variável GHR (01 resultados diferente em 24 valores calculados), CR (09 resultados diferentes em 16 valores calculados) e CA (06 resultados diferentes em 12 valores calculados), com uma maior incidência de valores diferentes no cálculo do CR (56%) e no CA (50%).

5.1.2 Modelo de Teste 02 – edifício 04 pavimentos

Neste modelo de teste optou-se por uma edificação residencial vertical com 04 pavimentos, e oito unidades habitacionais por pavimento. Essa tipologia vertical permite verificar como a ferramenta funciona com um número maior de unidades.

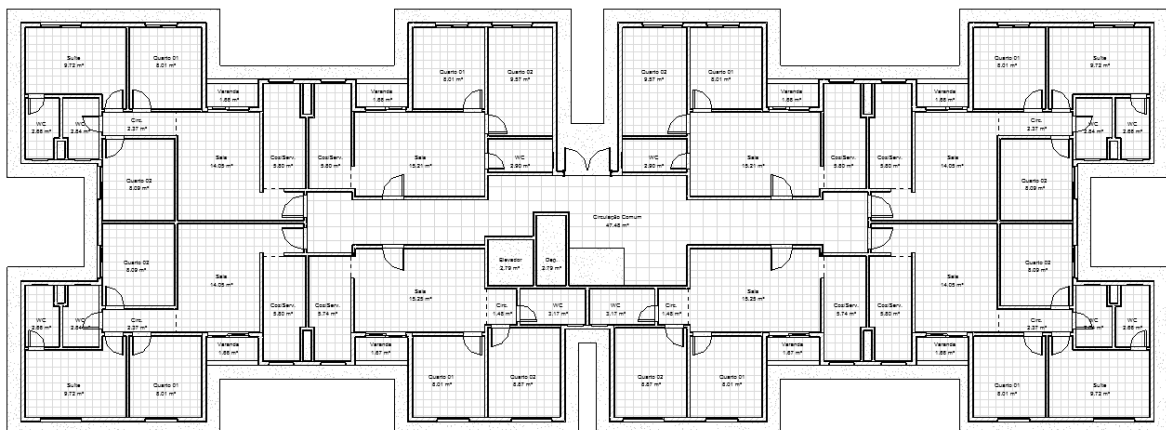
5.1.2.1 Projeto

O modelo escolhido para essa etapa é o de uma edificação residencial multifamiliar vertical, com área útil média por UH de 55,20m² e 44,20m², similar às utilizadas em tipologias para habitação de interesse social.

O projeto está apresentado a seguir nas Ilustração 78 e Ilustração 79, com especificações gerais descritas nas Tabela 14 e Tabela 15. O pavimento tipo é composto de duas tipologias, com dois e três quartos, sendo distribuídos da seguinte forma:

- a) UH 01: 04 ambientes de permanência prolongada (APP): Sala, Quarto 01, Quarto 02 e Quarto 03; 04 ambientes de uso transitório: Cozinha, Varanda e dois Banheiros; e ambiente de circulação: Circulação;
- b) UH 02: 03 ambientes de permanência prolongada (APP): Sala, Quarto 01 e Quarto 02; 03 ambientes de uso transitório: Cozinha, Varanda e Banheiro; e ambiente de circulação: Circulação.

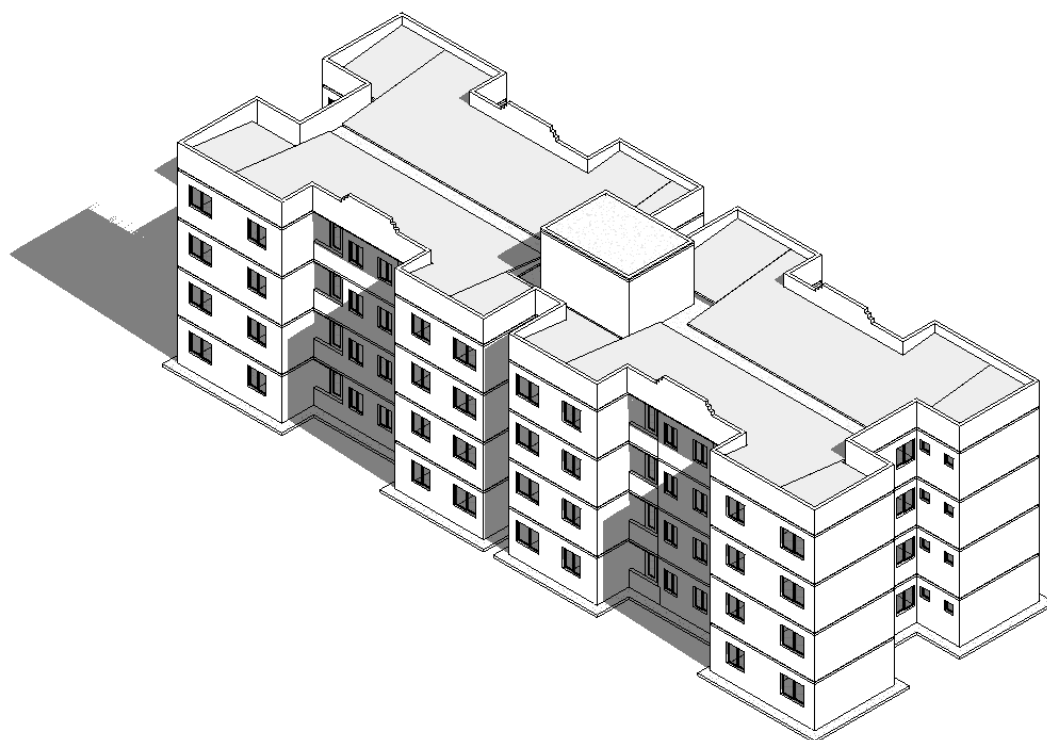
Ilustração 78 - Planta-baixa pavimento tipo de edificação residencial multifamiliar para avaliação da ferramenta do modelo de teste 02



Fonte: Autor, 2019.

Vale ressaltar que no projeto usado para as simulações, foram modelados apenas os elementos necessários para o processamento dos cálculos e à definição da geometria.

Ilustração 79 - Modelo 3D para avaliação da ferramenta no modelo de teste 02



Fonte: Autor, 2019.

Tabela 14 - Especificação de material projeto de arquitetura para o modelo de teste 02

Paredes	Bloco de concreto estrutural de 19cm; Exterior: chapisco 0,5cm, massa única 4,5cm, emassamento acrílico branco; Interior: chapisco 0,5cm, massa única 2,5cm, emassamento pva látex, pintura látex, para Sala, Quartos e Hall; Chapisco 0,5cm, emboço interno 2,5cm, revestimento cerâmico 1,0cm, para Banheiro e Cozinha;
Coberta	Laje Maciça sob Telha Fibrocimento_Branco Interno_10cm
Janelas	Alumínio natural, de correr, com vidro 4mm: Sala (Porta): 2,20 x 1,50m; Quarto 1 e 2: 1,20 x 1,20m; Suíte: 1,50 x 1,20m; Cozinha: basculante alumínio natural, 0,90 x 1,20m; Banheiro: basculante alumínio natural, 0,60 x 0,60m;
Portas	Internas: Madeira lisa, semioca, 0,70 ou 0,80m; Externas: Alumínio natural, de abrir, com vidro 6mm: Sala: 0,90 x 2,10m; Cozinha: 0,70 x 2,10m;

Fonte: Autor, 2019.

Os materiais escolhidos para o Modelo virtual deste estudo seguem especificações geralmente adotadas para essas edificações.

Tabela 15 - Características térmicas materiais do projeto do modelo de teste 02

	Refletância	Absortância Solar	Capacidade Térmica (J/m ² K)	Transmitância Térmica
Parede Externa		0,20	161,00	1,85
Telhado	0,25	0,60	233,00	2,06

Fonte: Autor, 2019.

5.1.2.2 Simulações e validação

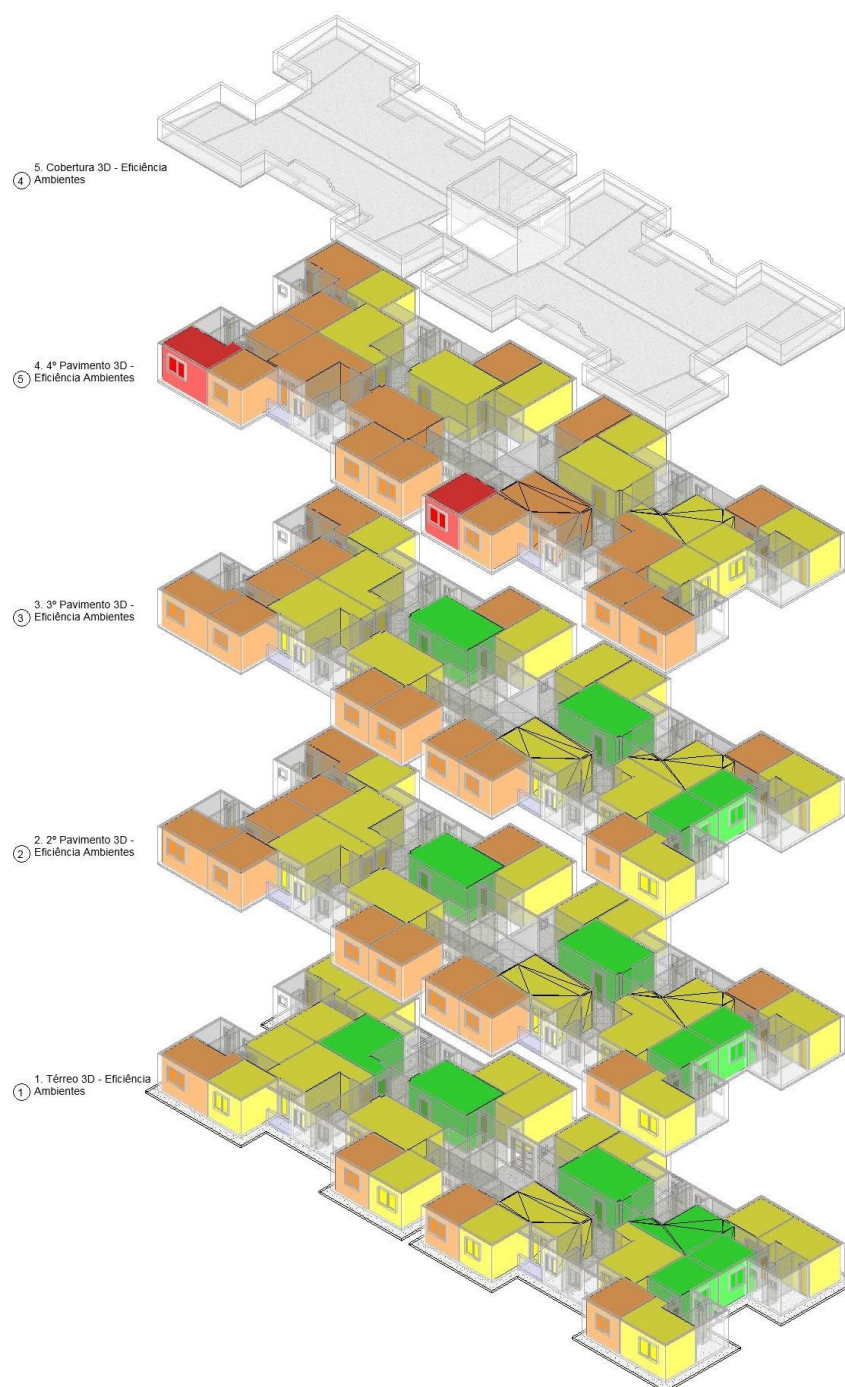
Foram simuladas todas as 32 unidades habitacionais do modelo, variando nas sete Zonas Bioclimáticas. Para efeito de análise dos resultados e comparação com os resultados obtidos através da planilha, foram escolhidas aleatoriamente 08 UH's.

Para a ZB 5 e 8, que tem equação e constantes iguais, comparou-se também uma segunda UH, perfazendo um total de oito comparações, em oito UHs. O objetivo neste estudo foi similar ao modelo de teste 01, sendo agora com um edifício com maior número de pavimentos: saber o comportamento dos cálculos das equações, bem como validar a funcionalidade da tipologia multifamiliar.

A validação dos resultados ocorreu da mesma forma que o Projeto Piloto, e do modelo de teste 01, comparando os resultados calculados pela ferramenta com a planilha Procel. Os resultados foram comparados para as variáveis GHR, CR e CA, e os valores também tiveram pequenas diferenças entre os cálculos pelos dois métodos.

No processamento das informações e equações do modelo de teste 02 também se deu sem nenhuma ocorrência, mesmo com as alterações na programação, e a ferramenta manteve a estabilidade, e os resultados acham-se apresentados na Ilustração 80, além de tabelas e componentes de anotação.

Ilustração 80 – Modelo de teste 02 - Resultados simulações em 3D de Eficiência Energética



Fonte: Autor, 2019.

Como apresentado na Tabela 16, as diferenças entre os valores calculados pela ferramenta e planilha Procel também ocorreram no modelo de teste 02, e da mesma forma nas casas centesimais e milésimas em uma parte dos resultados.

Tabela 16 - Resultados comparativos entre a IDEEA e a planilha Procel do cálculo das variáveis GHR, CR e CA no estudo de modelo de teste 02

ZB's	UH	AMBIENTES	GHR		CR		CA	
			IDEEA	Planilha PROCEL	IDEEA	Planilha PROCEL	IDEEA	Planilha PROCEL
ZB1	UH8	Quarto 01	9790	9790	10,603	10,581	37,155	37,124
		Quarto 02	8821	8821	13,143	13,112	39,562	39,522
		Sala	9611	9611	Não se Aplica	Não se Aplica	23,782	23,77
ZB2	UH8	Quarto 01	9790	9790	41,935	41,988	23,406	23,413
		Quarto 02	8821	8821	38,013	38,066	27,215	25,207
		Sala	9611	9611	Não se Aplica	Não se Aplica	19,014	19,019
ZB3	UH8	Quarto 01	3204	3204	19,609	19,609	7,713	7,713
		Quarto 02	2984	2984	18,350	18,337	10,174	10,178
		Sala	3084	3083	Não se Aplica	Não se Aplica	8,311	8,313
ZB4	UH8	Quarto 01	1908	1908	7,411	7,411	3,796	3,796
		Quarto 02	1627	1627	7,190	7,195	5,168	5,167
		Sala	1863	1863	Não se Aplica	Não se Aplica	3,489	3,489
ZB5 e 8	UH1	Quarto 01	10031	10031	63,111	63,106	Não se Aplica	Não se Aplica
		Quarto 02	8601	8602	58,899	58,893	Não se Aplica	Não se Aplica
		Sala	9605	9606	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
ZB5 e 8	UH8	Quarto 01	12709	12709	60,642	60,642	Não se Aplica	Não se Aplica
		Quarto 02	11353	11353	56,495	56,495	Não se Aplica	Não se Aplica
		Sala	12571	12571	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica	Não se Aplica
ZB6	UH8	Quarto 01	10766	10766	38,638	38,638	Não se aplica	Não se aplica
		Quarto 02	9643	9643	35,633	35,616	Não se aplica	Não se aplica
		Sala	10715	10715	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
ZB7	UH8	Quarto 01	26457	26457	85,648	85,648	Não se aplica	Não se aplica
		Quarto 02	24970	24968	83,321	83,277	Não se aplica	Não se aplica
		Sala	26203	26202	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica

Fonte: Autor, 2019.

Inicialmente a suposição para os dois estudos é de que os valores das constantes das equações da planilha estão com número de casas decimais diferentes das que constam no manual, ou o arredondamento usado na planilha está sendo feito de forma diferenciada do cálculo pela ferramenta. Para um melhor entendimento do que pode estar influenciando essas diferenças, foi realizado um estudo comparativo e apresentado no final desta seção.

Diferenças nos valores foram encontradas na variável GHR (4 resultados diferentes em 24 valores calculados), CR (10 resultados diferentes em 16 valores calculados) e CA (9 resultados diferentes em 12

valores calculados), com uma incidência distribuída no cálculo da seguinte forma: GHR (17%), CR (62,5%) e CA (75%).

Nessa tipologia foi construído inicialmente no modelo com o recurso “Criar Grupo” do Revit, nos pavimentos tipo agrupados (2º, 3º e 4º), que ocorre normalmente nesse processo de modelagem em projetos com elementos repetidos. No entanto a ferramenta não funcionou adequadamente, travando no processamento, fazendo com que fossem desfeitos os grupos, para que o processamento fosse executado normalmente.

5.1.3 Considerações sobre os testes

O problema ocorrido de travamento quando se usam elementos agrupados deverá ser objeto de estudo mais aprofundado, em momento posterior a este trabalho, para que se verifique como é possível com a programação contornar essa situação.

O uso de diferentes modelos de testes foi relevantes e serviu para consolidar a IDEEA como uma ferramenta com robustez e segurança nos resultados apresentados, apesar das pequenas diferenças de resultados encontrados. Foi importante ampliar a ferramenta para a execução de cálculos para a tipologia multifamiliar e vertical, explorando outras possibilidades de utilização, e possibilitando o desenvolvimento desses projetos, integrando-se o desempenho energético ao processo projetual.

5.2 Curso Extensão UFS

A avaliação qualitativa proposta para esta etapa da pesquisa buscou verificar o potencial da ferramenta IDEEA quanto ao nível de adequação ao objetivo estabelecido de auxiliar no processo de tomada de decisão do projeto arquitetônico. Foi realizada através de um curso de extensão que foi ministrado abordando sobre a utilização da ferramenta, onde os participantes tiveram a oportunidade de experimentar e aplicá-la nas fases

iniciais de elaboração de um projeto arquitetônico para uma residência unifamiliar. A hipótese testada foi de que a IDEEA pode contribuir para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos residenciais com melhor desempenho energético.

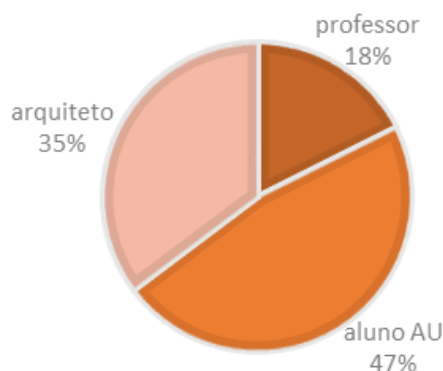
As avaliações adotadas nesse trabalho foram mescladas com opções objetivas de marcação de notas de 0 a 10 (sendo 0 para avaliação ruim, e 10 para excelentes) e opções subjetivas, onde os participantes tiveram a oportunidade de manifestar seus questionamentos e críticas.

As avaliações sobre o uso da ferramenta foram realizadas através de um curso ministrado no Laboratório de Informática, localizada no *Campus* de Laranjeiras da Universidade Federal de Sergipe (CAMPUSLAR/UFS). A escolha deste local se deve não apenas à estrutura oferecida pelo laboratório, onde são ministradas disciplinas que fazem uso de computadores e suporte técnico, por estar localizado nas dependências da universidade na qual este pesquisador trabalha como docente, mas também pelas condições favoráveis de acesso, segurança e privacidade para a realização das avaliações.

A avaliação foi realizada com uma população constituída por alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFS, além de profissionais e docentes (Arquitetos e Urbanistas) interessados pelo tema desempenho energético nas edificações e BIM. O curso de extensão teve como objetivo um nivelamento dos voluntários quanto aos conhecimentos básicos sobre desempenho energético, e treinamento de uso da ferramenta com vistas à avaliação subjetiva. Foi emitido um certificado de extensão das 8 horas para aqueles que tiveram frequência maior que 75%.

O grupo de voluntários deveria possuir conhecimento prévio e domínio no uso do *software Autodesk Revit*. Este grupo de participantes foi formado por 17 participantes, não havendo restrições de sexo, etnia ou idade, e distribuídos entre professores, alunos e arquitetos, como mostra a Ilustração 81. Os alunos (graduação) participantes do curso estão em média no meio do curso, cursando entre o quarto e sexto período.

Ilustração 81 - Gráfico de participantes do curso de extensão na UFS



Fonte: Autor, 2019.

Apesar de o *software Revit* ser ensinado no curso de graduação da UFS, o domínio do programa limitou o número de participantes no curso, pois nem todos os alunos e professores têm prática de usá-lo na elaboração de projetos.

Um limitador para o número de participantes foi o número de computadores disponíveis para utilização, com capacidade para executar as operações e conectados à rede interna, para que fosse possível o compartilhamento dos *scripts* e *template*, que no laboratório estavam em pleno funcionamento apenas os 17 usados.

O prévio conhecimento em Etiquetagem de Eficiência Energética e a prática em processo de projeto abordando o assunto seria o ideal para participação no curso, evitaria a necessidade de nivelamento de conhecimento inicial no curso. Esse pré-requisito agregado ao conhecimento no uso do *software Revit*, reduziria o universo de participantes voluntários para esta pesquisa, como demonstra a Ilustração 82 onde poucos declararam conhecimento no processo de etiquetagem. No gráfico de Etiquetagem mostra o nível de conhecimento dos participantes no tema (0 a 5); apenas dois participantes demonstraram ter nível de conhecimento igual ou acima de três (médio).

Ilustração 82 - Nível de conhecimento X participantes nos diversos temas



Fonte: Autor, 2019.

Apesar das limitações quanto ao número de participantes, o curso atendeu às expectativas, e demonstrou a aplicação da ferramenta no processo de projeto, em um grupo de voluntários para que fosse possível o acompanhamento próximo das atividades, observação da evolução do processo de projeto de cada participante e ocorrência das dificuldades que poderiam acontecer.

5.2.1 Garantias éticas aos participantes

Antes da realização das avaliações subjetivas, todos os participantes receberam um "Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE" (APÊNDICE E) para que pudessem ler e conhecer as informações e explicações necessárias sobre os procedimentos e atividades que foram realizadas durante as avaliações subjetivas. O TCLE também explicitou as garantias éticas dos participantes, tais como:

- (i) Os dados pessoais de identificação do participante, fornecidos apenas para fins de contato e acompanhamento no treinamento e avaliação, não serão divulgados em nenhum veículo de publicação da pesquisa, por exemplo, artigos para congressos ou periódicos, tese, entre outros;
- (ii) Os participantes tinham a possibilidade de desistir em qualquer etapa do processo de avaliação subjetiva, sem nenhum prejuízo ou ônus, não havendo necessidade de apresentar justificativas.

Salienta-se que a avaliação subjetiva não implica nenhum prejuízo físico, psíquico ou moral do participante voluntário. A fim de garantir o nivelamento do participante, foi programada uma etapa inicial para preparação, na qual foram abordados os temas Etiquetagem, certificação de desempenho energético do PROCEL Edifica, necessidades específicas de modelagem virtual a ser realizada no *Revit*, e como operar a ferramenta IDEEA.

Importante também salientar que os *softwares* utilizados nesta pesquisa são da versão estudantil, baixados diretamente do sítio da Autodesk, disponibilizados de maneira gratuita para alunos e professores.

Foi estimado um tempo total do experimento de oito horas para o curso, levando-se em consideração a etapa de orientações iniciais, processo projetual, aplicação da ferramenta, análise dos resultados, ajustes no modelo e a avaliação subjetiva.

5.2.2 Procedimentos Metodológicos

A natureza do desenvolvimento desta avaliação é de cunho qualitativo. A pesquisa “qualitativa engloba a ideia do sujeito, passível de expor sensações e opiniões [...]” (BORBA; ARAUJO, 2013). Essa pesquisa possibilita autonomia para a pessoa pensar e se expressar em relação ao assunto exposto. Em vez de um resultado definitivo, há diversas interpretações, levando em consideração as opiniões, os argumentos e os comentários dos sujeitos da pesquisa.

Os mesmos autores ressaltam que os estudos de pesquisa qualitativa diferem entre si quanto ao método, à forma e aos objetivos de abordagem. Neste tipo de pesquisa, considera-se que há uma relação dinâmica entre o sujeito e o mundo real, e o conhecimento não se constrói baseando-se apenas em dados isolados, analisados de maneira dissociável (PASTANA, 2017).

Como a proposta de desenvolvimento desta pesquisa envolveu uma investigação de âmbito pedagógico em um contexto de sala de aula, fazendo simulações de processo de projeto, podendo ser aplicado em situações de atividades profissionais, compreende-se que tal abordagem é de cunho qualitativo. Um dos enfoques da pesquisa qualitativa são as pessoas e suas atividades, considerando suas interpretações à medida que interagem com outros e refletem a respeito de suas experiências e atividades cotidianas.

A hipótese a ser testada é a de que a ferramenta IDEEA auxilia o projetista na tomada de decisões processo de projeto de uma edificação com melhor desempenho energético. A presente pesquisa qualitativa para avaliar do artefato proposto e foi estruturada em cinco etapas, dispostas de forma resumida na Tabela 17.

Tabela 17 - Quadro Resumo das Atividades e carga horária do curso de extensão

Seq.	Atividade	Carga horária
1º	Termo de Concordância da Direção da Instituição de Ensino	-
2º	Termo de Consentimento Livre Esclarecido	-
3º	Questionário estruturado prévio	30min
	Nivelamento e treinamento IDEEA	4h
4º	Aplicação IDEEA	3h
	Apresentação Resultados	-
5º	Questionário de Avaliação	30min
		8h

Fonte: Autor, 2018.

Todo o experimento teve o acompanhamento presencial do pesquisador, a fim de garantir ao participante o apoio necessário à sua realização e o rápido atendimento em situações que porventura pudessem

ocorrer de desconforto e necessidade ou interesse de desistir da sequência na pesquisa, manifestado pelo participante.

a) Termo de Concordância da Direção da Instituição de Ensino (APÊNDICE E): Para o desenvolvimento dessa etapa da pesquisa, foi agendada uma reunião com a direção do Departamento, a fim de dialogar acerca da eventualidade da realização da pesquisa e como seria possível a realização. Nesta reunião com a equipe gestora do estabelecimento de Ensino, foram esclarecidos os objetivos e procedimentos metodológicos da pesquisa, e foi fornecida a Carta de Anuência para a direção do curso (TERMO DE CONCORDÂNCIA DA DIREÇÃO DA INSTITUIÇÃO DE ENSINO) esclarecendo-se quanto ao uso do nome da IES na tese;

b) Termo de Consentimento Livre Esclarecido (APÊNDICE E): Foi realizada uma reunião com os alunos, na qual foram explicados detalhes da pesquisa, objetivos, atividades que seriam desenvolvidas, os recursos empregados, os horários e dias em que ocorreriam os encontros, bem como sua duração. Os estudantes receberam o Termo de Consentimento Livre Esclarecido. Nesse momento, foram informados de que a participação na pesquisa não é obrigatória. Todas as informações pertinentes a esta etapa foi apresentada na primeira reunião;

c) Questionário Estruturado Prévio (APÊNDICE E): Os alunos receberam uma lista com questões envolvendo desempenho energético das edificações, BIM e *Revit Architecture* versão 2019. Cada participante respondeu individualmente. A finalidade do questionário estruturado prévio foi averiguar os conhecimentos deles em relação aos temas.

Cabe salientar que os questionários não possuem identificação dos participantes, para que tenham liberdade e segurança na exposição das respostas. As folhas do questionário estruturado prévio foram nomeadas por sequência de participante P1, P2, P3..., conforme a numeração sorteada, sendo esse código usado para identificação dos mesmos durante os comentários do treinamento;

d) Treinamento e Aplicação da IDEEA (APÊNDICE E): Os participantes receberam inicialmente um nivelamento abordando o assunto Desempenho Energético, Etiquetagem e PROCEL Edifica, que ocorreu em quatro aulas (50 minutos cada aula), onde foram abordados conceitos importantes para a utilização da ferramenta, como apresentado na Ilustração 83.

Ilustração 83 - Curso de aplicação da Ferramenta IDEEA na UFS



Fonte: Autor, 2019.

Em uma etapa seguinte, foi orientado como utilizar a IDEEA e explicitaram-se os procedimentos que devem ser adotados no programa de modelagem *Revit Architecture* 2019. Foi realizada uma orientação passo a passo das etapas necessárias para a modelagem e inserção das informações. O participante foi preparado para verificar se todas as informações estão inseridas, e após essa etapa, a ferramenta foi iniciada, com acompanhamento das atividades e avaliação dos resultados.

Os participantes foram solicitados a desenvolver um projeto arquitetônico de uma residência unifamiliar térrea. Usaram a ferramenta para auxiliar no processo projetual. Ocorreram em 03 aulas (50 minutos cada aula), quando foi feito o acompanhamento dos participantes quanto à aplicação da ferramenta.

Ao final do desenvolvimento, os participantes realizaram uma rápida apresentação dos resultados do processo de projeto, demonstrando a evolução, e resultado final da eficiência energética encontrada.

a) Questionário de Avaliação (APÊNDICE E): Um questionário de avaliação foi distribuído, e teve como objetivo coletar as opiniões dos participantes em relação às atividades desenvolvidas, em particular ao uso da ferramenta IDEEA integrado ao processo projetual. O objetivo é compreender o quanto a ferramenta colaborou com o processo de projeto, sua praticidade de uso e a melhoria do desempenho energético da edificação em projeto.

5.2.3 Critérios de inclusão e exclusão dos participantes da pesquisa

O curso foi divulgado no Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFS, onde constavam os pré-requisitos necessários para que a participação contribuísse com a pesquisa. Convidados profissionais de escritórios de arquitetura, que já trabalhavam com o BIM, e tinham disponibilidade de participar.

A seleção utilizou como critério de inclusão e exclusão a declaração por parte de cada participante voluntário da sua habilidade em usar o programa de modelagem *Revit Architecture*, bem como ter cursado as disciplinas de Desenho Arquitetônico e Conforto Ambiental, e no mínimo um ano da disciplina de Projeto Arquitetônico.

5.2.4 Atividades desenvolvidas

As atividades decorreram de acordo com o planejamento estabelecido, apresentado no APÊNDICE E desta pesquisa.

Nas atividades didáticas de aplicação da ferramenta, buscou-se seguir um roteiro sugestivo com um passo a passo para facilitar a compreensão,

salientando que a sequência apresentada seria apenas uma sugestão, e que cada um deveria adotar sua metodologia própria.

5.2.5 Dificuldades encontradas

O curso contou com a participação de 17 voluntários, esse número foi determinado pela quantidade de computadores disponíveis no laboratório de informática, sendo usado um computador para cada participante.

Como visto nos gráficos da Ilustração 82, os participantes têm diferentes níveis de conhecimento na área de arquitetura. Além disso, houve dificuldades de se encontrar interessados, com conhecimento e prática em análise e simulação de desempenho energético no processo de projeto de arquitetura, para participar e a contribuir com a pesquisa.

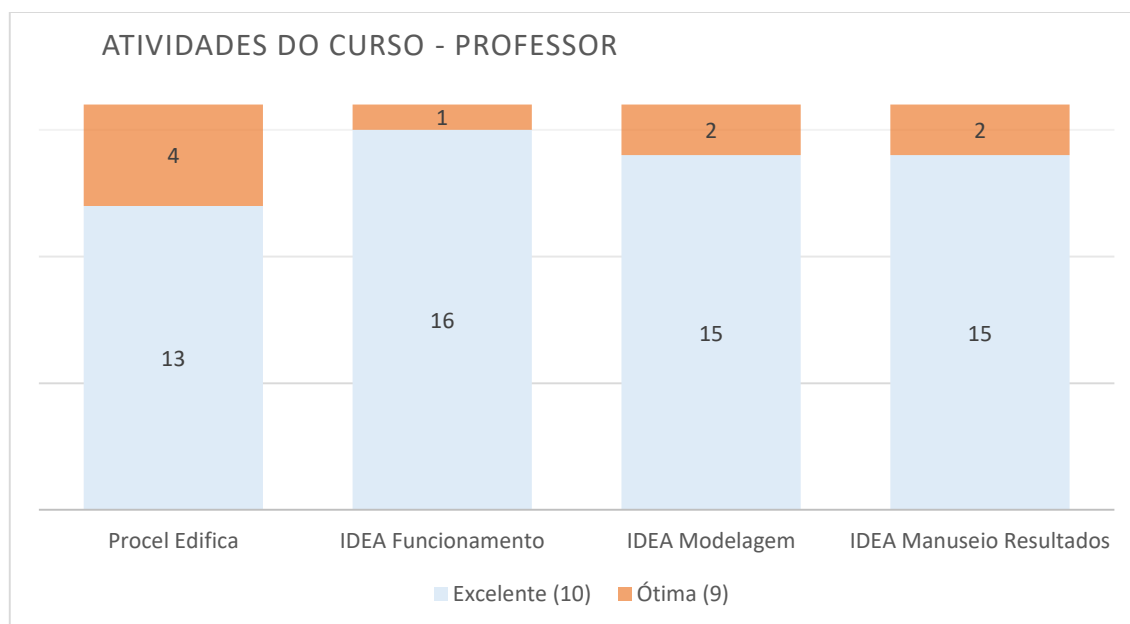
Desta forma surge a necessidade de se fazer um nivelamento desses assuntos, onde foi abordado o contexto geral da Etiquetagem PBE Edifica, o RTQ-R, glossário e processo de certificação, Equações e variáveis.

O laboratório de informática utilizado atendeu de modo integral ao uso e à aplicação da ferramenta, que não tiveram ocorrências de problemas de *hardware* decorrentes do processamento das informações. Os computadores usados nessa experiência têm configuração de processador Intel I3, com memória de 8Mb, sem placa de vídeo dedicada, e tiveram um bom desempenho, executando os programas de forma satisfatória.

5.2.6 Resultados apresentados

Embora ter havido pouco tempo para explanação de todo o conteúdo sobre Desempenho Energético e Etiquetagem nas edificações, necessário para uma melhor aplicação da ferramenta, obteve-se uma rápida compreensão dos conceitos gerais e valores envolvidos. A avaliação dos conteúdos ministrados pelo instrutor foi positiva (Ilustração 84).

Ilustração 84 - Avaliação dos conteúdos ministrados pelo instrutor



Conforme citado anteriormente, o curso teve como objetivo a avaliação da aplicação da ferramenta, sem fazer a análise do projeto elaborado pelos participantes para as demais questões envolvidas no processo de projeto, dando liberdade para se projetar de acordo com seus conhecimentos e metodologia.

O acompanhamento da atividade de aplicação da ferramenta foi importante para a percepção de como a ferramenta interfere ao estar inserida no processo de modelagem, sem a necessidade de exportação da modelagem para outros programas. O processo ocorre todo dentro do programa de modelagem, agilizando os resultados e a tomada de decisão.

Os participantes desenvolveram um projeto usando a ferramenta para integrar o desempenho energético no processo projetual (Ilustração 85). Alguns já estavam extraíndo resultados em pouco tempo de utilização; em média, 60 minutos para concepção do projeto, modelagem do partido e entrada das informações necessárias. Nessa atividade, um dos participantes conseguiu extrair resultados em 40 minutos depois de iniciado o processo de projeto e modelagem.

Ilustração 85 - Imagens dos participantes durante a atividade de aplicação da ferramenta no curso de extensão



Fonte: Autor, 2019.

Algumas dificuldades surgiram no acompanhamento da modelagem, e relacionadas a seguir:

- Modelagem de paredes de acordo com sua função: exterior e interior. Essa informação é importante para a ferramenta saber diferenciar os tipos de paredes, e qual a sua função no projeto;
- Indicação correta das faces externas das paredes voltadas para o exterior da edificação. Necessário para definição da correta orientação das paredes, e a ferramenta ter o entendimento das áreas de fachadas;
- Indicação correta das faces externas das esquadrias voltadas para o exterior da edificação. Definição necessária para entendimento da orientação das esquadrias;

- Falta de informações de projeto necessárias ao processamento. A modelagem deve conter as informações necessárias aos cálculos das equações.

As ocorrências se deram basicamente por conta da pouca experiência na modelagem da informação da construção de forma qualificada, que viessem a refletir fielmente a construção virtual da edificação. Foi observado através do acompanhamento que essa não é uma prática recorrente nos participantes do curso.

A maior parte das dificuldades foi sanada pela própria ferramenta, através de mensagens de erro enviadas pelos *scripts*. As demais foram resolvidas mediante análise, acompanhamento e orientação do instrutor.

Embora o nível de conhecimento dos participantes fosse heterogêneo, a assimilação ao funcionamento da ferramenta ocorreu no tempo previsto para a atividade – a primeira parte do exercício (50 minutos iniciais).

Os arquitetos e professores absorveram de forma mais rápida o conteúdo e puderam explorar melhor a aplicação da ferramenta. A maioria dos alunos de graduação teve mais dificuldades com o uso do *Revit*, talvez por ainda não ter consolidado uma metodologia própria do processo de projeto.

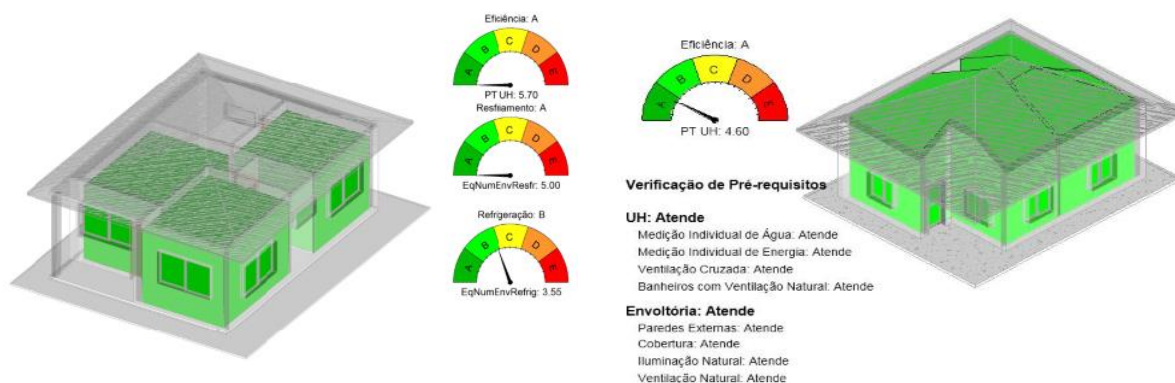
Apesar das diferenças de níveis de conhecimento entre os participantes, todos desenvolveram um projeto de uma edificação residencial e puderam fazer ajustes buscando uma melhoria na eficiência energética.

Um questionamento que ocorreu, e por mais de um participante, foi: quais seriam os principais fatores a influenciar na melhoria do desempenho energético?

A dúvida faz sentido por conta do grande número de variáveis presentes no processo, incluídas nas equações de regressão linear descritas anteriormente no RTQ-R. Na resposta, não pode ser apontado um fator específico, mas a integração entre variáveis distintas, que deveriam ser objeto de pesquisas para uma melhor determinação, inclusive com o auxílio dessa ferramenta.

Com os ajustes no projeto, os participantes foram percebendo quais fatores proporcionam melhores resultados (Ilustração 86), e através das experiências no projeto, avaliaram a relevância de cada um deles, analisando não apenas os componentes gráficos de leitura (vistas 3D e relógios), mas também dispo de um entendimento mais aprofundado sobre os valores das variáveis descritas nas tabelas.

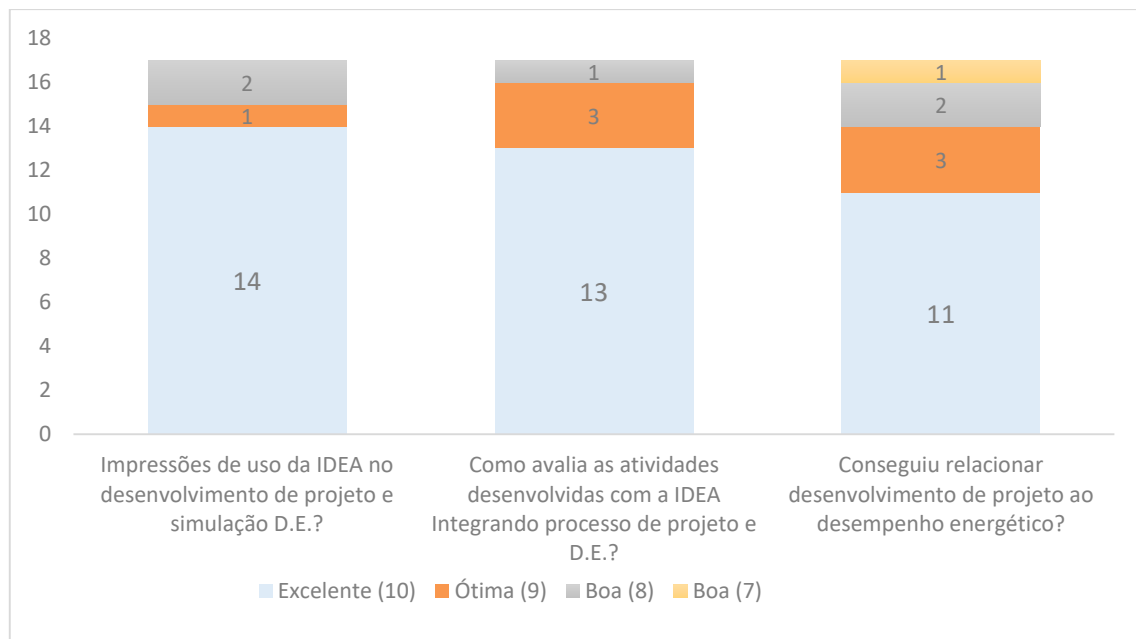
Ilustração 86 - Exercícios durante o curso de aplicação da IDEEA



Fonte: Autor, 2019.

Os resultados apresentados (modelagens do projeto, acompanhamento da aplicação da ferramenta, respostas ao questionário aplicado de avaliação da ferramenta) demonstram que os participantes tiveram uma boa assimilação no auxílio ao processo de projeto (Ilustração 87).

Ilustração 87 - Avaliação do uso da ferramenta IDEEA, integração do processo de projeto e desempenho energético



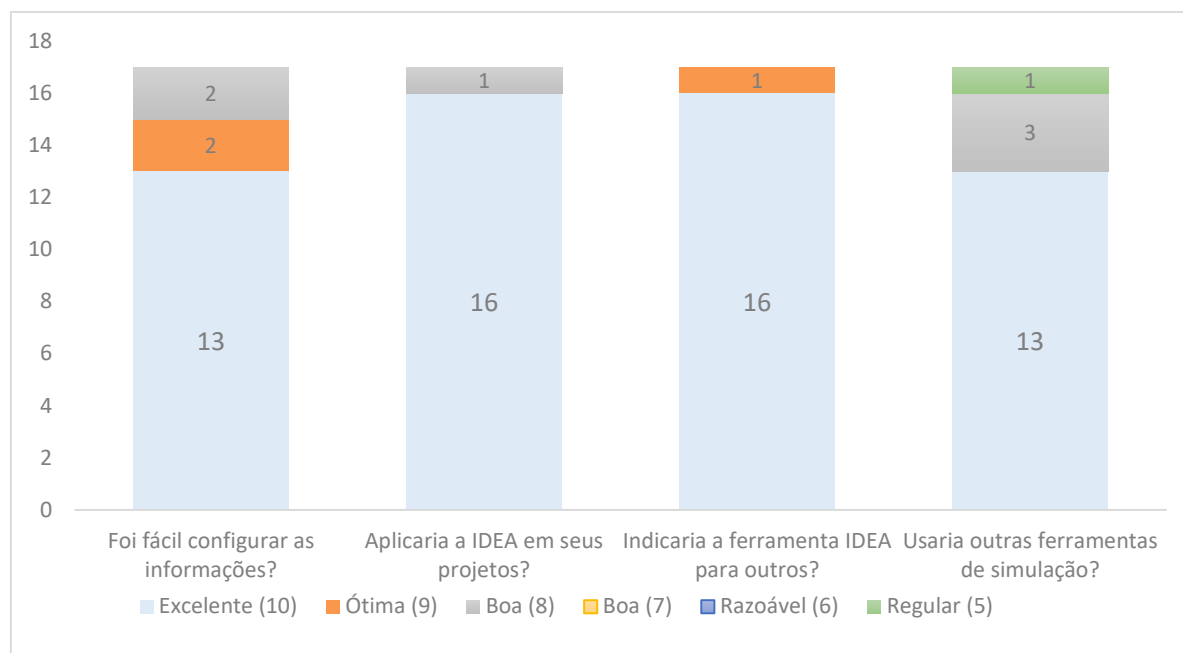
Fonte: Autor, 2019.

No gráfico da Ilustração 87, os participantes avaliam como excelente (10), ótima (9) e boa (8) a questão sobre o uso da ferramenta para o desenvolvimento de projeto e simulação de desempenho energético, e as atividades desenvolvidas com a IDEEA integrando o processo de projeto e desempenho energético.

A maior parte dos participantes também avalia que conseguiu relacionar bem quanto ao desenvolvimento de projeto ao desempenho energético, demonstrando que não sentiram dificuldades na utilização da ferramenta e revelando que aplicariam a IDEEA em seus projetos.

Responderam que indicariam para outros projetistas a ferramenta de auxílio de projeto, e que poderiam usar outras ferramentas de simulação de projeto (Ilustração 88).

Ilustração 88 - Avaliação dos participantes sobre a aplicação da ferramenta IDEEA no processo de projeto



Fonte: Autor, 2019.

5.2.7 Acompanhamento do exercício

O acompanhamento das atividades do curso possibilitou a observação do comportamento dos participantes na aplicação da ferramenta. Foram selecionados alguns para demonstração dos resultados.

Seguem comentários no item "Sugestões e Críticas":

"A ferramenta é bastante prática e operacional, além de uma excelente contribuição para a profissão e qualidade das edificações"

Participante P03

"Apesar da dificuldade do primeiro contato, a ferramenta apresentou-se bastante intuitiva"

Participante P05

"Para a etiquetagem, a ferramenta atende totalmente. Sugestão de se levar em considerações nas análises a influência dos ventos predominantes"

Participante P06

"Transformar em plug-in e disponibilizar para outros profissionais"

Participante P09

"Possibilidades de automatizar ainda mais o serviço, ampliação de biblioteca e transformação das rotinas do Dynamo em um plug-in dentro do Revit"

Participante P15

"Parabéns pela iniciativa de ter como resultado final de um doutorado um produto com grande potencial de explorar futuras melhorias, além de poder ser utilizado durante o processo de projeto, minimizando custos desnecessários ao longo da vida útil da edificação"

Participante P17

Embora poucos participantes tenham deixado comentários nesse item do questionário, as manifestações foram positivas e sugerem uma boa impressão com o uso da ferramenta.

Durante as atividades, podem-se observar as dificuldades encontradas e a evolução dos resultados do desempenho energético do projeto de cada participante.

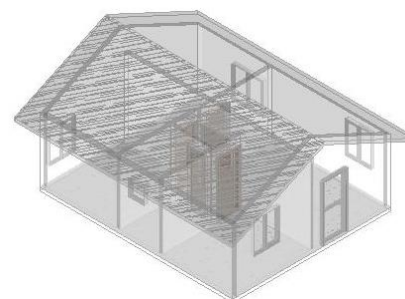
Na Ilustração 89 estão descritos os principais passos do acompanhamento do desenvolvimento do projeto por um participante (P05) e a evolução do projeto alcançada por ele nos resultados de desempenho energético. A evolução da eficiência foi boa, passando de "D" para "B", obtendo uma boa melhoria nos resultados da edificação.

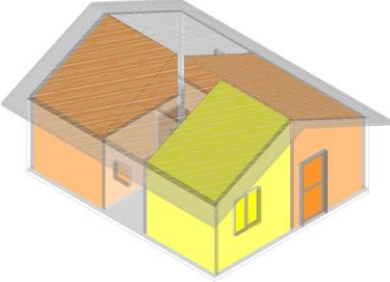
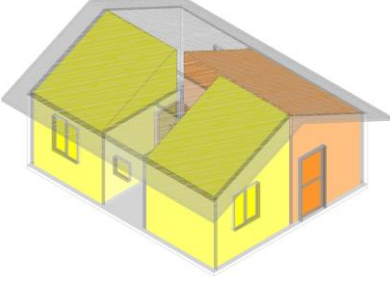
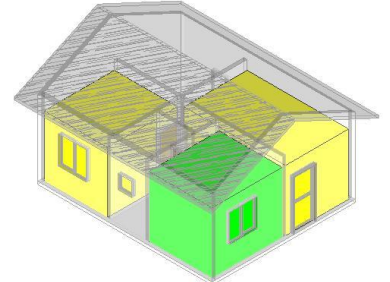
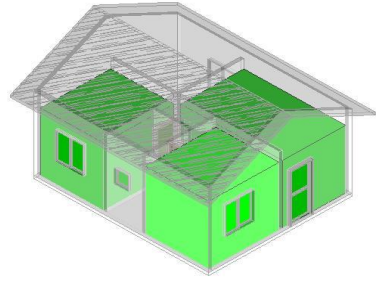
Ilustração 89 - Acompanhamento do desenvolvimento do processo de projeto com auxílio da IDEEA - Participante P5

1 Na etapa inicial foi desenvolvida a modelagem relativa ao seu projeto de uma residência com 03 ambientes de permanência prolongada (02 quartos e sala), e 02 de permanência transitória (banheiro e cozinha).

Os principais materiais usados foram:

- Paredes externas: Bloco de concreto estrutural de 14cm;
- Cobertura: Telha cerâmica colonial, com estrutura em madeira aparente;
- Esquadrias: Alumínio natural, de correr, com vidro
- Portas Externas: Alumínio natural, de abrir, com vidro.



<p>2 Após a modelagem do projeto, análise e conferência dos dados necessários aos cálculos, foi executada a ferramenta IDEEA para processamento das informações e cálculo das equações de eficiência. Foi apresentado um desempenho energético baixo para a Unidade Habitacional (UH):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sala e Quarto 01: nível "D"; - Quarto 02: nível "C"; <p>O resultado foi analisado, considerado baixo e realizado ajuste como a alteração na janela de quarto para a orientação sul, com o intuito de melhoria na eficiência desse ambiente.</p>	
<p>3 A alteração obteve melhoria no resultado desse ambiente, porém ainda não foi considerada satisfatória e o projetista continuou buscando melhorias para o projeto. Resultados encontrados:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sala: nível "D"; - Quarto 01 e Quarto 02: nível "C"; <p>O resultado foi analisado e realizado ajuste como a inserção de forros de gesso nos Quartos e Sala, e um pé-direito mais alto 50cm, buscando um maior isolamento da carga térmica da cobertura.</p>	
<p>4 As alterações produziram melhorias no desempenho dos ambientes, mas ainda não foram consideradas satisfatórias e o projetista continuou buscando melhorar o projeto. Resultados encontrados:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sala e Quarto 01: nível "C"; - Quarto 02: nível "B"; <p>O resultado foi analisado e realizado novo ajuste como a inserção de uma janela na Sala, e aumento das dimensões das esquadrias para 1,20m de largura. Buscou-se assim, ampliar a área de ventilação dos ambientes de permanência prolongada.</p>	
<p>5 As alterações proporcionaram melhores resultados e, apesar do nível de eficiência energética ainda poder melhorar para atingir pontuação maior, o projetista considerou que o resultado atendia de forma satisfatória ao objetivo da atividade. Resultados encontrados:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sala e Quarto 01: nível "A"; - Quarto 02: nível "B"; <p>- Eficiência da UH: "B".</p>	

Fonte: Autor, 2019.

Outros participantes também demonstraram desenvoltura no uso da ferramenta, como o P12, demonstrado através da Ilustração 90: a evolução

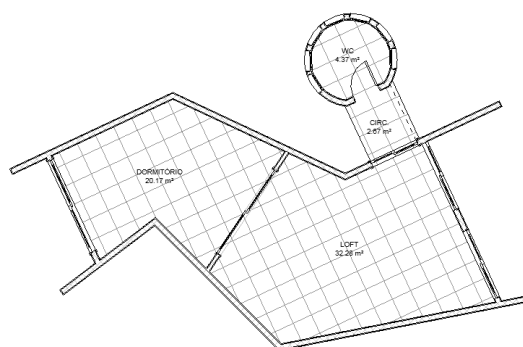
do projeto alcançada por ele no tocante ao desempenho energético, onde conseguiu uma boa evolução nos resultados, saindo da etiqueta "E" para a "B".

Ilustração 90 - Acompanhamento do desenvolvimento do processo de projeto com auxílio da IDEEA - Participante P12

1 Na etapa inicial foi desenvolvida a modelagem relativa ao seu projeto de uma residência com 02 ambientes de permanência prolongada (quarto e sala), e 01 de permanência transitória (banheiro) e uma circulação.

Os principais materiais usados foram:

- Paredes externas: Bloco de concreto estrutural de 19cm com acabamento em pintura branca;
- Cobertura: Laje pré-moldada sem telhamento esp. 12cm;
- Esquadrias: Alumínio natural, de correr, com vidro
- Portas Externas: Alumínio natural, de abrir, com vidro.

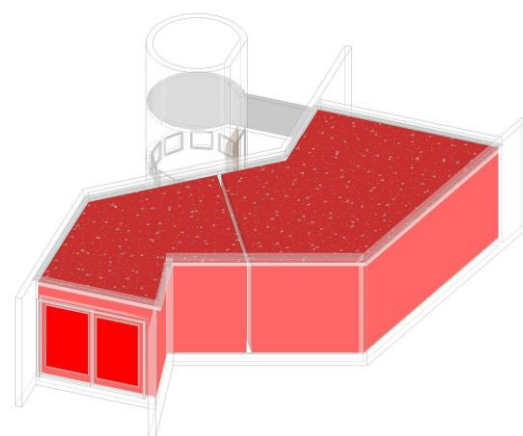


2 Após a modelagem do projeto, análise e conferência dos dados necessários aos cálculos, foi executada a ferramenta IDEEA para processamento das informações e cálculo das equações de eficiência.

Foi apresentado um desempenho energético baixo para a Unidade Habitacional (UH):

- Sala e Quarto 01: nível "E";

O resultado foi analisado, considerado muito baixo e realizado ajuste no elemento de cobertura, alterado para laje pré-moldada com cobertura verde, com esp. 52cm, buscando um maior isolamento da carga térmica da cobertura.



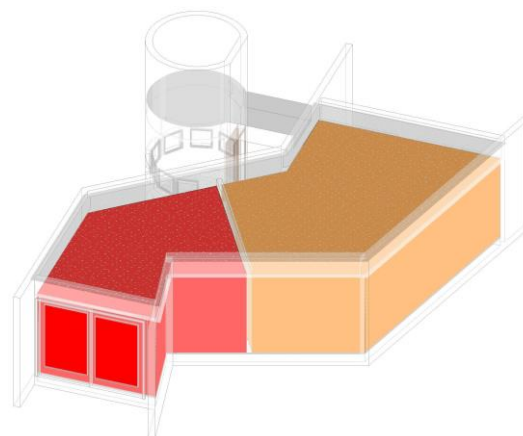
3 A alteração obteve melhoria no resultado da sala, porém ainda não foi considerada satisfatória e o projetista continuou buscando melhorias para o projeto.

Resultados encontrados:

- Sala: nível "D";
- Quarto: nível "E";

O resultado foi analisado e realizado ajuste como mudança no tipo de paredes laterais para alvenaria com bloco de concreto + lã de rocha e acabamento pintura branca, buscando um maior isolamento da carga térmica das paredes.

Como o resultado não alterou a eficiência dos ambientes foi realizado outras mudanças:



- foi alterada a posição da porta externa do quarto, mudando da fachada oeste para a norte;

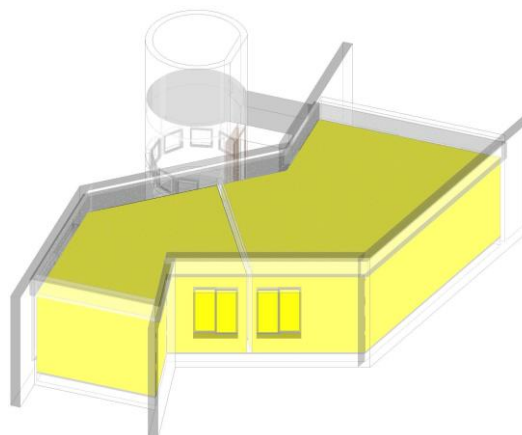
- Foram acrescentadas duas janelas no quarto e na sala.

4 As alterações produziram melhorias no desempenho dos ambientes, mas ainda não foram consideradas satisfatórias e o projetista continuou buscando melhorar o projeto.

Resultados encontrados:

- Sala e Quarto: nível "C";

O resultado foi analisado e realizado novos ajuste como a inserção de mais 03 janelas na Sala, e a colocação de forro de gesso na Sala e Quarto. Buscou-se ainda, ampliar a área de ventilação da sala e maior isolamento da carga térmica na cobertura.

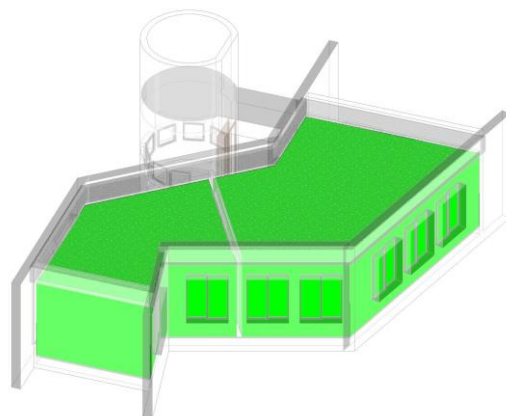


5 As alterações proporcionaram melhores resultados e, apesar do nível de eficiência energética ainda pode melhorar para atingir pontuação maior, o projetista considerou que o resultado atendia de forma satisfatória o objetivo da atividade.

Resultados encontrados:

- Sala e Quarto: nível "B";

- Eficiência da UH: "B".



Fonte: Autor, 2019.

Em ambos os projetos, apesar de os resultados de eficiência energética não terem alcançado a etiqueta "A", a evolução foi considerada boa, principalmente se observado o pouco tempo de uso da ferramenta e a pouca familiarização do projetista com o tema.

5.2.8 Considerações finais da atividade

Embora o universo de participante do curso tenha contado com um número restrito de 17 voluntários – essa atividade deve ser estendida futuramente a um maior número de usuários –, as atividades desenvolvidas

permitiram a aplicação, o acompanhamento e a avaliação do uso da ferramenta diretamente com alunos e profissionais da área, e deram um retorno fundamental para esta pesquisa.

A participação de alunos, professores e arquitetos com diferentes níveis de experiência possibilitou a verificação da interface entre a ferramenta e o processo de projeto para um público diferenciado, auxiliando na tomada de decisões em busca de melhorias no desempenho energético das edificações.

Nesse grupo de participantes, demonstrou-se como a ferramenta pode ser assimilada para uso em pequenos escritórios de projeto, e a importância no uso de ferramentas de simulação que possam mensurar e qualificar as decisões tomadas durante a fase de criação, em especial nos momentos iniciais do processo.

Através de comentários de alunos e professores, foi observada a possibilidade de a ferramenta ser utilizada como instrumento pedagógico, auxiliando nos exercícios de projeto e reforçando decisões que interferem diretamente no processo projetual.

A facilidade de assimilação apresentada pelo grupo de participantes pode estimular a utilização da modelagem BIM como o instrumento adequado de análises e simulações nas fases iniciais do projeto. A apresentação gráfica através de componentes visuais em vistas 3D e componentes de anotação (relógios de eficiência) tem um grande potencial para a melhor assimilação dos resultados técnicos e auxilia na leitura e entendimento da influência no projeto do desempenho energético da edificação residencial.

De forma geral, por conta do tempo disponível, os participantes optaram por desenvolver projetos simplificados (Ilustração 86), o que de certa forma contribuiu para um processo mais ágil de aprendizagem da ferramenta. Com geometrias mais simples pode-se analisar melhor a influência de outros fatores, como: orientação do norte verdadeiro, composição dos elementos de fechamento (paredes e telhados),

dimensionamento e tipologia das esquadrias, uso de forro e posicionamento dos ambientes de permanência prolongada.

5.3 Comunicação com a comunidade científica

A ferramenta foi desenvolvida e os resultados dessa pesquisa foram apresentados para a comunidade científica em revistas e conferências da área. Espera-se receber críticas para aprimorar o desenvolvimento da mesma.

Durante o desenvolvimento dessa tese foram submetidos quatro artigos científicos, os resumos estão apresentados no APENDICE G, e são eles:

1) ANALYSIS AND SIMULATION OF ENERGY EFFICIENCY ON PLATFORM BIM: A SYSTEMATIC LITERATURE MAPPING. *Sustainable Urban Communities towards a Nearly Zero Impact Built Environment – SBE16 Brazil & Portugal*. 7 a 9 de setembro de 2016, Vitória, ES, Brasil.

2) UMA FERRAMENTA BIM DE SIMULAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS FASES INICIAIS DE PROJETO. PARC - Pesquisa em Arquitetura e Construção, Periódico, Unicamp, Departamento de Arquitetura e Construção da Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, SP, Brasil.

3) APLICAÇÃO DE UMA FERRAMENTA BIM DE SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO NAS FASES INICIAIS DE PROJETO. II Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção - SBTIC (ANTAC, 2019). Unicamp, 19 a 21 de agosto de 2019, Campinas, SP, Brasil.

4) UMA FERRAMENTA BIM DE PROJETO PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO. VI Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído – SBQP 2019. 2019 - Uberlândia; Anais...Porto Alegre: ANTAC.

Dentre os artigos submetidos, o primeiro (SBE16) foi publicado no ano da apresentação, sendo os demais aceitos, porém ainda não foram publicados, todos com data prevista para o ano de 2019.

No processo de submissão houveram comentários e críticas aos artigos, que foram discutidos com os avaliadores, muitas das quais incorporadas a tese, e outras foram expostas as justificativas pela qual não foram implantadas.

Essa interação com a comunidade acadêmica foi importante para o entquecimento do trabalho, e espera-se para a sequência do ano para expor esses artigos para um número maior de pesquisadores e interessados no tema.

5.4 Considerações finais da aplicação da ferramenta IDEEA

Nessa seção pôde-se avançar no desenvolvimento da ferramenta, desde o uso com uma tipologia multifamiliar, em que foram necessários maiores ajustes na programação dos *scripts*, até o uso da linguagem Python, acrescentando outras funcionalidades para o uso nessa tipologia e removendo a necessidade de uso de pacotes de nós pré-configurados.

Nos estudos de caso, a ferramenta funcionou com consistência na execução do processamento de várias UHs, não apresentando problemas nem mensagens de erro. Porém a validação dos resultados mostrou diferenças para os resultados encontrados na planilha PROCEL.

Essas diferenças precisarão ser analisadas futuramente em estudos específica sobre esse tema, para se encontrar sua origem. No entanto, foram realizados estudos comparativos para conferência dos valores das constantes das equações usados entre os métodos da ferramenta IDEEA, do Manual RTQ-R e da planilha PROCEL.

A intenção do estudo foi confirmar se os valores adotados na ferramenta eram idênticos aos indicados pelo Manual do RTQ-R, sendo para isso feita uma comparação visual dos valores usados nos *scripts*. Nesse

estudo foi certificado de forma visual que os valores encontrados são os indicados pelo manual.

Um segundo estudo realizado foi usado para fazer uma comparação entre os valores das constantes usados nos dois métodos, Manual RTQ-R e planilha PROCEL. Compararam-se os valores das constantes das equações encontradas no Manual do RTQ-R, que a ferramenta IDEEA usou como referencial, e os valores da planilha PROCEL. Neste estudo foram analisados os valores das constantes das equações de GHR, CA e CR de todas as ZBs. Os resultados estão dispostos nas Tabela 44 a 49, no APÊNDICE F – TABELAS COMPARATIVAS DAS CONSTANTES DAS EQUAÇÕES desta tese.

Na Tabela 18 a seguir observa-se que os valores das constantes tiveram diferenças na quase totalidade das ZBs, apenas na ZB4 para o GHR, e ZB1 para o CA os valores usados foram iguais.

Tabela 18 - Resumo dos Estudos comparativos entre a planilha Procel e Manual RTQ-R, para todas as Zonas Bioclimáticas

ZB's	GHR			CA			CR		
	Quant.	Dif.	%	Quant.	Dif.	%	Quant.	Dif.	%
ZB01	39	2	5%	54	0	0%	57	54	95%
ZB02	48	2	4%	50	3	6%	53	3	6%
ZB03	42	1	2%	24	1	4%	29	29	100%
ZB04	41	0	0%	27	1	4%	37	37	100%
ZB06	45	3	7%	-	-	-	27	27	100%
ZB07	40	1	3%	-	-	-	29	28	97%
ZB05 e 08	40	5	13%	-	-	-	21	20	95%

Fonte: Autor, 2019.

Nas sete equações do GHR foram catorze valores distintos, em um total de 295 constantes, um percentual de 4,75% do total. Para o CA, foram cinco valores diferentes em um total de 155 constantes para as quatro equações, um percentual de 3,23%.

Nas sete equações do CR as diferenças foram em mais constantes, ocorreram em 198 valores de um total de 253, um percentual de 78,26%

do total. Neste item houveram equações em que as diferenças ocorreram em todos os valores (ZB3, ZB4 e ZB6).

Os valores distintos encontrados podem justificar as diferenças no GHR, CA e CR encontrados na validação dos modelos de testes, que são na ordem de casas decimais, centesimais e outros milésimos. No entanto um outro fator pode gerar as divergências, que são os critérios como fazem o arredondamento dos resultados encontrados nos cálculos, mas essa pesquisa não tem o objetivo de abordar essa questão nesse momento, e poderá ser objeto de um estudo mais profundo em trabalhos futuros.

Embora a magnitude final das diferenças encontradas serem pequenas, estas podem influenciar no resultado final do nível de eficiência encontrado da UH.

Durante a aplicação da ferramenta em um *workshop* com participantes voluntários (alunos e professores do curso de arquitetura e urbanismo, e arquitetos), foi possível verificar o uso da IDEEA para desenvolvimento de um projeto para uma pequena residência. Os resultados foram satisfatórios, conforme apresentado nos gráficos resultantes do questionário aplicado no final do evento.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A tese examinou questões relativas aos temas de desempenho energético, simulações no projeto e BIM, e por meio dos resultados obtidos, o objetivo proposto a princípio pode ser considerado atingido: desenvolver uma ferramenta de suporte que possibilite ao projetista trabalhar com a questão de eficiência energética, fazendo avaliações e simulações simultaneamente ao desenvolvimento da proposta arquitetônica em todas as fases do processo do projeto.

A seguir, serão resumidos os resultados da pesquisa, como resposta à problemática inicialmente levantada, além de apresentadas reflexões sobre suas limitações, trabalhos futuros e conclusões.

6.1 Contribuições científicas

Acredita-se que a ferramenta IDEEA incorpora a avaliação da eficiência energética no processo de projeto, desde as fases iniciais, dando suporte para a tomada de decisões. Desta forma, entende-se que o resultado encontrado, permite asseverar que o objetivo geral da pesquisa foi contemplado.

Dos objetivos específicos definidos inicialmente, pelos resultados encontrados, acredita-se que esta pesquisa:

- i. Traça um panorama da produção científica nas áreas de eficiência energética, simulação no processo projeto e BIM, viabilizando outros campos de pesquisa na área;
- ii. Desenvolve uma ferramenta de suporte ao projetista para simulação de desempenho energético no processo de projeto;
- iii. Facilita a inserção da eficiência energética como questão de projeto através de ferramenta de interamigável e ágil de análise e simulação;
- iv. Demonstra a possibilidade de uso do BIM para a melhoria na qualidade do edifício;

6.2 Limitações

Uma nova versão do RTQ-R está em desenvolvimento, com previsão de apresentação para o início de 2020, quando será analisada a possibilidade de correção e ajuste da ferramenta IDEEA para atendimento ao novo regulamento. O intuito desta pesquisa seria atualizar a ferramenta para o novo regulamento, porém não foi possível, pois o prazo em que ela será disponibilizada para os usuários acontecerá após o encerramento dessa tese.

Limitações de *hardware* não permitiram que a ferramenta funcionasse simultaneamente à modelagem sem a necessidade de executá-la através do *Dynamo Player*, pois o funcionamento deixaria o computador muito lento, inclusive durante outras operações que não estivessem relacionadas com a simulação de desempenho.

Nos modelos de testes obtiveram-se valores diferentes daqueles calculados pela ferramenta IDEEA. Para a averiguação dessas diferenças é necessário conhecer melhor o processo de cálculo da planilha PROCEL, como se trabalharam os valores e seu critério de arredondamento. A ferramenta usa os valores e a quantidade de casas decimais presentes no Manual do RTQ-R.

Alguns procedimentos no processo de aplicação da ferramenta IDEEA precisam ser realizados através da informação dos dados manualmente, como, por exemplo, o EqNumAA, equivalente numérico do sistema de aquecimento de água, pois se focou no cálculo relativo à envoltória, por esse ter maior interferência no processo de projeto arquitetônico.

6.3 Sugestões para futuros trabalhos

Durante a pesquisa, trilharam-se alguns caminhos para a continuidade deste trabalho, que a seguir foram propostos como sugestões para os pesquisadores interessados.

É importante que a ferramenta seja submetida ao uso por uma diversidade maior de usuários, que deve ser possibilitado através da oferta de novos cursos, com público variado, e em outros estados. Essas atividades poderão enriquecer com as sugestões e críticas, possibilitando um maior uso desta mesma.

Várias possibilidades de otimização de uma série de variáveis do processo de projeto: por exemplo, inserir o custo para uma análise das opções ótimas a fim de fornecer uma solução de projeto, buscando o melhor desempenho energético e um menor custo.

Ferramentas profissionais são desenvolvidas em linguagem de programação escritas, acarretando um melhor desempenho e robustez ao seu funcionamento. Por outro lado, restringe-se o acesso às ferramentas disponibilizadas comercialmente, que nem sempre estão disponíveis para as atividades específicas de um determinado setor.

A possibilidade de desenvolvimento futuro dessa ferramenta para disponibilizar aos profissionais deverá certamente incluir a possibilidade de transformação em um plugin, que pode tornar sua interface mais amigável para os usuários. No entanto, requer o aprendizado de uma linguagem de programação escrita (*Visual Basic, Visual C++* ou *C#*), além de um novo processo de criação, com lógicas de funcionalidades diferentes.

O desenvolvimento de uma ferramenta para edifícios comerciais e serviços (RTQ-C) poderá auxiliar na integração do desempenho energético nessa tipologia de edifícios.

6.4 Conclusões

Esta pesquisa teve como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma ferramenta computacional denominada IDEEA, capaz de realizar simulações do comportamento energético de edificações ainda em fase de elaboração do projeto arquitetônico.

Ao contrário do que ocorre com as demais ferramentas, que examinam o desempenho na etapa final do projeto, a IDEEA pode ser

utilizada desde as fases iniciais, permitindo o acompanhamento do desempenho energético das propostas que estão sendo elaboradas pelo projetista à medida que o projeto evolui.

Tal característica possibilita ao arquiteto realizar correções de eventuais desvios de rota na fase inicial do projeto, quando as mudanças no projeto produzem menores impactos nos custos e prazos do processo de elaboração de projetos arquitetônicos. Permite também que sejam avaliados os impactos de eventuais medidas adotadas pelo projetista no sentido de obter um melhor desempenho energético.

O objetivo proposto foi alcançado: desenvolver uma ferramenta de suporte que possibilite ao projetista avaliar a eficiência energética para edificações residenciais, fazendo análises e simulações simultaneamente ao desenvolvimento da proposta arquitetônica.

A ferramenta IDEEA pode fornecer respostas para as soluções de projeto com desempenho energético durante o processo de projeto no BIM, dentro de um programa computacional de modelagem (*Revit*), auxiliando o projetista na escolha do partido arquitetônico com melhor desempenho energético, podendo ser integrada a um amplo espectro de cenários de projeto, com fácil implantação por projetistas no processo de projeto.

A IDEEA, ao possibilitar a simulação e a avaliação da eficiência energética segundo o RTQ-R do edifício nas fases iniciais do projeto, auxilia a tomada de decisões assertivas e evita o desenvolvimento de um projeto cuja o desempenho energético só será conhecida quando este estiver nas fases finais, bem como o desperdício de tempo e dinheiro, como o que usualmente ocorre ao se avaliar o projeto em fases avançadas.

A interface amigável da ferramenta possibilitou uma fácil assimilação pelos voluntários participantes do curso, o que pode sugerir que será mais facilmente incorporada no processo de trabalho de cada projetista.

A curva de aprendizado apresentada no curso de aplicação da ferramenta demonstrou ser curta e suave, possibilitando a rápida interação ao processo projetual, podendo ser utilizada de forma pedagógica no ensino

de projeto, mostrando de forma didática as implicações das decisões de projeto e seu impacto no desempenho energético da edificação.

O ambiente do programa computacional *Autodesk Revit 2019* demonstra a viabilidade de desenvolvimento de outras possibilidades de ferramentas através de linguagens de programação visual que auxiliem na tomada de decisão durante o processo projetual, colaborando para edifícios com melhor desempenho. Essa abertura permite ao projetista criar ferramentas personalizadas de acordo com demandas e necessidades.

A pesquisa demonstra que o ambiente BIM pode ajudar no desenvolvimento de novas possibilidades de ferramentas que auxiliem na tomada de decisão durante o processo projetual dos arquitetos, colaborando para decisões mais acertadas e, por consequência, em edifícios com melhor desempenho. Isso viabiliza que o arquiteto crie ferramentas personalizadas de acordo com as suas demandas e as necessidades específicas de cada projeto.

A pesquisa deverá ter continuidade para poder adequar a ferramenta à nova versão do RTQ-R que se acha em fase final de desenvolvimento. A intenção é que a ferramenta também incorpore outras tipologias, como os comerciais, de serviço e institucionais (RTQ-C).

REFERÊNCIAS

- ABNT. *NBR 15220-3*. . [S.l.]: Associação Brasileira de Normas Técnica. Disponível em: <http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_9080nby_15220_pdf.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2017a. , 2003
- ABNT. *NBR_15220*. . [S.l.]: Associação Brasileira de Normas Técnica. , 2003b
- AIA. *An Architect's Guide to integrating energy modeling in the design process - AIA*. . [S.l.: s.n.]. , 2012
- ALAWINI, Abdussalam *et al.* Technology Adoption: Building IT. In: DAIM, TUGRUL; OLIVER, TERRY; KIM, JISUN (Org.). . *Research and Technology Management in the Electricity Industry*. London: Springer London, 2013. p. 213–228. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4471-5097-8_9>. Acesso em: 13 fev. 2016.
- ALWAN, Zaid; GREENWOOD, David; GLEDSON, Barry. Rapid LEED evaluation performed with BIM based sustainability analysis on a virtual construction project. *Construction Innovation*, v. 15, n. 2, p. 134–150, 7 abr. 2015.
- AMARNTH, C.B.; HSIEH, Shang-Hsien; MANOJ, R. A preliminary study on BIM-LEED integration. *The Twenty-Ninth KKHTCNN Symposium on Civil Engineering, Hong Kong, China*, p. 50–53, 2016.
- AMECKE, Hermann. The impact of energy performance certificates: A survey of German home owners. *Energy Policy*, v. 46, p. 4–14, jul. 2012.
- ANDALORO, Antonio P.F. *et al.* Energy certification of buildings: A comparative analysis of progress towards implementation in European countries. *Energy Policy*, v. 38, n. 10, p. 5840–5866, out. 2010.
- ANDARINI, Rahmi. The Role of Building Thermal Simulation for Energy Efficient Building Design. *Energy Procedia*, v. 47, p. 217–226, 2014.
- ANDERSON, Kjell. *Design Energy Simulation for Architects - Guide to 3D graphics*. New York: Routledge, 2014. Disponível em: <https://books.google.com.br/books/about/Design_Energy_Simulation_for_Architects.html?hl=pt-BR&id=uOKsAgAAQBAJ>. Acesso em: 28 fev. 2017.
- ANDRADE, Max Lira Veras X. De; RUSCHEL, Regina Coeli. BIM: conceitos, cenário das pesquisas publicadas no Brasil e tendências. 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Regina_Ruschel/publication/269149277_BIM_Conceitos_Cenario_das_Pesquisas_Publicadas_no_Brasil_e_Tendencias/links/560e88ed08ae0fc513ed43df.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2017.
- ANDRADE, Max. *Projeto Performativo na prática arquitetônica recente: Estrutura Conceitual*. 2012. 472 f. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Construção, Campinas, SP, 2012.
- ANTAC. *II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO*. Disponível em: <<https://www.antaceventos.net.br/index.php/sbtic/sbtic2019>>. Acesso em: 18 abr. 2019.
- AOUND, Ghassan; LEE, Angela; WU, Song. From 3D to nD modelling. *Journal of Information Technology in Construction*, p. 15–16, 2005.

ASHRAE. *ANSI/ASHRAE Standard 90.1-Energy Standard for Buildings Except Low-Rise residential Buildings*. . [S.l: s.n.]. , 2013

ASL, MOHAMMAD RAHMANI. *A BUILDING INFORMATION MODEL (BIM) BASED FRAMEWORK FOR PERFORMANCE OPTIMIZATION*. 2015. Texas A&M University, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Mohammad_Rahmani_Asl/publication/297001233_A_BUILDING_INFORMATION_MODEL_BIM_BASED_FRAMEWORK_FOR_PERFORMANCE_OPTIMIZATION_Short_Version/links/56dc691a08aeb4638c02fc9.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2016.

ATHIENITIS, Andreas; ATTIA, Shady. Strategic design, optimization, and modelling issues of net-zero energy solar buildings. *Proceedings of Eurosun 2010*, 2010. Disponível em: <<http://orbi.ulg.be/handle/2268/167569>>. Acesso em: 12 dez. 2016.

ATTIA, Shady. *Building performance simulation tools: selection criteria and user survey*. . [S.l.]: Architecture et climat, 2010. Disponível em: <<http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/168350>>. Acesso em: 2 jan. 2017.

ATTIA, Shady *et al.* Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design. *Energy and Buildings*, v. 49, p. 2–15, jun. 2012.

ATTIA, Shady Galal Mohamed *et al.* “Architect friendly”: A comparison of ten different building performance simulation tools. *International Building Performance Simulation Association*, v. 1, 2009. Disponível em: <<http://dial.uclouvain.be/handle/boreal:92534>>. Acesso em: 12 dez. 2016.

AUGENBROE, Godfried. Building simulation trends going into the new millennium. 2001, [S.l: s.n.], 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Godfried_Augenbroe/publication/252839726_Building_Simulation_Trends_Going_Into_the_New_Millennium/links/5429987c0cf277d58e86f906.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2016.

AUGENBROE, Godfried. Trends in building simulation. *Building and Environment*, v. 37, n. 8–9, p. 891–902, ago. 2002.

Autodesk | *Software de projeto 3D, engenharia e entretenimento*. Disponível em: <<http://www.autodesk.com.br/>>. Acesso em: 17 jan. 2017.

AUTODESK. HELP. *About the Different Kinds of Families | Revit Products | Autodesk Knowledge Network*. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/Revit-Model/files/GUID-403FFFAE-BFF6-464D-BAC2-85BF3DAB3BA2-htm.html>>. Acesso em: 26 set. 2017.

AUTODESK INC. *Autodesk - Autodesk Developer Network - Autodesk® Revit, Autodesk® Revit® Architecture, Autodesk® Revit® Structure and Autodesk® Revit® MEP*. Disponível em: <<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?siteID=123112&id=2484975>>. Acesso em: 5 jan. 2017.

AZHAR, Salman. Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*, v. 11, n. 3, p. 241–252, 2011.

AZHAR, Salman *et al.* Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis. *Automation in Construction, Building Information Modeling and Changing Construction Practices*. v. 20, n. 2, p. 217–224, mar. 2011.

AZHAR, Salman; BROWN, Justin. BIM for sustainability analyses. *International Journal of Construction Education and Research*, p. 276–292, 2009.

BAILEY, John *et al.* Evidence relating to Object-Oriented software design: A survey. set. 2007, [S.l.]: IEEE, set. 2007. p. 482–484. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4343786/>>. Acesso em: 9 set. 2017.

BARRIOS HERNANDEZ, Carlos Roberto. Thinking parametric design: introducing parametric Gaudi. *Design Studies*, v. 27, n. 3, p. 309–324, maio 2006.

BASBAGILL, J. *et al.* Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. *Building and Environment*, v. 60, p. 81–92, fev. 2013.

BAZJANAC, Vladimir. *IFC BIM-Based Methodology for Semi-Automated Building Energy Performance Simulation*. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/255207006_IFC_BIM-Based_Methodology_for_Semi-Automated_Building_Energy_Performance_Simulation>. Acesso em: 22 fev. 2016.

BAZJANAC, Vladimir; CRAWLEY, D. B. Industry foundation classes and interoperable commercial software in support of design of energy-efficient buildings. 1999, [S.l.: s.n.], 1999. p. 661–667. Disponível em: <http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive/IBPSA/UFSC755.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2017.

BISWAS, Tajin; WANG, Tsung-Hsien; KRISHNAMURTI, Ramesh. Framework for Sustainable Building Design - Through Sustainable Building Ratings Integration. *Carnegie Mellon University - Research Showcase*, 2009.

BITTENCOURT, Leonardo Salazar; MONTEIRO, Leonardo; YANNAS, Simos. Conforto Ambiental e as possibilidades do Modelo Adaptativo. *Edifício Ambiental*. São Paulo: [s.n.], 2015. p. 27–35.

BOEYKENS, Stefan; NEUCKERMANS, HERMAN. Visual Programming in Architecture: Should Architects Be Trained As Programmers?'. *Proceedings of CAAD-Futures 2009 CD-Rom*, 2009. Disponível em: <http://cumincad.architecture.net/system/files/pdf/cf2009_poster_41.content.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2017.

BOGENSTÄTTER, Ulrich. Prediction and optimization of life-cycle costs in early design. *Building Research & Information*, UK, 2010. , p. 376–386.

BORBA, Marcelo de Carvalho; ARAUJO, Jussara de Loiola. Pesquisa Qualitativa em Educação Matemática. 2013.

BORGSTEIN, E.H.; LAMBERTS, R.; HENSEN, J.L.M. Evaluating energy performance in non-domestic buildings: A review. *Energy and Buildings*, v. 128, p. 734–755, set. 2016.

BOSHERNITSAN, Marat; DOWNES, Michael Sean. *Visual programming languages: A survey*. [S.l.]: Citeseer, 2004. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.73.2491&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2017.

BRASIL. LEI Nº10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF**, , 18 out. 2001. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10295.htm>. Acesso em: 15 dez. 2016.

- BRÍGITTE, Giovanna Tomczinski Novellini. *Integração de desempenho na avaliação de projeto: modelo de informação e simulação computacional na etapa de concepção*. 2013. Dissertação de mestrado – Unicamp, Campinas, SP, 2013. Disponível em: <<http://unicamp.sibi.usp.br/handle/SBURI/12856>>. Acesso em: 13 fev. 2016.
- BROPHY, Vivienne; LEWIS, J. Owen. *A Green Vitruvius: Principles and Practice of Sustainable Architectural Design*. [S.l.]: Routledge, 2011.
- CAREZZATO, Gustavo. Protocolo de Gerenciamento BIM nas Fases de Contratação, Projeto e Obra em Empreendimentos Civis baseado na ISO 19650. *São Paulo*, p. 148, 2018.
- CARLO, Joyce Correna; LAMBERTS, Roberto. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios—parte 1: método prescritivo. *Ambiente Construído*, v. 10, n. 2, p. 7–26, 2010.
- CASALS, Xavier García. Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their role, limitations and differences. *Energy and Buildings*, v. 38, n. 5, p. 381–392, maio 2006.
- CHUNG, William. Review of building energy-use performance benchmarking methodologies. *Applied Energy*, v. 88, n. 5, p. 1470–1479, maio 2011.
- CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C. *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. 3^a ed. ed. São Paulo, SP: Leonardo Chwif, 2010.
- CIRIACO, Douglas. *O que é API? - TecMundo*. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/programacao/1807-o-que-e-api-.htm>>. Acesso em: 6 jan. 2017.
- CONDORI-FERNANDEZ, Nelly *et al.* A systematic mapping study on empirical evaluation of software requirements specifications techniques. 2009, [S.l.]: IEEE Computer Society, 2009. p. 502–505. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1671317>>. Acesso em: 6 mar. 2016.
- COSTA, Andrea *et al.* Building operation and energy performance: Monitoring, analysis and optimisation toolkit. *Applied Energy*, v. 101, p. 310–316, jan. 2013.
- CRAWLEY, Drury B. *et al.* Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment*, v. 43, n. 4, p. 661–673, abr. 2008.
- CRAWLEY, Drury B. *et al.* EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and buildings*, v. 33, n. 4, p. 319–331, 2001.
- CULLEN, Jonathan M.; ALLWOOD, Julian M.; BORGSTEIN, Edward H. Reducing Energy Demand: What Are the Practical Limits? *Environmental Science & Technology*, v. 45, n. 4, p. 1711–1718, 15 fev. 2011.
- CUNHA, Eduardo Grala Da; VAUPEL, Karin; LÜCKING, Rolf-Michael. Análise da Norma de Eficiência Energética Alemã EnEV 2007 e Apresentação de Possíveis Contribuições para o Caso Brasileiro. *NUTAU 2008*, 2008. Disponível em: <<http://www.usp.br/nutau/CD/48.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2016.
- DA MOTTA GASPAR, João Alberto; RUSCHEL, Regina Coeli. A evolução do significado atribuído ao acrônimo BIM: Uma perspectiva no tempo. *SIGraDi 2017, XXI Congreso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital*, p. 8, 2017.
- DAVIES, H. *Tracing the continuing development of Part L Modern Building Services*. . [S.l.: s.n.]. , 2016

DAVIS, Daniel. *The MacLeamy curve*. Disponível em: <<http://www.danieldavis.com/macleamy/>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

DCLG. *Building A Greener Future: Towards Zero Carbon Development*. Disponível em: <<https://www.rbkc.gov.uk/PDF/80%20Building%20a%20Greener%20Future%20Policy%20Statement%20July%202007.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2016.

DE BOECK, L. *et al.* Improving the energy performance of residential buildings: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 52, p. 960–975, dez. 2015.

DEHOUCK, Rémi. *The maturity of visual programming*. Blog. Disponível em: <<http://www.craft.ai/blog/the-maturity-of-visual-programming/>>. Acesso em: 17 abr. 2017.

DELBIN, Simone. *Inserção de simulação computacional de conforto ambiental de edifícios em Ensino de projeto Arquitetônico: Proposta de Metodologia*. 2006. Dissertação de mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Construção, Campinas, SP, 2006.

DEMAID, Adrian; QUINTAS, Paul. Knowledge across cultures in the construction industry: sustainability, innovation and design. *Technovation*, v. 26, n. 5–6, p. 603–610, maio 2006.

DERU, Michael P.; TORCELLINI, Paul A. *Performance Metrics Research Project: Final Report*. [S.l.]: National Renewable Energy Laboratory Golden, CO, 2005.

DEUTSCH, Randy. *BIM and Integrated Design - Strategies for Architectural Practice*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011. Disponível em: <https://books.google.com.br/books/about/BIM_and_Integrated_Design.html?hl=pt-BR&id=pYtxLE5ivlsC>. Acesso em: 28 fev. 2017.

DOE, Department of Energy. *Best Directory | Building Energy Software Tools*. Disponível em: <<http://www.buildingenergysoftwaretools.com/>>. Acesso em: 4 jan. 2017.

DONN, Michael *et al.* *Energy design support tools: a survey of their use for building code compliance*. Wellington: Centre for Building Performance Research, Victoria University of Wellington, 1995.

DONN, Michael. Simulation in the service of design-asking the right questions. *Lawrence Berkeley National Laboratory*, 2010. Disponível em: <<http://escholarship.org/uc/item/0hd6n72b.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2016.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel; JOSÉ ANTONIO VALLE ANTUNES, Júnior. *Design Science Research, Método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. Porto Alegre, Brasil: Bookman, 2015.

EASTMAN, C. *et al.* Automatic rule-based checking of building designs. *Automation in Construction*, v. 18, n. 8, p. 1011–1033, dez. 2009.

EASTMAN, Chuck *et al.* *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2008.

EGUARAS-MARTÍNEZ, María; VIDAURRE-ARBIZU, Marina; MARTÍN-GÓMEZ, César. Simulation and evaluation of Building Information Modeling in a real pilot site. *Applied Energy*, v. 114, p. 475–484, fev. 2014.

ELETROBRÁS. *Consulta Pública Regulamento Técnico da Qualidade para a Classe de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos*. [S.l.: s.n.], 10 jul. 2018

ELETROBRÁS *et al.* *Manual para Aplicação do RTQ-R - 4.2.* [S.l: s.n.], 2012. (, Versão 1).

ELETROBRÁS. *Procel Edifica*. Disponível em:

<http://www.labeee.ufsc.br/antigo/eletrobras/etiquetagem/downloads_residencial.php>. Acesso em: 29 dez. 2017.

ELLIS, M. W.; MATHEWS, E. H. Needs and trends in building and HVAC system design tools. *Building and Environment*, v. 37, n. 5, p. 461–470, 2002.

EUBIM TASKGROUP. *Manual relativo à aplicação da Modelagem da Construção (BIM) no setor público Europeu - Ação estratégica para o desempenho do setor da construção: promover valor, inovação e crescimento.* . [S.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.eubim.eu/>>. , 2018

EUROPEAN COMMISSION. *Smart Buildings Projects | ICT for Sustainable Growth | Europa - Information Society*. Disponível em:

<http://ec.europa.eu/information_society/activities/sustainable_growth/funding/prj_buidings/index_en.htm#>. Acesso em: 16 dez. 2016.

EVANS, Meredydd; SHUI, Bin; SOMASUNDARAM, Sriram. Country report on building energy codes in Japan. *Pacific Northwest National Laboratory*, 2009. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/profile/Sriram_Somasundaram/publication/237519766_Country_Report_on_Building_Energy_Codes_in_India/links/551db4470cf213ef063e91c9.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2016.

F FLAGER *et al.* Multi-objective building envelope optimization for life-cycle cost and global warming potential. *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*. [S.l.]: CRC Press, 2012. p. 193–200. Disponível em: <<http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/b12516-32>>. Acesso em: 18 fev. 2016.

FABRICIO, Márcio; MELHADO, Silvio. O processo cognitivo e social de projeto. *Processo de Projeto em Arquitetura*. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2011. p. 57–63.

FABRICIO, Márcio Minto. *Projeto simultâneo na construção de edifícios*. 2002. Universidade de São Paulo, 2002. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/profile/Marcio_Fabricio/publication/264825683_Projeto_Simultaneo_na_Construo_de_Edificios/links/5578445808aeacff20027ea5.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2016.

FEIST, Wolfgang *et al.* Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept. *Energy and Buildings*, v. 37, n. 11, p. 1186–1203, nov. 2005.

FERREIRA, Paulo Alberto Peixoto. *A metodologia BIM enquanto ferramenta no projecto de arquitectura*. 2015. Dissertação de mestrado – Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.

Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/80806>>. Acesso em: 11 jan. 2017.

FLOOD, Ian; ISSA, Raja RA; O'BRIEN, William. Barriers to the development, adoption, and implementation of information technologies: case studies from construction. *Information Technology*, v. 115, p. 30–3, 2003.

FONSECA, Carlos M.; FLEMING, Peter J.; OTHERS. Genetic Algorithms for Multiobjective Optimization: Formulation, Discussion and Generalization. 1993, [S.l.]: Citeseer, 1993. p. 416–423. Disponível em:

<<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.48.9077&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2017.

FOSSATI, Michele *et al.* Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 65, p. 1216–1231, nov. 2016.

FOSSATI, Michele; LAMBERTS, Roberto. *Relatório Técnico Final de Elaboração do Texto RTQ-R*. Convênio ECV-271/2008 Eletrobrás/UFSC. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/794>>. Acesso em: 29 dez. 2016.

FREIRE, Marcia Rebouças; AMORIM, Arivaldo Leão. A abordagem BIM como contribuição para a eficiência energética no ambiente construído. *Modelagem da Informação na Construção - uma experiência brasileira em BIM*. Curitiba, UFPR: CAPES, 2013. p. 445–462.

FREITAS, Ricardo. *Checagem de áreas de janelas em função das áreas dos ambientes com o Dynamo*. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit-products/learn-explore/caas/simplecontent/content/chechagem-de--C3-A1reas-de-janelas-em-fun-C3-A7-C3-A3o-das--C3-A1reas-dos-ambientes-com-o-dynamo.html>>. Acesso em: 3 jun. 2017.

GAO, Xiao Jia. The life cycle routes for the Green residential buildings in China's low-carbon city background. *Advanced Materials Research, Renewable and Sustainable Energy*. v. 347–353, p. 1387–1390, 2012.

GBXML. *Open Green Building XML Schema: a Building Information Modeling Solution for Our Green World*. Disponível em: <<http://www.gbxml.org/>>. Acesso em: 23 mar. 2017.

GERO, John S.; D'CRUZ, Neville; RADFORD, Antony D. Energy in context: a multicriteria model for building design. *Building and Environment*, v. 18, n. 3, p. 99–107, 1983.

GONÇALVES, Joana; MOURA, Norberto; UMAKOSHI, Erika. Avaliação de desempenho, simulação computacional e o projeto arquitetônico. *Edifício Ambiental*. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2015. p. 297–312.

GONZÁLEZ-MARQUEZ, R.J.a; ESPARZA, R.M.b. Tool design as a strategy for architectural design. *International Journal for Housing Science and Its Applications*, p. 23–33, 2011.

GOSSARD, D.; LARTIGUE, B.; THELLIER, F. Multi-objective optimization of a building envelope for thermal performance using genetic algorithms and artificial neural network. *Energy and Buildings*, v. 67, p. 253–260, dez. 2013.

HE, Bao-jie *et al.* The combination of digital technology and architectural design to develop a process for enhancing energy-saving: The case of Maanshan China. *Technology in Society*, v. 39, p. 77–87, nov. 2014.

HEMSATH, Timothy. Conceptual energy modeling for architecture, planning and design: Impact of using building performance simulation in early design stages. 2013, [S.l.: s.n.], 2013. p. 26–28. Disponível em: <http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p_2015.pdf>. Acesso em: 9 out. 2016.

HENSEN, Jan L. M.; LAMBERTS, Roberto. Introduction to building performance simulation. *Building Performance Simulation for Design and Operation*. New York: Routledge, 2012. p. cap. 1, 12.

HERNANDEZ, Carlos Roberto Barrios. Parametric Gaudi. 2004, [S.l.: s.n.], 2004. p. 213–215. Disponível em: <http://cumincades.scix.net/data/works/att/sigradi2004_213.content.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2017.

- HEVNER, Alan; CHATTERJEE, Samir. Design Science Research in Information Systems. In: HEVNER, ALAN; CHATTERJEE, SAMIR. *Design Research in Information Systems*. Boston, MA: Springer US, 2010. v. 22. p. 9–22. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4419-5653-8_2>. Acesso em: 27 dez. 2017.
- HOES, P. *et al.* Optimizing building designs using a robustness indicator with respect to user behavior. 2011, [S.l.: s.n.], 2011. p. 1710–1717.
- HOJJATI, Behjat; WADE, Steven H. US household energy consumption and intensity trends: a decomposition approach. *Energy Policy*, v. 48, p. 304–314, 2012.
- HONG, Tianzhen; CHOU, S.K.; BONG, T.Y. Building simulation: an overview of developments and information sources. *Building Environment*, 2000. , p. 347–361.
- HOPFE, Christina; HENSEN, Jan. An approach to use building performance simulation to support design optimization. 2006, [S.l.: s.n.], 2006. Disponível em: <http://www.academia.edu/download/30986869/06_bauinformatik_hopfe.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2016.
- HOPFE, Christina J. *et al.* An appraisal of knowledge based systems for building performance simulation. 2006, [S.l.: s.n.], 2006. Disponível em: <http://www.academia.edu/download/30986866/06_iccbe_hopfe.pdf>. Acesso em: 30 set. 2016.
- HUOVILA, Pekka. *Buildings and Climate Change: Status, Challenges, and Opportunities*. [S.l.]: UNEP/Earthprint, 2007.
- IEA. *World Energy Outlook 2012*. Paris, France: International Energy Agency, 2012. Disponível em: <http://iea.org/publications/freepublications/publication/WEO_2012_Iraq_Energy_Outlook-1.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2016.
- INMETRO. *INMETRO - consulta Organismo de Inspeção Acreditado Eficiência Energética de Edificações*. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/organismos/resultado_consulta.asp>.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency*. . [S.l.: s.n.], 2014.
- JEONG, WoonSeong *et al.* Translating Building Information Modeling to Building Energy Modeling Using Model View Definition. *The Scientific World Journal*, v. 2014, p. 1–21, 2014.
- JERNIGAN, Finith. *Big BIM little bim: the practical approach to building information modeling integrated practice done the right way!* Salisbury, USA: 4 Site Press, 2007.
- KALAY, Yehuda E. *Architecture's New Media: Principles, Theories, and Methods of Computer-aided Design*. [S.l.]: MIT Press, 2004.
- KALAY, Yehuda E. Performance-based design. *Automation in construction*, v. 8, n. 4, p. 395–409, 1999.
- KALAY, Yehuda E. The impact of information technology on design methods, products and practices. *Design Studies*, v. 27, n. 3, p. 357–380, maio 2006.
- KASSEN, Mohamad; SUCCAR, Bilal. *BIM Policy Development Different Countries*. . Barcelona: [s.n.], 2016

KIM, Hyunjoo; ANDERSON, Kyle. Energy Modeling System Using Building Information Modeling Open Standards. *Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 27, n. 3, p. 203–211, maio 2013.

KIM, Jong Bum *et al.* Developing a physical BIM library for building thermal energy simulation. *Automation in Construction*, v. 50, p. 16–28, fev. 2015.

KIM, Marcus; KIRBY, Lance; KRYGIEL, Eddy. *Mastering Revit Architecture 2017*. Indianapolis, Indiana: Wiley Publishing, 2016.

KOLAREVIC, Branko. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. [S.l.]: Taylor & Francis, 2004.

KOLAREVIC, Branko; MALKAWI, Ali. *Peformative Architecture: beyond instrumentality*. [S.l.]: Routledge, 2005.

KOLOKOTSA, D. *et al.* Decision support methodologies on the energy efficiency and energy management in buildings. *Advances in Building Energy Research*, v. 3, n. 1, p. 121–146, jan. 2009.

KORKMAZ, Sinem *et al.* Influence of Project Delivery Methods on Achieving Sustainable High Performance Buildings Report on Case Studies. *The Charles Pankow Foundation*, 2010. Disponível em: <http://admin.dbia.org/resource-center/Documents/CPF_ThrustII_05212010_Final.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2016.

KRYGIEL, Eddy; NIES, Bradley. *Green BIM: Successful Sustainable Design With Building Information Modeling*. [S.l.]: SYBEX Serious Skills, 2008.

KUMAR, Sumedha. *Interoperability Between Building Information Models (BIM) and Energy Analysis Programs*. California, United States: ProQuest LLC, 2008. Disponível em: <https://books.google.com.br/books/about/Interoperability_Between_Building_Inform.html?hl=pt-BR&id=NovYFQToxHoC>. Acesso em: 22 mar. 2017.

KUSLIKIS, Viktor. *BIM in Energy Simulations*. [S.l.]: CH2MHILL. , 2011

LACHAUER, Lorenz; RIPPMMANN, Matthias; BLOCK, Philippe. Form Finding to Fabrication: A digital design process for masonry vaults. 2010, [S.l.: s.n.], 2010. Disponível em: <http://www.block.arch.ethz.ch/brg/files/IASS2010_lachauer-rippmann-block.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2017.

LADENHAUF, Daniel *et al.* Computational geometry in the context of building information modeling. *Energy and Buildings*, v. 115, p. 78–84, mar. 2016.

LAMBERTS, Roberto. *Energy Efficiency in Buildings*. . Vitória, Brasil: [s.n.]. Disponível em: <http://civil.uminho.pt/sbe16_Brazil_Portugal/>. Acesso em: 18 out. 2016. , set. 2016

LAUSTSEN, Jens. Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings. *International Energy Agency (IEA)*, p. 477–488, 2008.

LAWSON, Bryan. *How Designers Think: The Design Process Demystified*. [S.l.]: Routledge, 2006.

LBNL Window & Daylighting Software -- COMFEN. Disponível em: <<https://windows.lbl.gov/software/comfen/comfen.html>>. Acesso em: 2 jan. 2017.

LEE, Ghang; SACKS, Rafael; EASTMAN, Charles M. Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system. *Automation in Construction*, v. 15, n. 6, p. 758–776, nov. 2006.

LÉVY, François. *BIM in Small-Scale Sustainable Design*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2012. Disponível em: <https://books.google.com.br/books/about/BIM_in_Small_Scale_Sustainable_Design.html?hl=pt-BR&id=8HDoNSZJ48AC>. Acesso em: 28 fev. 2017.

LIN, Shih-Hsin Eve; GERBER, David Jason. Designing-in performance: A framework for evolutionary energy performance feedback in early stage design. *Automation in Construction*, v. 38, p. 59–73, 2014.

LIN, Shih-Hsin; GERBER, David Jason. Evolutionary energy performance feedback for design: Multidisciplinary design optimization and performance boundaries for design decision support. *Energy and Buildings*, v. 84, p. 426–441, dez. 2014.

LIU, Feng; MEYER, Anke S.; HOGAN, John. *Mainstreaming Building Energy Efficiency Codes in Developing Countries: Global Experiences and Lessons from Early Adopters*. [S.l.]: World Bank Publications, 2010.

LLOYD'S REGISTER GROUP SERVICES LIMITED. *Building information modelling (BIM) Certification | Lloyd's Register*. Disponível em: <<http://www.lr.org/en/utilities-building-assurance-schemes/building-information-modelling/>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

LOBOS, Danny; TREBILCOCK, Maureen. Building performance information and graphs approach for the design of floor plans. *Arquitetura Revista*, v. 10, n. 1, 4 ago. 2014. Disponível em: <<http://www.revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/view/4524>>. Acesso em: 20 set. 2016.

LOPES, Luis *et al.* Energy efficiency and energy savings in Japanese residential buildings—research methodology and surveyed results. *Energy and Buildings*, v. 37, n. 7, p. 698–706, jul. 2005.

LUEBERKEMAN, Chris. Performance-Based Design. *Architecture in the Digital Age - Design and Manufacturing*. [S.l.]: Branko Kolaveric / Taylor & Francis, 2003. p. 275–288.

LUKKA, L. The Constructive research approach. *Case study research in logistics*. [S.l.]: Turku School of Economics and Business Administration, 2003. .

MALKAWI, Ali M. Developments in environmental performance simulation. *Automation in Construction*, v. 13, n. 4, p. 437–445, jul. 2004.

MENDES, Nathan *et al.* Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. *Ambiente Construído*, v. 5, n. 4, p. 47–68, 2005.

MME, Ministério das Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 2015 - Ano base 2014. p. 291, 2015.

MME, Ministério das Minas e Energia. Consumo de Energia no Brasil - Análises Setoriais. Nota Técnica DEA 10/14. p. 116, 2014.

MME, Ministério das Minas e Energia. *Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e diretrizes básicas – PNEf 2030*. . Brasília, DF, Brasil: Empresa de Pesquisa Energética, 2010.

MME, Ministério das Minas e Energia. *Plano Nacional de Energia 2030: Eficiência Energética - PNEf 2030*. Brasília, DF, Brasil: Empresa de Pesquisa Energética, 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_11.pdf>.

MOHAMED, Abeer Samy Yousef. Sustainable Design and Construction: New Approachs Towards Sustainable Manufacturing. 2012, [S.l.]: Bhzad Sidawi, 2012. p. 241. Disponível em: <[https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=lv-uOJI_AzEC&oi=fnd&pg=PA241&dq=%22With+the+population+of+the+world+continuing+to+increase,+and+with%22+%22is+imperative+that+we+continue+to+improve+the+efficiency+of+the%22+%22delivery+\(especially+during+design+and+construction\).%22+&ots=D8Z_nDmfhj&sig=SrfyFQUL8TQqbVhtoggmHEpld54](https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=lv-uOJI_AzEC&oi=fnd&pg=PA241&dq=%22With+the+population+of+the+world+continuing+to+increase,+and+with%22+%22is+imperative+that+we+continue+to+improve+the+efficiency+of+the%22+%22delivery+(especially+during+design+and+construction).%22+&ots=D8Z_nDmfhj&sig=SrfyFQUL8TQqbVhtoggmHEpld54)>. Acesso em: 11 jan. 2017.

MOLENAAR, Keith *et al.* Sustainable, high performance projects and project delivery methods: A state-of-practice report. *Charles Pankow Foundation*, 2009.

MONTANER, Josep Maria. *Sistemas arquitectónicos contemporáneos*. Barcelona: Gustavo Gili, 2008.

MONTEIRO, Ari. Utilização de Linguagem de Programação Visual para Elaboração de Modelos BIM LOD 400. In: BIC2016 - 4TH BIM INTERNATIONAL CONFERENCE, 2016, São Paulo, SP. *Anais...* São Paulo, SP: [s.n.], 2016. p. 1–4.

MORAES, Dijon. *Metaprojeto: o design do design*. São Paulo: Blucher, 2010.

MORBITZER, Christoph *et al.* Integration of building simulation into the design process of an architectural practice. 2001. Disponível em: <<http://strathprints.strath.ac.uk/6315/>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

MOREIRA, Daniel. *Os princípios da síntese da forma e a análise de projetos arquitetônicos*. 2007. 375 f. Doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Construção, Campinas, SP, 2007.

MOREIRA, João M.L. *et al.* Sustainability deterioration of electricity generation in Brazil. *Energy Policy*, v. 87, p. 334–346, dez. 2015.

MORISHITA, Claudia. Impacto do regulamento para eficiência energética em edificações no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro. 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/95844>>. Acesso em: 29 dez. 2016.

MOTAWA, Ibrahim; CARTER, Kate. Sustainable BIM-based Evaluation of Buildings. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 74, p. 419–428, mar. 2013.

MUIANGA, Elisa Atália Daniel; GRANJA, Ariovaldo Denis; RUIZ, Joyce de Andrade. Desvios de custos e prazos em empreendimentos da construção civil: categorização e fatores de influência. *Ambiente Construído*, v. 15, n. 1, p. 79–97, 20 out. 2014.

MUMOVIC, Dejan; SANTAMOURIS, Mat. *A Handbook of Sustainable Building Design and Engineering: "An Integrated Approach to Energy, Health and Operational Performance"*. [S.l.]: Routledge, 2013.

MURPHY, Lorraine. The influence of the Energy Performance Certificate: The Dutch case. *Energy Policy*, v. 67, p. 664–672, abr. 2014.

MYERS, Brad A. Taxonomies of visual programming and program visualization. *Journal of Visual Languages & Computing*, v. 1, n. 1, p. 97–123, 1990.

NATHERBS. *NatHERS - Nationwide House Energy Rating Scheme*. Disponível em: <<http://www.nathers.gov.au/>>. Acesso em: 28 dez. 2016.

NATIVIDADE, Verônica Gomes. *Fraturas metodológicas nas arquiteturas digitais.pdf*. 2010. 302 f. Dissertação de mestrado – Universidade de São Paulo - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2010.

NEGENDAHL, Kristoffer. Building performance simulation in the early design stage: An introduction to integrated dynamic models. *Automation in Construction*, v. 54, p. 39–53, jun. 2015.

NGUYEN, Anh-Tuan; REITER, Sigrid; RIGO, Philippe. A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. *Applied Energy*, v. 113, p. 1043–1058, jan. 2014.

NGUYEN, T.H.; SHEHAB, T.; GAO, Z. Evaluating Sustainability of Architectural Designs Using Building Information Modeling. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 2010.

NIKOLAOU, T.; KOLOKOTSA, D.; STAVRAKAKIS, G. Review on methodologies for energy benchmarking, rating and classification of buildings. *Advances in Building Energy Research*, v. 5, n. 1, p. 53–70, maio 2011.

OKUDA, Shinya; PING, Chua Liang. Form Follows Performance - Structural Optimisation and the Cost-effectiveness of Digital Fabrication. *Simulation, Visualization, Prediction and Evaluation - eCAADe 29*, p. 6, 2011.

OLIVEIRA, Fernando; BITTENCOURT, Leonardo Salazar. ANALYSIS AND SIMULATION OF ENERGY EFFICIENCY ON PLATFORM BIM: A SYSTEMATIC LITERATURE MAPPING. SBE 16 - Sustainable Urban Communities Towards a Nearly Zero Impact Built Environment. Vitória, ES, 2016.

OLOFSSON, Thomas; MEIER, Alan; LAMBERTS, Roberto. Rating the energy performance of buildings. *The International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings*, v. 3, 2004. Disponível em: <<http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:208041>>. Acesso em: 28 dez. 2016.

OpenStudio | OpenStudio. Disponível em: <<https://www.openstudio.net/>>. Acesso em: 2 jan. 2017.

OXMAN, Rivka. A Performance-based Model in Digital Design: PERFORMATIVE—Design Beyond Aesthetic. *Architectural Engineering and Design Management*, London, UK, 2007. , p. 169–180.

OXMAN, Rivka. Performance-based design: current practices and research issues. *International journal of architectural computing*, v. 6, n. 1, p. 1–17, 2008.

OXMAN, Rivka. Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, v. 27, n. 3, p. 229–265, maio 2006.

PAGLIANO, Lorenzo. *Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings (recast) - 19 May 2010*. Text. Disponível em: <<http://www.buildup.eu/en/practices/publications/directive-201031eu-energy-performance-buildings-recast-19-may-2010>>. Acesso em: 28 dez. 2016.

PAPAMICHAEL, Konstantinos *et al.* *The building design advisor*. . [S.l.]: SCAN-9706074, 1996. Disponível em: <<http://cds.cern.ch/record/327616/files/SCAN-9706074.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2016.

PASTANA, Claudionor. *A Utilização do software modellus para o ensino de funções trigonométricas por meio do movimento harmônico simples*. 2017. 124 f. Dissertação – Centro Universitário Univates, Lajeado, 2017.

PEDRINI, Aldomar. *Integration of low energy strategies to the early stages of design process of office buildings in warm climate*. 2003. 274 f. The University of Queensland, Australia, 2003.

PEDRINI, Aldomar; SZOKOLAY, Steven. Recomendações para o desenvolvimento de uma ferramenta de suporte às primeiras decisões projetuais visando ao desempenho energético de edificações de escritório em clima quente. 2005. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufrn.br/jspui/handle/1/3133>>. Acesso em: 4 jan. 2017.

PEFFERS, Ken *et al.* The design science research process: a model for producing and presenting information systems research. 2006, [S.l.]: sn, 2006. p. 83–106. Disponível em: <http://geni15.wrsc.org/sites/default/files/documents/000designscresearchproc_desrist_2006.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2017.

PÉREZ-LOMBARD, Luis *et al.* A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. *Energy and Buildings*, v. 41, n. 3, p. 272–278, mar. 2009.

PÉREZ-LOMBARD, Luis; ORTIZ, José; POUT, Christine. A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, v. 40, n. 3, p. 394–398, 2008.

PETERSEN, Steffen; SVENDSEN, Svend. Method and simulation program informed decisions in the early stages of building design. *Energy and Buildings*, v. 42, n. 7, p. 1113–1119, jul. 2010.

PHOENIX INTEGRATION. *Design Exploration and Optimization solutions: Tools for Exploring, Analyzing, and Optimizing Engineering Designs*. Disponível em: <<http://www.phoenix-int.com/modelcenter/integrate.php>>. Acesso em: 22 fev. 2016.

PIETRZYK, Krystyna; HAGENTOFT, Carl-Eric. Reliability analysis in building physics design. *Building and Environment*, v. 43, n. 4, p. 558–568, abr. 2008.

POTTMANN, Helmut *et al.* Architectural geometry. *Computers & Graphics*, v. 47, p. 145–164, abr. 2015.

PROCEL. *RTQ-R_ Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais*. . [S.l.]: Procel/Eletrobras. Disponível em: <<http://www.pbgedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQR.pdf>>. , 2012

PROCEL; ELETROBRÁS. *Resultados PROCEL 2016 - ano base 2015*. . [S.l.]: Ministério da Minas e Energia, 2016. Disponível em: <www.procelinfo.com.br>.

Python: O que é? Por que usar? - PyScience-Brasil. Disponível em: <<http://pyscience-brasil.wikidot.com/python:python-oq-e-pq>>. Acesso em: 27 set. 2017.

RAHMANI ASL, Mohammad *et al.* BPOpt: A framework for BIM-based performance optimization. *Energy and Buildings*, v. 108, p. 401–412, dez. 2015.

RODRIGUES, Clara Ovídio de Medeiros. *Integração da simulação termoenergética com o processo de projeto: a análise de 6 casos*. 2014. 159 f. Dissertação de mestrado – UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/19676>>. Acesso em: 14 nov. 2016.

ROMCY, Neliza Maria e Silva. *Abordagem Paramétrica e Ensino de Projeto: proposições de diretrizes metodológicas, considerando estratégias curriculares e o atelier de projeto*. 2017. 317 f. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.

RUIZ, Joyce de Andrade; GRANJA, Ariovaldo Denis. Um mapeamento sistemático da literatura sobre a relação entre valor e colaboração na construção. *8 Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção Inovação e Sustentabilidade*, Salvador, BA, 2013.

RUNDELL, R. *BIM and Analysis for Sustainable Design (1-2-3 Revit Tutorial)*. Disponível em: <<http://www.cadalyst.com/aec/bim-and-analysis-sustainable-design-1-2-3-revit-tutorial-3549>>. Acesso em: 13 jan. 2017.

RUPARATHNA, Rajeev; HEWAGE, Kasun; SADIQ, Rehan. Improving the energy efficiency of the existing building stock: A critical review of commercial and institutional buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 53, p. 1032–1045, jan. 2016.

RUSCHEL, R. C. *et al.* Building Information Modeling para projetistas. *Qualidade no Projeto de Edifícios*. São Carlos: Rima Editora / Antac, 2010. .

RUSCHEL, Regina Coeli. *Conjunto da Produção Científica*. 2009. 66 f. Concurso Público para a Função de Livre Docente na área de CADD – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Construção, Campinas, SP, 2009.

RUSCHEL, Regina Coeli *et al.* O papel das ferramentas BIM de integração e compartilhamento no processo de projeto na indústria da construção civil. *REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, v. 7, n. 3, 12 dez. 2013. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/reec/article/view/27487>>. Acesso em: 17 out. 2018.

SANTIAGO, Pedro. BIM to BEM as Teaching Methodology to Support Sustainable Construction Decisions. *Periodica Polytechnica Architecture*, v. 47, n. 2, p. 94–98, 2016.

SCHADE, Jutta. *Energy simulation and life cycle costs: estimation of a building's performance in the early design phase*. 2008. Luleå University of Technology, Luleå, 2008.

SCHLUETER, Arno; THESELING, Frank. Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages. *Automation in Construction*, v. 18, n. 2, p. 153–163, mar. 2009.

Sefaira. Disponível em: <<http://sefaira.com/>>. Acesso em: 10 out. 2016.

SERAPIÃO, Fernando. Aflalo & Gasperini Arquitetos: Parque da Juventude, São Paulo - ARCOweb. *PROJETO DESIGN*, n. 344, 2008. Disponível em: <<https://arcoweb.com.br/projetodesign/arquitetura/aflalo-amp-gasperini-arquitetos-parque-sao-31-10-2008>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

SILVA, Lilian; SHAYANI, Rafael Amaral; DE OLIVEIRA, Marco Aurelio Gonçalves. Proposed business plan for energy efficiency in Brazil. *Energy Policy*, v. 61, p. 523–531, out. 2013.

SketchUp. Disponível em: <<http://www.sketchup.com/pt-BR/about/sketchup-story>>. Acesso em: 17 jan. 2017.

SKOOK, K. *Drawing is Dead - Long Live Modeling*. . [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.bsria.co.uk/download/asset/long-live-modelling.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2016. , 2009

SMITH, Dana K.; TARDIF, Michael. *Building Information Modeling: A Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Managers*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2009.

SOEBARTO, V. I.; WILLIAMSON, T. J. Multi-criteria assessment of building performance: theory and implementation. *Building and Environment*, v. 36, n. 6, p. 681–690, 2001.

SOEBARTO, Veronica; BENNETTS, Helen. THE IMPORTANCE OF SIMULATION BEYOND ENERGY RATING. *13th Conference of International Building Performance Simulation Association*, 2013. Disponível em: <http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p_1042.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2016.

SOLLA, Mohmed *et al.* Investigation on the potential of integrating BIM into green building assessment tools. 2016. Disponível em: <http://www.arnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2016/jeas_0216_3661.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2017.

SORGATO, Márcio José; LAMBERTS, Roberto. *Relatorio Tecnico da Base de Simulacoes para o RTQ-R*. Convênio ECV-271/2008 Eletrobrás/UFSC. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

SOVACOOOL, Benjamin K. The cultural barriers to renewable energy and energy efficiency in the United States. *Technology in Society*, v. 31, n. 4, p. 365–373, nov. 2009.

STADEL, Alexander *et al.* Intelligent Sustainable Design: Integration of Carbon Accounting and Building Information Modeling. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, v. 137, n. 2, p. 51–54, abr. 2011.

STAVRIC, Milena; MARINA, Ognen. Parametric modeling for advanced architecture. *International journal of applied mathematics and informatics*, v. 5, n. 1, p. 9–16, 2011.

STOUFFS, R. *et al.* A METHOD FOR COMPARING DESIGNERS' BEHAVIOR IN TWO ENVIROMENTS: PARAMETRIC AND GEOMETRIC MODELING. 2013, [S.l.: s.n.], 2013. p. 488. Disponível em: <http://cumincad.architexturez.net/system/files/pdf/caadria2013_024.content.pdf>. Acesso em: 2 jan. 2017.

STUMPF, Annette; KIM, Hyunjoo; JENICEK, Elisabeth M. Early Design Energy Analysis Using Building Information Modeling Technology. *Proceedings of the 2009 Construction Research Congress*, Seattle, Washington, 2011. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/266052205>>.

SUCCAR, Bilal. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, v. 18, n. 3, p. 357–375, maio 2009a.

SUCCAR, Bilal. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, v. 18, n. 3, p. 357–375, maio 2009b.

SZÓNYI, László. Building Information Modelling in the decision process of retrofitting the envelope of public buildings – a case study. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, v. 54, n. 2, p. 143, 2010.

TERZIDIS, Kostas. *Algorithmic Architecture*. [S.l.]: Routledge, 2006.

The Start.Home. Disponível em: <<http://news.stanford.edu/features/2014/starthome/>>. Acesso em: 23 mar. 2017.

THOMAS, Randall. *Environmental Design: An Introduction for Architects and Engineers*. [S.l.]: Taylor & Francis, 2006.

THUESEN, N.; KIRKEGAARD, P.H.; JENSEN, R. Lunden. Evaluation of BIM and Ecotect for conceptual architectural design analysis. *Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, 2010.

TOBIN, J. atomicBIM: Splitting Data to Unleash BIM's Power | EYP. *Building the Future*, 2008. Disponível em: <<https://www.eydae.com/index.php/publication/2017/atomicbim-splitting-data-unleash-bims-power>>. Acesso em: 17 out. 2018.

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. *Novos estudos CEBRAP*, n. 79, p. 47–69, nov. 2007.

UK CABINET OFFICE. *Government Construction Strategy*. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/61152/Government-Construction-Strategy_0.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2016.

UMAKOSHI, Erika. *Avaliação de Desempenho Ambiental e Arquitetura Paramétrica Generativa para o projeto do edifício Alto*. 2014. 253 f. Universidade de São Paulo - FAUUSP, São Paulo, SP, 2014.

UNITED KINGDOM. Housing Act 2004. , 2013.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. *Office of Energy Efficiency & Renewable Energy | Department of Energy*. Disponível em: <<https://energy.gov/eere/office-energy-efficiency-renewable-energy>>. Acesso em: 27 dez. 2016.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *Why The Building Sector? | Architecture 2030*. Disponível em: <http://architecture2030.org/buildings_problem_why/>. Acesso em: 31 mar. 2017.

U.S.G.B. CONCIL. Green Building Facts. 2009.

VERSAGE, Rogerio de Souza; LAMBERTS, Roberto. *Equações Prescritivas para o Regulamento de Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações Residenciais*. Convênio ECV-271/2008 Eletrobras/UFSC. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2011. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/desenvolvimento/RT_LABEEE_2011-03%20-%20Equacoes%20Prescritivas.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2016.

VINAGRE DÍAZ, Juan José *et al.* EEOnt: An ontological model for a unified representation of energy efficiency in buildings. *Energy and Buildings*, v. 60, p. 20–27, maio 2013.

WANG, Shengwei; YAN, Chengchu; XIAO, Fu. Quantitative energy performance assessment methods for existing buildings. *Energy and Buildings*, v. 55, p. 873–888, dez. 2012.

WANG, Ying *et al.* Engagement of Facilities Management in Design Stage through BIM: Framework and a Case Study. *Advances in Civil Engineering*, v. 2013, p. 1–8, 2013.

WELLE, Benjamin; HAYMAKER, John; ROGERS, Zack. ThermalOpt: A methodology for automated BIM-based multidisciplinary thermal simulation for use in optimization environments. *Building Simulation*, v. 4, n. 4, p. 293–313, 7 dez. 2011.

WELLE, Benjamin Ross. *Parametric Attribution and Decomposition Methodologies for Product Model-Based Thermal Simulation using Multidisciplinary Design Optimization (MDO) Environments*. 2012. p.

170 f. Dissertação – Stanford University, Califórnia, Estados Unidos, 2012. Disponível em: <http://media.proquest.com/media/pq/classic/doc/2709869831/fmt/ai/rep/NPDF?_s=TcZSzoCDZ2mKdGHIANyZoVuis7Y%3D>. Acesso em: 18 fev. 2016.

WESTPHAL, Fernando Simon. *Análise de Incertezas e de Sensibilidade Aplicadas à Simulação de Desempenho Energético de Edificações Comerciais*. 2007. 147 f. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2007.

What's a List | The Dynamo Primer. Disponível em: <https://primer.dynamobim.org/en/06_Designing-with-Lists/6-1_whats-a-list.html>. Acesso em: 17 jun. 2019.

WHITEHEAD, Hugh. Laws of form. *Architecture in the Digital Age - Design and Manufacturing*. New York: Branko Kolaveric / Taylor & Francis, 2009. p. 81–100.

WILDE, Pieter Jacobus Cornelis Jan De. *Computational support for the selection of energy saving building components*. 2004. DUP Science, Delft, The Netherlands, 2004.

WILKINS, Chris; KIVINIEMI, Arto. Engineering-centric BIM. *ASHRAE Journal*, v. 50, n. 12, p. 44–48, 2008.

WONG, Johnny Kwok-Wai; KUAN, Ka-Lin. Implementing 'BEAM Plus' for BIM-based sustainability analysis. *Automation in Construction*, v. 44, p. 163–175, ago. 2014.

WONG, Kam-din; FAN, Qing. Building information modelling (BIM) for sustainable building design. *Facilities*, v. 31, n. 3/4, p. 138–157, 22 fev. 2013.

WOOD, Hannah; GIDADO, Kassim. Project complexity in construction. *COBRA 2008*, 2008. Disponível em: <<http://core.ac.uk/download/pdf/9552740.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2016.

YAN, Wei *et al.* Interfacing BIM with Building Thermal and Daylighting Modeling. [S.d.]. Disponível em: <http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p_1374.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2016.

APÊNDICE A - TABELAS UTILIZADAS NA ENTRADA DE DADOS DA MODELAGEM

Tabela 19 - Tabela de Informações de Projeto (Entrada de Dados)

<Entrada - Informações de Projeto>						
A	B	C	D	E	F	G
Zona Bioclimática	Região Geográfica	Medidor Individual de Aquecimento de Água	Medidor Individual de Energia	Medidor Individual de Água	EqNumAA	Bon_Usa Racional de Água
8	NE				3	0

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 20 - Tabela de Ambientes (Entrada de Dados)

<Entrada - Ambientes>									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Ambiente	Tipo	Cond. Ar Selo A	Contato Pilotis	Contato Solo	Fecham. Sup.	Disp. Esp. Vent.	Illum.Artif.Efic.	Refrig.Eficiente	Ventil.Teto
Banheiro	B	<input type="checkbox"/>	0	1	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cozinha	C	<input type="checkbox"/>	0	1	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Quarto 01	D	<input checked="" type="checkbox"/>	0	1	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Quarto 02	D	<input type="checkbox"/>	0	1	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sala	P	<input type="checkbox"/>	0	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 21 - Tabela de Cobertura (Entrada de Dados)

<Entrada - Coberturas>				
A	B	C	D	E
Tipo	Absortância Solar	Capacidade Térmica	Transmitância Térmica	Refletância
Telha Cerâmica Clara sem Acabamento_10cm	0.3	18	4.55	0.25

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 22 - Tabelas de Forros (Entrada de Dados)

<Entrada - Forros>				
A	B	C	D	E
Tipo	Absortância Solar	Capacidade Térmica	Transmitância Térmica	Refletância
Forro PVC sob Telha Cerâmica	0.3	21	1.75	0.8

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 23 - Tabela de Pisos (Entrada de Dados)

<Entrada - Pisos>				
A	B	C	D	E
Tipo	Absortância Solar	Capacidade Térmica	Transmitância Térmica	Refletância

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 24 - Tabela de Janelas (Entrada de Dados)

<Entrada - Janelas>					
A	B	C	D	E	F
Família e Tipo	Fator Abertura Iluminação	Fator Abertura Ventilação	Fator de Sombreamento	Transm. Térmica Vidro	Vidro Duplo
Janela de correr - 2 Painéis: 100x120 cm	0.8	0.45	0	5	<input type="checkbox"/>
Janela de correr - 2 Painéis: 120x120 cm	0.8	0.45	0	5	<input type="checkbox"/>
Janela pivotante horizontal - 1 Painel: 60x60 cm (i=45°)	0.65	0.7	0	5	<input type="checkbox"/>

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 25 - Tabela de Portas (Entrada de Dados)

<Entrada - Portas>					
A	B	C	D	E	F
Família e Tipo	Fator Abertura Iluminação	Fator Abertura Ventilação	Fator de Sombreamento	Permeabilidade ao Ar	Vidro Duplo
M_Folha única: 70x210 cm					<input checked="" type="checkbox"/>
Porta de Abrir com Vidro: 100x210 cm	0.95	0.8	0	0	<input type="checkbox"/>

Fonte: Autor, 2018.

APÊNDICE B – PARÂMETROS USADOS

Tabela 26 - Parâmetros de Ambientes usados no Processamento e Equações (01)

PARÂMETROS DE AMBIENTES	Tipo	Grupo	Instancia
ENTRADAS:			
Condicionador de Ar Selo A ou PROCEL	Sim/Não	Dado Identidade	1
Contato com Pilotis (pil)	Número	Dado Identidade	1
Contato com Solo (solo)	Número	Dado Identidade	1
Dispositivo Especial Vent	Sim/Não	Dado Identidade	1
Fechamento Superior (cob)	Número	Dado Identidade	1
Iluminação Artificial Eficiente	Sim/Não	Dado Identidade	1
Refrigerador Eficiente	Sim/Não	Dado Identidade	1
Tipo de Ambiente	B – Banheiro; C – Cozinha; Circ - Circulação; D – Dormitório; P – Prolongado.	Dado Identidade	1
Ventilador de Teto PROCEL	Sim/Não	Dado Identidade	1
SAÍDAS:			
Abertura Leste (AbL)	Inteiro	Resultados Análise	1
Abertura Norte (AbN)	Inteiro	Resultados Análise	1
Abertura Oeste (AbO)	Inteiro	Resultados Análise	1
Abertura Sul (AbS)	Inteiro	Resultados Análise	1
Área Abertura Leste (AAbL)	Área	Resultados Análise	1
Área Abertura Norte (AAbN)	Área	Resultados Análise	1
Área Abertura Oeste (AAbO)	Área	Resultados Análise	1
Área Abertura Sul (AAbS)	Área	Resultados Análise	1
Área Paredes Internas (AparInt)	Área	Resultados Análise	1
Área Paredes Leste (APambL)	Área	Resultados Análise	1
Área Paredes Norte (APambN)	Área	Resultados Análise	1
Área Paredes Oeste (APambO)	Área	Resultados Análise	1
Área Paredes Sul (APambS)	Área	Resultados Análise	1
AS Cobertura (aCob)	Número	Resultados Análise	1
AS Paredes (aPar)	Número	Resultados Análise	1
C Altura	Número	Resultados Análise	1
CA	Número	Resultados Análise	1
CR	Número	Resultados Análise	1
Ventilação e Iluminação Direta	Textoo	Dado Identidade	1
Continua			

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 27 - Parâmetros de Ambientes usados no Processamento e Equações (02)

PARÂMETROS DE AMBIENTES	Tipo	Grupo	Instancia
SAÍDAS:			
CA	Número	Resultados Análise	1
CR	Número	Resultados Análise	1
CT Alta	Inteiro	Resultados Análise	1
CT Baixa	Inteiro	Resultados Análise	1
CT Cobertura (CTCob)	Número	Resultados Análise	1
CT Paredes (CTPar)	Número	Resultados Análise	1
Eficiência Amb	Textoo	Resultados Análise	1
Eficiência AmbA	Textoo	Resultados Análise	1
Eficiência AmbRefrig	Textoo	Resultados Análise	1
Eficiência AmbResfr	Textoo	Resultados Análise	1
EqNumEnvAmb	Número	Resultados Análise	1
EqNumEnvAmbA	Número	Resultados Análise	1
EqNumEnvAmbRefrig	Número	Resultados Análise	1
EqNumEnvAmbResfr	Número	Resultados Análise	1
Fvent	Número	Resultados Análise	1
GhR	Número	Resultados Análise	1
Isolamento Térmico (isol)	Inteiro	Resultados Análise	1
PambL	Inteiro	Resultados Análise	1
PambN	Inteiro	Resultados Análise	1
PambO	Inteiro	Resultados Análise	1
PambS	Inteiro	Resultados Análise	1
Pé-direito (Médio)	Número	Resultados Análise	1
Pré-requisito de Iluminação	Textoo	Resultados Análise	1
Pré-requisito de Ventilação	Textoo	Resultados Análise	1
Pré-requisitos da Cobertura	Textoo	Resultados Análise	1
Pré-requisitos das Paredes	Textoo	Resultados Análise	1
Profundidade de Iluminação Suficiente	Textoo	Resultados Análise	1
Refletância Teto Suficiente	Textoo	Resultados Análise	1
Somb	Número	Resultados Análise	1
Transmitância Térmica dos Vidros (Uvid)	Número	Resultados Análise	1
TT Cobertura (UCob)	Número	Resultados Análise	1
TT Paredes (UPar)	Número	Resultados Análise	1
Vidro Duplo no Ambiente (vid)	Inteiro	Resultados Análise	1
MassID	Inteiro	Dado Identidade	1
Ventilação e Iluminação Direta	Textoo	Dado Identidade	1

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 28 - Parâmetros de Informações de Projeto usados no Processamento e Equações

PARÂMETROS DE INFORMAÇÕES DE PROJETO	Tipo	Grupo	Instancia
ENTRADAS:			
Bon_Uso Racional de Água	Número	Resultados Análise	1
EqNumAA	Número	Dado Identidade	1
Medidor Individual de Água	Sim/Não	Dado Identidade	1
Medidor Individual de Aquecimento de Água	Sim/Não	Dado Identidade	1
Medidor Individual de Energia	Sim/Não	Dado Identidade	1
Região Geográfica	Texto	Dado Identidade	1
Zona Bioclimática	Inteiro	Dado Identidade	1
SAÍDAS:			
Bon_Centro Geométrico Ab	Número	Resultados Análise	1
Bon_Condicionamento de Ar	Número	Resultados Análise	1
Bon_Dispositivos Especiais	Número	Resultados Análise	1
Bon_Iluminação Artificial	Número	Resultados Análise	1
Bon_Medidor Individual AA	Número	Resultados Análise	1
Bon_Permabilidade Ar	Número	Resultados Análise	1
Bon_Porosidade	Número	Resultados Análise	1
Bon_Profundidade de Iluminação	Número	Resultados Análise	1
Bon_Refletância Teto	Número	Resultados Análise	1
Bon_Refrigeradores	Número	Resultados Análise	1
Bon_Ventilador de Teto	Número	Resultados Análise	1
Eficiência Env	Texto	Resultados Análise	1
Eficiência EnvA	Texto	Resultados Análise	1
Eficiência EnvRefrig	Texto	Resultados Análise	1
Eficiência EnvResfr	Texto	Resultados Análise	1
Eficiência UH	Texto	Resultados Análise	1
EqNumEnv	Número	Resultados Análise	1
EqNumEnvA	Número	Resultados Análise	1
EqNumEnvRefrig	Número	Resultados Análise	1
EqNumEnvResfr	Número	Resultados Análise	1
Percentual AC Eficiente	Número	Resultados Análise	1
Porosidade Leste	Número	Resultados Análise	1
Porosidade Norte	Número	Resultados Análise	1
Porosidade Oeste	Número	Resultados Análise	1
Porosidade Sul	Número	Resultados Análise	1
Pré-requisito de Ventilação Cruzada	Texto	Resultados Análise	1
Pré-requisito de Ventilação e Iluminação natural WC	Texto	Resultados Análise	1
PTuh	Número	Resultados Análise	1

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 29 - Outros parâmetros usados no Processamento e Equações.

OUTROS PARÂMETROS	Tipo	Grupo	Instancia	Categoria
ENTRADAS:				
Altura Ventilação	Número	Dado Identidade	1	Forros, Coberta, Piso / Laje
Cobertura Ventilada	Sim/Não	Dado Identidade	1	Forros, Coberta, Piso / Laje
Refletância	Número	Dado Identidade	0	Forros, Coberta, Piso / Laje
Absortância Solar	Número	Dado Identidade	0	Forros, Coberta, Paredes, Piso / Laje
Capacidade Térmica	Número	Dado Identidade	0	Forros, Coberta, Paredes, Piso / Laje
Transmitância Térmica	Número	Dado Identidade	0	Forros, Coberta, Paredes, Piso / Laje
Ventilação e Iluminação	Sim/Não	Dado Identidade	1	Portas
Fator Abertura Iluminação	Número	Dado Identidade	0	Portas, Janelas
Fator Abertura Ventilação	Número	Dado Identidade	0	Portas, Janelas
Fator de Sombreamento	Número	Dado Identidade	0	Portas, Janelas
Transmitância Térmica do Vidro	Número	Dado Identidade	0	Portas, Janelas
Vidro Duplo	Sim/Não	Dado Identidade	0	Portas, Janelas
SAÍDAS:				
Permeabilidade ao Ar	Número	Dado Identidade	0	Portas
Orientação	Texto	Dado Identidade	1	Portas, Paredes, Janelas
Profundidade de Iluminação	Comprimento	Resultados Análise	1	Portas, Janelas
Função	Texto	Dado Identidade	1	Janelas

Fonte: Autor, 2017.

APÊNDICE C – RESULTADOS ENSAIOS

Tabela 30 – Comparativo dos resultados da pontuação total do Modelo Base, calculados pela IDEEA, ou pela Planilha Eletrobrás

	IDEEA	PROCEL
EqNumAA	5	5
EqNumEnv	3,588235294	3,59
EqNumEnvA	Não calculado ou indicado	Não se aplica
EqNumEnvRefrig	2	2,00
EqNumEnvResfr	3,588235294	3,59
PTuh	4,6	4,64
Eficiência Env	B	B
Eficiência EnvA	Não calculado ou indicado	Não se aplica
Eficiência EnvRefrig	D	D
Eficiência EnvResfr	B	B
Eficiência UH	A	A

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 31 - Comparativo dos resultados da pontuação dos ambientes do Modelo Base, calculados pela IDEEA, ou pela Planilha Eletrobrás

Informações dos Ambientes	IDEEA			Planilha Eletrobrás		
	Quarto 01	Quarto 02	Sala Estar/Jantar	Quarto 01	Quarto 02	Sala Estar/Jantar
Área	6,96	7,54	10,15	6,96	7,54	10,15
Tipo de Ambiente	D	D	P	D	D	P
GhR	8004	7906	10603	8004	7906	10603
CR	58,24	55,249	0	58,24	55,249	0
CA	-	-	-	-	-	-
EqNumEnvAmb	3	3	3	4	4	3
EqNumEnvAmbA	-	-	-	-	-	-
EqNumEnvAmbRefrig	2	2	0	2	2	0
EqNumEnvAmbResfr	3	3	3	4	4	3
Eficiência Amb	C	C	C	B	B	C
Eficiência AmbA	-	-	-	-	-	-
Efic. AmbRefrig	D	D	-	D	D	-
Eficiência AmbResfr	C	C	C	B	B	C

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 32 - Comparativo dos resultados dos pré-requisitos dos ambientes do Modelo Base, calculados pela IDEEA, ou pela Planilha Eletrobrás

Informações dos Ambientes	IDEEA			Planilha Eletrobrás		
	Quarto 01	Quarto 02	Sala Estar/Jantar	Quarto 01	Quarto 02	Sala Estar/Jantar
Pré-requisito de Iluminação	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
Pré-requisito de Ventilação	Não atende	Não atende	Atende	Não atende	Não atende	Atende
Pré-requisitos da Cobertura	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
Pré-requisitos das Paredes	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 33 - Resultados informações dos ambientes, projeto piloto – base: orientação 0°

	Informações dos Ambientes					
	Cozinha	WC	Quarto 01	Quarto 02	Sala Estar/Jantar	Circ.
Área	4,73	2,01	6,96	7,54	10,15	0,94
Tipo de Ambiente	C	B	D	D	P	Circ
Contato com Pilotis (pil)	-	-	0	0	0	-
Contato com Solo (solo)	-	-	1	1	1	-
Dispositivo Especial Vent	-	-	1	1	1	-
Fechamento Superior (cob)	-	-	1	1	1	-
Iluminação Artificial Eficiente	-	-	1	1	1	-
Refrigerador Eficiente	1	-	-	-	-	-
Condicionador de Ar Selo A ou PROCEL	-	-	1	1	1	-
Ventilador de Teto PROCEL	-	-	1	1	1	-
Abertura Leste (AbL)	0	0	1	1	0	-
Abertura Norte (AbN)	1	1	0	0	1	-
Abertura Oeste (AbO)	0	0	0	0	1	-
Abertura Sul (AbS)	0	0	0	0	0	-
AS Cobertura (aCob)	-	-	0,3	0,3	0,3	-
AS Paredes (aPar)	-	-	0,2	0,2	0,2	-
Área Abertura Leste (AAbL)	0	0	1,2	1,44	0	-
Área Abertura Norte (AAbN)	2	0,24	0	0	1,89	-
Área Abertura Oeste (AAbO)	0	0	0	0	1,44	-
Área Abertura Sul (AAbS)	0	0	0	0	0	-
Área Paredes Internas (AparInt)	14,09	14,48	16,33	17,01	13,42	5,41
Área Paredes Leste (APambL)	0	1,92	5,3	5,59	0	0

Área Paredes Norte (APambN)	4,92	3,42	0	0	1,38	0
Área Paredes Oeste (APambO)	9,08	0	0	0	5,61	0
Área Paredes Sul (APambS)	0	0	9,41	9,57	13,35	0
Pré-requisito de Iluminação	-	-	Atende	Atende	Atende	-
Pré-requisito de Ventilação	-	-	Não atende	Não atende	Atende	-
Pré-requisitos da Cobertura	-	-	Atende	Atende	Atende	-
Pré-requisitos das Paredes	-	-	Atende	Atende	Atende	-
C Altura	0,704	1,81	0,457	0,422	0,321	-
CT Alta	-	-	0	0	0	-
CT Baixa	-	-	0	0	0	-
CT Cobertura (CTCob)	-	-	18	18	18	-
CT Paredes (CTPar)	-	-	272	272	272	-
Fvent	0,94	0,9	0,45	0,45	0,73	-
Isolamento Térmico (isol)	0	0	0	0	0	-
PambL	0	1	1	1	0	0
PambN	1	1	0	0	1	0
PambO	1	0	0	0	1	0
PambS	0	0	1	1	1	0
Refletância Teto Suficiente	Não	-	Não	Não	Não	-
Profundidade de Iluminação Suficiente	Sim	-	Sim	Sim	Sim	-
Pé-direito (Médio)	3,3305	3,638	3,183	3,183	3,257	-
Somb	0	0	0	0	0	-
Transmitância Térmica dos Vidros (Uvid)	3,58	1,6	4	4	4	-
TT Cobertura (Ucob)	-	-	4,55	4,55	4,55	-
TT Paredes (Upar)	-	-	2,69	2,69	2,69	-
Ventilação e Iluminação direta	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	-
Vidro Duplo no Ambiente (vid)	0	0	0	1	0	-
GhR	-	-	8004	7906	10603	-
CR	-	-	58,24	55,249	47,439	-
CA	-	-	-	-	-	-
EqNumEnvAmb	-	-	4	4	3	-
EqNumEnvAmbA	-	-	-	-	-	-
EqNumEnvAmbRefrig	-	-	2	2	3	-
EqNumEnvAmbResfr	-	-	4	4	3	-
Eficiência Amb	-	-	B	B	C	-
Eficiência AmbA	-	-	-	-	-	-
Eficiência AmbRefrig	-	-	D	D	C	-
Eficiência AmbResfr	-	-	B	B	C	-

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 34 - Resultados informações do projeto, projeto piloto – base: orientação 0°

Informações do Projeto	
Zona Bioclimática	8
Região Geográfica	NE
Medidor Individual de Aquecimento de Água	1
Medidor Individual de Água	1
Medidor Individual de Energia	1
Percentual AC Eficiente	1
Porosidade Leste	0,170874
Porosidade Norte	0,298195
Porosidade Oeste	0,089275
Porosidade Sul	0
Pré-requisito de Ventilação Cruzada	Atende
Pré-requisito de Ventilação e Iluminação natural WC	Atende
Bon_Centro Geométrico Ab	0
Bon_Condicionamento de Ar	0
Bon_Dispositivos Especiais	0,16
Bon_Iluminação Artificial	0,05
Bon_Medidor Individual AA	0,1
Bon_Permeabilidade Ar	0
Bon_Porosidade	0
Bon_Profundidade de Iluminação	0,2
Bon_Refletância Teto	0
Bon_Refrigeradores	0,1
Bon_Uso Racional de Água	0,2
Bon_Ventilador de Teto	0,1
EqNumAA	5
EqNumEnv	3,588235
EqNumEnvA	-
EqNumEnvRefrig	2,411765
EqNumEnvResfr	3,588235
PTuh	4,6
Eficiência Env	B
Eficiência EnvA	-
Eficiência EnvRefrig	D
Eficiência EnvResfr	B
Eficiência UH	A

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 35 - Resultados informações do projeto, projeto piloto – base: orientações de 0° a 315°

Informações do Projeto								
	Orientação projeto base							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Porosidade Leste	0,1708 7	0,1708 7	0,2981 9	0,2981 9	0,0892 7	0,0892 7	0	0
Porosidade Norte	0,2981 9	0,2981 9	0,0892 7	0,0892 7	0	0	0,1708 7	0,1708 7
Porosidade Oeste	0,0892 7	0,0892 7	0	0	0,1708 7	0,1708 7	0,2981 9	0,2981 9
Porosidade Sul	0	0	0,1708 7	0,1708 7	0,2981 9	0,2981 9	0,0892 7	0,0892 7
EqNumEnv	3,5882 4	3,5882 4	3,0000 0	3,0000 0	2,8235 3	2,8235 3	3,0000 0	3,0000 0
EqNumEnvRefrig	2,4117 6	2,4117 6	2,4117 6	2,4117 6	2,4117 6	2,4117 6	2,4117 6	2,4117 6
EqNumEnvResfr	3,5882 4	3,5882 4	3,0000 0	3,0000 0	2,8235 3	2,8235 3	3,0000 0	3,0000 0
PTuh	4,6	4,6	4,1	4,1	4	4	4,1	4,1
Eficiência Env	B	B	C	C	C	C	C	C
Eficiência EnvA	-	-	-	-	-	-	-	-
Eficiência EnvRefrig	D	D	D	D	D	D	D	D
Eficiência EnvResfr	B	B	C	C	C	C	C	C
Eficiência UH	A	A	B	B	B	B	B	B

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 36 - Resultados informações do ambiente "Quarto 01", projeto piloto – base: orientações de 0° a 315°

Quarto 01	Informações dos Ambientes							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Abert. Leste (AbL)	1	1	0	0	0	0	0	0
Abert. Norte (AbN)	0	0	0	0	0	0	1	1
Abert. Oeste (AbO)	0	0	0	0	1	1	0	0
Abert. Sul (AbS)	0	0	1	1	0	0	0	0
Área Abert. Leste (AAbL)	1,2	1,2	0	0	0	0	0	0
Área Abert. Norte (AAbN)	0	0	0	0	0	0	1,2	1,2
Área Abert. Oeste (AAbO)	0	0	0	0	1,2	1,2	0	0

Área Abert. Sul (AAbS)	0	0	1,2	1,2	0	0	0	0
Área Par. Int. (AparInt)	16,33	16,33	16,33	16,33	16,33	16,33	16,33	16,33
Área Par. Leste (APambL)	5,3	5,3	0	0	0	0	9,41	9,41
Área Par. Norte (APambN)	0	0	0	0	9,41	9,41	5,3	5,3
Área Par. Oeste (APambO)	0	0	9,41	9,41	5,3	5,3	0	0
Área Par. Sul (APambS)	9,41	9,41	5,3	5,3	0	0	0	0
PambL	1	1	0	0	0	0	1	1
PambN	0	0	0	0	1	1	1	1
PambO	0	0	1	1	1	1	0	0
PambS	1	1	1	1	0	0	0	0
GhR	8004	8004	8605	8605	11629	11629	9413	9413
CR	58,24	58,24	56,271	56,271	59,236	59,236	57,944	57,944
EqNumEnvAmb	4	4	3	3	2	2	3	3
EqNumEnvAmbRefrig	2	2	2	2	2	2	2	2
EqNumEnvAmbResfr	4	4	3	3	2	2	3	3
Eficiência Amb	B	B	C	C	D	D	C	C
Eficiência AmbRefrig	D	D	D	D	D	D	D	D
Eficiência AmbResfr	B	B	C	C	D	D	C	C

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 37 - Resultados informações do projeto, projeto piloto – base: Materiais do envelope da UH

Informações do Projeto									
	Orientação projeto base								
	BASE	PAR-01	PAR-02	PAR-03	COB-01	COB-02	COB-03	COB-04	MISTO
Porosidade Leste	0,1709	0,1671	0,1748	0,1704	0,1827	0,1827	0,1897	0,1897	0,1821
Porosidade Norte	0,2982	0,2925	0,2894	0,2971	0,2982	0,2982	0,3684	0,3684	0,2971
Porosidade Oeste	0,0893	0,0876	0,0874	0,0891	0,0922	0,0922	0,1023	0,1023	0,0921
Porosidade Sul	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EqNumEnv	3,5882	1	3,58715	3,58795	3	3	3	2,5882	3
EqNumEnv Refrig	2,4118	2,8201	2,4129	2,4121	2,4118	2,4118	2,4118	2,4118	2,4121
EqNumEnv Resfr	3,5882	1	3,58715	3,58795	3	3	3	2,5882	3
PTuh	4,6	2,3	4,6	4,6	4,1	4,1	4,2	3,8	4,1

Eficiência AmbResfr	B	E	C	C	C	C	C	C	C
------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 39 - Resultados informações do projeto, projeto piloto – base:
Esquadrias da UH

Informações do Projeto					
	Orientação projeto base				
	BASE	ESQ-01	ESQ-02	ESQ-03	ESQ-04
Porosidade Leste	0,17087	0,20194	0,23301	0,26408	0,29515
Porosidade Norte	0,29819	0,29819	0,29819	0,29819	0,29819
Porosidade Oeste	0,08927	0,10415	0,11903	0,13391	0,14879
Porosidade Sul	0	0	0	0	0
EqNumEnv	3,58824	3,58824	3,58824	3,58824	3,58824
EqNumEnvRefrig	2,41176	2,41176	2,41176	2,41176	2,41176
EqNumEnvResfr	3,58824	3,58824	3,58824	3,58824	3,58824
PTuh	4,6	4,7	4,7	4,7	4,7
Eficiência Env	B	B	B	B	B
Eficiência EnvA	-	-	-	-	-
Eficiência EnvRefrig	D	D	D	D	D
Eficiência EnvResfr	B	B	B	B	B
Eficiência UH	A	A	A	A	A

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 40 - Resultados informações do ambiente "Quarto 01", projeto piloto
– base: Esquadrias da UH

Quarto 01	Informações dos Ambientes				
	BASE	ESQ-01	ESQ-02	ESQ-03	ESQ-04
Área	6,96	6,96	6,96	6,96	6,96
Tipo de Ambiente	D	D	D	D	D
Abert. Leste (AbL)	1	1	1	1	1
Abert. Norte (AbN)	0	0	0	0	0
Abert. Oeste (AbO)	0	0	0	0	0
Abert. Sul (AbS)	0	0	0	0	0
AS Cobertura (aCob)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

AS Paredes (aPar)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Área Abert. Leste (AAbL)	1,2	1,44	1,68	1,92	1,44
Área Abert. Norte (AAbN)	0	0	0	0	0
Área Abert. Oeste (AAbO)	0	0	0	0	0
Área Abert. Sul (AAbS)	0	0	0	0	0
Área Par. Int. (AparInt)	16,33	16,33	16,33	16,33	16,33
Área Par. Leste (APambL)	5,3	5,06	4,82	4,58	4,34
Área Par. Norte (APambN)	0	0	0	0	0
Área Par. Oeste (APambO)	0	0	0	0	0
Área Par. Sul (APambS)	9,41	9,41	9,41	9,41	9,41
Pré-req. de Iluminação	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
Pré-req. de Ventilação	Não At.	Não Atende	Atende	Atende	Atende
Pré-req.s da Cobertura	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
Pré-req.s das Paredes	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
C Altura	0,457	0,457	0,457	0,457	0,457
CT Alta	0	0	0	0	0
CT Baixa	0	0	0	0	0
CT Cobertura (CTCob)	18	18	18	18	18
CT Paredes (CTPar)	272	272	272	272	272
Fvent	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Isolamento Térmico (isol)	0	0	0	0	0
PambL	1	1	1	1	1
PambN	0	0	0	0	0
PambO	0	0	0	0	0
PambS	1	1	1	1	1
Refletância Teto Suficiente	Não	Não	Não	Não	Não
Prof. de Ilum. Suficiente	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Pé-direito (Médio)	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183
Somb	0	0	0	0	0
Transm. Térm. dos Vidros (Uvid)	4	4	4	4	4
TT Cobertura (UCob)	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55
TT Paredes (UPar)	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69

Vent. e Ilum. Direta	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Vidro Duplo no Amb. (vid)	0	1	1	1	1
GhR	8004	8021	8021	8056	8073
CR	58,24	58,346	58,452	58,558	58,665
CA	-	-	-	-	-
EqNumEnvAmb	4	3	4	3	4
EqNumEnvAmbA	-	-	-	-	-
EqNumEnvAmbRefrig	2	2	2	2	2
EqNumEnvAmbResfr	4	3	4	4	4
Eficiência Amb	B	C	B	C	B
Eficiência AmbA	-	-	-	-	-
Eficiência AmbRefrig	D	D	D	D	D
Eficiência AmbResfr	B	C	B	B	B

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 41 - Resultados informações do projeto, projeto piloto – base: Geometria da UH

Informações do Projeto					
	Orientação projeto base				
	BASE	GEO-01	GEO-02	GEO-03	GEO-04
Porosidade Leste	0,17087	0,17087	0,15649	0,15584	0,15789
Porosidade Norte	0,29819	0,26272	0,26272	0,26156	0,26189
Porosidade Oeste	0,08927	0,08733	0,08045	0,08045	0,08045
Porosidade Sul	0	0	0	0	0
EqNumEnv	3,58824	3,55941	3,53851	3,57693	3,60404
EqNumEnvRefrig	2,41176	2,44059	2,76589	2,74931	3
EqNumEnvResfr	3,58824	3,55941	3,53851	3,57693	3,60404
PTuh	4,6	4,6	4,6	4,6	4,7
Eficiência Env	B	B	B	B	B
Eficiência EnvA	-	-	-	-	-
Eficiência EnvRefrig	D	D	C	C	C
Eficiência EnvResfr	B	B	B	B	B
Eficiência UH	A	A	A	A	A

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 42 - Resultados informações do ambiente "Quarto 01", projeto piloto – base: Geometria da UH

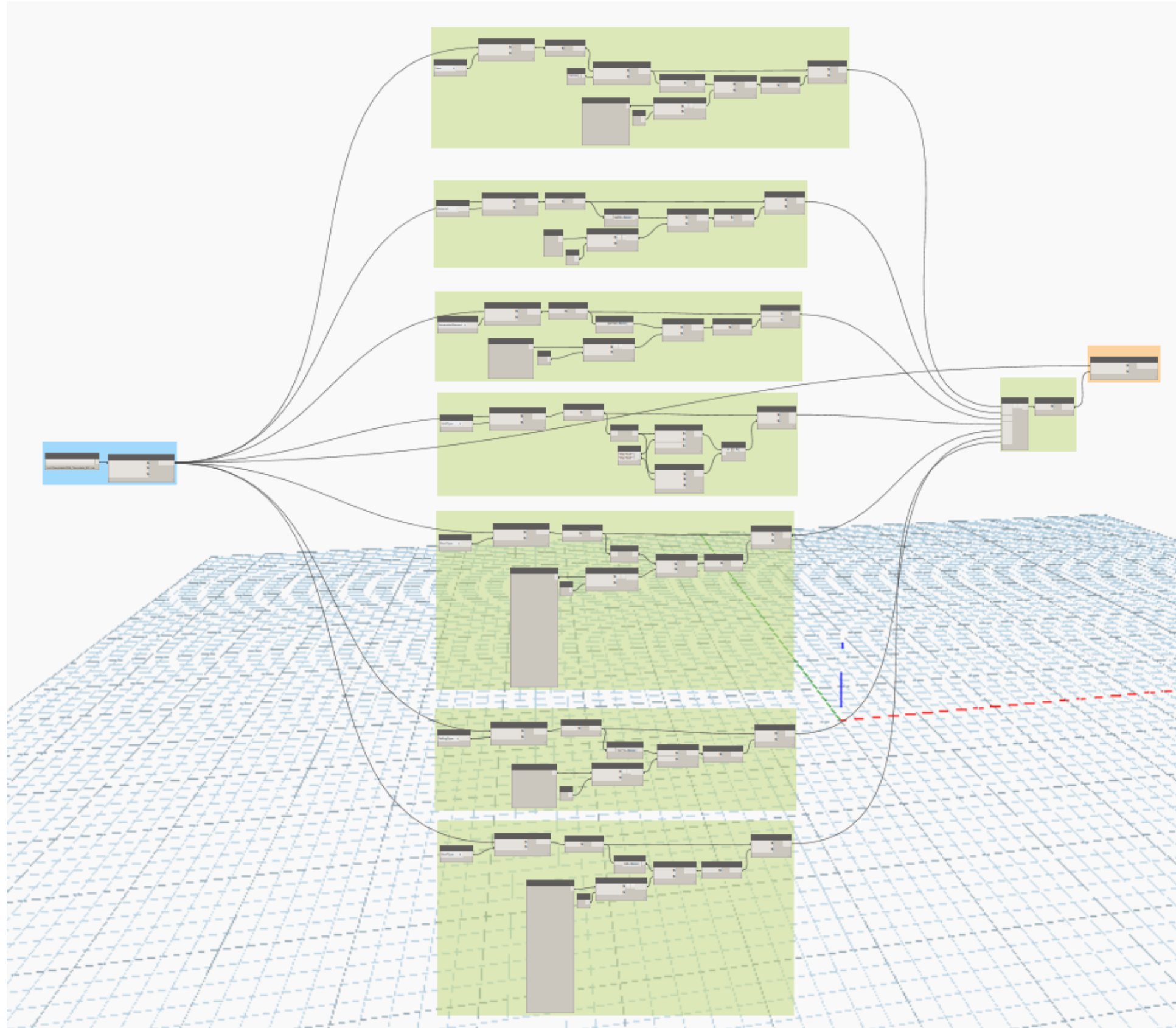
Quarto 01	Informações dos Ambientes				
	BASE	GEO-01	GEO-02	GEO-03	GEO-04
Área	6,96	6,96	6,96	8,13	10,35
Tipo de Ambiente	D	D	D	D	D
Abert. Leste (AbL)	1	1	1	1	1
Abert. Norte (AbN)	0	0	0	0	0
Abert. Oeste (AbO)	0	0	0	0	0
Abert. Sul (AbS)	0	0	0	0	0
AS Cobertura (aCob)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
AS Paredes (aPar)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Área Abert. Leste (AAbL)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Área Abert. Norte (AAbN)	0	0	0	0	0
Área Abert. Oeste (AAbO)	0	0	0	0	0
Área Abert. Sul (AAbS)	0	0	0	0	0
Área Par. Int. (AparInt)	16,33	16,33	16,33	18,46	20,78
Área Par. Leste (APambL)	5,3	5,3	5,3	5,3	7,07
Área Par. Norte (APambN)	0	0	0	0	0
Área Par. Oeste (APambO)	0	0	0	0	0
Área Par. Sul (APambS)	9,41	9,41	9,41	11,23	11,39
Pré-req. de Iluminação	Atende	Atende	Atende	Não Atende	Não Atende
Pré-req. de Ventilação	Não Atende	Não Atende	Não Atende	Não Atende	Não Atende
Pré-req.s da Cobertura	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
Pré-req.s das Paredes	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
C Altura	0,457	0,457	0,457	0,399	0,314
CT Alta	0	0	0	0	0
CT Baixa	0	0	0	0	0
CT Cobertura (CTCob)	18	18	18	18	18
CT Paredes (CTPar)	272	272	272	272	272
Fvent	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Isolamento Térmico (isol)	0	0	0	0	0
PambL	1	1	1	1	1

PambN	0	0	0	0	0
PambO	0	1	1	1	1
PambS	1	1	1	1	1
Refletância Teto Suficiente	Não	1	1	1	1
Prof. de Ilum. Suficiente	Sim	1	1	1	1
Pé-direito (Médio)	3,183	1	1	1	1
Somb	0	1	1	1	1
Transm. Térm. dos Vidros (Uvid)	4	1	1	1	1
TT Cobertura (UCob)	4,55	1	1	1	1
TT Paredes (UPar)	2,69	1	1	1	1
Vent. e Ilum. Direta	Sim	1	1	1	1
Vidro Duplo no Amb. (vid)	0	1	1	1	1
GhR	8004	1	1	1	1
CR	58,24	1	1	1	1
CA	-	-	-	-	-
EqNumEnvAmb	4	3	3	3	3
EqNumEnvAmbA	-	-	-	-	-
EqNumEnvAmbRefrig	2	2	2	2	3
EqNumEnvAmbResfr	4	3	3	3	3
Eficiência Amb	B	C	C	C	C
Eficiência AmbA	-	-	-	-	-
Eficiência AmbRefrig	D	D	D	D	D
Eficiência AmbResfr	B	C	C	C	C

Fonte: Autor, 2017.

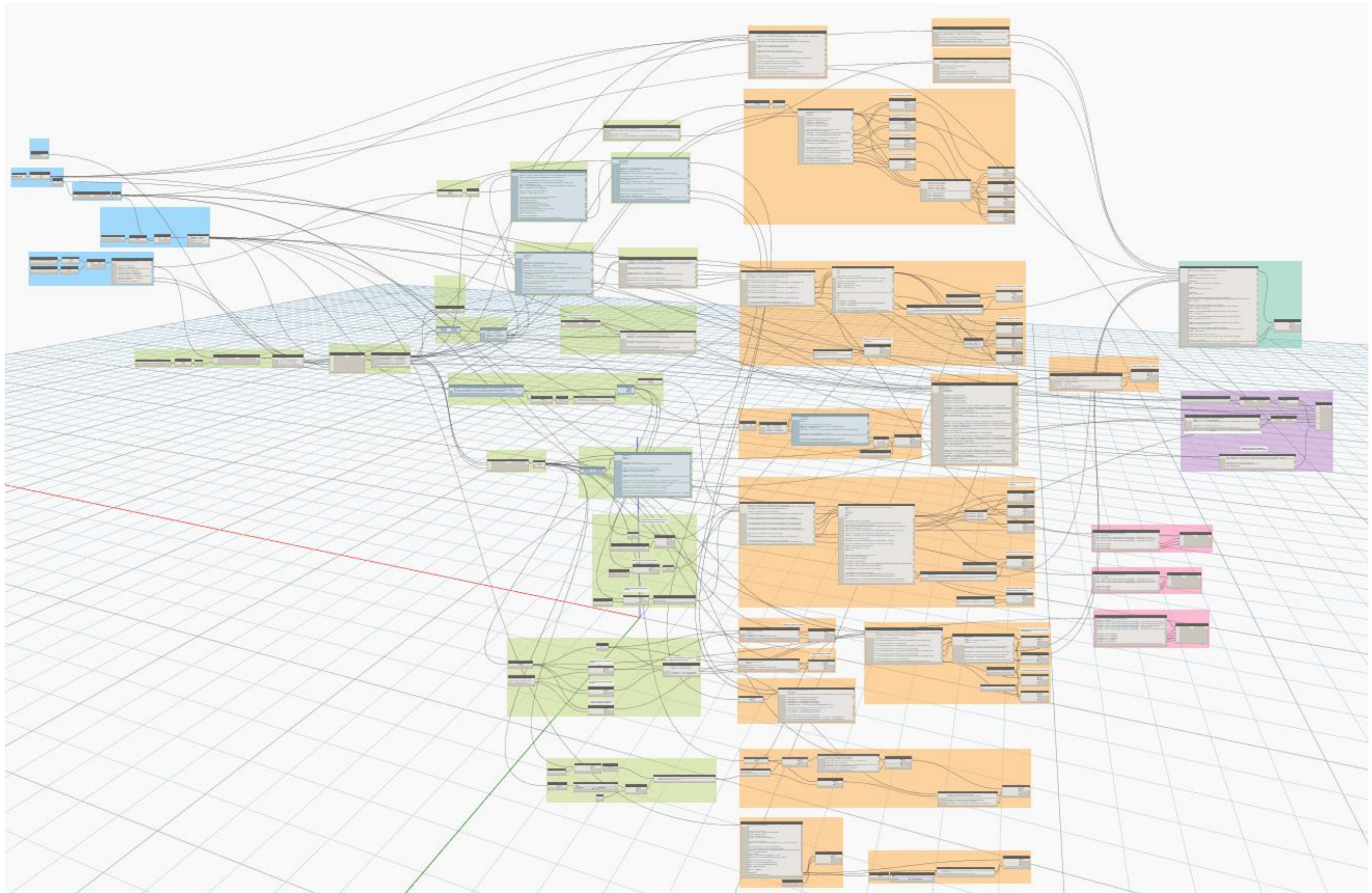
APÊNDICE D – PROGRAMAÇÃO DOS SCRIPTS

Ilustração 91 - Script Inserir.Template



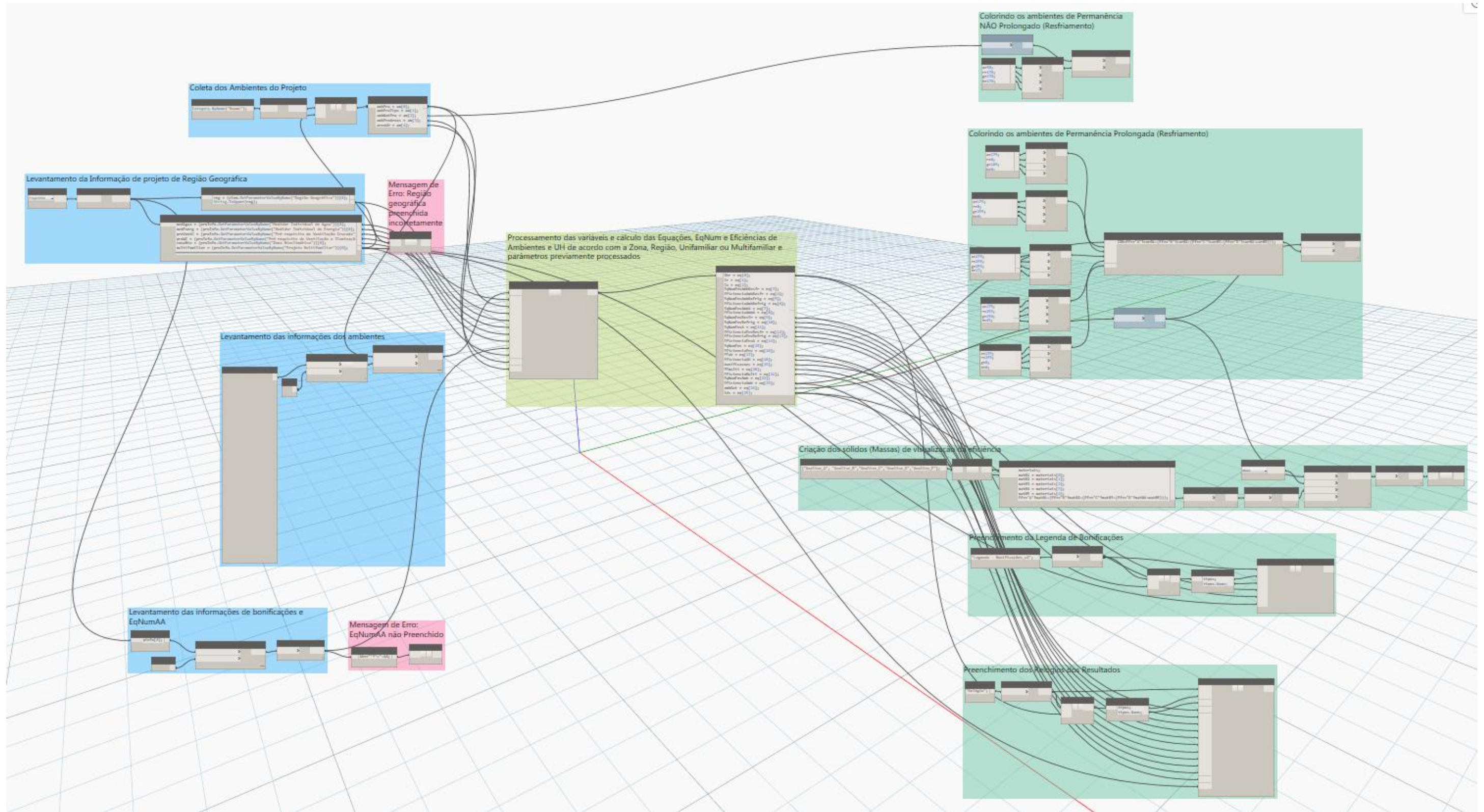
Fonte: Autor, 2018.

Ilustração 92 - Script IDEEA.processamento



Fonte: Autor, 2018.

Ilustração 93 – Script IDEEA.equações



Fonte: Autor, 2018.

APÊNDICE E – DOCUMENTOS CURSO DE EXTENSÃO

TERMO DE CONCORDÂNCIA DA DIREÇÃO DA INSTITUIÇÃO DE ENSINO

Ao senhor Diretor do Campus Laranjeiras (CAMPUSLAR), da UFS:

Eu, Fernando Márcio de Oliveira, aluno regularmente matriculado no curso de Pós-graduação Dinâmica do Espaço Habitado, Doutorado Cidades, da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da UFAL – Universidade Federal de Alagoas, em Maceió/AL, venho por meio deste, solicitar a autorização para coletar dados na Universidade Federal de Sergipe, através da aplicação de um treinamento em uma ferramenta para projeto, IDEEA – Integrando Desempenho Energético a Arquitetura, para uma turma de alunos e profissionais da área de arquitetura e urbanismo e engenharia civil. Os dados serão usados na pesquisa: “INTEGRAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO NAS FASES INICIAIS NO PROCESSO DE PROJETO ATRAVÉS DO BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)”, que tem como objetivo geral desenvolver uma ferramenta de suporte que possibilite o arquiteto trabalhar com a questão de eficiência energética, fazendo análises e simulações simultaneamente ao desenvolvimento da proposta arquitetônica em todas as fases do processo do projeto.

As coletas de dados serão feitas por meio de observações, filmagens, fotografias e entrevistas com os participantes do treinamento. Ressalta-se que todos os dados, que possam identificar qualquer um dos participantes, serão mantidos em sigilo.

Desde já agradecemos o apoio para a realização dessa importante etapa da presente pesquisa de doutorado, cujos resultados finais contribuirão para a comunidade acadêmica e profissional diretamente envolvida com o processo projetual em arquitetura. Pelo presente termo de concordância, declaro que autorizo a realização da pesquisa prevista nessa faculdade.

Laranjeiras/SE, ____ de _____ de 2018

Diretor do Campus Laranjeiras /
UFS

Chefe do Departamento de
Arquitetura e Urbanismo / UFS

Fernando Márcio de Oliveira
Doutorando em Arquitetura e Urbanismo
DEHA / UFAL

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Integração do Desempenho energético nas fases iniciais do processo de projeto através do Building Information Modeling (BIM)

Fernando Márcio de Oliveira; Leonardo Salazar Bittencourt

Número do CAAE: 02846918.7.0000.5013

Você está sendo convidado a participar como voluntário de uma pesquisa. Este documento, chamado Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, visa assegurar seus direitos como participante e é elaborado em duas vias, uma que deverá ficar com você e outra com o pesquisador.

Por favor, leia com atenção e calma, aproveitando para esclarecer suas dúvidas. Se houver perguntas antes ou mesmo depois de assiná-lo, você poderá esclarecê-las com o pesquisador. Se preferir, pode levar este Termo para casa e consultar seus familiares ou outras pessoas antes de decidir participar. Não haverá nenhum tipo de penalização ou prejuízo se você não aceitar participar ou retirar sua autorização em qualquer momento.

Justificativa e objetivos:

Justifica-se a realização deste trabalho pela necessidade de se investir em pesquisas que busquem a proposição de ferramentas que contribuam para uma melhor avaliação do desempenho energético dos edifícios.

O objetivo desta etapa de pesquisa referente à avaliação subjetiva é verificar o potencial da ferramenta computacional quanto ao uso durante o processo de projeto e do seu auxílio ao projetista para o desenvolvimento de projetos de edificações residenciais com maior desempenho energético.

Procedimentos:

Participando do estudo você receberá um treinamento no uso de uma ferramenta computacional, que foi programada para funcionar durante o processo de projeto, e a utilização do programa Revit Architecture 2017.2. O treinamento está dividido nas seguintes fases: (a) Questionário estruturado prévio, (b) Nivelamento em desempenho energético e etiquetagem de edificações de acordo com o selo do INMETRO, (c) Treinamento e aplicação da ferramenta IDEEA e (d) Questionário de Avaliação.

Antes de iniciar a avaliação subjetiva, o pesquisador responsável irá explicar todas as informações necessárias para realização da mesma.

Observações:

- As avaliações subjetivas serão realizadas no Laboratório de Informática, no Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Campus de Laranjeiras (CAMPUSLAR/UFS) e/ou no Campus São Cristóvão, no Departamento de Engenharia Civil, em um período preferencialmente que esteja disponível na UFS, agendado previamente com o pesquisador responsável. Se você não souber chegar ao local, o pesquisador poderá orientá-lo ou mesmo conduzi-lo.
- A duração prevista para todo o treinamento e avaliação será de 20h, sendo 10 aulas de 2 horas, distribuídas em até 03 semanas.
- Os dados obtidos serão utilizados exclusivamente para a pesquisa.

Desconfortos e riscos:

A pesquisa não apresentará riscos nem desconfortos previsíveis.

Benefícios:

Proposição de ferramenta computacional para simulação do desempenho energético durante o processo de projeto usando o BIM. Espera-se que tal ferramenta contribua com os projetistas para melhorar a eficiência energética dos edifícios, contribuindo desta forma para uma diminuição do consumo energético.

Acompanhamento e assistência:

Haverá acompanhamento presencial do pesquisador durante toda avaliação subjetiva, a fim de garantir apoio necessário a sua realização e rápido atendimento nos casos em que porventura venha ocorrer eventual desconforto ou necessidade e/ou interesse de desistência

da pesquisa manifestada pelo participante. Você receberá assistência integral e imediata, de forma gratuita, pelo tempo que for necessário diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa.

Sigilo e privacidade:

Você tem a garantia de que sua identidade será mantida em sigilo e nenhuma informação será dada a outras pessoas que não façam parte da equipe de pesquisadores. Na divulgação dos resultados desse estudo, seu nome não será citado. Os dados coletados serão utilizados exclusivamente para fins didáticos e/ou científicos.

Ressarcimento e Indenização:

Não há ressarcimento previsto pela sua participação na pesquisa.

Você terá a garantia ao direito à indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa, e você, ou seu representante legal, a qualquer tempo e sem quaisquer ônus ou prejuízos, pode se recusar a participar ou retirar o consentimento da pesquisa.

Contato:

Em caso de dúvidas sobre a pesquisa, você poderá entrar em contato com o pesquisador Fernando Márcio de Oliveira (doutorando), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU/UFAL) / Programa de Pós-graduação Dinâmica do Espaço Habitado (DEHA): Campus A.C.Simões, Av. Lourival Melo Mora, s/n, Tabuleiro do Martins, Cep.57072-900, Maceió / AL, telefones (79) 999941222, e (79)32144263, e-mail: fernandomarcio@hotmail.com.

Em caso de denúncias ou reclamações sobre sua participação e sobre questões éticas do estudo, você poderá entrar em contato com a secretaria do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UFAL na Universidade Federal de Alagoas, Campus A.C. Simões, Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins, CEP:57072-900, Maceió – AL, telefone (82) 3214-1041, e-mail: comitedeeticaufal@gmail.com.

O Comitê de Ética em Pesquisa (CEP).

O papel do CEP é avaliar e acompanhar os aspectos éticos de todas as pesquisas envolvendo seres humanos. A Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP) tem por objetivo desenvolver a regulamentação sobre proteção dos seres humanos envolvidos nas pesquisas. Desempenha um papel coordenador da rede de Comitês de Ética em Pesquisa (CEP) das instituições, além de assumir a função de órgão consultor na área de ética em pesquisas.

Consentimento livre e esclarecido:

Após ter recebido esclarecimentos sobre a natureza da pesquisa, seus objetivos, métodos, benefícios previstos, potenciais riscos e o incômodo que esta possa acarretar, aceito participar e declaro estar recebendo uma via original deste documento assinada pelo pesquisador e por mim, tendo todas as folhas por nós rubricadas:

Nome do (a) participante: _____

Data: ____/____/2018. (Assinatura do participante ou nome e assinatura do seu RESPONSÁVEL LEGAL)

Responsabilidade do Pesquisador:

Asseguro ter cumprido as exigências da resolução 466/2012 CNS/MS e complementares na elaboração do protocolo e na obtenção deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Asseguro, também, ter explicado e fornecido uma via deste documento ao participante. Informo que o estudo foi aprovado pelo CEP perante o qual o projeto foi apresentado. Comprometo-me a utilizar o material e os dados obtidos nesta pesquisa exclusivamente para as finalidades previstas neste documento ou conforme o consentimento dado pelo participante.

(Assinatura do pesquisador)

Data: ____/____/2018.

QUESTIONÁRIO PRÉVIO

Participante: P__ (numeração sequencial)

Você é profissional ou aluno de arquitetura e urbanismo / engenharia civil?

- Arquiteto(a) e Urbanista
 Aluno(a) de Arquitetura e Urbanismo
 Engenheiro(a)
 Aluno(a) de Engenharia
 Outro. Qual? _____

Quantos anos de formado? Qual o período está estudando? (_____)

Caso seja aluno, já cursou disciplina nessa área? Informar a disciplina mais avançada em cada área.

DESENHO ARQUITETÔNICO: (____) S/N

CONFORTO AMBIENTAL: (____) S/N

PLANEJAMENTO: (____) S/N Qual disciplina? (_____)

INFORMÁTICA: (____) S/N Qual disciplina? (_____)

De 0 a 5, como considera seu nível de conhecimento em relação aos seguintes assuntos, sendo 0 nenhum conhecimento, e 5 avançado (acima da média):

BIM: (_____)

Revit Architecture: (_____)

Desempenho Energético: (_____)

Etiquetagem em eficiência energética em edificações: (_____)

Há quanto tempo você usa ou trabalha os temas descritos a seguir? Caso nunca tenha trabalhado deixar em branco.

BIM: (_____)

Revit Architecture: (_____)

Desempenho Energético: (_____)

Etiquetagem em eficiência energética em edificações: (_____)

Durante os projetos já realizados, na universidade e/ou escritório, como costuma definir as questões de desempenho energético do edifício? Justifique sua resposta.

PLANEJAMENTO ATIVIDADES

Etapa 01 - Nivelamento do conhecimento

- a. BIM / Revit Architecture 2017.2 / Dynamo Player
- b. Desempenho Energético
- c. Etiquetagem / Procel EDIFICA
- d. Atividades prática

Tempo previsto: 01 horas

Etapa 02 – Uso da ferramenta IDEEA

- e. Preparação do modelo virtual
- f. Arquivo existente - Transferindo parâmetros
- g. Arquivo novo - Uso do IDEEA.template
- h. Inserindo informações Gerais no modelo
- i. Modelando Paredes
- j. Modelando Portas
- k. Modelando Janelas
- l. Modelando Ambientes
- m. Preparando as vistas / Pranchas
- n. Verificando as informações
- o. Executando IDEEA.Processamento
- p. Verificando as variáveis calculadas / Resultados parciais
- q. Executando IDEEA.Equações
- r. Verificando as variáveis calculadas / Resultados parciais
- s. Analisando os resultados de desempenho energético
- t. Fazendo ajustes no projeto (Volta ao item j)
- u. Exportando resultados
- v. Atividades prática

Tempo previsto: 03 horas

Etapa 03 – Aplicação da ferramenta / Exercício de projeto

- w. Projeto de uma residência unifamiliar térrea, com área máxima prevista de 100m², em terreno de 12 x 25, em Aracaju (ZB 8), conforme planta em anexo. O exercício terá enfoque no desempenho energético, e desta forma, alguns parâmetros e índices urbanos serão aleatórios.
- x. Análise dos resultados
- y. Apresentação do projeto

Tempo previsto: 04 horas

Etapa 04 – Aplicação do Questionário de avaliação

QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO

Participante: P__ (numeração sequencial)

ATIVIDADES DO CURSO

Marque no quadro correspondente a 0 a 10 para avaliar o esclarecimento do professor nas seguintes atividades para o aprendizado sobre a ferramenta IDEEA. Considere 0 como “nenhum esclarecimento” e 10 como “bem esclarecido”:

Apresentação de conceitos e fundamentação sobre Desempenho Energético, etiquetagem, e selo Procel EDIFICA: (____)

Apresentação da ferramenta IDEEA e seu funcionamento: (____)

Aplicação da ferramenta IDEEA e modelagem da informação no Revit: (____)

Apresentação e manuseio dos resultados da IDEEA no Revit: (____)

RESULTADOS DO CURSO

1 - De 0 a 10, como você descreveria suas impressões na utilização da ferramenta IDEEA no desenvolvimento de projeto e simulação do desempenho energético do edifício?

R. (____)

Comentários:

2 - De 0 a 10, como você avalia as atividades desenvolvidas com a ferramenta IDEEA, integrando o processo de projeto e desempenho energético no edifício?

R. (____)

Comentários:

3 – De 0 a 10, você conseguiu relacionar o desenvolvimento do projeto ao desempenho energético do edifício? Justifique sua resposta.

R. (____)

Comentários: _____

4 – De 0 a 10, Foi fácil usar configurar as informações necessárias ao processamento e equações durante o processo de projeto? Caso tenha tido alguma dificuldade, como você poderia descrever?

R. (____)

Comentários: _____

– De 0 a 10, você aplicaria a ferramenta IDEEA durante o desenvolvimento dos seus projetos, sendo 0 não aplicaria, e 10 aplicaria com certeza: (____)

– De 0 a 10, você indicaria para outros colegas a ferramenta IDEEA, sendo 0 não indicaria, e 10 indicaria com certeza: (____)

– De 0 a 10, você usaria outras ferramentas de simulação para auxílio no desenvolvimento de projetos, sendo 0 não usaria, e 10 usaria com certeza: (____)

8 – Sugestões e críticas da ferramenta IDEEA:

R. _____

Obrigado pela contribuição!!

APÊNDICE F – TABELAS COMPARATIVAS DAS CONSTANTES DAS EQUAÇÕES

Tabela 43 - Estudo comparativo das constantes das equações entre Manual do RTQ-R e Planilha Procel para a ZB1

Constan- tes	GHR			CA			CR		
	RTQ-R	PROCEL	Dif.?	RTQ-R	PROCEL	Dif.?	RTQ	PROCEL	Dif.?
a	94,0522	94,0522	0,000000	298699,563	298699,5630	0,00	52352,266	52352,3	-0,0340
b	123,0188	123,0188	0,000000	620,640	620,6400	0,00	-8297,361	-8297,4	0,0390
c	164,3781	164,3781	0,000000	8314,496	8314,4960	0,00	70295,986	70296,0	-0,0140
d	2,6353	2,6353	0,000000	-198260,208	-198260,2080	0,00	-37491,704	-37491,7	-0,0040
e	3,0564	3,0564	0,000000	-1,194	-1,1940	0,00	10008,604	10008,6	0,0040
f	-66,6721	-66,6721	0,000000	5881,999	5881,9990	0,00	-761,356	-761,4	0,0440
g	-0,0607	-0,0607	0,000000	923,941	923,9410	0,00	-21119,518	-21119,5	-0,0180
h	56,9221	56,9221	0,000000	3090,563	3090,5630	0,00	-5086,126	-5086,1	-0,0260
i	9,1358	9,1358	0,000000	4325,616	4325,6160	0,00	1600,800	1600,8	0,0000
j	-32,8413	-32,8413	0,000000	-1,728	-1,7280	0,00	-9600,861	-9600,9	0,0390
k	-54,3782	-54,3782	0,000000	-86128,150	-86128,1500	0,00	2458,559	2458,6	-0,0410
l	-13,7824	-13,7820	-0,000400	3777,324	3777,3240	0,00	-343,168	-343,2	0,0320
m	0,2637	0,2637	0,000000	-57706,666	-57706,6660	0,00	-120,000	-120,0	0,0000
n	-35,9380	-35,9380	0,000000	-5503,373	-5503,3730	0,00	-56981,832	-56981,8	-0,0320
o	-0,0441	-0,0441	0,000000	79769,314	79769,3140	0,00	631,378	631,4	-0,0220
p	-19,2971	-19,2971	0,000000	63010,576	63010,5760	0,00	-8228,047	-8228,0	-0,0470
q	-0,9075	-0,9075	0,000000	6372,943	6372,9430	0,00	4822,842	4822,8	0,0420
r	-16,1623	-16,1623	0,000000	-3,505	-3,5050	0,00	0,012	0,0	0,0120
s	50,8387	50,8387	0,000000	3558,661	3558,6610	0,00	9,483	9,5	-0,0170
t	21,8479	21,8479	0,000000	986,593	986,5930	0,00	2074,140	2074,1	0,0400
u	5,4197	5,4197	0,000000	17709,262	17709,2620	0,00	2051,657	2051,7	-0,0430
v	-0,8241	-0,8241	0,000000	-1889,736	-1889,7360	0,00	-829,433	-829,4	-0,0330
w	6,9951	6,9951	0,000000	-75954,953	-75954,9530	0,00	1764,503	1764,5	0,0030
x	0,4141	0,4141	0,000000	26362,996	26362,9960	0,00	-715,246	-715,2	-0,0460
y	5,4487	5,4487	0,000000	-1593,427	-1593,4270	0,00	-5944,284	-5944,3	0,0160
z	-0,1569	-0,1569	0,000000	4000,912	4000,9120	0,00	-1670,447	-1670,4	-0,0470
aa	2,4596	2,4596	0,000000	-44,865	-44,8650	0,00	9402,548	9402,5	0,0480
ab	-1,0187	-1,0187	0,000000	70,681	70,6810	0,00	-0,190	-0,2	0,0100
ac	2,2785	2,2785	0,000000	20177,453	20177,4530	0,00	425,013	425,0	0,0130
ad	2,9537	2,9537	0,000000	-43565,157	-43565,1570	0,00	-4201,769	-4201,8	0,0310
ae	0,4732	0,473240	-0,000040	3414,205	3414,205000	0,00	281,381	281,4	-0,0190
af	15,3256	15,3256	0,000000	3099,252	3099,2520	0,00	244,545	244,5	0,0450
ag	16,2345	16,2345	0,000000	-48984,907	-48984,9070	0,00	1144,419	1144,4	0,0190
ah	-12,2883	-12,2883	0,000000	147203,116	147203,1160	0,00	909,174	909,2	-0,0260
ai	2,6390	2,6390	0,000000	-136860,726	-136860,7260	0,00	-428,585	-428,6	0,0150
aj	1,7745	1,7745	0,000000	3541,891	3541,8910	0,00	-376,760	-376,8	0,0400
ak	-0,7678	-0,7678	0,000000	3326,543	3326,5430	0,00	1807,769	1807,8	-0,0310
al	22,1077	22,1077	0,000000	-9946,801	-9946,8010	0,00	2026,467	2026,5	-0,0330
am	-15,7841	-15,7841	0,000000	-9318,630	-9318,6300	0,00	-17388,210	-17388,2	-0,0100
an				-9418,871	-9418,8710	0,00	60,741	60,7	0,0410
ao				-53392,697	-53392,6970	0,00	-3498,808	-3498,8	-0,0080
ap				-47868,104	-47868,1040	0,00	-1072,941	-1072,9	-0,0410
aq				30810,932	30810,9320	0,00	161893,166	161893,2	-0,0340
ar				27238,852	27238,8520	0,00	0,105	0,1	0,0050
As				16614,694	16614,6940	0,00	-4,874	-4,9	0,0260
at				-16143,487	-16143,4870	0,00	-30,396	-30,4	0,0040
au				-3226,219	-3226,2190	0,00	-527,458	-527,5	0,0420
av				-2820,982	-2820,9820	0,00	-2931,770	-2931,8	0,0300
aw				17484,409	17484,4090	0,00	579,500	579,5	0,0000
ax				-20536,510	-20536,5100	0,00	1143,454	1143,5	-0,0460
ay				-17090,252	-17090,2520	0,00	2850,333	2850,3	0,0330
az				-14060,875	-14060,8750	0,00	1073,801	1073,8	0,0010
ba				-21052,274	-21052,2740	0,00	1215,382	1215,4	-0,0180
bb				11212,923	11212,9230	0,00	2544,753	2544,8	-0,0470
bc							2457,084	2457,1	-0,0160
bd							2449,238	2449,2	0,0380
be							-1600,596	-1600,6	0,0040
		39	2		54	0		57	54
			5,13%			0,00%			94,74%

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 44 - Estudo comparativo das constantes das equações entre Manual do RTQ-R e Planilha Procel para a ZB2

Constantes	GHR			CA			CR		
	RTQ-R	PROCEL	Dif.?	RTQ-R	PROCEL	Dif.?	RTQ	PROCEL	Dif.?
a	6000,8491	6000,8491	0,00000	241750,739	241750,7390	0,000	334629,436	334629,4360	0,000000
b	2386,2991	2386,2991	0,00000	2596,578	2596,5780	0,000	-64448,129	-64448,1290	0,000000
c	-14,3895	-14,3895	0,00000	48773,966	48773,9660	0,000	-47641,919	-47641,9190	0,000000
d	-2377,3152	-2377,3152	0,00000	4579,321	4579,3210	0,000	6828,342	6828,3420	0,000000
e	-134,9247	-134,9247	0,00000	-107685,313	-107685,3130	0,000	-9991,560	-9992,5600	1,000000
f	1905,8260	1905,8260	0,00000	-9454,813	-9454,8130	0,000	-58944,896	-58945,8960	1,000000
g	374,3660	374,3660	0,00000	-1,083	-1,0830	0,000	60676,472	60676,473	-0,001000
h	5560,6203	5560,6203	0,00000	549,605	549,6050	0,000	2206,074	2206,0740	0,000000
i	-934,7427	-934,7427	0,00000	-55376,626	-55376,6260	0,000	-64659,132	-64659,1320	0,000000
j	-714,8608	-714,8608	0,00000	677,786	677,7860	0,000	-7680,207	-7680,2070	0,000000
k	2112,5740	2112,5740	0,00000	-9966,523	-9966,5230	0,000	-1979,936	-1979,9360	0,000000
l	-1614,9760	-1614,9760	0,00000	1940,457	1940,4570	0,000	0,205	0,2050	0,000000
m	-1460,7816	-1460,7816	0,00000	2200,750	2200,7500	0,000	-1217,268	-1217,2680	0,000000
n	-0,5852	-0,5852	0,00000	-1,135	-1,1350	0,000	6762,040	6762,0400	0,000000
o	17,1399	17,1399	0,00000	-4948,355	-4948,3500	-0,005	-502,764	-502,7640	0,000000
p	-17,4787	-17,4787	0,00000	2298,395	2298,3950	0,000	216237,847	216237,8470	0,000000
q	64,3714	64,3714	0,00000	-30991,823	-30991,8230	0,000	-189328,918	-189328,9180	0,000000
r	-433,2762	-433,2762	0,00000	1937,799	1937,7990	0,000	-6338,149	-6338,1490	0,000000
s	61,6169	61,6169	0,00000	-1316,292	-1316,2900	-0,002	-20904,955	-20904,9550	0,000000
t	44,0963	44,0963	0,00000	-2,632	-2,6320	0,000	6790,879	6790,8790	0,000000
u	108,6003	108,6003	0,00000	594,611	594,6110	0,000	82,051	82,0000	0,051000
v	-314,5094	-314,5094	0,00000	-1296,994	-1296,9940	0,000	7137,224	7137,2240	0,000000
w	84,7338	84,7338	0,00000	1383,905	1383,9050	0,000	2793,896	2793,8960	0,000000
x	36,2855	36,2855	0,00000	-31,241	-31,0000	-0,241	5566,738	5566,7380	0,000000
y	-4,0776	-4,0776	0,00000	77335,684	77335,6840	0,000	1228,379	1228,3790	0,000000
z	40,8156	40,8156	0,00000	59,266	59,2660	0,000	-10012,598	-10012,5980	0,000000
aa	1631,2619	1631,2618	0,00010	-63182,966	-63182,9660	0,000	38,174	38,1740	0,000000
ab	-965,5409	-965,5409	0,00000	-914,099	-914,0990	0,000	-26979,530	-26979,5300	0,000000
ac	-21,6288	-21,6288	0,00000	5547,583	5547,5830	0,000	-22651,656	-22651,6560	0,000000
ad	-11,3058	-11,3058	0,00000	2189,335	2189,3350	0,000	1851,439	1851,4390	0,000000
ae	43,1130	43,1130	-0,00001	1814,481	1814,4810	0,000	1265,909	1265,9090	0,000000
af	-44,4243	-44,4243	0,00000	20607,874	20607,8740	0,000	31139,060	31139,0600	0,000000
ag	7,8959	7,8959	0,00000	-298542,715	-298542,7150	0,000	-0,715	-0,7150	0,000000
ah	80,4137	80,4137	0,00000	-10004,110	-10004,1100	0,000	-11134,987	-11134,9870	0,000000
ai	63,1816	63,1816	0,00000	1830,807	1830,8070	0,000	-3919,778	-3919,7780	0,000000
aj	-269,4569	-269,4569	0,00000	11788,638	11788,6380	0,000	-39,698	-39,6980	0,000000
ak	109,2535	109,2535	0,00000	7671,479	7671,4790	0,000	0,696	0,6960	0,000000
al	63,5351	63,5351	0,00000	5175,141	5175,1410	0,000	-410,523	-410,5230	0,000000
am	6,2899	6,2899	0,00000	1579,388	1579,3880	0,000	-943,432	-943,4320	0,000000
an	-74,6509	-74,6509	0,00000	-7565,449	-7565,4490	0,000	-5067,412	-5067,4120	0,000000
ao	-89,8677	-89,8677	0,00000	-1763,732	-1763,7320	0,000	1829,908	1829,9080	0,000000
ap	-14,2651	-14,2651	0,00000	-7381,679	-7381,6790	0,000	39243,602	39243,6020	0,000000
aq	66,7633	66,7633	0,00000	-2164,848	-2164,8480	0,000	507,292	507,2920	0,000000
ar	-348,4968	-348,4968	0,00000	-4623,174	-4623,1740	0,000	887,993	887,9930	0,000000
aS	-0,0022	-0,0022	0,00000	-7636,798	-7636,7980	0,000	1171,248	1171,2480	0,000000
at	1010,6465	1010,6465	0,00000	-2621,933	-2621,9330	0,000	-8205,974	-8205,9740	0,000000
au	-58,4028	-58,4028	0,00000	-3795,605	-3795,6050	0,000	-12838,865	-12838,8650	0,000000
av	-441,3903	-441,3903	0,00000	-3772,944	-3772,9440	0,000	-13768,032	-13768,0320	0,000000
aw				-7024,229	-7024,2290	0,000	-13562,196	-13562,1960	0,000000
ax				-3591,401	-3591,4010	0,000	8224,420	8224,4200	0,000000
ay							7765,460	7765,4600	0,000000
az							6299,260	6299,2600	0,000000
ba							3507,485	3507,4850	0,000000
		48	2		50	3		53	3
			4,17%			6,00%			5,66%

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 45 - Estudo comparativo das constantes das equações entre Manual do RTQ-R e Planilha Procel para a ZB3

Constan- tes	GHR			CA			CR		
	RTQ-R	PROCEL	Dif.?	RTQ-R	PROCEL	Dif.?	RTQ	PROCEL	Dif.?
a	836,4188	836,4188	0,00000	6981,8136	6981,8136	0,0000	7867,8924	7867,892423	-0,000023
b	1002,2853	1002,2853	0,00000	0,3717	0,3717	0,0000	33900,9915	33900,99145	0,000050
c	1248,7615	1248,7615	0,00000	-122,4306	-122,4306	0,0000	-4066,2367	-4066,23669	-0,000010
d	-1042,8507	-1042,8507	0,00000	1557,3444	1557,3444	0,0000	-4446,9250	-4446,924963	-0,000037
e	-7,9675	-7,9675	0,00000	2109,4866	2109,4866	0,0000	6016,2116	6016,211598	0,000002
f	1007,6786	1007,6786	0,00000	2802,3931	2802,3931	0,0000	1,8199	1,819884848	0,000015
g	2324,8467	2324,8467	0,00000	2479,9604	2479,9604	0,0000	-1827,6311	-1827,6311120	0,000012
h	-0,3032	-0,3032	0,00000	394,0458	394,0458	0,0000	-877,7417	-877,741687	-0,000013
i	-77,7838	-77,7838	0,00000	-2521,9122	-2521,9122	0,0000	-79,8228	-79,82280003	0,00000003
j	26,3363	26,3363	0,00000	-1,2280	-1,2280	0,0000	0,0211	0,021082547	0,000017
k	-0,0016	-0,0016	0,00000	65,4370	65,4370	0,0000	-1185,7252	-1185,72524	0,000040
l	-605,5557	-605,5557	0,00000	131,7352	131,7352	0,0000	-2582,5286	-2582,528632	0,000032
m	25,1879	25,18789	0,00001	-543,4286	-543,4286	0,0000	92,4051	92,40508387	0,00001613
n	-830,6742	-830,6742	0,00000	14,0555	14,0555	0,0000	-14,3024	-14,30241724	0,00001724
o	34,1620	34,1620	0,00000	-1583,9814	-1583,9814	0,0000	-46,8056	-46,80560132	0,00000132
p	-3,3292	-3,3292	0,00000	990,0915	990,0915	0,0000	-351,0817	-351,0817441	0,0000441
q	16,9856	16,9856	0,00000	-1111,1099	-1111,1099	0,0000	-7,4793	-7,479311112	0,000011112
r	70,1758	70,1758	0,00000	4323,9241	4323,9241	0,0000	31,0384	31,03839765	0,00000235
s	-0,0426	-0,0426	0,00000	-3315,0119	-3315,0119	0,0000	1977,0195	1977,019532	-0,000032
t	-54,1796	-54,1796	0,00000	1262,6737	1262,6737	0,0000	16,3096	16,30959519	0,00000481
u	14,1195	14,1195	0,00000	-0,0219	-0,0219	0,0000	641,0082	641,0082	-0,0000048
v	-114,4985	-114,4985	0,00000	-75,9370	-75,9370	0,0000	493,2535	493,2535196	-0,0000196
w	399,0021	399,0021	0,00000	-80,3345	-80,3345	0,0000	485,5657	485,5656771	0,0000229
x	2,4466	2,4466	0,00000	-15281,1938	-15281,1938	0,0000	-199,1908	-199,1907744	-0,0000256
y	-379,5777	-379,5777	0,00000				-660,4513	-660,4513	0,000044
z	738,1763	738,1763	0,00000				73,9340	73,9340025	-0,0000025
aa	-4,2304	-4,2304	0,00000				-112,7864	-112,7864	0,0000218
ab	5,5988	5,5988	0,00000				397,1551	397,1550733	0,0000267
ac	-6,1829	-6,1829	0,00000				-247,9866	-247,9865642	-0,0000358
ad	-200,9447	-200,9447	0,00000						
ae	-103,1092	-103,1092	0,00000						
af	3,8400	3,8400	0,00000						
ag	431,9407	431,9407	0,00000						
ah	16,2740	16,2740	0,00000						
ai	-20,4181	-20,4181	0,00000						
aj	126,6339	126,6339	0,00000						
ak	51,1530	51,1530	0,00000						
al	55,4249	55,4249	0,00000						
am	79,2095	79,2095	0,00000						
an	15,3351	15,3351	0,00000						
ao	26,0925	26,0925	0,00000						
ap	-34,7777	-34,7777	0,00000						
		42	1		24	1		29	29
		2,38%			4,17%				100,00%

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 46 - Estudo comparativo das constantes das equações entre Manual do RTQ-R e Planilha Procel para a ZB4

Constantes	GHR			CA			CR		
	RTQ-R	PROCEL	Dif.?	RTQ-R	PROCEL	Dif.?	RTQ	PROCEL	Dif.?
a	641,1879	641,1879	0,0000	-384,1715	-384,1710	-0,0005	3.981,4663	3.981,4663350	-0,000035000
b	748,0024	748,0024	0,0000	1.948,7618	1.948,7618	0,0000	-15.076,7771	-15.076,7771200	0,000020000
c	548,8264	548,8264	0,0000	223,8195	223,8195	0,0000	7.363,0657	7.363,0657190	-0,000019000
d	-766,6239	-766,6239	0,0000	849,5126	849,5126	0,0000	-1.677,3212	-1.677,3212180	0,000018000
e	-0,4332	-0,4332	0,0000	2,6903	2,6903	0,0000	-3.482,4774	-3.482,4774430	0,000043000
f	1.518,1021	1.518,1021	0,0000	19,6424	19,6424	0,0000	-3.198,2931	-3.198,2931230	0,000023000
g	445,9668	445,9668	0,0000	1.478,9254	1.478,9254	0,0000	2,3521	2,3521385	-0,000038468
h	-445,7625	-445,7625	0,0000	-2.161,0869	-2.161,0869	0,0000	-1.650,5225	-1.650,5224620	-0,000038000
i	-56,0964	-56,0964	0,0000	12,1332	12,1332	0,0000	47,5077	47,5076890	0,000011000
j	29,0510	29,0510	0,0000	-267,3459	-267,3459	0,0000	-17,5629	-17,5629442	0,000044210
k	13,4318	13,4318	0,0000	-1.788,6294	-1.788,6294	0,0000	-137,9230	-137,9229657	-0,000034300
l	-193,7316	-193,7316	0,0000	-1,0283	-1,0283	0,0000	-472,6242	-472,6242092	0,000009200
m	0,0004	0,0004	0,0000	4.447,7162	4.447,7162	0,0000	93,8017	93,8016978	0,000002200
n	33,3844	33,3844	0,0000	-3.292,0955	-3.292,0955	0,0000	-28,2586	-28,2585551	-0,00004493
o	-67,8611	-67,8611	0,0000	40,9503	40,9503	0,0000	-26,1204	-26,1204419	0,000041900
p	-428,7391	-428,7391	0,0000	-272,8337	-272,8337	0,0000	64,3085	64,3085433	-0,00004330
q	-10,4357	-10,4357	0,0000	49,0402	49,0402	0,0000	1.199,4123	1.199,4122730	0,000027000
r	15,6972	15,6972	0,0000	434,3085	434,3085	0,0000	-75,2341	-75,2340605	-0,00003950
s	-0,3578	-0,3578	0,0000	591,0911	591,0911	0,0000	5.197,9552	5.197,9551990	0,000001000
t	-13,1833	-13,1833	0,0000	-120,6000	-120,6000	0,0000	-5.639,0052	-5.639,0051600	-0,000040000
u	-214,2001	-214,2001	0,0000	-742,1948	-742,1948	0,0000	1.816,6546	1.816,6545880	0,000012000
v	457,9108	457,9108	0,0000	-0,0169	-0,0169	0,0000	-1.548,8620	-1.548,8620400	0,000040000
w	15,4759	15,4759	0,0000	851,6260	851,6260	0,0000	0,0090	0,0089795	0,000020537
x	17,4512	17,4512	0,0000	-34,3625	-34,3625	0,0000	374,0701	374,0701002	-0,00000020
y	452,3534	452,3534	0,0000	1.636,1082	1.636,1082	0,0000	1,4838	1,4838443	-0,000044272
z	15,6908	15,6908	0,0000	-29,7849	-29,7849	0,0000	-19,4526	-19,4525634	-0,00003664
aa	738,0624	738,0624	0,0000	-104,0720	-104,0720	0,0000	501,9220	501,9219639	0,000036100
ab	-302,0291	-302,0291	0,0000				109,5784	109,5784014	-0,00000140
ac	38,3885	38,3885	0,0000				123,3727	123,3726900	0,000010000
ad	60,5649	60,5649	0,0000				382,6185	382,6184779	0,000022100
ae	289,4002	289,4002	0,0000				689,8511	689,8511485	-0,00004850
af	9,1604	9,1604	0,0000				633,8283	633,8283491	-0,00004910
ag	-10,2250	-10,2250	0,0000				-104,6290	-104,6289758	-0,00002420
ah	1,7323	1,7323	0,0000				-71,1911	-71,1910942	-0,00000582
ai	0,8130	0,8130	0,0000				-407,3374	407,3373545	-814,674755
aj	-177,0105	-177,0105	0,0000				-262,8143	-262,8142673	-0,00003270
ak	101,9694	101,9694	0,0000				-223,5018	-223,5017613	-0,00003870
al	16,6898	16,6898	0,0000						
am	26,9753	26,9753	0,0000						
an	8,3558	8,3558	0,0000						
ao	-13,3692	-13,3692	0,0000						
			41 0			27 1			37 37
			0,00%			3,70%			100,00%

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 47 - Estudo comparativo das constantes das equações entre Manual do RTQ-R e Planilha Procel para a ZB6

Constan- tes	GHR			CA			CR		
	RTQ-R	PROCEL	Dif.?	RTQ-R	PROCEL	Dif.?	RTQ	PROCEL	Dif.?
a	2761,0810	2761,0810	0,0000	x			13909,2235	13909,223450	0,000050000
b	3125,5139	3125,5139	0,0000	x			46665,7571	46665,757140	-0,000040000
c	3942,2575	3942,25750	0,0000	x			-9261,5675	-9261,567532	0,000032000
d	-3602,9301	-3602,9301	0,0000	x			-5499,3027	-5499,302670	-0,000030000
e	-28,7788	-28,778800	0,0000	x			13333,9609	13333,960890	0,000010000
f	4083,2765	4083,27650	0,0000	x			-5203,4870	-5203,486960	-0,000040000
g	-1291,1085	-1291,1085	0,0000	x			-145,8722	-145,872236	0,000036200
h	2391,4019	2391,4019	0,0000	x			2,7261	2,726128	-0,00002778
i	-513,1325	-513,1325	0,0000	x			-1616,1538	-1616,153786	-0,000014000
j	-0,4197	-0,4197	0,0000	x			205,6890	205,689038	-0,000037500
k	-2285,2793	-2285,2793	0,0000	x			-37,0586	-37,058599	-0,00000127
l	-1,0075	-1,0075	0,0000	x			-82,9815	-82,981518	0,00001759
m	49,7464	49,7464	0,0000	x			37,7512	37,751238	-0,000038000
n	1146,8746	1146,8746	0,0000	x			-461,8360	-461,835962	-0,000037600
o	-199,9633	-199,9634	0,0001	x			-13,3478	-13,347769	-0,00003143
p	85,3725	85,3725	0,0000	x			1281,4749	1281,474868	0,000032000
q	-2857,6711	-2857,6711	0,0000	x			123,9020	123,902035	-0,000034600
r	16,0537	16,0537	0,0000	x			4403,4544	4403,454355	0,000045000
s	28,1849	28,1849	0,0000	x			-23,0408	-23,040792	-0,00000793
t	340,8291	340,8291	0,0000	x			-1432,8902	-1432,890232	0,000032000
u	2184,3602	2184,3602	0,0000	x			-409,4869	-409,486902	0,000002300
v	2581,4199	2581,4199	0,0000	x			-2140,6566	-2140,656580	-0,000020000
w	15,9464	15,9464	0,0000	x			466,3407	466,340671	0,000028600
x	61,7515	61,7515	0,0000	x			-234,4874	-234,487408	0,000008200
y	353,0820	353,0820	0,0000	x			-470,1515	-409,486902	-60,66459770
z	825,5822	825,5822	0,0000	x			-121,7084	-121,708395	-0,000004700
aa	-0,0078	-0,0078	0,0000	x			895,9002	895,900235	-0,000035200
ab	49,9509	49,9509	0,0000	x					
ac	431,5161	431,5161	0,0000	x					
ad	-1237,0229	-1237,0229	0,0000	x					
ae	-46,9272	-46,9272	0,0000	x					
af	338,6679	338,6678	0,0001	x					
ag	383,4189	383,4189	0,0000	x					
ah	43,0640	43,0640	0,0000	x					
ai	0,4015	0,4015	0,0000	x					
aj	-156,2399	-156,2399	0,0000	x					
ak	-158,3389	-158,3389	0,0000	x					
al	-141,7571	-141,7571	0,0000	x					
am	614,7558	614,7558	0,0000	x					
an	-80,6792	-80,6791	-0,0001	x					
ao	-636,1284	-636,1284	0,0000	x					
ap	-205,4987	-205,4987	0,0000	x					
aq	375,6431	375,6431	0,0000	x					
ar	-67,2184	-67,2184	0,0000	x					
aS	-708,5751	-708,5751	0,0000	x					
		45	3					27	27
			6,67%						100,00%

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 48 - Estudo comparativo das constantes das equações entre Manual do RTQ-R e Planilha Procel para a ZB7

Constan- tes	GHR			CA			CR			
	RTQ-R	PROCEL	Dif.?	RTQ-R	PROCEL	Dif.?	RTQ	PROCEL	Dif.?	
a	16195,9377	16195,9377	0,0000	x			52951,6965	52951,6964900	0,00001000	
b	-6292,1885	-6292,1885	0,0000	x			-391,7722	-391,77222320	0,00002320	
c	5145,0087	5145,0087	0,0000	x			-12991,2935	-12991,293450	-0,00005000	
d	3727,9138	3727,9138	0,0000	x			113984,3546	113984,354600	0,00000000	
e	8932,3248	8932,3248	0,0000	x			17594,0090	17594,0090300	-0,00003000	
f	-52,7262	-52,726200	0,0000	x			-7463,4905	-7463,4905450	0,00004500	
g	72,7154	72,7154000	0,0000	x			-7223,9589	-7223,9589040	0,00000400	
h	520,0973	520,097300	0,0000	x			5,0190	5,01899415500	0,00000585	
i	-1648,3363	-1648,3363	0,0000	x			225,9018	225,90175490	0,00004510	
j	-2738,0873	-2738,0870	-0,0003	x			304,1750	304,17498420	0,00001580	
k	-25,3375	-25,3375	0,0000	x			346,0392	346,03921320	-0,00001320	
l	-298,4915	-298,4915	0,0000	x			-4382,5465	-4382,5465430	0,00004300	
m	94,7187	94,7187	0,0000	x			-49,4946	-49,494595490	-0,00000451	
n	110,3609	110,3609	0,0000	x			-173,2405	-173,24051310	0,00001310	
o	-0,8985	-0,8985	0,0000	x			-669,8933	-669,89329240	-0,00000760	
p	9610,9011	9610,9011	0,0000	x			-397,3214	-397,32138450	-0,00001550	
q	-434,0247	-434,0247	0,0000	x			-1374,1983	-1374,1983340	0,00003400	
r	-2302,3773	-2302,3773	0,0000	x			-11,4855	-11,485513020	0,00001302	
s	-0,0119	-0,0119	0,0000	x			-2848,1500	-2848,1499700	-0,00003000	
t	-1806,5932	-1806,5932	0,0000	x			-534,8389	-534,83889030	-0,00000970	
u	3647,3308	3647,3308	0,0000	x			-677,4260	-677,42599780	-0,00000220	
v	469,8836	469,8836	0,0000	x			-273,7613	-273,76130340	0,00000340	
w	-1341,2948	-1341,2948	0,0000	x			271,2224	271,22238190	0,00001810	
x	-586,4147	-586,4147	0,0000	x			209,4064	209,40639020	0,00000980	
y	416,5898	416,5898	0,0000	x			526,4490	526,44904710	-0,00004710	
z	-182,6811	-182,6811	0,0000	x			484,6476	484,64757480	0,00002520	
aa	63,2490	63,2490	0,0000	x			1262,5931	1262,59306700	0,00003300	
ab	-5,1944	-5,1944	0,0000	x			-68,7791	-68,779060850	-0,00003915	
ac	2421,0221	2421,0221	0,0000	x			-51,0466	-51,046550350	-0,00004965	
ad	3114,1878	3114,1878	0,0000	x						
ae	27,0537	27,0537	0,0000	x						
af	-693,2786	-693,2786	0,0000	x						
ag	-99,1571	-99,1571	0,0000	x						
ah	-30,1558	-30,1558	0,0000	x						
ai	1673,3297	1673,3297	0,0000	x						
aj	-868,5381	-868,5381	0,0000	x						
ak	1,0065	1,0065	0,0000	x						
al	-0,0226	-0,0226	0,0000	x						
am	-279,5554	-279,5554	0,0000	x						
an	-540,0451	-540,0451	0,0000	x						
			40	1					29	28
			2,50%						96,55%	

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 49 - Estudo comparativo das constantes das equações entre Manual do RTQ-R e Planilha Procel para a ZB5 e 8

Constan- tes	GHR			CA			CR		
	RTQ-R	PROCEL	Dif.?	RTQ-R	PROCEL	Dif.?	RTQ	PROCEL	Dif.?
a	4957,7051	4957,7051	0,00000	x			43374,7654	43374,7654	-0,000030000
b	-4358,3120	-4358,3120	0,00000	x			-287,0178	-287,0178	-0,000027100
c	3875,5023	3875,5022	0,00010	x			-12649,4661	-12649,4661	-0,000050000
d	4833,6329	4833,6329	0,00000	x			14820,5534	14820,5534	0,000000000
e	2649,1399	2649,1399	0,00000	x			87889,6684	87889,6685	-0,000050000
f	2224,2664	2224,2663	0,00010	x			-6883,1330	-6883,1330	-0,000010000
g	-19,6341	-19,6341	0,00000	x			5,1613	5,1613	-0,000025304
h	40,0109	40,0109	0,00000	x			-2965,0682	-2965,0682	-0,000047000
i	3128,2421	3128,2421	0,00000	x			0,0866	0,0866	0,000001307
j	-15,3035	-15,3035	0,00000	x			-1550,7079	-1550,7079	0,000037000
k	267,5110	267,5110	0,00000	x			320,4379	320,4379	-0,000010400
l	-1923,1450	-1923,1450	0,00000	x			-3447,7812	-3447,7812	0,000020000
m	-135,5828	-135,5828	0,00000	x			-3068,0758	-3068,0758	-0,000007000
n	76,0281	76,0281	0,00000	x			-183,9582	-183,9582	0,000030000
o	-21,8897	-21,8897	0,00000	x			-36,3306	-36,3306	-0,000011440
p	-1503,2234	-1503,2234	0,00000	x			1556,0344	1556,0344	-0,000003000
q	-31,3561	-31,3561	0,00000	x			466,3193	466,3193	-0,000034200
r	106,7381	106,7381	0,00000	x			-3114,9823	-3114,9823	0,000043000
s	1524,3703	1524,3703	0,00000	x			-3219,5098	-3219,5098	0,000002000
t	41,4009	41,4009	0,00000	x			331,0300	331,0300	0,000023900
u	-1089,0840	-1089,0840	0,00000	x			220,0301	220,0301	0,000033700
v	4861,2191	4861,2191	0,00000	x					
w	-703,1389	-703,1388	-0,00010	x					
x	-3,4004	-3,4004	0,00000	x					
y	55,4737	55,4737	0,00000	x					
z	-0,3847	-0,3847	0,00000	x					
aa	338,3054	338,3054	0,00000	x					
ab	-556,2222	-556,2222	0,00000	x					
ac	91,9860	91,9860	0,00000	x					
ad	340,0819	340,0819	0,00000	x					
ae	-398,7255	-398,7250	-0,00050	x					
af	66,4689	66,4689	0,00000	x					
ag	-40,6794	-40,6794	0,00000	x					
ah	-78,9077	-78,9077	0,00000	x					
ai	59,9755	59,9755	0,00000	x					
aj	152,9115	152,9119	-0,00035	x					
ak	98,2787	98,2787	0,00000	x					
al	112,5051	112,5051	0,00000	x					
am	93,0504	93,0504	0,00000	x					
an	-586,4518	-586,4518	0,00000	x					
		40	5					21	20
			12,50%						95,24%

Fonte: Autor, 2019.

APÊNDICE G – ARTIGOS PUBLICADOS

1) ANALYSIS AND SIMULATION OF ENERGY EFFICIENCY ON PLATFORM BIM: A SYSTEMATIC LITERATURE MAPPING. *Sustainable Urban Communities towards a Nearly Zero Impact Built Environment – SBE16 Brazil & Portugal*. 7 a 9 de setembro de 2016, Vitória, ES, Brasil.

Resumo: Este artigo apresenta um processo de revisão sistemática da literatura como parte de uma pesquisa de doutorado com foco na integração de simulação de eficiência energética no processo de projeto usando a plataforma de modelagem de informações de construção (BIM). O principal objetivo é avaliar as pesquisas internacionais realizadas nos últimos dez anos, publicadas em grandes conferências, anais e periódicos, abordando a integração da plataforma BIM e a eficiência energética dos edifícios. Destina-se a identificar tendências e lacunas nesta área de pesquisa. Foi realizado um mapeamento sistemático da literatura utilizando uma ferramenta de Estudo Sistemático de Mapeamento (SMS), caracterizada pelo paradigma baseado em evidências. Isso levou à identificação das principais publicações e instituições de pesquisa com foco no assunto nos últimos dez anos. A pesquisa foi realizada nas bases de dados Web of Science, Scopus e Science Direct, o que resultou em 131 artigos aderindo ao tema. A pesquisa permitiu identificar o foco principal da pesquisa, bem como as lacunas e tendências do conhecimento. Os resultados mostraram um mapeamento abrangente, que define a situação atual da pesquisa no campo. Eles apresentaram uma visão geral da produção científica, bem como apontaram pesquisas necessárias sobre a integração de BIM e questões energéticas em edifícios.

2) UMA FERRAMENTA BIM DE SIMULAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS FASES INICIAIS DE PROJETO. PARC - Pesquisa em Arquitetura e Construção, Periódico, Unicamp, Departamento de Arquitetura e Construção da Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, SP, Brasil.

Resumo: O grau de eficiência energética das edificações depende de decisões tomadas nas fases iniciais do projeto arquitetônico. No entanto, os programas de avaliação do seu desempenho energético demandam informações que são normalmente definidas nas etapas finais do projeto. Caso o desempenho seja insatisfatório, todo um retrabalho precisa ser empreendido. A tecnologia BIM oferece ao projetista a possibilidade de realizar diversos tipos de simulações de desempenho das edificações. Ao conceber um modelo parametrizado, o programa permite o acompanhamento do desempenho energético em diferentes etapas do projeto, possibilitando ajustes que resultem em edificações mais eficientes. O objetivo desse trabalho foi apresentar uma ferramenta de suporte ao projetista que seja capaz de informar o nível de eficiência energética de habitações unifamiliares, nas fases iniciais do projeto. Como resultado, uma ferramenta intitulada IDEEA foi desenvolvida como um sistema baseado na metodologia conhecida como Design Science que está dividida em seis etapas: identificação do problema, definição dos resultados esperados, projeto e desenvolvimento, demonstração, avaliação e comunicação. A ferramenta informa a eficiência energética das edificações desde as fases iniciais do processo de projeto, atuando como suporte à tomada de decisões, para manter ou refazer o partido arquitetônico adotado caso o programa assim informe. Uma validação da ferramenta foi realizada na forma de um projeto, e aferida com base em um workshop realizado na UFS, e sugere que os objetivos desse artigo foram contemplados.

3) APLICAÇÃO DE UMA FERRAMENTA BIM DE SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO NAS FASES INICIAIS DE PROJETO. II Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção - SBTIC (ANTAC, 2019). Unicamp, 19 a 21 de agosto de 2019, Campinas, SP, Brasil.

Resumo: Eficiência energética na edificação depende de decisões iniciais de projeto. No entanto, a maioria dos softwares usados para avaliar a eficiência energética dos edifícios exige informações geralmente

disponíveis nos estágios finais do processo de projeto. O incremento da eficiência energética nos edifícios depende em grande parte das opções de projeto arquitetônico, especialmente aquelas feitas no projeto de estágios iniciais, que, sendo guiado por princípios bioclimáticos, podem minimizar o uso de energia. O objetivo deste artigo é avaliar a aplicação de uma ferramenta de suporte denominada IDEEA - Integração do Desempenho Energético na Arquitetura, para projetar a eficiência energética de habitações unifamiliares nos estágios iniciais do desenvolvimento do objeto arquitetônico usando a tecnologia BIM. A ferramenta IDEEA foi concebida como um sistema baseado na metodologia Design Science, em um processo iterativo. Considera o desempenho energético desde as fases iniciais do processo de projeto, com suporte para tomada de decisão, e os resultados encontrados, nos permite acreditar que o objetivo da pesquisa foi contemplado, contribuindo para o desenvolvimento de edifícios com melhor desempenho energético. A avaliação do aplicativo ocorreu em um workshop realizado na Universidade Federal de Sergipe, com participantes voluntários, alunos e professores do curso de arquitetura e urbanismo e arquitetos praticantes.

4) UMA FERRAMENTA BIM DE PROJETO PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO. VI Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído – SBQP 2019. 2019 - Uberlândia; Anais...Porto Alegre: ANTAC.

Resumo: O grau de eficiência energética das construções depende das decisões iniciais de projeto. No entanto, a maioria dos softwares usados para avaliar os edifícios quanto à eficiência energética exige informações geralmente disponíveis nos estágios finais do processo de projeto da edificação. A tecnologia BIM permite que o projetista realize diferentes tipos de simulação e projete um modelo parametrizado, permitindo simulações ágeis do desempenho do edifício, possibilitando a construção de edifícios mais eficientes. O objetivo deste trabalho é apresentar uma ferramenta de suporte nas fases iniciais do processo de projeto, denominada IDEEA -

Integrando Desempenho Energético em Arquitetura, para projetistas estimarem a eficiência energética de habitações unifamiliares nos estágios iniciais do desenvolvimento do objeto arquitetônico usando a tecnologia BIM. A ferramenta IDEEA foi concebida como um sistema baseado na metodologia Design Science, em um processo iterativo, e considera o desempenho energético desde as fases iniciais do processo de projeto, com suporte para tomada de decisão, e os resultados encontrados, permite acreditar que o objetivo da pesquisa foi contemplado, contribuindo para o desenvolvimento de edifícios com melhor desempenho energético. A validação da ferramenta ocorreu em um workshop realizado na universidade, através de ensaios e estudos-piloto, comparando os resultados obtidos com os existentes na literatura.

ANEXO A – PLANILHA ELETOBRÁS

Tabela 50 - Planilha Eletrobrás de análise da envoltória e dos Pré-requisitos dos ambientes / RTQ - Edificações Residenciais



**Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes
RTQ - Edificações Residenciais**

TERMO DE RESPONSABILIDADE (passe o mouse)				< LIMPAR >	ZB8	ZB8	ZB8
Zona Bioclimática	ZB	DETALHE IMPORTANTE: após os cálculos não modificar a zona bioclimática da célula E10	ZB8	< COPIAR >	Sala Estar/Jantar	Quarto 01	Quarto 02
Ambiente	Identificação	dimensional	Sala Estar/Jantar	APAGAR >	10,15	6,96	7,54
Situação do piso e cobertura	Área útil do APP	m²	10,15		1	1	1
	Cobertura	adimensional	1		0	0	0
Cobertura	Contato com solo Sobre Pilotis	adimensional	0		4,55	4,55	4,55
	Ucob	W/m².K	4,55		18,00	18,00	18,00
Paredes Externas	CTcob	kJ/m².K	18,00		0,30	0,30	0,30
	αcob	adimensional	0,30		2,69	2,69	2,69
Característica construtiva	Upar	W/m².K	2,69		272,00	272,00	272,00
	CTpar	kJ/m².K	272,00		0,20	0,20	0,20
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	gpar	adimensional	0,20		0	0	0
	CTbaixa	binário	0		1,38	0,00	0,00
Áreas de Aberturas Externas	CTalta	binário	0		13,35	9,41	9,57
	NORTE	m²	1,38		0,00	5,30	5,59
Características das Aberturas	SUL	m²	13,35		5,61	0,00	0,00
	LESTE	m²	0,00		1,89	0,00	0,00
Características Gerais	NORTE	m²	1,89		0,00	0,00	0,00
	LESTE	m²	0,00		0,00	1,20	1,44
Características de Isolamento Térmico para ZB1 e ZB2	OESTE	m²	1,44		0,73	0,45	0,45
	Somb	adimensional	0,00		0,00	0,00	0,00
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	Área das Paredes	m²	13,42		13,42	16,33	17,01
	Pê Direito	m	3,26		3,26	3,18	3,18
Consumo Relativo para Aquecimento	G altura	adimensional	0,321		0,321	0,457	0,422
	isol	binário	0		0	0	0
Consumo Relativo para Refrigeração	vid	binário	0		0	0	1
	Uvid	W/m².K	4		4	4	4
	GHR	°C.h	10603		C	B	B
	CA	kWh/m².ano	Não se aplica 0,000		Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000
	CR	kWh/m².ano	Não se aplica 0,000		Não se aplica 0,000	D	D
					58,240	55,249	

Pré-requisitos por ambiente			
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	CT paredes externas	272,00
		Upar, CTpar e gpar atendem?	Sim
	Cobertura	Ucob, CTcob e αcob atendem?	0
		O ambiente é um dormitório? Há corredor no Ambiente? Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste	Não
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	2,664
		Av/Auamb (%)	26,25
		Atende 12,5%?	
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	2,4435
		Av/Auamb (%)	24,07
		Atende % mínima?	0
		Tipo de abertura	
		Abertura passível de fechamento? ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C? Atende?	Sim

Ponderação da nota pela área útil do ambiente			
Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Envoltória para Verão	B	C
		3,59	3,00
	Envoltória para Inverno	Não se aplica	Não se aplica
		0,00	Não se aplica
Envoltória se Refrigeração Artificialmente	D	Não se aplica	
	2,00	0,00	

A PONTUAÇÃO ACIMA NÃO É A NOTA FINAL DA ENVOLTÓRIA. AINDA É NECESSÁRIO PREENCHER ALGUNS PRÉ-REQUISITOS NA ABA "Pré-requisitos da UH"			
C	B	B	
3,00	4,00	4,00	
Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	
Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	
Não se aplica	D	D	
0,00	2,00	2,00	

Fonte: ELETROBRÁS et al., 2012.