

LETICIA DIAS GOMES

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ETIQUETAGENS DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES
RESIDENCIAIS MODERNAS DE JOINVILLE-SC ATRAVÉS
DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E MÉTODO
PRESCRITIVO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Ana Mirthes Hackenberg

Joinville

2021

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CCT/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Gomes, Leticia Dias

Análise comparativa de Etiquetas de Eficiência Energética de Edificações Residenciais Modernas de Joinville-SC através da simulação computacional e método prescritivo / Leticia Dias Gomes. -- 2021.

151 p.

Orientadora: Ana Mirthes Hackenberg

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Joinville, 2021.

1. Eficiência Energética. 2. Arquitetura Moderna. 3. Simulação Computacional. 4. BIM. I. Hackenberg, Ana Mirthes. II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

LETICIA DIAS GOMES

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ETIQUETAGENS DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES
RESIDENCIAIS MODERNAS DE JOINVILLE-SC ATRAVÉS
DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E MÉTODO
PRESCRITIVO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Banca Examinadora:

Orientador:

Membros:

Prof. Ana Mirthes Hackenberg, Dra.
Univ. do Estado de Santa Catarina

Prof. Sérgio Fernando Tavares, Dr.
Univ. Federal do Paraná

Prof. Americo Hiroyuki Hara, Dr.
Univ. do Estado de Santa Catarina

Joinville, 19 de maio de 2021

AGRADECIMENTOS

Esta parte da dissertação é, e ousos lhes dizer se não a (mais) importante, de tudo aquilo que produzi e me dediquei ao longo de dois anos: a minha maior justificativa para tudo o que se segue.

Bom, posso as expressar em nomes, como os farei, mas também a cada gesto de amor e carinho que recebi ao longo desta caminhada. Nos momentos de tensão, uma palavra amiga, um abraço, faziam-me perceber que todo caminho que passamos, nada seria sem o apoio de pessoas queridas.

A toda a minha família, especialmente aos meus pais e a minha irmã Julia.

A minha orientadora, Ana Mirthes, pela oportunidade única, por acreditar em mim e me motivar a pesquisar algo que eu tanto aprecio, sempre paciente, com um coração bondoso e acolhedor. Serei sempre grata por construirmos isto juntas.

A banca examinadora, os professores doutoures Américo e Sérgio, que desde minha qualificação não mediram esforços para o aprimoramento de minha pesquisa, através de contribuições valiosas.

Ao Thiago Borges Mendes pela genialidade da sua pesquisa, por confiar em mim, pela amizade que construímos ao longo dessa jornada, sempre me apoiando e cedendo seu tempo para que eu pudesse dar continuidade ao estudo.

A todas as amigas, amigos e colegas que conheci durante esta trajetória.

A FAPESC pela concessão da bolsa de mestrado.

E a todos os meus anjos, que me iluminam em um plano superior, junto com Deus.

Obrigada!

*Eu atravesso as coisas - e no meio,
da travessia não vejo! - só estava era
entretido na ideia dos lugares de saída
e de chegada. Assaz o senhor sabe:
a gente quer passar um rio a nado, e
passa: mas vai dar na outra banda é num
ponto mais embaixo, bem diverso do
que em primeiro se pensou. [...] Digo: o
real não está na saída nem na chegada:
ele se dispõe para a gente é no meio da
travessia.*

(Guimarães Rosa, Grande Sertão: Veredas)

RESUMO

O desempenho energético se torna, a cada dia, mais significativo no âmbito da construção civil, destacando que as edificações residenciais podem consumir até 40% da energia produzida no planeta, podendo ser agravada pela maior utilização de equipamentos eletrônicos pelos usuários. Melhores performances energéticas podem constituir um forte indicador de desenvolvimento econômico e qualidade de vida, sendo embasada pela busca de elementos construtivos que garantam um melhor desempenho das edificações. Cabe destaque, neste sentido, ao movimento moderno da arquitetura, surgido entre os anos de 1920 e 1930 no Brasil, que tem entre seus princípios a correta adequação da edificação ao meio e uso de estratégias passivas de conforto, como brises, cobogós e pérgolas, mas que perdeu forças ao longo dos anos principalmente ocasionado pelas prioridades construtivas como o tempo e custo de produção. Para certificar uma edificação como eficiente energeticamente, existem diversas metodologias, como o selo do RTQ-r, amplamente difundido em território nacional, mas que não representa de forma precisa o comportamento de uma edificação perante sua envoltória. De modo que se produza análises e resultados mais realistas e abrangentes, a simulação computacional é recomendada. Nesta pesquisa, o principal objetivo é realizar a análise comparativa de etiquetagens de eficiência energética de um conjunto de edificações residenciais Modernas da cidade de Joinville, provenientes do estudo de Mendes (2018), através do método de simulação computacional e prescritivo, ampliando o banco de dados pela modelagem virtual, comparando e verificando pelos índices que compõem os parâmetros dos instrumentos reguladores em questão. Ao final do procedimento, 66,67% das etiquetagens tiveram sua pontuação aumentada, enquanto 11,11% sofreram redução e 22,22% mantiveram a mesma pontuação. A etiquetagem do conjunto é estabelecida como “C”, com um consumo médio de refrigeração de 31,49 kWh/m².ano. Percebe-se que os métodos podem ou não conduzir a resultados equivalentes, mas que a análise integrada de energia com apoio do BIM forneceu resultados mais amplos e precisos sobre a performance energética de cada residência. Coube destaque a necessidade de olhar para a produção moderna da arquitetura em Joinville entre 1970 e 1990, que se encontra muito mais que um estilo a ser revivido, mas um modo de concepção formal, que conseguia abranger através da forma e função, práticas eficazes e determinantes na promoção da sustentabilidade e ganhos energéticos.

Palavras-chave: Eficiência energética; Arquitetura Moderna; Simulação Computacional; BIM.

ABSTRACT

The energy performance becomes, every day, more significant in the field of civil construction, highlighting that residential buildings can consume up to 40 percent of the energy produced on the planet, which can be aggravated by the greater use of electronic equipment by users. Better energy performance can be a strong indicator of economic development and quality of life, and is based on the search for construction elements that ensure better building performance. It is worth mentioning, in this sense, the modern architectural movement, which emerged between the 1920s and 1930s in Brazil, which has among its principles the correct adaptation of the building to the environment and the use of passive comfort strategies, such as brises, cobogós, and pergolas, but which lost strength over the years, mainly due to construction priorities such as production time and cost. To certify a building as energy efficient, there are several methodologies, such as the RTQ-r seal, which is widely used in Brazil, but does not correctly represent the behavior of a building in relation to its envelope. In order to produce more realistic and comprehensive analyses and results, computer simulation is recommended. In this research, the main objective is to perform the comparative analysis of energy efficiency labeling of a set of Modern residential buildings in the city of Joinville, from the study of Mendes (2018), through the method of computational and prescriptive simulation, expanding the database by virtual modeling, comparing and verifying by the indices that make up the parameters of the regulatory instruments in question. At the end of the procedure, 66.67% of the labelings had their score increased, while 11.11% were reduced and 22.22% kept the same score. The labeling of the ensemble is established as “C”, with an average cooling consumption of 31.49 kWh/m².year. One realizes that the methods may or may not lead to equivalent results, but that the integrated energy analysis with BIM support provided broader and more accurate results on the energy performance of each residence, highlighting the need to look at the modern architecture production in Joinville between 1970 and 1990, which is found much more than a style to be revived, but a formal design mode that could encompass through form and function, effective and determining practices in promoting sustainability and energy gains.

Keywords: Energy efficiency; Modern Architecture; Computational Simulation; BIM.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Histórico de consumo de energia elétrica no Brasil entre 1995 e 2018 (EPE, 2018)	26
Figura 2 – Consumo médio residencial (kWh/ano) de Joinville para o ano de 2018, dados obtidos pela CELESC.	26
Figura 3 – Villa Savoye, obra de Le Corbusier onde são aplicados integralmente os cinco preceitos do Movimento Moderno.	42
Figura 4 – Ciclo de Vida BIM (CRASA, 2020)	49
Figura 5 – Serviço de mapeamento das estações climáticas no Revit. No pino vermelho, está inserido o endereço de uma das residencias. No pino laranja, a estação climática selecionada para a simulação energética. Nos pinos em azul, as demais estações climáticas mais próximas encontradas.	59
Figura 6 – Fluxograma representativo da pesquisa proposta	61
Figura 7 – Mapeamento das edificações elaborado por Mendes (2018) adaptado do IPPUJ.	65
Figura 8 – Configurações do modelo de energia no Revit	69
Figura 9 – Padrões de uso/ocupação para edificações do tipo residencial (AUTODESK, 2020) em horas por pessoa	71
Figura 10 – Padrões de operação em tempo integral durante os dias da semana (AUTODESK, 2020), em horas por pessoa	72
Figura 11 – Fachada da residência 01 (MENDES, 2018) e modelos 3D	76
Figura 12 – Consumo de eletricidade ao ano da residência 01	77
Figura 13 – Fachada da residência 02 (MENDES, 2018) e modelos 3D	79
Figura 14 – Gráficos de usos de energia da residência 02	80
Figura 15 – Fachada da residencia 03 (MENDES, 2018) e modelos 3D	82
Figura 16 – Gráficos de usos de energia da residência 03	83
Figura 17 – Fachada da residência 04 (MENDES, 2018) e modelos 3D	84
Figura 18 – Gráficos de usos de energia da residência 04	85
Figura 19 – Fachada da residência 05 (MENDES, 2018) e modelos 3D	87
Figura 20 – Gráficos de usos de energia da residência 05	88
Figura 21 – Fachada da residência 06 (MENDES, 2018) e modelos 3D	89
Figura 22 – Gráficos de usos de energia da residência 06	90
Figura 23 – Fachada da residência 07 (MENDES, 2018) e modelos 3D	92
Figura 24 – Gráficos de usos de energia da Residência 07	93
Figura 25 – Fachada da residencia 08 (MENDES, 2018) e modelos 3D	95
Figura 26 – Gráficos de usos de energia da residência 08	96
Figura 27 – Fachada da residência 09 (MENDES, 2018) e modelos 3D	97
Figura 28 – Gráficos de usos de energia da residência 09	98

Figura 29 – Fachada da residência 10 e modelos 3D	100
Figura 30 – Gráficos de usos de energia da residência 10	101
Figura 31 – Fachada da residência 11 (MENDES, 2018) e modelos 3D	102
Figura 32 – Gráficos de usos de energia da residência 11	103
Figura 33 – Fachada da residência 12 (MENDES, 2018) e modelos 3D	105
Figura 34 – Gráficos de usos de energia da residência 12	106
Figura 35 – Fachada da residência 13 (MENDES, 2018) e modelos 3D	107
Figura 36 – Gráficos de usos de energia da residência 13	108
Figura 37 – Fachada da residência 14 (MENDES, 2018) e modelos 3D	110
Figura 38 – Gráficos de usos de energia da residência 14	111
Figura 39 – Fachada da residência 15 (MENDES, 2018) e modelos 3D	112
Figura 40 – Gráficos de usos de energia da residência 15	113
Figura 41 – Fachada da residência 16 e modelos 3D	115
Figura 42 – Gráficos de usos de energia da residência 16	116
Figura 43 – Fachada da residência 17 e modelos 3D	118
Figura 44 – Gráficos de usos de energia da residência 17	119
Figura 45 – Fachada da residência 18 (MENDES, 2018) e modelos 3D	120
Figura 46 – Gráficos de usos de energia da residência 18	121
Figura 47 – Dispersão entre o Consumo de Refrigeração e as etiquetas obtidas .	125
Figura 48 – Relação da quantidade de ambientes e classificações alteradas, mantidas ou reduzidas	125
Figura 49 – Relação entre o consumo de cada residência e a orientação da fachada .	126
Figura 50 – Planta baixa - Residência 02 (MENDES, 2018)	141
Figura 51 – Planta baixa - Residência 03 (MENDES, 2018)	142
Figura 52 – Planta baixa - Residência 04 (MENDES, 2018)	142
Figura 53 – Planta baixa - pavimento térreo - Residência 05 (MENDES, 2018) . . .	143
Figura 54 – Planta baixa - pavimento superior - Residência 05 (MENDES, 2018) .	143
Figura 55 – Planta baixa - pavimento térreo - Residência 06 (MENDES, 2018) . . .	144
Figura 56 – Planta baixa - pavimento superior - Residência 06 (MENDES, 2018) .	144
Figura 57 – Planta baixa - Residência 07 (MENDES, 2018)	145
Figura 58 – Planta baixa - Residência 08 (MENDES, 2018)	145
Figura 59 – Planta baixa - Residência 09 (MENDES, 2018)	146
Figura 60 – Planta baixa - Residência 10 (MENDES, 2018)	146
Figura 61 – Planta baixa - pavimento térreo - Residência 11 (MENDES, 2018) . . .	147
Figura 62 – Planta baixa - pavimento superior - Residência 11 (MENDES, 2018) .	147
Figura 63 – Planta baixa - Residência 12 (MENDES, 2018)	148
Figura 64 – Planta baixa - Residência 13 (MENDES, 2018)	148
Figura 65 – Planta baixa - pavimento térreo - Residência 14 (MENDES, 2018) . . .	149
Figura 66 – Planta baixa - pavimento superior - Residência 14 (MENDES, 2018) .	149

Figura 67 – Planta baixa - Residência 15 (MENDES, 2018)	150
Figura 68 – Planta baixa - Residência 16 (MENDES, 2018)	150
Figura 69 – Planta baixa - Residência 17 (MENDES, 2018)	151
Figura 70 – Planta baixa - Residência 18 (MENDES, 2018)	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condições de referência para o consumo de refrigeração da ZB5	38
Tabela 2 – Listagem e localização das residências estudadas	64
Tabela 3 – Aspectos pragmáticos das residencias por Mendes (2018) e adaptado pela autora.	65
Tabela 4 – Aspectos espaciais e construtivos das residencias por Mendes (2018) e adaptado pela autora.	66
Tabela 5 – Resumo das propriedades térmicas dos componentes construtivos (ABNT, 2013b)	68
Tabela 6 – Dados do tipo de construção de residência unifamiliar (AUTODESK, 2020)	70
Tabela 7 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 01	78
Tabela 8 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 01	78
Tabela 9 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 02	80
Tabela 10 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 02	81
Tabela 11 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da residência 03	83
Tabela 12 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 03	84
Tabela 13 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 03	86
Tabela 14 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 04	86
Tabela 15 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 05	89
Tabela 16 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 05	89
Tabela 17 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 06	91
Tabela 18 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 06	92
Tabela 19 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 07	94

Tabela 20 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 07	94
Tabela 21 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 08	96
Tabela 22 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 08	97
Tabela 23 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 09	99
Tabela 24 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 09	99
Tabela 25 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 10	101
Tabela 26 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 10	101
Tabela 27 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 11	104
Tabela 28 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 11	104
Tabela 29 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 12	106
Tabela 30 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 12	107
Tabela 31 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 13	109
Tabela 32 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 13	109
Tabela 33 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 14	111
Tabela 34 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 14	112
Tabela 35 – Comparativo de etiquetagem dos APP's entre os métodos analisados da Residência 15	114
Tabela 36 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 15	114
Tabela 37 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 16	117
Tabela 38 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 16	117

Tabela 39 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 17	119
Tabela 40 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 17	119
Tabela 41 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 18	122
Tabela 42 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 18	122
Tabela 43 – Síntese das verificações de etiquetagens finais das residências	123

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AECO	Arquitetura, Indústrias de Engenharia, Construção e Operação
ASHRAE	Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado - <i>American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers</i>
APP	Ambiente de Permanência Prolongada
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BIM	Modelagem de Informação da Construção - <i>Building Information Modeling</i>
CAD	Desenho Realizado por Computador - <i>Computer Aided Design</i>
CCT	Centro de Ciências Tecnológicas
Cr	Consumo Relativo de Refrigeração
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.
EIA	Administração de Informação de Energia
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GBS	Estúdio de Análise de Energia - <i>Green Building Studio</i>
INI-R	Instrução Normativa Inmetro para Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia
MME	Ministério de Minas e de Energia
NBR	Norma Brasileira
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PPGEC	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
RTQ-r	Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais

SC	Santa Catarina
SWERA	Avaliação de recursos de energia solar e eólica - <i>Solar and Wind Energy Resource Assessment</i>
TMY2	Ano Meteorológico Típico 2 - <i>Typical Meteorological Year 2</i>
TRY	Ano Climático de Referência - <i>Test Reference Year 2</i>
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UH	Unidade Habitacional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	OBJETIVOS	30
1.1.1	Objetivo geral	30
1.1.2	Objetivos específicos	30
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	30
2	CONSTRUÇÃO E SUSTENTABILIDADE	33
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	34
3	DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES	39
3.1	MOVIMENTO MODERNO E SUAS ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS NA ARQUITETURA	41
3.1.1	Breve histórico da Arquitetura Moderna em Joinville - SC	44
4	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE DE ENERGIA	47
4.0.1	Breve histórico das simulações computacionais	47
4.1	ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO ATRAVÉS DA PLATAFORMA BIM	51
4.2	DADOS CLIMÁTICOS DE JOINVILLE - SC	57
5	MÉTODO	61
5.1	BANCO DE DADOS E MODELAGEM DAS EDIFICAÇÕES	62
5.2	DADOS DE ENTRADA PARA A SIMULAÇÃO	67
5.2.1	Propriedades térmicas dos materiais das envoltórias	67
5.2.2	Modelos de energia para simulação	69
5.3	DADOS DE SAÍDA DA SIMULAÇÃO E PARÂMETROS DE COMPARAÇÃO	73
6	DADOS E DISCUSSÃO DAS ANÁLISES	75
6.1	RESIDÊNCIA 01	76
6.2	RESIDÊNCIA 02	79
6.3	RESIDÊNCIA 03	82
6.4	RESIDÊNCIA 04	84
6.5	RESIDÊNCIA 05	87
6.6	RESIDÊNCIA 06	89
6.7	RESIDÊNCIA 07	92
6.8	RESIDÊNCIA 08	95
6.9	RESIDÊNCIA 09	97

6.10	RESIDÊNCIA 10	100
6.11	RESIDÊNCIA 11	102
6.12	RESIDÊNCIA 12	105
6.13	RESIDÊNCIA 13	107
6.14	RESIDÊNCIA 14	110
6.15	RESIDÊNCIA 15	112
6.16	RESIDÊNCIA 16	115
6.17	RESIDÊNCIA 17	118
6.18	RESIDÊNCIA 18	120
6.19	SÍNTESE DOS RESULTADOS	122
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	127
	REFERÊNCIAS	131
	ANEXOS	139

1 INTRODUÇÃO

O setor de construção civil é conhecido pelo consumo expressivo de altos níveis de energia e recursos naturais, juntamente com seus adversos impactos no meio ambiente (LASSIO et al., 2016; ŽIGART et al., 2018). As edificações residenciais, de acordo com Wong e Zhou (2015), consomem cerca de 40% da energia produzida no planeta; 40% das emissões globais de CO²; e 40% do consumo dos recursos naturais. Isto leva a praticamente todos os países possuírem algum tipo de instrumento legal para promover a eficiência energética de edificações (SANTOS; SOUZA, 2013; LAMBERTS, 2007).

A Administração de Informação de Energia dos Estados Unidos (EIA), estimou que o consumo de energia do setor residencial no Brasil, entre 2012 e 2040, aumentaria em 1,6% ao ano, sendo que a eletricidade continua sendo a principal fonte de energia em todo o mundo, com um aumento previsto de 61% em 2012 para 75% em 2040.

Em estudos do Ministério de Minas e de Energia (MME, 2014), foi relacionado o consumo dos principais eletrodomésticos nas residências brasileiras entre os anos de 2014 à 2040, considerando não apenas o aumento da demanda de uso, mas também de eficiência dos equipamentos. Destacou-se que o consumo dos condicionadores de ar aumentará em mais de 111,46%; das televisões em 32,44%; e dos refrigeradores em 10,26%. Já as lâmpadas sofrerão redução de consumo em 46,87% e os freezers em, aproximadamente, 9%.

A atenção ao consumo de energia, entretanto, tornou-se mais significativa a partir de 1973, com a crise energética gerada pelo aumento do petróleo. Assim, foi nesta década que surgiram as primeiras iniciativas de governos para diminuir o consumo energético nos edifícios, determinadas basicamente pelo projeto e seu padrão de uso. Entretanto, quando analisado o período de 1995 a 2018, e decompondo o consumo em industrial, residencial e comercial, foi ratificado que o consumo de energia comercial teve um aumento de 175,17%; o consumo residencial aumentou 113,95%; e o consumo industrial aumentou em 57,89% (EPE, 2018), enfatizando ainda mais a necessidade de promoção da eficiência energética e desenvolvimento sustentável em território nacional. Os dados completos estão apresentados na Figura 1, onde através da linha vermelha é possível observar o aumento do consumo residencial.

Em Joinville, o consumo médio residencial para o ano de 2018, resulta em uma média mensal de uso de energia de 235,54 kWh/ano (Quilowatt-hora por ano), observando o alto consumo no início do ano, durante o verão, e menor consumo no inverno (ver Figura 2). Esses dados evidenciam a mudança no modo de vida da sociedade, com a utilização de mais dispositivos eletrônicos, atrelados diretamente ao aumento populacional e que, conseqüentemente, aumenta a demanda por energia.

Gontijo et al. (2017) destaca que o consumo de energia elétrica constitui um forte indicador de desenvolvimento econômico e de qualidade de vida, pois a demanda energética

Consumo de energia elétrica no Brasil

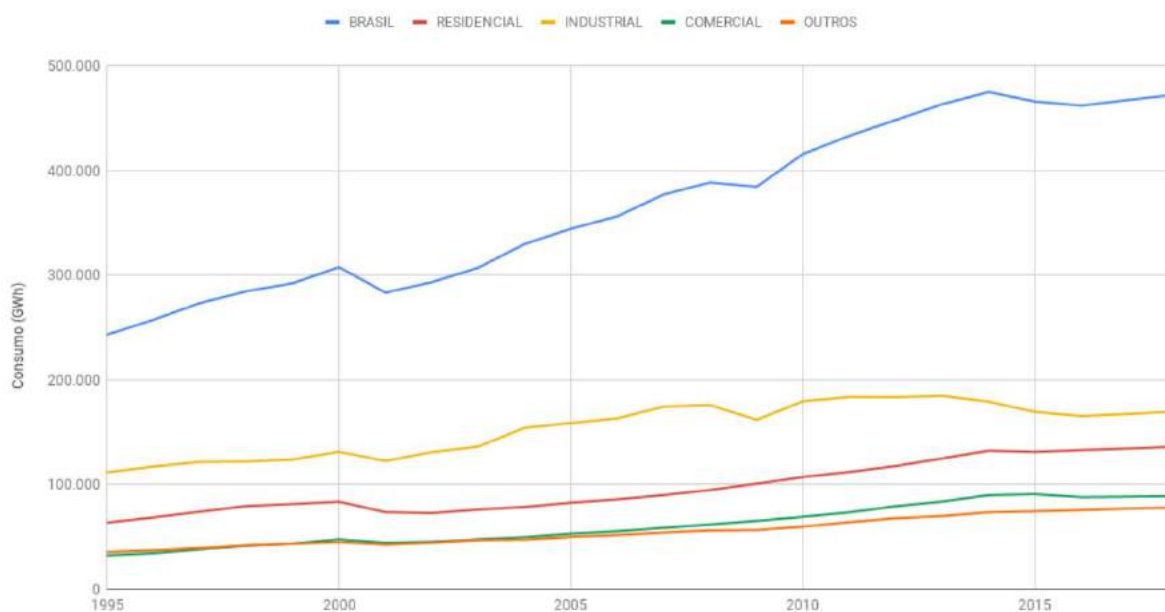


Figura 1 – Histórico de consumo de energia elétrica no Brasil entre 1995 e 2018 (EPE, 2018)

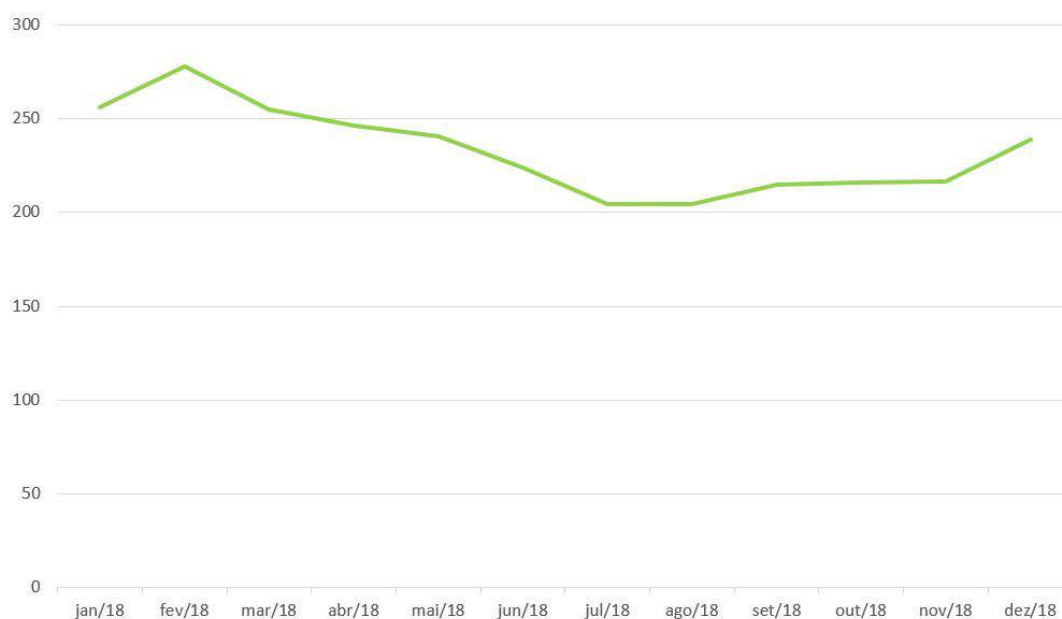


Figura 2 – Consumo médio residencial (kWh/ano) de Joinville para o ano de 2018, dados obtidos pela CELESC.

expressa o ritmo de atividades da sociedade, e, conseqüentemente, a capacidade de consumo. Uma das maiores alternativas discutidas dentro dos campos de arquitetura e engenharia civil, é a busca por soluções construtivas que garantam melhor desempenho energético nas edificações, seja na escolha de materiais ou por estratégias passivas de conforto, como controle da insolação e ventilação interna.

Rahal (2006) ressalta que em países de clima tropical, como o Brasil, um dos

problemas mais significativos relacionados ao conforto térmico é o ganho de calor pelas aberturas, devido ao excesso de insolação. Assim, desde a arquitetura vernacular, ao período colonial brasileiro e até os demais estilos construtivos, via-se a preocupação com as questões relacionadas ao conforto incorporadas em estratégias de adaptabilidade nas edificações.

Foi na Arquitetura Moderna que, tendo entre suas principais qualidades a adequação ao clima, elementos de proteção como os brises, cobogós, pérgolas, muxarabis, gelosias e as varandas ganharam destaque (LIMA, 2015), a partir do discernimento dos arquitetos modernos sobre o excesso do uso de condicionadores de ar e panos de vidro, que eram utilizados no início do movimento. Assim, surgiram novas técnicas construtivas que consideravam, em suma, uma relação mais propícia entre as edificações, os usuários e as características climáticas de cada local, especialmente no Brasil.

Ao longo dos anos, não apenas a questão do conforto térmico nas edificações, mas a sustentabilidade e a eficiência energética, passaram a ser tema recorrente no debate ao desequilíbrio ambiental, agravado pelo processo de urbanização e consumo crescente de matérias primas no setor industrial, como o uso intensivo de aparelhos que proporcionassem climatização artificial, por mais que se levasse em conta as premissas do Movimento Moderno. Para Lamberts, Dutra e Pereira (2014), o avanço dos recursos tecnológicos substituiu os mecanismos recorrentes utilizados pelos arquitetos ao considerar a questão climática territorial e a qualidade térmica no interior das edificações.

Para determinar as relações entre a eficiência energética e a Arquitetura Moderna, esta dissertação consiste em um desdobramento do estudo de Mendes (2018), que utilizou o método prescritivo do RTQ-R como um suporte para compreender a utilização das técnicas modernas de construção, através dos elementos característicos do modernismo e a relação com o conforto térmico e as estratégias de redução de consumo de energia.

Carlo e Lamberts (2010) recomendam a simulação computacional quando o método prescritivo não descrever apropriadamente as características de quaisquer edificações que participam da eficiência energética. Esta ideia é embasada pela ABNT (2013a), onde para avaliação do desempenho térmico de edificações, o procedimento simplificado é insatisfatório quando abrange a avaliação de critérios de vedação, cobertura, transmitância térmica e capacidade, sendo necessária a abordagem através da simulação computacional. Mesmo se aplicada a medição em edificações e protótipos construídos, a norma estabelece que este procedimento não substituiu a simulação, que deve atender a critérios como considerar as zonas bioclimáticas e utilizar programas validados pela ASHRAE 140, como o EnergyPlus.

Na pesquisa de Chvatal (2014), que procurou analisar e comparar o procedimento simplificado com os resultados obtidos pelo método de simulação da ABNT (2013b) em uma habitação unifamiliar térrea em três zonas bioclimáticas brasileiras, com variadas

transmitâncias térmicas e absorvâncias das paredes exteriores e da cobertura, os resultados indicaram que o método prescritivo não representa de forma correta os impactos da transmitância e da absorvância da envolvente, podendo levar a uma classificação de desempenho equivocada, enquanto a simulação foi verificada como a forma mais adequada de se avaliarem as distintas necessidades de desempenho quanto ao inverno e ao verão.

O mesmo ocorre nos estudos de Brito et al. (2012), que analisou os limites prescritos pelo procedimento simplificado da ABNT (2013b) para a zona bioclimática 5, e observadas discrepâncias entre esse procedimento e o método de simulação. Ainda:

As discontinuidades observadas nos resultados e as incertezas relacionadas ao método prescritivo exigem que os resultados obtidos sejam avaliados por meio de simulações em regime dinâmico. Conclui-se, portanto, que o método prescritivo não é ideal à análise da influência da geometria das edificações sobre o desempenho. (SANTANA et al., 2019, p. 153).

Cabe ressaltar que o novo método prescritivo proposto pela Instrução Normativa Inmetro para Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-r) para edificações residenciais ainda não se encontra vigente, sem estabelecer indicadores de consumo ou condições de referência para as edificações residenciais, impossibilitando, assim, a comparação dos resultados pelo novo método e as simulações computacionais.

Gonçalves e Bode (2015, p.12) determinam que “o consumo de energia por metro quadrado é certamente o principal indicador de desempenho energético de um edifício”. Os autores também enfatizam que, além da influência do clima, a demanda energética derivada da climatização e iluminação artificial está intrinsecamente relacionada com o projeto de arquitetura, as características termo físicas da construção, as particularidades do uso e ocupação e a eficiência dos sistemas.

Ao utilizar como base de trabalho o Building Information Modeling (BIM), que é uma plataforma de modelagem onde além das informações gráficas, atribuem-se dados para os elementos apresentados nos desenhos, possibilitando organizar as informações geradas em projetos, geralmente presente em ferramentas de concepção/projeto como o Revit e Green Building Studio (GBS), desenvolveu-se a simulação energética do conjunto de edificações residenciais modernas de Joinville, provenientes do banco de dados da pesquisa de Mendes (2018). Foram consideradas especialmente a tipologia arquitetônica e os materiais empregados, para que se caracterizassem como edificações modernas.

Com o emprego do BIM para a simulação energética das edificações, é permitida a avaliação do consumo de refrigeração em todos os ambientes e de toda a envoltória, além de possibilitar reflexões acerca do desempenho dos materiais empregados e a relação dos espaços externos com o interior das habitações no que diz respeito às estratégias passivas

de conforto do Movimento Moderno. Esta análise pode ser aplicável para qualquer tipo de edifício, não apenas conjuntos residenciais modernos, sendo ou não passível de avaliação por métodos prescritivos.

Por meio da simulação energética, foi possível avaliar a incompatibilidade e imprecisão entre as variáveis obtidas pelo método prescritivo do RTQ-R, de modo que a etiquetagem final obtida nas residências fosse revista, para apresentar resultados precisos quanto ao consumo de energia para refrigeração. Segundo Gonçalves e Bode (2015), como proposto em teoria e comprovado em muitos exemplos da prática, antes de serem um mero resultado da eficiência energética, questões fundamentais de projeto e ocupação guardam um potencial de minimização do consumo de energia nos edifícios.

No que diz respeito às simulações, seu desenvolvimento e avanço influenciam diretamente nas tomadas de decisões de projetos desde a concepção até a pós-ocupação, sendo as ferramentas atuais utilizadas em diferentes etapas da construção, constituindo uma ampla gama de opções para avaliação e análise de desempenho energético. No entanto, para um uso confiável dos resultados, uma compreensão completa dos vários recursos das ferramentas de simulação de energia, suas capacidades e desvantagens é essencial.

Existem certas características que determinam a escolha de uma ferramenta de análise em detrimento de outras alternativas disponíveis, tal qual a usabilidade das interfaces voltadas para comunicação clara e informações, além da capacidade de simular detalhes complexos e construir componentes para que se torne fácil a assimilação dos resultados e ofereça grande interoperabilidade entre os programas de modelamento e análise.

Garantir a precisão do procedimento de modelagem é uma tarefa importante na validação dos relatórios gerados pelos programas de simulação e considerações finais desta pesquisa. Por isto, dentro da plataforma BIM foi elencado para o modelamento e simulação dos objetos de estudo o programa Autodesk Revit Versão 2021.1, que integra a análise de energia aos programas EnergyPlus Versão 9.1.0 e ao GBS. A análise de energia para o Revit vem ganhando mais credibilidade por parte dos pesquisadores e profissionais, evidenciando a tecnologia das estações meteorológicas virtuais desenvolvidas pela Autodesk®, superando o problema de adquirir dados climáticos locais (CHEN, 2018).

Nesse sentido, esta dissertação avalia o consumo de energia de residências com características Modernas em Joinville, em procedimentos de análise integradas dos programas e verificação das etiquetagens com base nas resultantes da pesquisa de Mendes (2018). Os dados de entrada oferecidos são precisos e definidos desde o início da modelagem, assim embasados em uma revisão sistemática de estudos similares ao desta pesquisa, e pelas normativas vigentes acerca do desempenho energético de edificações. Todos os programas utilizados são validados pela normativa americana ASHRAE 140 e pela ABNT (2013a).

1.1 OBJETIVOS

A seguir são apresentados os objetivos da pesquisa.

1.1.1 Objetivo geral

A presente dissertação tem como objetivo principal a análise comparativa de etiquetagens de eficiência energética de um conjunto de edificações residenciais Modernas da cidade de Joinville, Santa Catarina, provenientes do estudo de Mendes (2018), através do método de simulação computacional e do método prescritivo do RTQ-r.

1.1.2 Objetivos específicos

Esta pesquisa possui também os seguintes objetivos específicos:

- Ampliar o banco de dados das edificações, através da modelagem virtual com seus respectivos elementos construtivos;
- analisar o desempenho energético das residências do Movimento Moderno de Joinville através do Método Prescritivo do RTQ-r e da simulação computacional;
- comparar e verificar o desempenho energético das edificações nos índices que compõem os parâmetros dos instrumentos regulamentadores em questão.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está organizado em sete capítulos em sua totalidade, da seguinte forma: o Capítulo 2 contém os conceitos preliminares, necessários para o bom entendimento desta dissertação. Foram abordadas temáticas sobre Eficiência Energética, Construção e Sustentabilidade.

O Capítulo 3 apresenta uma introdução ao desempenho de edificações e adequação ao clima. Subdivide-se, em escala macro e micro, através do Movimento Moderno e suas estratégias bioclimáticas, no âmbito global, e um breve histórico da Arquitetura Moderna em Joinville, Santa Catarina.

O Capítulo 4 se dedica a Simulação Computacional e Análise Energética, conteúdo ligado diretamente a metodologia desta pesquisa. Nele, primeiramente discorre-se sobre o histórico das simulações computacionais, com referências constantes de Mendes et al. (2005), e posteriormente estudos relacionados ao BIM em simulações.

No Capítulo 5 abarca o procedimento metodológico. Expõe-se, primeiramente, o banco de dados e modelamento das edificações para a análise de energia, com referências diretas de Mendes (2018). Em seguida, os parâmetros de entrada e de saída para realização da simulação energética.

Discute-se os dados e análises individualmente de cada residência no Capítulo 6, junto com uma síntese dos resultados. Apresenta-se as considerações finais desta dissertação, publicações relacionadas e possibilidades para as futuras pesquisas no Capítulo 7.

2 CONSTRUÇÃO E SUSTENTABILIDADE

Para Kumawat e Singh (2019), a sustentabilidade é de suma importância para todos, pois gerencia a sobrevivência da espécie humana e de quase todos os seres vivos do planeta. A arquitetura sustentável, e ecologicamente correta, é um dos principais tópicos que os humanos, por terem vida superior, fizeram como modelo definitivo para cada um de seus exercícios. As edificações nas quais vivemos e trabalhamos, nos protegem dos extremos da natureza, mas também influenciam no nosso bem-estar e condição de diversas maneiras.

Com o impacto ambiental dos empreendimentos, se destaca outro campo chamado “construção verde”, ou “construção sustentável”, que Marinho e Melo (2019), conceituam como um sistema que promove alterações conscientes no entorno, de modo que se atenda as necessidades da edificação, habitação e uso do homem moderno, preservando, assim, o meio ambiente e os recursos naturais. Também pode envolver o ato de criar e utilizar modelos de desenvolvimento, remodelação, operação, manutenção e demolição mais benéficos e eficazes, incluindo a questão do uso de energia (KUMAWAT; SINGH, 2019).

Motta e Aguilar (2009) estudam o contexto do desenvolvimento sustentável e da sustentabilidade no ambiente construído, abordando os principais conceitos e práticas que são adotados para implantação da sustentabilidade na construção civil, como estratégias para promoção de eficiência energética e conforto das habitações. No Brasil, o discurso de sustentabilidade ganhou destaque a partir de 1992, ano em que o país abrigou a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92).

Posteriormente, a busca pelo desenvolvimento sustentável tornou-se cada vez mais presente na sociedade. Estima-se que as atividades humanas, em suas construções, serviços e transportes, usam mais de 50% das fontes mundiais de energia (JOHN; SILVA; AGOPYAN, 2001).

De acordo com Gonçalves e Bode (2015), as mudanças no estilo de vida e nas formas de trabalho das sociedades contemporâneas são fatores que afetam o uso de equipamentos eletrônicos e eletrodomésticos e a consequente geração de calor, com implicações diretas sobre as condições térmicas dos espaços internos.

Deste modo, Kumawat e Singh (2019) ressaltam algumas considerações importantes para que se promova o desenvolvimento sustentável nos empreendimentos atuais, sendo os fatores mais relevantes à localização, a escolha de materiais que minimizem o impacto das construções civis, a eficiência energética, o conforto térmico e a qualidade do ar.

A construção sustentável possui conceitos e práticas geralmente relacionados a ações e metas nos meios decisórios do desenvolvimento sustentável, devendo ser uma resposta a estas. Para que se atinja melhores desempenhos energéticos, Marinho e Melo (2019) destacam a importância dos profissionais em pensar e atuar de forma holística.

Vastamente comentado, e muito mais que um tema de domínio público, o conhecimento sobre as práticas de construção sustentável podem se tornar um viés social ou um processo cultural, sendo que existem diversas ferramentas capazes de assistir os arquitetos e projetistas a incorporar critérios de sustentabilidade a seus projetos, de forma que cada um pode auxiliar em pesquisas extensas (MARINHO; MELO, 2019).

Quanto mais sustentável é uma edificação, maiores oportunidades de revisão de gastos de energia e desperdícios estarão disponíveis para os usuários, que é promovido especialmente pela capacidade dos profissionais envolvidos no planejamento de realizarem previsões dos impactos da obra, consumo de energia, ciclo de vida e promoção do desenvolvimento sustentável.

Silva, Silva e Agopyan (2003) apontam a necessidade de que os sistemas de avaliação de edifícios incorporem as dimensões social e econômica da sustentabilidade, tratando não apenas da avaliação do desempenho ambiental das edificações.

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Em qualquer edificação projetada ou construída, para que se garantam não só as condições de conforto para os usuários, mas sim a promoção do desenvolvimento sustentável, é essencial o baixo consumo de energia para o condicionamento artificial dos ambientes (FERREIRA; SOUZA; ASSIS, 2017).

Ao conceituar a eficiência energética, entende-se como a obtenção de um serviço com baixo consumo de energia. Em outros termos, uma edificação será mais eficiente que outra quando proporciona as mesmas condições ambientais, com um menor consumo de energia, atendendo as exigências básicas dos usuários. Entretanto, como a eficiência consiste em fornecer mais serviços para uma mesma entrada de energia, ou os mesmos por menos energia, faz-se essencial a identificação das melhorias que eventualmente dependem da especificação e quantidade de energia envolvidas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; SHOVE, 2018). Alguns fatores devem ser considerados no desempenho térmico das edificações, como a envoltória, o microclima local onde estão inseridas e o entorno construído, que afeta diretamente o microclima da região onde se localiza.

A problemática do consumo energético tem aumentado a preocupação com questões como o condicionamento térmico natural, contribuindo com a incorporação de conceitos bioclimáticos nas edificações. Apesar das formas atuais de pensar a eficiência de energia serem “performativas”, onde se incorporam em tecnologias, políticas e ambientes construídos, a busca por eficiência energética está, na sua grande maioria, no projeto arquitetônico que, quando orientado por princípios bioclimáticos, tende a minimizar o uso de condicionamento artificial do ar. Embora a abordagem do conforto ambiental seja inerente ao processo de projeto, a produção arquitetônica que se vê nas cidades mostra muitos questionamentos

relacionados ao desempenho térmico das edificações que não são contemplados, como a aplicação de elementos de proteção solar e estratégias de ventilação e iluminação natural que auxiliam na redução do consumo energético (SHOVE, 2018).

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) retratam que o desperdício de energia para a obtenção de conforto ambiental, está relacionado a falhas nos projetos atuais, que não incorporam os avanços ocorridos em termos de arquitetura bioclimática, materiais e tecnologias construtivas. No Brasil, a Arquitetura Moderna incorporou princípios bioclimáticos caracterizada especialmente pelos projetos com aplicações de estratégias passivas de conforto como o uso de brises, pérgolas e cobogós.

Embora muitas vezes a bioclimatologia e o condicionamento térmico natural estejam associados a uma arquitetura com identidade vernacular, cabe ressaltar que estes conceitos não possuem compromisso com conceitos vernaculares. O constante desenvolvimento de novos materiais e tecnologias construtivas que são significativamente contribuintes para questões de desempenho energético, ampliando o horizonte de possibilidades na aplicação de materiais e técnicas de condicionamento térmico passivo nas edificações.

Deste modo, além destas características intrínsecas da Arquitetura Moderna, também é necessário contar com sistemas eficientes de climatização e iluminação. É possível também a utilização de sistemas de automação que auxiliam na diminuição do consumo, como sensores de presença, sistemas de desligamento automático e medidores inteligentes de consumo. Com relação à radiação solar, que é uma importante fonte de calor para a edificação em períodos mais frios, deve ser evitada em períodos mais quentes, com soluções para o controle da incidência adequados ao clima local (ISOLANI, 2008).

O autor ainda destaca que as janelas atuam como elementos de construção que influenciam significativamente nas trocas de calor com o ambiente externo, bem como permitem o aproveitamento da luz natural, mas que devem ser utilizadas de forma estratégica, observando características como orientação, dimensão, sombreamento e tipo de vidro, a fim de que se garanta níveis de iluminação adequados, sem ganhos ou perdas de calor, ou uso de iluminação artificial excessivos.

Entre as estratégias de promoção da eficiência energética em edificações, devem ser avaliadas as propriedades térmicas dos elementos da envoltória, como as paredes, coberturas e pisos. As características principais são a inércia térmica, tratando da capacidade do elemento construtivo de guardar calor dentro de si, e o isolamento térmico, que diminui a transmissão de calor entre a edificação e o meio externo (ISOLANI, 2008).

A questão da eficiência energética, faz parte dos problemas impostos pela necessidade do consumo consciente e desenvolvimento sustentável. Além disto, muitos países tem enfrentado, ao longo dos anos, dificuldades para suprir a demanda crescente de energia, cabendo aos poderes públicos conhecer o comportamento dos consumidores, de modo que

se criem mecanismos para promoção do uso racional de energia pela sociedade, otimizando o uso. No caso do Brasil, as primeiras ações de incentivo a redução do consumo energético iniciaram-se em 1981, com a criação do programa Conserve. Todavia, apenas em 2001 que publicou-se a Lei n. 10.292/2001, onde foi lançada a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia.

Por esta lei se estabeleceu que o Poder Executivo ficaria responsável em desenvolver mecanismos que promovam a eficiência energética de máquinas e equipamentos fabricados e comercializados e das edificações construídas no país. No mesmo ano, foi publicado o Decreto n.4.059/2001, o qual regulamentou a Lei n.10.295/2001 ao estabelecer que os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, bem como as edificações construídas, serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica, a ser fixada nos termos deste Decreto, sob a coordenação do Ministério de Minas e Energia (ALTOÉ et al., 2017, p. 286).

A partir disto ocorreram avanços significativos no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), onde os resultados são obtidos através de cálculos, e fornecem resultados do desempenho da edificação para as estações de verão e inverno. Atualmente, o regulamento vem passando por melhorias (OLINGER et al., 2019), que optou pela etiquetagem das edificações como primeira ação.

A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) foi criada em 2010 por meio do PBE, que designa o nível de eficiência energética para edificações com base num processo de inspeção sobre qualquer edificação. Para isto, no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-r), segundo INMETRO (2012), são avaliados a envoltória e o sistema de aquecimento de água, além dos sistemas presentes nas áreas comuns dos edifícios multifamiliares, como iluminação, elevadores, bombas centrífugas, entre outros. Quanto aos métodos de avaliação da conformidade, os RTQ-c e RTQ-r oferecem uma opção de natureza prescritiva e outra baseada no desempenho da edificação que deverá obrigatoriamente ser executada com recurso da simulação energética.

A classificação é realizada através de duas abordagens para o nível de eficiência: o método de simulação e o prescritivo. O primeiro utiliza um software de simulação energética para o processo de avaliação do edifício. Já no método prescritivo, tem como base duas equações de eficiência energética da envoltória, uma para condições de inverno e outra para condições de verão, sendo a base do método a análise dos Ambientes de Permanência Prolongada (APP). A classificação é feita por uma escala de 5 níveis de eficiência energética de A a E com base em uma pontuação, sendo a classificação “A” (pontuação 5) para as

edificações mais eficientes, e a classificação “E” (pontuação 1) para as menos eficientes (PROCEL, 2006).

O indicador da eficiência energética pelo método prescritivo do RTQ-r para a zona bioclimática que se insere Joinville (ZB5), tratada na seção 4.2 é o Consumo Relativo de Refrigeração (C_R) - o consumo anual de energia pela área (kWh/m^2) necessária para resfriamento do ambiente durante o período das 21h às 8h. O cálculo do Consumo Relativo para Aquecimento (C_A) só é determinado para as ZB 1 a 4, não se aplicando a zona bioclimática que se insere as edificações desta pesquisa. Ainda, Eletrobras, Procel e GB3E (2012) determinam que o nível de eficiência da envoltória quando condicionada artificialmente, deve ser calculado para qualquer edificação, mesmo que naturalmente ventilada. Assim, de acordo com a ZB5, a equação 2.1, descrita posteriormente, é utilizada no processo de cálculo do consumo relativo para refrigeração (C_R), em kilowatt por metro quadro por ano ($\text{kWh/m}^2.\text{ano}$) dos ambientes condicionados artificialmente das ZB5 e 8.

No manual do RTQ-R, é possível encontrar as demais equações de indicadores dos Consumos Relativos referentes às outras zonas bioclimáticas, para aplicação da metodologia adotada nesta pesquisa, em estudos de caso localizados em diferentes regiões e edificações no Brasil.

$$C_R = [(a) + (b \times AU_{amb}) + (c \times CT_{baixa}) + (d \times \alpha_{par}) + (e \times \frac{PD}{AU_{amb}}) + (f \times somb) + (g \times CT_{cob}) + (h \times Ab_s) + (i \times SomA_{parExt} \times CT_{par}) + (j \times cob) + (k \times U_{cob} \times \alpha_{cob} \times cob \times AU_{amb}) + (l \times pil) + (m \times solo) + (n \times cob \times AU_{amb}) + \frac{[o \times (U_{cob} \times \frac{\alpha_{cob}}{CT_{cob}}) \times AU_{amb}] + (p \times P_{ambO}) + (q \times AAB_L \times (l - somb)) + (r \times U_{cob}) + (s \times PD) + (t \times AAb_s \times somb) + (u \times AAb_N)]}{1000}] \quad (2.1)$$

Para cada pontuação, de acordo com Eletrobras, Procel e GB3E (2012), foi estabelecida uma condição de referência em $\text{kWh/m}^2.\text{ano}$, com base em dois tipos de arquivos climáticos: TRY e SWERA. Para esta pesquisa, é tomado como referência a condição calculada a partir do arquivo SWERA, tendo em vista que o mecanismo de simulação utiliza arquivos da mesma extensão para encontrar os valores de consumo. Portanto, na Tabela 1 se observa a etiquetagem que é aplicada de acordo com a pontuação obtida através do método prescritivo, ou com a condição de consumo obtida através da simulação.

O consumo relativo para refrigeração é um indicador, e, para tanto, tornou-se necessária a simulação dos dados de consumo para real verificação da etiquetagem das residências. Dessa forma, os valores referentes à carga térmica de resfriamento obtidos nas simulações são convertidos em consumo energético por meio da eficiência do sistema de condicionamento de ar, levando em conta o padrão de ocupação em tempo integral

Classificação	Eq. Numérico de acordo com a classificação	Condição para SWERA (kWh/m ² .ano)
A	$P_t > 4,5$	$C_R < 18,112$
B	$3,5 < P_t < 4,5$	$18,112 < C_R < 28,960$
C	$2,5 < P_t < 3,5$	$28,960 < C_R < 38,712$
D	$1,5 < P_t < 2,5$	$38,712 < C_R < 51,450$
E	$P_t < 1,5$	$C_R > 51,450$

Tabela 1 – Condições de referência para o consumo de refrigeração da ZB5

durante todos os dias da semana. Ainda, é sugerido que quando o resultado obtido de consumo constar como um número negativo, se assumir um valor nulo.

É importante destacar que a análise de eficiência pelos métodos prescritivo e de simulação não são obrigatórios pela legislação brasileira, mas a busca por eficiência energética é tanto pela necessidade de colaborar com o meio ambiente, quanto proporcionar aos usuários das edificações condições satisfatórias de conforto dos espaços internos e reduzir os custos operacionais. O objetivo principal está em atestar que um empreendimento adote medidas sustentáveis e ecologicamente corretas na obra e no cotidiano dos ocupantes.

Não obstante, nos dias atuais, a maior parte do uso doméstico de energia é invisível para o usuário do edifício, que possui pouco conhecimento da quantidade que se utiliza para diferentes finalidades, e da quantidade que poderia ser reduzida. Caso alterado o comportamento diário, ou investindo em medidas de eficiência, consegue-se economizar até 35% da energia consumida em edificações. De acordo com Agency (2018), o consumo energético poderia ser ainda mais promissor se houvesse efetividade das regulamentações e incentivos para melhorar a eficiência energética na indústria e na construção. Os ganhos em eficiência energética desde os anos 2000 evitaram um consumo até 12% maior em energia. Portanto, é imprescindível fornecer *feedback* para garantir que o uso de energia seja mais visível e capaz de ser compreendido e controlado (LEE; CHA; PARK, 2016).

3 DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES

Uma sensação de conforto é imprescindível para que as atividades humanas consigam ser desenvolvidas sem que haja maiores limitações, e para que sejam promovidas, e Júnior, Carvalho e Alves (2017) apontam alguns fatores que influenciam diretamente, como a velocidade do ar; umidade relativa; e temperatura, e que além disso, implicam na eficiência energética da edificação ao qual o usuário se encontra. Ainda, .

Quanto à relação do objeto com o seu entorno em termos de conforto, Tondelo e Barth (2014) destacam a influência da envoltória da edificação, que é definida por suas paredes, aberturas e as coberturas. Embora a abordagem do conforto ambiental seja inerente às características construtivas, a produção arquitetônica que se vê nas cidades mostra que muitas questões relacionadas ao desempenho térmico das edificações ainda não são contempladas (FREIRE; AMORIM, 2011). O conhecimento das propriedades térmicas dos materiais empregados nos sistemas de vedações, permite estabelecer estratégias de projeto para que qualquer edificação consiga responder eficientemente às variações climáticas e atender as condições humanas dentro de uma UH.

Quanto à escolha do material a ser aplicado, nesse sentido, a condutividade térmica é uma propriedade importante que deve ser avaliada, pois ela determina o fluxo de calor por condução que passa na unidade de tempo, através da espessura e área do material, sendo possível estimar o fluxo de calor através de superfícies e determinar a necessidade de intervenções para garantir um ambiente confortável. Destaca-se que para as condições brasileiras, o material aplicado nas coberturas pode reduzir entre 20% e 40% da carga térmica de radiação nos ambientes (ANGELIN, 2014). Deste modo, a principal proteção contra a insolação direta, buscando melhorar situações de desconforto térmico, pode ser corrigida com a utilização de materiais e coberturas adequadas, de modo que estes se constituem como um dos principais elementos da envoltória.

Para análise destes dados em uma edificação, bem como de melhoria do desempenho energético de edifícios, se aplicam códigos, normas e diretrizes, que tem sido um meio eficaz para a conservação energética em muitos países e contribuem para o desenvolvimento sustentável, sendo capazes de contribuir positivamente a economia, o meio ambiente e o conforto térmico dos habitantes (SANTOS; SOUZA, 2013). Algumas práticas podem ser observadas, tais quais (HEYWOOD, 2019):

- Ter uma envoltória eficiente em termos energéticos;
- ser um produtor indireto de energia e um emissor de carbono zero;
- otimizar o uso de recursos e energia incorporada;
- minimizar o uso e o desperdício de água;

- não ser poluente, além de duradouro, adaptável e fácil de sofrer alterações;

Para análises mais abrangentes, os estudos dos níveis de desempenho térmico da envoltória, através de normativas, ou por meio de simulações computacionais, como a presente pesquisa, tem como principal objetivo o auxílio na compreensão do comportamento de edificações frente às variáveis climáticas, assim como servem de suporte para o desenvolvimento de sistemas construtivos, que se constituem de materiais e mecanismos com poder de uniformizar o gradiente de temperatura entre os ambientes internos e externos (TONDELO; BARTH, 2014).

Machado (2008) destaca que o conhecimento da previsão das cargas térmicas que serão gerada no interior de uma edificação é relevante no processo arquitetônico, pois influencia nas decisões quanto ao processo de projeto adotado e exigências funcionais e humanas para as diferentes variações climáticas, compreendendo ainda a presença humana; os sistemas de iluminação artificiais; motores; equipamento; processos industriais; e o calor solar.

Maciel et al. (2006) realizou entrevistas com arquitetos brasileiros e europeus, traçando um paralelo entre a atuação profissional dos países onde foi aplicada a pesquisa, para verificar a incorporação dos conceitos de conforto e eficiência energética que são utilizados no processo de projeto. Destacou-se que um dos fatores limitantes para a pouca aplicação destes conceitos é a consciência dos construtores e incorporadoras como clientes do arquiteto, com prioridades que envolvem economias imediatas durante o processo de projeto, sem que haja preocupação com o desempenho pós-ocupação da edificação. A adoção de estratégias de eficiência energética, nestes casos, depende da criatividade do projetista em apontar soluções economicamente viáveis para o empreendedor, o que exige um alto grau de conhecimento e familiarização com os conceitos mencionados.

Deste modo, a preocupação com a sustentabilidade e o desempenho das edificações, que dentro de um cenário de mudanças climáticas e da necessidade de redução do consumo energético pelo impacto ambiental provoca entre os arquitetos e urbanistas uma tendência de desenvolver suas tarefas usando todos os recursos e conhecimentos para redução destes fatores e melhoria do conforto térmico e lumínico nos ambientes construídos, maximizando o aproveitamento dos recursos naturais disponíveis (FONSECA et al., 2009), mas que muitas vezes por limitações externas, acabam sendo negligenciadas.

Ao olhar para a história da arquitetura e das cidades, foi apenas por um curto espaço de tempo que as considerações sobre as premissas fundamentais de projeto e seu impacto nas condições de conforto ambiental e no consumo de energia não eram tidas como determinantes. Aprofundar os estudos para a produção da Arquitetura Moderna em relação a Arquitetura Contemporânea permite com que se alie as práticas bioclimáticas, estética e funcionalidade do projeto, tendo em vista o protagonismo do Movimento Moderno neste

discurso.

3.1 MOVIMENTO MODERNO E SUAS ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS NA ARQUITETURA

Diferente de outros profissionais como gerentes de construção, engenheiros ou designers, os arquitetos tendem a falar de seus trabalhos em termos conceituais. Em qualquer curso de arquitetura, abrangerá estudos acerca da história e teoria - estilos do Antigo Clássico, Românico, Normando e Gótico; através do Maneirismo, o Barroco, Georgiano, Vitoriano; até o Modernismo, Bauhaus e movimentos internacionais do século passado - todos, no que lhes concerne, capturam um espírito da época em que as aspirações da civilização humana são imortalizadas na forma construída. Assim, ao relacionar as formas arquitetônicas com a limitação da condição humana, se evidencia a necessidade do abrigo ao homem e de espaços para a realização das atividades humanas da vida cotidiana, e a quantidade de formas e espaços que são criados visando o progresso humano e as interações dos esforços comuns para um futuro melhor (MARTEK et al., 2018).

A arquitetura moderna, segundo Machado (2008, p.48), “se utilizava de uma linguagem que se desejava universal, em outros termos, de um repertório formal dotado de princípios que poderiam ser aplicados a diferentes contextos”. Em outros termos, para Zein e Bastos (2010) a arquitetura moderna é entendida não apenas aquela que atende, adequadamente, aos requisitos técnicos, funcionais e financeiros, mas que apresentasse uma estética boa, apropriada ao momento e o ambiente ao qual está inserida.

Apesar de ter sido um momento multifacetado da produção arquitetônica internacional, o Movimento Moderno manifestou alguns princípios que foram seguidos por vários arquitetos, de diversas escolas e tendências. Pode-se destacar duas grandes vertentes: o estilo internacional, de origem Europeia, e a arquitetura orgânica, de origem americana (COELHO; ODEBRECHT, 2008).

No início do século XX, a redução dimensional dos elementos portantes e a sua separação dos elementos de vedação permitiram a utilização do vidro em superfícies cada vez maiores, até chegar às fachadas totalmente envidraçadas. Ainda, sobre as fachadas em vidro:

Sua utilização proporcionava transparência e integração visual dos espaços internos com externos, além de um efeito plástico adequado aos princípios da nova arquitetura que despontava, a arquitetura moderna. Porém, essas vantagens eram acompanhadas da perda de qualidades anteriormente oferecidas pelas paredes maciças como a inércia térmica e a proteção solar. Ao mesmo tempo, técnicas naturais e estruturais de controle ambiental foram esquecidas e superadas pelas possibilidades de incorporação de outras técnicas de calefação

e climatização que, no entanto, mostraram-se dificultosas (MARAGNO, 2000, p.15).

Essas dificuldades eram sentidas com mais intensidade em países de clima tropical, como o caso do Brasil. A forte crença dos arquitetos na tecnologia levou-os a desconsiderar a relação entre a construção e seu contexto climático e ambiental. A resolução de problemas internos como excessivo calor ou resfriamento poderia ser simplesmente resolvida com a instalação de equipamentos condicionadores de ar, e a falta de iluminação natural com mais luminárias dentro dos ambientes (ROTHER, 2017).

Esses fatores foram identificados por Le Corbusier em uma conferência em 1929, e posteriormente, como forma de identificar e enfrentar os problemas ambientais, foram propostos os princípios do Movimento Moderno pelo arquiteto, que posteriormente foi amplamente difundido e utilizado, caracterizando os princípios formais da Arquitetura Moderna, buscando elementos estruturais que protegessem a superfície vertical da incidência direta da radiação solar,¹, sintetizada principalmente pela Villa Savoye, como referência a estes conceitos Figura 3. A Villa, segundo Maciel (2002), tornou-se manifesto de um modo de ver e viver o mundo, utilizando uma diferenciada articulação dos usos que tomou lugar dos espaços e a tecnologia inovadora da época, o concreto armado.



Figura 3 – Villa Savoye, obra de Le Corbusier onde são aplicados integralmente os cinco preceitos do Movimento Moderno.

Das premissas, que exaltavam a abertura dos edifícios para o exterior, de modo que se facilitasse a entrada do ar, da luz e o contato com a natureza, mas que levassem em consideração uma resposta às transformações arquitetônicas introduzidas pelas possibilidades tecnológicas e pelos conceitos da Arquitetura Moderna, como a utilização de brises (MARAGNO, 2000) para evitar o excesso de insolação, sem que houvesse interferência no visual das edificações. Foram estes fatores os principais percursos do que se entende por arquitetura bioclimática. Assim, a expressão arquitetônica resultante deste período teve que mostrar soluções tecnológicas ao considerar-se o território, o clima, local, orientação solar, forma da edificação e fatores quanto à luz e sombra Mascarello (2005), visando o

¹ Os princípios formais do Movimento Moderno propostos por Le Corbusier eram: pilotis, planta livre, fachada livre, janela em fita e o terraço jardim (MACHADO, 2008).

menor excesso de calor do interior com o meio externo, promovendo o conforto térmico aos usuários.

Além disso, Mascaró e Mascaró (1992) destaca o meio social, econômico e urbanístico em que a edificação se encontra como importantes definidores do ambiente construído. A arquitetura deve ser, portanto, o exercício de resolução de problemas, sendo as limitações e condicionantes que tornam o processo mais interessante e criativo.

Para Rita et al. (2014, p.193) “a arquitetura brasileira é resultado da evolução da arquitetura portuguesa no seu trajeto da história, em que o tempo permitiu absorver novas correntes e inovou, muitas vezes nos aspectos ornamentais ou como resultado da expressão Moderna e criativa dos arquitetos, em conjunto com a estética”. As pesquisas, todavia, do Movimento Moderno e respectiva relação com o conforto térmico foram iniciadas em meados do século XX, assim, entre as décadas de 1930 e 1960 os arquitetos brasileiros possuíam disponíveis estudos com enfoque nos efeitos do sol e da ventilação no contexto do clima brasileiro, o que contribuía com a produção voltada ao conforto dos usuários (MACHADO; BRITO; NEILA, 2003).

Foi na década de 1940 que o novo regime brasileiro adotou a arquitetura como instrumento de propaganda para a construção da identidade brasileira Moderna. Numa época em que a política se assemelhava à expressão arquitetônica e ideologia, o passado colonial era percebido como um meio de articulação entre a tradição e a definição da nova nação (REQUENA-RUIZ, 2018).

O Movimento Moderno brasileiro, especialmente durante estas décadas mostrou características bioclimáticas, das quais se pode destacar o emprego de brises e cobogós, amplamente adotados por arquitetos desse período. Russo (2004) destaca que entre os arquitetos brasileiros atuantes neste período, Lúcio Costa foi um dos que cumpriu um papel exemplar na educação e na prática arquitetônica, na medida em que ressaltava a compreensão das condições climáticas e da geometria solar para a concepção de projetos. Além da adaptação ao clima, o interesse dessa arquitetura por recursos de projetos como os brises era vinculado à influência corbusiana, como abordado anteriormente, e às consequentes intenções estéticas.

Para Machado (2008), o termo “arquitetura bioclimática” refere-se às edificações que consideram as condições climáticas locais e adotam tecnologias de condicionamento passivo, com intuito da obtenção de melhorias na eficiência energética. Deve-se, portanto, observar a radiação solar através das aberturas nas edificações, a iluminação natural, especialmente nos espaços internos, a ventilação natural, de modo que proporcione índices satisfatórios de conforto térmico e a geometria solar, que influencia diretamente nas áreas de aquecimento e resfriamento dos espaços.

No caso da Casa do Brasil, o imaginário climático dos designers se referia

a vários materiais e questões imateriais. Em primeiro lugar, os microclimas internos estabeleceram um vínculo íntimo com o clima ao ar livre através de dispositivos arquitetônicos para a luz do sol (painéis de vidro, brises e aeradores). Essas materialidades microclimáticas mesclam a expressão arquitetônica, sublimando as condições climáticas, fenômenos e práticas dos habitantes, permitindo um ajuste moderado de microclimas internos. Em segundo lugar, o design dos microclimas visa interagir com a dimensão fisiológica do ser humano [...] o entendimento cultural da noção de clima influenciou a maneira como designers e habitantes lidavam com a luz do dia, cores, texturas, temperaturas ou movimentos do ar e do corpo. (REQUENA-RUIZ, 2018, p.10).

A produção no sul do país foi tardia pela falta de instituições que ensinassem arquitetura e urbanismo na região, pois a maior parte estava concentrada no sudeste do país, fazendo com que a produção deste período - especialmente em Santa Catarina - tivesse maior força entre 1950 até 1990 por arquitetos e engenheiros. Muitos dos exemplares catalogados permitem identificar não apenas os princípios formais deste movimento, mas também o maior uso de estratégias passivas de conforto de acordo com a climatologia de cada região de produção. Em Joinville, o destaque principal eram usos de claraboias, venezianas, pérgolas e pátios nas edificações. Na próxima sessão, faz-se uma breve abordagem ao histórico da produção moderna na cidade.

3.1.1 Breve histórico da Arquitetura Moderna em Joinville - SC

A administração no Brasil, e, conseqüentemente no Estado de Santa Catarina, que se estabelecia após a Revolução de 1930 no Brasil, tinha como principal atributo a necessidade de renovação. Tornava-se necessário, assim como no cenário mundial, que se instaurasse o novo, rompendo com o passado. Uma das formas de atuação principais no cenário nacional, estadual e municipal foi a construção de obras públicas, de modo que enfatizavam uma imagem do novo (MAKOWIECKY; VIANA, 2019).

A partir da década de 1930 com o governo Vargas (1930-1945) foram introduzidas novas leis que amparavam o processo de modernização, ocasionando alterações significativas na vida social brasileira. As principais medidas políticas e econômicas foram decisões orientadas pelo Estado, e por organizações regionais de interesse local, que acabaram por ficar em segundo plano, o que culminou na produção moderna dos espaços urbanos (MIRA, 2012).

O governo de Vargas atingiu a administração quanto à natureza e à função dos serviços públicos, e introduziu uma arquitetura padronizada para algumas edificações voltadas ao serviço público brasileiro. A similaridade entre a funcionalidade da arquitetura e a da “máquina de morar” de Le Corbusier, em

conjunto com seus preceitos modernos, era a diretriz principal na busca da padronização da arquitetura moderna brasileira (MIRA, 2012, p. 34-35).

Conceitos como funcionalidade, eficiência e economia na arquitetura tiveram forte aplicação, primeiramente, nas obras públicas, onde também foi clara a busca pela utilização de elementos necessários à adequação ao clima da região, combatendo a excessiva radiação solar, as altas temperaturas e a umidade, utilizando da luz natural como instrumento de criação do espaço.

A utilização de brises ganhava espaço, especialmente na instalação destes dispositivos nas fachadas, como o caso do Ministério da Educação e Saúde, no Rio de Janeiro, onde Le Corbusier se deparou com a contradição entre a desejável visibilidade da paisagem do interior do edifício e a necessidade de controle da radiação solar. Como resposta, propôs a utilização de um sistema de brises na fachada, que posteriormente foi incorporado pelos arquitetos brasileiros como solução ao excesso de radiação solar, aperfeiçoando para placas verticais fixas com horizontais móveis, assumindo a postura do Movimento Moderno com o controle ambiental natural, projetando com o clima, e que se tornou um elemento de proteção solar constante nos demais projetos do período, e em pouco tempo ganhava destaque no cenário nacional e internacional (MARAGNO, 2000).

Ainda que incentivados pelo governo, a produção moderna em Joinville possuiu resistência pelos principais fatores: O primeiro pela diversidade cultural dos imigrantes, em que fizeram os grupos étnicos reafirmar a cultura das instituições, especialmente germânicas na região, rebatendo na produção arquitetônica, em sua maior parte, em estilo enxaimel.

Todavia, as condições locais exigiam adequações às tradições culturais, vindas da Europa, e que necessitavam adaptar-se ao clima quente e úmido da região. Muitos exemplares arquitetônicos ganharam elementos como varandas, para sombreamento, visando a diminuição do calor no interior das edificações. Aos poucos, alguns outros elementos arquitetônicos foram desaparecendo, como os porões, dando abertura para instaurar, de fato, os ideais modernos no espaço urbano.

Outro fator deu-se pela falta de instituições de ensino superior que possuísem cursos de arquitetura e engenharia na região, que abarcavam, entre as produções, os princípios modernistas da arquitetura. Desse modo, a disseminação dos novos princípios modernos, que já aconteciam no Brasil desde 1930, tardou-se ainda mais no município. A produção acontecia por arquitetos contratados do Paraná e Rio Grande do Sul no começo, que aos poucos se fixavam no município e produziam nas regiões próximas às suas regiões de atuação.

Ao analisar as residenciais unifamiliares catalogadas por Mendes (2018), verifica-se essa manifestação tardia, ao observar que as edificações construídas datam entre as décadas de 1970 e 1980. Além dos fatores anteriores, o recebimento de verbas limitadas

durante o governo Vargas, quando era de intensa modernização brasileira, e a ampliação e o desenvolvimento dependeram das verbas dos empresários que mostravam, ainda, preferência por estilos arquitetônicos mais antigos, o que retardou ainda mais a produção da Arquitetura Moderna em Joinville.

Contudo, tal qual a arquitetura brasileira atual, a arquitetura de Joinville passa por uma crise de identidade projetual. Alguns fatores externos são relevantes ao que condiz à uma descaracterização dos princípios modernos, tais quais embasados ao conceito, técnica, forma e discurso, para edificações com estruturas de vida limitadas ao objeto de consumo, que satisfazem momentaneamente o mercado imobiliário através de tendências, e que raramente atendem as necessidades de morar e viver com condições satisfatórias de conforto e melhores performances energéticas.

4 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE DE ENERGIA

A busca pela eficiência energética das construções deve estar presente em qualquer fase do projeto arquitetônico, partindo da escala macro, representada pelo meio urbano, para a escala micro, correspondente aos ambientes da edificação. Existem diversas possibilidades da utilização de ferramentas computacionais, em variados níveis de complexidade, que podem ser aplicadas em qualquer fase dos projetos, tais como recomendações quanto à estratégias de conforto, análises de incidência solar, simulações termo energéticas e análises de ventilação (FREIRE; AMORIM, 2011). Ainda, podemos definir as simulações computacionais como:

Uma simplificação da realidade que, em função dos parâmetros adotados, pode levar a resultados mais ou menos precisos. Comumente, muitas variáveis precisam ser desconsideradas ou simplificadas com o objetivo de reduzir a quantidade de simulações para torná-las exequíveis. Porém, a possibilidade de testar modelos simplificados referentes a esboços desenvolvidos em programas de simulação computacional é uma importante estratégia, uma vez que permite a comparação das alternativas possíveis como auxílio nas decisões projetuais. (FREIRE; AMORIM, 2011, p.4).

Ainda, a análise de energia oferece uma oportunidade de realizar decisões econômicas que influenciam no ciclo de vida de uma edificação, no atendimento das metas de eficiência energética e na busca por estratégias para promoção do conforto ambiental.

Nos dias atuais, conforme Sousa e Figueiredo (2020), os sistemas de condicionamento de ar tem forte impacto no consumo total de energia, especialmente nas regiões mais quentes, e, por isso, deve haver foco nas análises de cargas térmicas. Entretanto, a principal barreira ao uso mais amplo destes métodos de análise é o grande trabalho de entrada manual necessário.

Para isto, discorre-se a seguir um breve histórico acerca das simulações computacionais voltadas à análise de energia, de modo que se entenda seu processo e a importância de sua realização nos dias atuais, e como o BIM pode ser um agente facilitador dos resultados. Ainda, são contemplados neste capítulo uma análise dos estudos que aplicam a plataforma BIM para simulações energéticas.

4.0.1 Breve histórico das simulações computacionais

As primeiras metodologias de análise de conforto energético, de acordo com Sousa e Figueiredo (2020), iniciaram entre as décadas de 1960 e 1970, onde o foco era a análise da envoltória do edifício. Rapidamente, foram desenvolvidos também métodos de análise para a iluminação, ventilação, climatização, transferência de calor e acústica dos espaços,

até que, a partir de 1980, foram desenvolvidos *softwares* para facilitar todas estas análises. Deste ano em diante, o Brasil começou a importar os programas de simulação que eram desenvolvidos no exterior, e grupos de pesquisas nacionais se destacaram criando próprios códigos e algoritmos para promover o desenvolvimento de projetos de edificações mais eficientes (MENDES et al., 2005).

Entretanto, foi a partir de 1990 que uma variedade de simulações energéticas e ferramentas foram desenvolvidas, aprimoradas e aplicadas pela indústria da construção, através da disseminação dos computadores pessoais (PCs), e empresas e grupos de pesquisa que engajaram-se no desenvolvimento de interfaces para os programas de simulações, compatíveis com o sistema operacional *Windows* (MENDES et al., 2005).

Com o avanço dos recursos computacionais e aumento da capacidade dos processadores dos computadores, programas mais modernos e complexos puderam ser desenvolvidos, como o *Energyplus*, o *FLUENT*, o *CFX* e o *PHOENICS*, além dos programas mais creditados, que foram adotados nesta dissertação, o Autodesk Revit® e o Green Building Studio (GBS) (SHOSHAN; ATTELLAH; HASEEB, 2019; MENDES et al., 2005).

Atualmente, pode-se encontrar mais de 417 programas de simulação, listados no *Building Energy Tools*, que é uma página do Departamento de Energia dos EUA, e reúne informações sobre as principais ferramentas disponíveis para avaliar a eficiência energética, a energia renovável e a sustentabilidade em edifícios (ABANDA; BYERS, 2016).

Alguns destes programas, conforme Sousa e Figueiredo (2020), possuem maior credibilidade por serem certificados, ou seja, eles foram submetidos a testes padronizados, baseados em metodologias da ASHRAE 140, para que fosse verificado se os resultados das análises cabiam no padrão de incerteza aceitável. Cabe destacar, que ao abordar o BIM, deve-se entender como uma plataforma, que abrange diversos programas para as mais diversas finalidades e permite a maior interoperabilidade dentre eles, ou seja, fazendo com que os programas troquem informações sem perdas significativas de dados e permitindo a manutenção de um modelo preciso e sempre atualizado da edificação ao longo do seu ciclo de vida, evitando reinserção de dados todas as vezes que o modelo tridimensional sofre alguma alteração.

Para a análise de simulação energética, a plataforma BIM é amplamente difundida nos mais diversos setores da construção civil, desde projetos até análises pós-ocupacionais, como a modelagem e análise a partir do programa *Autodesk Revit*, ou dos programas *EnergyPlus* e *Green Building Studio*, que serão abordados posteriormente como principais programas para a simulação energética dentro da plataforma.

Para Freire e Amorim (2011), o conceito de *Building Information Modeling*, ou Modelamento de Informação da Construção, prevê a existência de um conjunto de ferramentas integradas e complementares, aptas à realização de diversos tipos de operação sobre um

modelo único da edificação, voltados à tarefas específicas, facilitando a interação entre as diversas disciplinas, e que abrange geometria, relações espaciais e informações sobre as propriedades dos materiais. A principal ideia destes modelos é encontrar toda a informação válida de cada um dos componentes a partir do projeto realizado. A Figura 4 ilustra o processo de operação de uma edificação quando produzida dentro da plataforma, desde sua concepção, análise até demolição, e que pode ser modelada através dos programas considerados anteriormente.

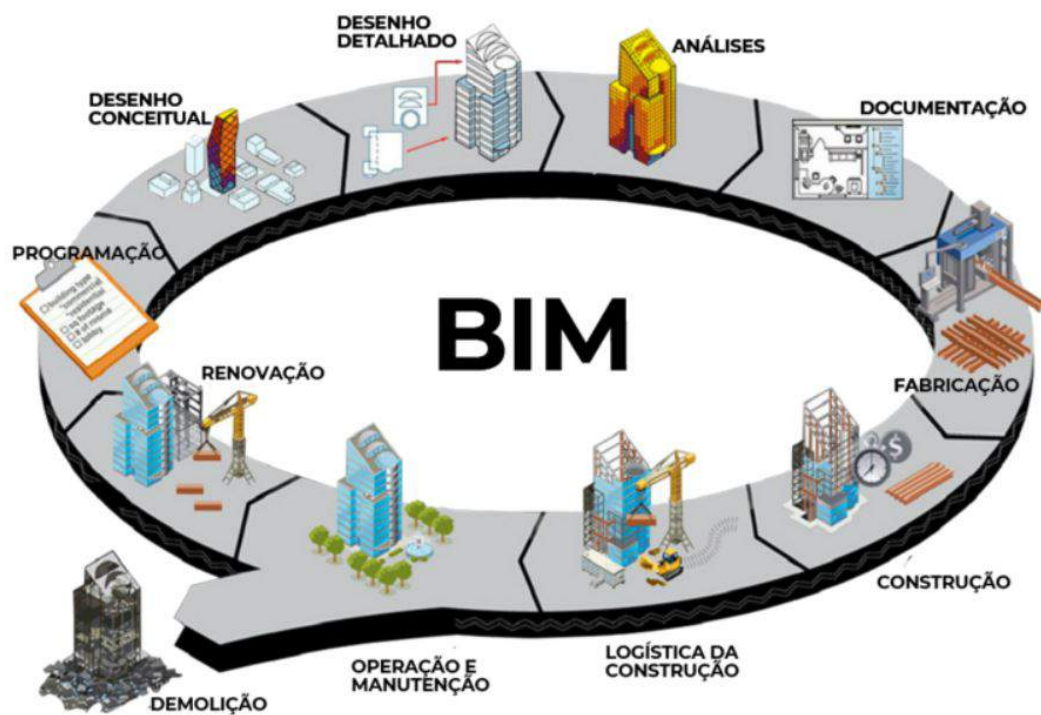


Figura 4 – Ciclo de Vida BIM (CRASA, 2020)

Gerrish et al. (2017) definem a plataforma BIM como um processo sistemático de gerenciamento de disseminação de informações holísticas durante todo o desenvolvimento e operação do projeto de construção, conforme ilustrado acima, e que possibilita o intercâmbio, implementação e utilização de metadados em torno de um modelo tridimensional, dando suporte a múltiplas funções para diversas partes interessadas no processo de construção e operação.

Segundo Azhar, Brown e Farooqui (2009), o BIM representa o processo de desenvolvimento de um modelo para simular o planejamento, construção e operação de quaisquer projeto ou instalação, sendo o modelo resultante uma representação digital rica em dados, orientada ao objeto, inteligente e paramétrico, a partir da qual visualizações e dados apropriados às necessidades de vários usuários podem ser extraídos e analisados para gerar informações que podem ser usados para melhorar o processo de entrega das edificações.

Para além destes, os modelos permitem que informações multidisciplinares sejam

disponibilizados em um único modelo, incorporando dados estruturais, mecânicos, elétricos, hidráulicos e de iluminação. Ainda, auxilia os proprietários a visualizar a organização espacial do edifício, e entender as sequências das atividades de construção e duração do projeto (JALAEI; JRADE, 2014).

Destaca-se, por Nizam et al. (2017), que o BIM é um dos desenvolvimentos mais promissores na Arquitetura, Indústrias de Engenharia e Construção (AECO), sendo uma representação de características físicas e funcionais de uma instalação e um recurso de reconhecimento compartilhado, de modo que se obtenha informações sobre uma instalação, formando uma base de dados confiável para decisões durante seu ciclo de vida.

Pode também ser descrito como uma tecnologia e um conjunto de ferramentas que consistem no processo de geração, armazenamento, gerenciamento, troca e compartilhamento de informações de construção entre partes interessadas no projeto que aumentam a produtividade e os requisitos de saída (SABRI; BIDIN; BOHARI, 2018).

No que diz respeito às diferenças entre a utilização da plataforma BIM e de um simples *programa* de modelagem 3D, destaca-se, segundo Menezes (2011), a capacidade de gerar objetos paramétricos, que podem ser alterados automaticamente e dão suporte a plataforma, onde, sem esta característica, seriam apenas mais um modelador de objetos tridimensionais.

O mais antigo conceito que se conhece hoje como BIM é o protótipo do “*Building Description System*”, publicado em um extinto jornal americano intitulado *AIA Journal*, por Charles M. Chunk, em 1975, enquanto a terminologia *Building Information Modeling* foi adotada há, pelo menos, 15 anos. Ainda, podemos destacar que:

Esse trabalho incluiu noções de BIM, hoje em dia rotineiras, tais como derivar seções, planos, isométricos ou perspectivas com base em elementos anteriormente modelados; evitar o redesenho, uma vez que as alterações são atualizadas automaticamente em todos os desenhos derivados; possibilitar o acoplamento direto da análise quantitativa à descrição dos materiais durante a modelagem, com estimativas de custo ou quantitativos de materiais sendo facilmente gerados, enquanto alimenta um banco integrado de dados; gerar código automatizado para checagem da edificação na prefeitura ou no escritório de arquitetura; facilitar a tarefa dos empreiteiros de grandes obras, no tocante ao usufruto de vantagens como agendamento e encomenda de materiais. (MENEZES, 2011, p. 156).

Trabalhos e pesquisas semelhantes ao de Chunk foram desenvolvidos durante o final dos anos de 1970 e início de 1980, na Europa, Reino Unido e Estados Unidos, paralelamente aos primeiros esforços do comércio para ampliação desta tecnologia na comunidade

acadêmica e em escritórios de arquitetura e engenharia. Muitos dos comportamentos e funcionalidades atribuídos às gerações atuais dos softwares de criação e modelagem, como o *ArchiCAD*, *Autodesk Revit*, *VectorWorks* ou *DigitalProject*, contaram com contribuições referentes às metas de seus projetos, anteriormente realizados por programas comerciais mais antigos, como o *Architrion*, *Brics*, *Master Architect*, dentre outros (MENEZES, 2011).

Para que se implantasse esta nova tecnologia no ambiente de trabalho, subdivide-se, por Andia (2008), entre três principais fases, sendo a primeira durante a transição do 2D-CAD para o 3D-BIM, onde um número significativo de modelos BIM eram criados depois de uma parte considerável da documentação da construção já ter sido produzida. Em seguida nos escritórios de arquitetura, onde começavam a coordenar os modelos BIM, e por fim as empresas que controlavam os banco de dados, onde iniciou-se a transformação de uma estrutura de método tradicional para taxas de concepção de faturamento (5D-BIM), ou seja, as empresas que controlavam o modelo BIM eram capazes de cobrar mais nos estágios iniciais do projeto que na fase de documentação.

No âmbito nacional, foi a partir dos anos 2000 que o BIM ganhou maior atenção, principalmente nos escritórios de arquitetura, no segmento de projetos em sua etapa inicial de modelagem. Porém, pela falta de bibliotecas nacionais e de uma cultura de trabalho em equipe, ainda existem dificuldades na atual fase da experiência brasileira (MENEZES, 2011).

4.1 ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO ATRAVÉS DA PLATAFORMA BIM

Os projetos de construção estão se tornando mais complexos e difíceis de gerenciar, e a medida que a tecnologia se desenvolve, mais profissionais estão se familiarizando com o BIM, que levou a indústria da construção a uma mudança dramática na atenção do conceito. O fato da plataforma poder ser utilizada para modelar edifícios e analisar virtualmente diversos aspectos, antes que possam ser erguidos no local, tornou-se um dos pontos mais importantes, que podem ser observados posteriormente nesta pesquisa (ABANDA; BYERS, 2016).

Para promoção da sustentabilidade, segundo Khan e Ghadge (2019), podemos destacar três principais núcleos em que o BIM se encontra:

- Sustentabilidade social: criando comunidades sustentáveis e fornecendo ferramentas para melhorar operações de construção em aspectos como economia de água, redução do uso de energia, desenvolvimento industrial, reciclagem, mudança climática e redução de resíduos de construção;
- Sustentabilidade ambiental: promove uma precisa decisão do controle ambiental

em todo o ciclo de vida de uma edificação;

- Sustentabilidade econômica: garante financeiramente a viabilidade, reduzindo desperdícios, aumentando a produtividade, melhorando as decisões técnicas e obtendo a precisão de custos durante todo o ciclo de vida de um projeto.

Como o desempenho energético está diretamente ligado às questões de sustentabilidade, alguns *softwares* podem ser utilizados independente do BIM, enquanto outros podem ser integrados a ele antes de executar análises energéticas. No contexto da construção de simulação de energia, os recursos disponíveis para auxiliar o usuário a obter uma edificação eficientemente energética são amplos, contudo, a análise é frequentemente complexa, apesar do caráter integrativo incorporado ao BIM, que permite informações coordenadas e confiáveis sobre o objeto de estudo (KHAN; GHADGE, 2019).

O BIM pode desempenhar um papel fundamental na análise e determinação do consumo de energia em edifícios existentes, tendo um efeito importante na exatidão das estimativas. Como o BIM é uma plataforma para estimar informações precisas de construção, ele pode ser usado para prever o desempenho energético e possíveis soluções redutivas de consumo, propondo alternativas, analisando e comparando o desempenho de edifícios para essas melhorias de modelagem (HABIBI, 2017).

Ademais, a metodologia de validação em programas de simulação validados pela ASHRAE 140, como os que englobam a plataforma BIM, compõem-se em uma combinação de três tipos de testes, sendo os comparativos, a verificação analítica e a validação empírica. Com isto, através do BIM, a simulação de intervenções no edifício resulta em soluções mais criteriosas de consumo energético passíveis de serem testadas e visualizadas por intermédio das informações e interfaces que estão disponibilizadas, fator crucial para que fosse adotada a ferramenta na análise de energia desta pesquisa (PAIVA; DIÓGENES; CARDOSO, 2015).

Para Jalaei e Jrade (2014), as opções possibilitadas pelo BIM voltam-se principalmente na exploração das diferentes alternativas de economia de energia ao longo do ciclo de vida de uma edificação, sendo que na maioria dos projetos de construção, materiais e componentes são avaliados e selecionados com base em critérios funcionais, técnicos e financeiros. Consequentemente, existe uma oportunidade ideal para que as medidas de sustentabilidade e a análise de desempenho sejam integradas dentro da plataforma BIM.

Para a realização da análise energética, destacam-se programas como o Revit, que funciona com a plataforma BIM possibilitando o desenvolvimento de vários sistemas de projeto simultaneamente. De forma resumida, ele consegue automatizar a criação de plantas, cortes, elevações, maquetes eletrônicas e simulações de quantitativos de materiais de modo integrado. Como o Revit permite a criação de projetos totalmente em três dimensões, fica possível o estudo geral de uma obra de modo mais eficaz e realista, além de

conseguir examinar qualquer ponto, como instalações de água ou luz, por exemplo. Podem ser calculados os custos em cada fase da construção, conseguindo realizar um planejamento orçamentário.

Shoshan, Attellah e Haseeb (2019) definem como um dos programas desenvolvidos pela empresa Autodesk® que permite aos arquitetos e outros profissionais de construção projetar e documentar um edifício, criando um modelo tridimensional paramétrico que inclui informações de construção sobre localização geográfica, custo, características dos elementos utilizados e de fabricação. As ferramentas e os recursos que compõem o Revit são especificamente projetados para suportar a modelagem de informações da construção e seus fluxos de trabalhos, e o modelo 3D de um edifício necessário para o processo de análise de energia é criado usando este *software* (DEEPA et al., 2019).

Com intuito de facilitar o processo de transferência das informações armazenadas na construção de modelos de informações, de modo que permita-se a integração e interoperabilidade entre os modelos e outras ferramentas de análise, destaca-se o *Green Building Studio (GBS)*, desenvolvido pela *Autodesk*. Além de facilitar a troca de informações, um dos benefícios da utilização do GBS em conjunto com o Revit é a capacidade de levar descrições detalhadas de um único edifício ou de um conjunto de edifícios que podem ser importados e usados para análise e simulação de energia (JALAEI; JRADE, 2014).

O programa é capaz de simular o desempenho de um edifício, baseado em um modelo real, em termos de consumo de energia, dando resultados como o uso e custos da água, potencial de ventilação natural e de carbono, fontes de energia locais e dados meteorológicos. Além disso, é capaz de determinar as opções que podem afetar o consumo de energia da edificação. Todos os dados estão disponíveis no banco de dados, que devem conter as propriedades de construção, localização geográfica, informações meteorológicas, dentre outros (SHOSHAN; ATTELLAH; HASEEB, 2019).

Nas simulações dinâmicas energéticas, o GBS utiliza como base mecanismo DOE-2.2, que possui interoperabilidade com arquivos em formato .gbXML. Este foi desenvolvido pelo Laboratório Nacional Lawrence Berkeley, e aprovado pela ASHRAE Standard 140 e em testes de certificação em 2008. Atualmente, é um dos mecanismos de otimização mais utilizados (CHEN, 2018). Assim, quando se inicia uma simulação energética no Revit, através de um modelo virtual composto por todas os dados de propriedades térmicas da edificação em análise, é gerado um modelo de energia, que é enviado ao site do Green Building Studio, para calcular o consumo de energia, eletricidade, o ciclo de vida, as cargas térmicas, e sejam posteriormente gerados os relatórios.

Com auxílio destes programas, a maioria das informações é mais eficiente e reutilizável. Além disto, possibilita-se o benefício de análise de energia de todo o modelo, ao contrário da análise por ambientes internos, como usados hoje em dia nas demais plataformas. Somente com a utilização destes *softwares* integrados, que torna-se possível

a verificação do desempenho energético em diferentes fases do processo de construção (LAINE; KAROLA; OY, 2007; JALAEI; JRADE, 2014).

Para Asl, Zarrinmehr e Yan (2013), que utilizam como estudo de caso uma edificação padrão fornecida pelo programa em sua versão do ano de 2013, destacou-se a importância do design paramétrico e análise de energia com a tecnologia BIM para prever soluções incorporadas em projetos que minimizem o impacto da construção sobre o meio ambiente.

Analisando uma edificação de dormitórios na Universidade de Massachusetts, os autores Mostafavi, Farzinmoghdam e Hoque (2015) utilizaram o Green Building Studio para identificar o consumo de energia (eletricidade e gás natural) e verificar a os resultados dos programas em relação aos dados reais de consumo lidos pelos medidores locais. Os resultados apontaram que a utilização da tecnologia BIM para simulação alcançou uma confiabilidade de 96%, e que a definição da geometria da edificação foi muito mais fácil e precisa no Revit.

Já na simulação realizada por Picó, Jemni e Benzarti (2015), acerca de uma edificação no litoral da Tunísia, com intuito de prever a eficiência energética com o Revit, cuja principal consideração leva em conta a potencialidade do programa para obtenção dos resultados precisos e diversidade de tipologias construtivas para a análise energética.

Outro estudo simulando o projeto Casa Eficiente, uma habitação unifamiliar, implantada na cidade brasileira de Florianópolis, utilizando o Revit e o Green Building Studio, Queiróz et al. (2016) indicam algumas inabilidades dos programas, como a saída de dados para as temperaturas internas dos ambientes e os resultados pouco detalhados. Quanto as potencialidades do procedimento metodológico adotado, destacou-se a praticidade da análise para os profissionais da AECO na avaliação de edificações para o alcance de melhores desempenhos energéticos.

Utilizando o programa Revit, em um estudo de caso de um edifício de escritórios situado em Shaanxi, no noroeste da China, Zhao et al. (2016), destacam que os resultados obtidos através do programa são relativamente precisos em comparação com a análise real da eficiência energética do edifício, evidenciando a viabilidade do método. Entretanto, pontuaram que nem todos os componentes de construção são envolvidos na análise, ocorrendo uma diferença entre a análise prática, mas que não influenciam na veracidade da pesquisa proposta.

Para Abanda e Byers (2016), ao simular a análise energética de uma residência localizada na cidade de Hertfordshire, no Reino Unido, onde foram realizados uma série de testes para mensurar o impacto da orientação no uso de energia através dos programas Revit e Green Building Studio, algumas limitações do uso do BIM foram expostas, como a escolha da estação meteorológica, que costuma ser próximo da localização do edifício, a necessidade de um modelamento preciso antes de ser exportado para outros programas

para a simulação energética e a indicação do número de ocupantes nas edificações a serem analisadas.

No que diz respeito as potencialidades do BIM, os autores mencionaram que raramente tem sido considerado em estudos de simulação de energia, mas que produzem resultados compatíveis com a realidade de cada edificação.

Com a integração dos programas Revit, Insight e GBS, Ramazan e Aybek (2017) selecionaram um edifício da Universidade Antalya Bilim para determinar a eficiência energética em três cenários diferentes, através da adição de elementos de sombreamento e implantação do edifício. As ferramentas utilizadas ofereceram uma perspectiva para os profissionais fornecerem mais dados factuais para identificar melhorias e sugerir com segurança o projeto de alternativas de construção, que irão reduzir o consumo de energia.

Em outro estudo de caso de um edifício de escritórios, em que Gerrish et al. (2017) direcionaram aos projetistas e operadores de edifícios usarem o BIM para determinar a geração e manuseio eficientes de informações para o desempenho energético, que elencaram o programa Revit para o modelamento e simulação, destacou-se a falta de padrão para o monitoramento do desempenho e fornecimento de dados de energia empregando a tecnologia BIM como uma ferramenta de gerenciamento do desempenho.

Chen (2018), utilizando os mesmos mecanismos para avaliar o ciclo de vida energético de um hotel em Taiwan, salientou a eficácia prática do BIM no caso de análises de projeto de construção e o emprego do GBS como um dos programas de otimização mais amplamente utilizados mundialmente.

Para elaborar a simulação energética através do Revit e do GBS, Luziani e Paramita (2019) adotaram como estudo de caso um shopping center localizado em Bandung City, Indonesia. Algumas potencialidades dos programas foram destacadas em seu estudo, como a transição rápida do modelo Revit para o formato “gbXML”, a interface simples e fácil de usar e que não necessitam de muita entrada de dados por tudo estar conectado à nuvem.

Algumas inabilidades apresentadas foram a necessidade de conexão com a internet para o acesso à nuvem, problemas com arquivos muito grandes e o tipo de análise enxuta. Como principais conclusões, previu-se a facilidade do uso dos programas para as mais diversas áreas de estudo de forma rápida, e a possibilidade de adequações de materiais para redução do consumo energético das edificações.

Shoshan, Attellah e Haseeb (2019) realizaram a análise de energia elencando os programas Revit e GBS para a simulação energética de uma edificação da faculdade de educação em ciências da Universidade de Kirkuk. Nela, o uso dos programas para a simulação teve um papel significativo em monitorar as preocupações e procurar soluções para as estratégias construtivas que reduzem o consumo de energia.

Na metodologia apresentada por Khan e Ghadge (2019), se realizou a análise de

sustentabilidade, baseada em BIM, para um hotel localizado em Mumbai, considerando um ciclo de vida de 50 anos da edificação. Os programas elencados para que se atingisse o objetivo proposto foram o Revit, GBS e Insight. As principais conclusões do estudo foram que o BIM auxilia na melhora do desempenho do projeto, ao otimizar o consumo dos recursos disponíveis, além de resolver o problema de integração de projetos. Quanto ao GSB, indicou-se uma solução promissora para os dados de interoperabilidade, e destacam o uso dessa metodologia em estudos futuros para auxiliar na sustentabilidade da construção civil.

Quando avaliada a eficiência energética de uma livraria localizada na cidade de Thiruvallur, na Índia, Deepa et al. (2019) empregaram os programas Revit e Insight, apontando a constante evolução do método de análise de energia ao longo dos anos, e seu significado para a importância do design sustentável na arquitetura, sendo os programas adequados e modernos para auxiliar os profissionais de construção civil na promoção da sustentabilidade.

O objetivo do artigo de Hasan e Akter (2019) foi determinar a análise energética de um edifício residencial típico em Dhaka, em Bangladesh. Os resultados indicaram o alto potencial dos programas para minimização do consumo de energia na edificação, salientando suas potencialidades de aplicação em estudos similares.

Najjar et al. (2019) analisaram um edifício residencial localizado no Rio de Janeiro, Brasil, baseado no cálculo do consumo e do custo da energia do ciclo de vida, junto com a intensidade anual de uso de energia, dividida em uso de eletricidade e do uso de combustível.

Os resultados apresentados revelaram que a utilização de um sistema integrado com a otimização do BIM para avaliação do ciclo de vida é um procedimento ideal para estimar o uso e custo de energia no setor de construção e avaliar os impactos ambientais dos materiais de construção. Ainda, pode ser aplicado a qualquer tipo de edificação, de forma a identificar quais componentes do edifício geram o maior consumo de energia operacional e levar ao mais alto nível de impactos ambientais.

Gomes et al. (2020), adotaram o Revit, GBS e Insight para a avaliação do desempenho da Madeira Laminada Colada (MLC) em uma residência localizada em Balneário Rincão, no Brasil. Os autores concluem que os programas utilizados se destacaram como ferramentas de análise de eficiência energética satisfatórias, tendo em vista a utilização da metodologia para propor alternativas de projeto em quaisquer edificações.

Por fim, Amani e Soroush (2020), em uma análise energética de um complexo residencial localizado na província de Gilan, no Irã, utilizaram os programas Revit e GBS, em que destacam como uma das razões para escolher este *software* como referência são suas ferramentas para diferentes estratégias de design com uma abordagem de baixo para

cima e de cima para baixo. Dentre os resultados, apontou-se que a aplicação do BIM para modelagem e ajuste dos parâmetros pode afetar o consumo de energia e economizaria até 58,23% do custo de energia da edificação.

Percebeu-se, até então, que algumas inabilidades dos programas que foram apontadas em estudos mais antigos, ao longo da cronologia das pesquisas abordadas, eram aperfeiçoadas pelos desenvolvedores, e forneciam maiores possibilidades de análises e resultados.

A variedade de tipologias que puderam ser aplicadas para a análise energética também se destaca. Se observa que as análises foram realizadas análises em shoppings, residências, universidades, hotéis, dentre outros. Logo, evidencia-se a importância dos estudos simulados em auxílio do BIM para o desenvolvimento das pesquisas e programas, tornando-se primordial a difusão da metodologia para os futuros pesquisadores e profissionais, bem como a implantação em processos de aprendizagem voltados a redução do uso de energia e promoção da sustentabilidade não apenas na construção civil, mas em todo meio que circunda o ser humano.

4.2 DADOS CLIMÁTICOS DE JOINVILLE - SC

Antes de executar qualquer análise de energia de edificações, deve-se especificar a localização geográfica e selecionar uma estação climática mais próxima. No caso deste estudo, as residências localizam-se no norte do estado de Santa Catarina, na cidade de Joinville, que assim como todo o estado, é caracterizada pelo clima subtropical, com estações do ano bem definidas. De acordo com a ABNT (2013b), a cidade está situada na Zona Bioclimática Cinco (ZB5). Salienta-se que esta norma foi desenvolvida para Edificações de Interesse Social, porém, na ausência de uma normativa específica para edificações residenciais, se adotam como referências as estratégias passivas de conforto térmico estabelecidas como o sombreamento de aberturas, e aberturas eficientes para promoção de ventilação natural, vedações leves e refletoras, cobertura leve e isolada.

A taxa de conforto anual da cidade é significativa (40,47%), destacando os meses de maio a outubro com melhores índices, não necessitando do uso de nenhum artifício para o conforto térmico do homem nos ambientes neste período, e nos restantes dos meses ocorrem os períodos com as menores taxas (GRÜNBERG, 2014). Ainda, a autora explana que:

A carta bioclimática para Joinville demonstra que o clima é pouco homogêneo e tem estações bem definidas. O período de conforto anual é significativo, mas sofre variação ao longo dos meses, sendo baixo no 1º trimestre do ano. De maio a outubro se tem os maiores índices de conforto. A necessidade de condicionamento mecânico é recomendada em apenas 6,77% dos períodos

do ano. Sendo assim, as estratégias de condicionamento passivo sobressaem quando se trata do conforto térmico para a localidade. Tem-se o uso de alta inércia térmica e ventilação como as estratégias passivas mais relevantes para o desempenho térmico das edificações em Joinville/SC, sendo que a primeira é recomendada num total de 31,39% do período anual e a segunda em 16,80%. (GRÜNBERG, 2014, p. 83).

Assim, Grunberg e Tavares (2013) estabeleceram estratégias mais amplas para manter o conforto térmico durante o ano, apresentadas a seguir, e que auxiliam no estudo do comportamento energético:

- 16,24% de ventilação natural;
- 6,14% do uso de resfriamento mecânico, como o ar condicionado;
- 17,35% para o aquecimento solar passivo com alta inércia térmica;
- 0,63% para o aquecimento artificial;
- 11,44% de resfriamento evaporativo.

Os autores ainda destacam que a escolha dos materiais da envoltória, o uso da ventilação cruzada e proteção solar, anteriormente citados, além do planejamento da implantação pela orientação das fachadas podem minimizar o desconforto térmico e o consumo energético das edificações em seus ciclos de vida. O fator mais influente para o desempenho térmico das UH em Joinville é principalmente a composição da cobertura.

Com relação à definição da estação climática para a simulação energética de cada residência dentro do Revit, o processo é automatizado e possui a opção de "Serviço de Mapeamento da Internet", mais apropriada para análises energéticas, onde o programa incorpora o Google™Maps, para facilitar a entrada de dados de um novo projeto e a seleção do arquivo climático apropriado.

Ao inserir as coordenadas de longitude e latitude da localização de cada edificação estudada ou o endereço de cada uma, no caso desta pesquisa, conforme disponibilizado no banco de dados de Mendes (2018), o programa seleciona e calcula a estação climática mais próxima da localização do projeto, utilizando como base um banco de dados externo com mais de 4400 estações climáticas da World Meteorological Organization (WMO) derivadas do Manual de Conceitos Básicos da ASHRAE e do Servidor Climático da Autodesk disponíveis globalmente em intervalos de 12km, normalmente obtidas de localizações de aeroportos (AUTODESK, 2020).

A estação climática mais próxima é selecionada, juntamente com seus valores referentes ao clima, que podem ser visualizados através do GBS. Para maior precisão

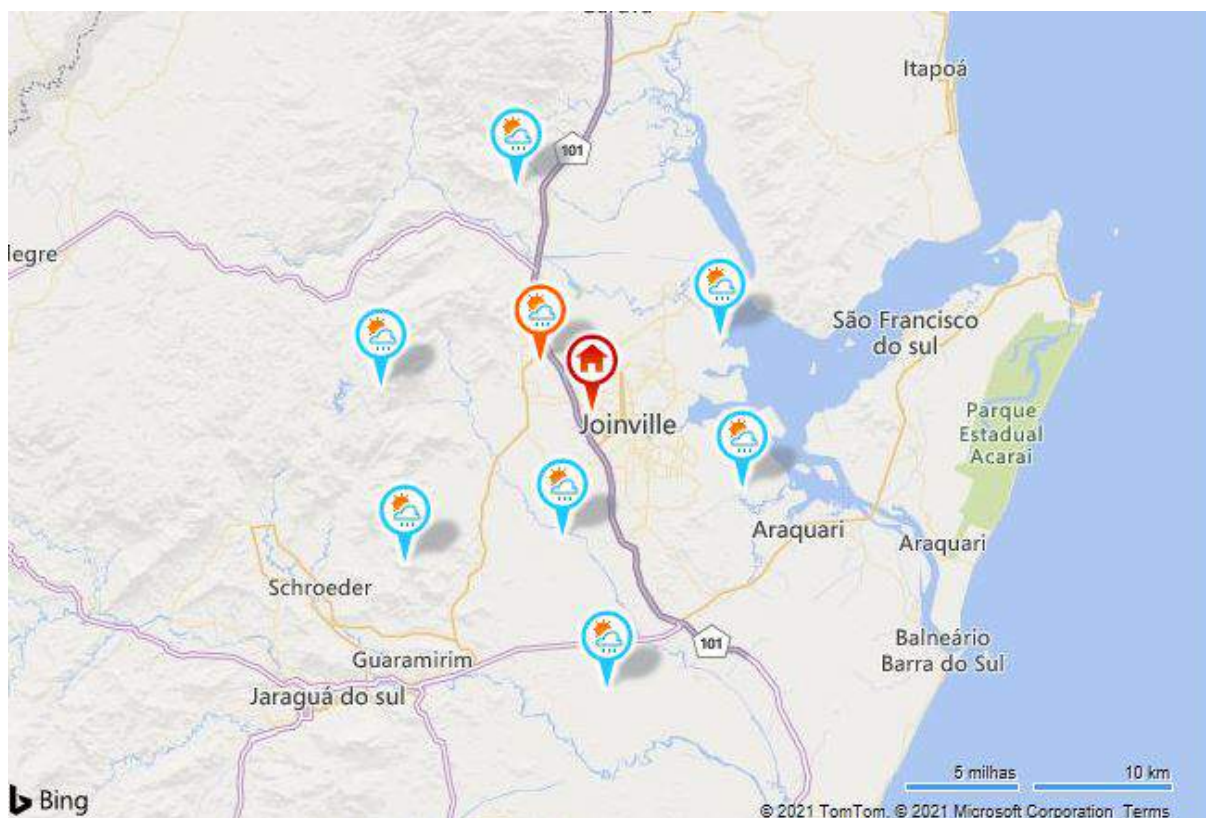


Figura 5 – Serviço de mapeamento das estações climáticas no Revit. No pino vermelho, está inserido o endereço de uma das residências. No pino laranja, a estação climática selecionada para a simulação energética. Nos pinos em azul, as demais estações climáticas mais próximas encontradas.

dos dados, o programa elenca automaticamente, utilizando a localização de cada modelo, oito estações climáticas mais próximas do endereço especificado para cada projeto, como indicado esquematicamente na Figura 5.

Para encontrar a estação climática mais próxima, o programa permite acesso a dados de estações climáticas virtuais do ano real e estações climáticas típicas, baseadas em uma média de 30 anos de dados disponíveis em formatos de arquivos como o Test Meteorological Year (TMY2), que representa uma compilação de temperaturas sem extremos de meses provenientes de diferentes anos (LAMBERTS, 2007).

No que diz respeito aos arquivos climáticos calculados, pode-se encontrar para simulações energéticas tipos de arquivo como o Test Reference Year (TRY), que abrange as variáveis de temperatura de bulbo seco, temperatura de orvalho, umidade relativa do ar, direção e velocidade dos ventos, nebulosidade, pressão barométrica e radiação solar apenas para determinado ano calculado, ou em Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA), calculados a partir de uma média de 30 anos de dados, e que fornecem arquivos em extensão TMY, com informações sobre dados de recursos energéticos renováveis para diversas regiões do mundo, comumente utilizado em programas de simulação como o EnergyPlus (SCHELLER et al., 2015) ou nas regulamentações brasileiras,

como o Método Prescritivo do RTQ-r.

A estação meteorológica fornece dados que posteriormente foram aplicados nos resultados das cargas de aquecimento e resfriamento. Em específico para as cargas de resfriamento, são utilizados dados fornecidos já pelo programa como a temperatura de bulbo seco, que é medida por um termômetro exposto ao ar, normalmente referida como a temperatura do ar, e temperatura medida por um termômetro exposto ao ar, mas protegido da radiação solar direta e da umidade; a temperatura de bulbo molhado, sendo à qual o ar pode ser resfriado com a evaporação de água no mesmo, a uma pressão constante até que esteja saturado; e a faixa média diária, sendo a média da diferença entre as temperaturas diárias máxima e mínima (AUTODESK, 2020).

Em suma, todo o processo de escolha da estação climática mais próxima a localização de cada residência é automatizada pelo programa, sem que o usuário interfira nos valores.

Scheller et al. (2015) apontam que a utilização da simulação computacional com o uso de arquivos climáticos automatizados permite definir as melhores análises de performances energéticas, sendo que a ineficácia de dados quando utilizado um arquivo climático em desacordo com a localização de um projeto pode reproduzir erros nos resultados das simulações e interferir nas análises. Os autores ainda destacam que quanto mais informações estiverem contidas em um arquivo climático, como a quantidade de dados e variáveis mensuradas, maior o nível de precisão das simulações computacionais.

5 MÉTODO

De acordo com o fluxograma estabelecido na Figura 6, com intuito da realização do objetivo proposto, partiu-se de um banco de dados provenientes do estudo de Mendes (2018), para elaboração da simulação computacional das edificações residenciais modernas em Joinville/SC.

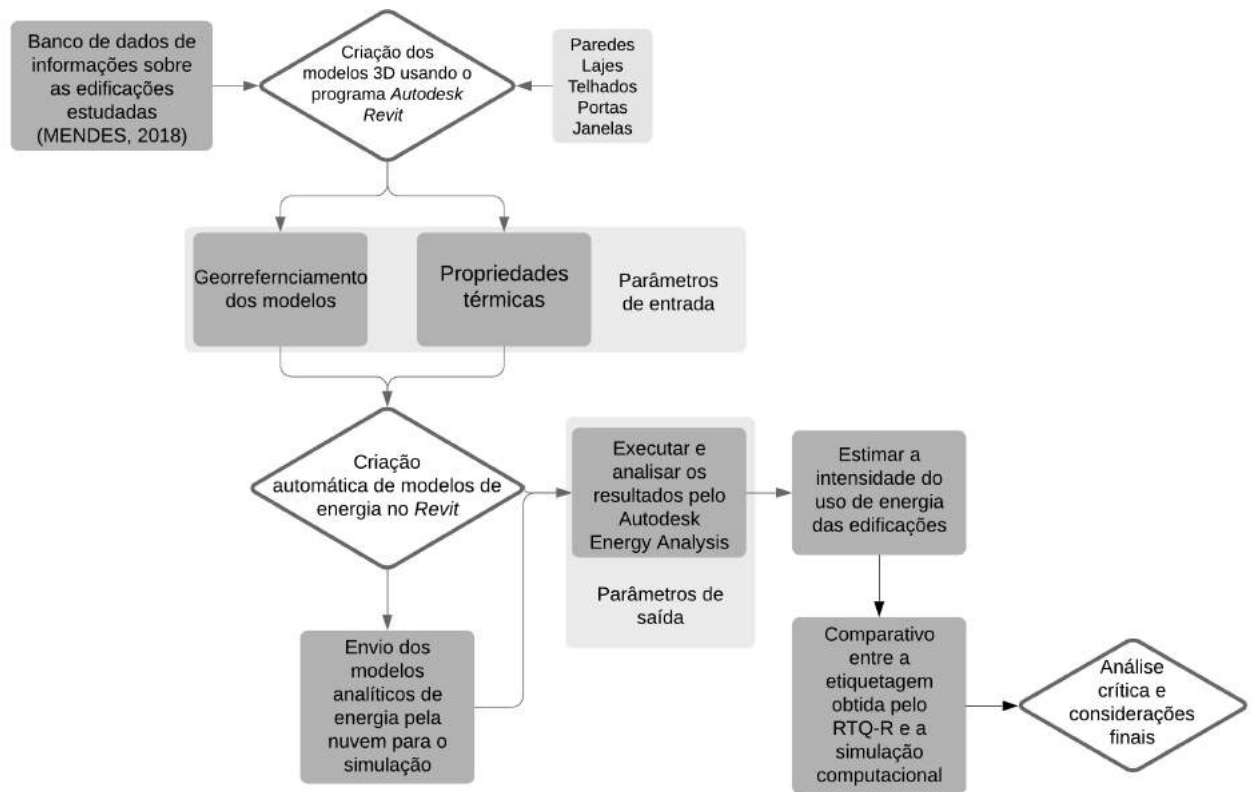


Figura 6 – Fluxograma representativo da pesquisa proposta

Deste modo, como continuidade da pesquisa, algumas informações já haviam sido anteriormente validadas para produção das análises térmicas, como as plantas baixas das edificações, características construtivas e pontuação através do método prescritivo do RTQ-R.

A partir disto, foi elaborado o modelamento das residências através do programa Autodesk® Revit 2021.2, baseado na ferramenta BIM, que se integra ao Energy Plus Versão 9.1.0, tornando possível obter os dados referentes ao consumo de energia dos modelos e as cargas de aquecimento e resfriamento, provenientes das informações apresentadas pelos programas. A seguir, descreveu-se a abordagem metodológica adotada.

5.1 BANCO DE DADOS E MODELAGEM DAS EDIFICAÇÕES

Como continuidade do estudo de Mendes (2018), esta dissertação utilizou como banco de dados todas as informações coletadas e apresentadas ao longo de seu mestrado, relevantes ao modelamento das edificações. Os desenhos técnicos das residências modernas (plantas, cortes, fachadas, detalhes, especificações, entre outros) foram adquiridos em formato DWG e em cópias físicas dos projetos originais com o autor, e alocadas no Anexo A as plantas baixas de cada residência. As informações construtivas foram coletadas de seu trabalho disponível no site de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

Mendes (2018) tinha como objetivo central a avaliação do desempenho térmico e efetividade das estratégias passivas em um conjunto de residências da arquitetura moderna de Joinville, onde selecionou as 18 edificações para observação da eficiência da envoltória (cobertura e paredes), aplicando o método prescritivo do RTQ-R. Além da análise dos projetos originais, o autor realizou duas verificações com intuito de identificar, isoladamente, o protagonismo dos elementos estratégicos no desempenho térmico da amostragem. Na primeira verificação, propôs a pintura da cobertura em cor clara. Na segunda, o sombreamento total nas aberturas originalmente desprotegidas. Por fim, na terceira verificação, destacou os recursos necessários para obtenção da etiqueta “A”. Da amostragem, ao final das verificações, 11 edificações receberam a máxima etiquetagem, enquanto outras 7 ficaram com a etiqueta “B”. A média do desempenho térmico com base no projeto original obteve uma pontuação de 2,55. Constatou que grande parte das soluções passivas para o conforto térmico não puderam ser avaliados pelo RTQ-r.

Salienta-se que os projetos foram selecionados de acordo com os aspectos formais, construtivos e teóricos do Movimento Moderno, tais quais seus traçados e eixos ordenadores, estruturas aparentes, amplas aberturas, coberturas de baixa inclinação, elementos com concreto aparente, ausência de ornamentos nas fachadas e as estratégias para conforto térmico adotadas, dando ênfase à adaptação ao clima subtropical. A seleção constou com um conjunto de 18 edificações, que datam entre 1972 e 1988.

Como citado nas revisões, no Brasil, o Movimento Moderno teve protagonistas mais novos, sendo a maioria dos projetistas, dentre engenheiros e arquitetos, nascidos nas primeiras décadas de 1920. Isto justifica o fato de que, apesar do Modernismo ser datado de 1922, as produções pelo restante do Brasil, tal qual a região sul, passaram a receber edificações modernas em um longo período posterior.

Para realização da simulação energética, levando em conta as informações apresentadas anteriormente, iniciou-se a análise com o modelamento tridimensional das edificações, tendo como apoio o programa *Revit* em sua versão 2021.1.2. A interface de trabalho do programa é dividida em várias categorias (arquitetura, estrutura, dentre outros), e através

dos comandos de cada uma, podem ser adicionados ou removidos os componentes de construção para qualquer modelo de projeto.

A partir disto, foram importadas as plantas baixas, em formato “.DWG”, baseando-se nos conceitos paramétricos e capacidades da ferramenta BIM. A modelagem das edificações buscou uma representação realista dos projetos originais, conforme as características construtivas. Além das plantas baixas, inseriu-se a altura dos pavimentos através das elevações, com o comando de níveis.

As elevações, que são planos horizontais, funcionam como referência para a inserção de elementos como piso, paredes, lajes, portas, entre outros, e são geralmente utilizados para definir a altura vertical dos pavimentos da construção. Com a definição das alturas, foi iniciada a fase de modelagem das edificações, utilizando famílias, que são grupos de elementos com características semelhantes que se encontram pré-definidas no software, e podem ser alteradas de modo que se atenda aos requisitos estabelecidos, sendo possível também a criação de outras novas (YEGANIAN TZ, 2016).

Todas as famílias utilizadas, desde paredes até as telhas, possuem a guia de propriedades, que possibilitaram a definição das especificidades de cada elemento de construção, como a espessura, a composição de materiais, altura, largura, dentre outros. Isto foi possível pois o programa permite personalizar as características dos elementos de acordo com as necessidades de cada projeto.

Além disso, foi verificada, caso a caso, se cada família utilizada oferecia parâmetros adequados à geração dos quantitativos na análise térmica. Parte considerável das famílias nativas do programa foram satisfatórias para o uso, e as que, por vezes, não atendiam aos parâmetros concordantes à fidelidade visual mínima da realidade, alternativamente, foram adquiridas gratuitamente de web-sites especializados na distribuição de objetos BIM, ou criadas de acordo com a necessidade.

Assim, a construção dos modelos seguiu sempre a modelagem do pavimento térreo, e em seguida dos pavimentos superiores que houvessem em projeto, através das categorias do programa.

Para o georreferenciamento dos modelos, como abordado na Seção 4.2, foram inseridas as localizações de cada UH de acordo com seus respectivos endereços, e selecionada a estação climática mais próxima de cada local de forma automatizada pelo programa, com base em seu banco de dados conforme explicado anteriormente.

Quando finalizado o modelamento em 3D das residências, foram selecionados todos os ambientes internos de cada edificação, categorizando de acordo com as plantas baixas inseridas no anexo desta pesquisa, com informações como a área e o volume de acordo com cada projeto original. Para a simulação energética, fez-se necessário a criação de modelos de energia para a análise do consumo de energia e determinação das cargas de resfriamento

e aquecimento.

- As residências modernas estudadas

Neste ponto, estão representados com auxílio da Tabela 2, o conjunto de edificações validados pelo estudo de Mendes (2018), totalizando 18 edificações residenciais modernas, localizadas na cidade de Joinville, em Santa Catarina, e seus respectivos autores, entre Engenheiros e Arquitetos. Os projetos são datados entre o período de 1970 a 1990, sendo: quatro de 1972; um de 1973; três de 1974; dois de 1975; um de 1976; dois de 1977; um de 1980; e um de 1988.

Os endereços de cada uma foram necessários para o georreferenciamento e zona térmica das análises de energia. O mapeamento das residências está representado pela Figura 7. A grande maioria dos projetos está localizada nos bairros Bucarein e América, que são próximos a zona central de Joinville. Poucas residências são afastadas deste raio de abrangência, como as residências 08 e 09.

Ordem de estudo	Endereço	Autor do Projeto	Ano
01 (Seção 6.1)	R. Alexandre Schlemm, 400	Eng. Hary Nelson Schmidt	1973
02 (Seção 6.2)	R. Alexandre Schlemm, 850	Arq. Antônio Alberto Cortez	1972
03 (Seção 6.3)	R. Afonso Pena, 1097	Arq. Luis Napoleão C. de Oliveira	1972
04 (Seção 6.4)	R. Afonso Pena, 1100	Arq.Eng. Domingos Filomeno Neto	1974
05 (Seção 6.5)	R. Ministro Calógenas, 253	Arq. Zenon S. de Braga Desch	1972
06 (Seção 6.6)	R. Aquidaban, 700	Arq. Antônio Alberto Cortez	1976
07 (Seção 6.7)	R. Jaraguá, 744	Eng. Julio Cesar Osello	1988
08 (Seção 6.8)	R. Orleans, 1008	Arq. Luis Napoleão C. de Oliveira	1977
09 (Seção 6.9)	R. Almirante Jaceguay, 181	Arq. Francisco e Norma	1977
10 (Seção 6.10)	R. Conselheiro Arp, 630	Eng. Hary Nelson Schmidt	1974
11 (Seção 6.11)	R. Miguel Couto, 133	Eng. Nobuo Fukada	1972
12 (Seção 6.12)	R. Pernambuco, 115	Alvaro Gayoso Neves	1972
13 (Seção 6.13)	R. Lajes, 900	Arq. Luis Napoleão C. de Oliveira	1972
14 (Seção 6.14)	R. Aquidaban. 490	Arq. Antônio Alberto Cortez	1974
15 (Seção 6.15)	R. Euzébio de Queiroz, 73	Arq. Antônio Alberto Cortez	1972
16 (Seção 6.16)	R. Alexandre Schlemm, 50	Eng. Hary Nelson Schmidt	1975
17 (Seção 6.17)	R. Porto Belo, 250	Eng. Hary Nelson Schmidt	1975
18 (Seção 6.18)	R. Marechal Deodoro, 300	Arq. Luis Napoleão C. de Oliveira	1980

Tabela 2 – Listagem e localização das residências estudadas

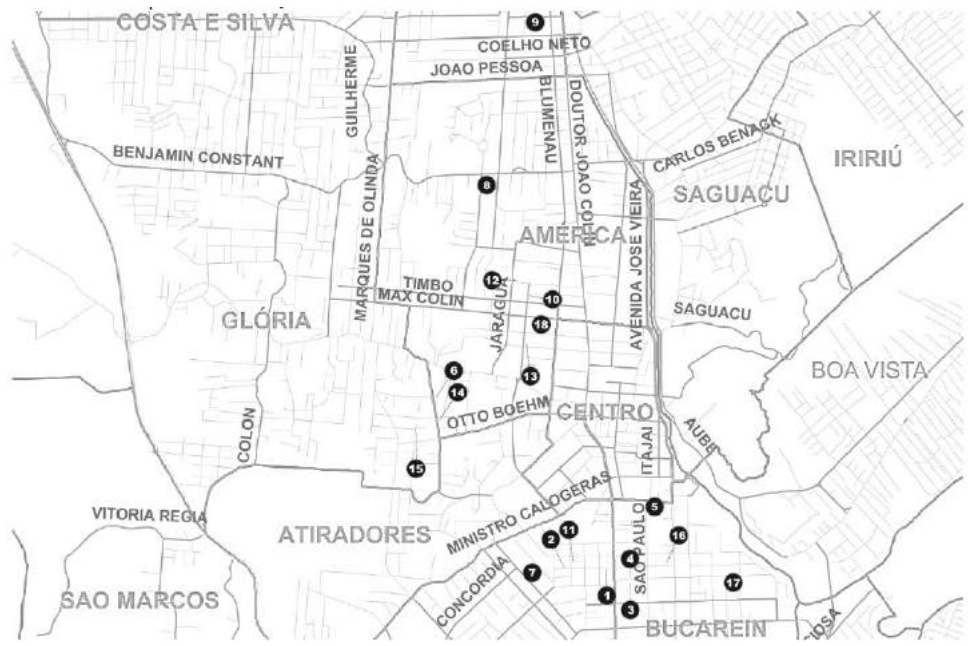


Figura 7 – Mapeamento das edificações elaborado por Mendes (2018) adaptado do IPPUJ.

- Características construtivas das edificações

Quanto às características das UH, a Tabela 3 considera os aspectos pragmáticos (AP) como as estratégias passivas de conforto ambiental presentes, destacando o uso de venezianas na grande maioria dos projetos, geralmente caracterizadas por janelas ou portas de madeiras, aplicadas em ambientes como os dormitórios e salas de estar.

Res.	Estratégias passivas							Total
	Pérgola	Brise	Cobogó	Pátio	Muxarabi	Clarabóia	Veneziana	
01	✓	✓		✓		✓		4
02			✓	✓		✓	✓	4
03	✓			✓		✓	✓	4
04	✓			✓			✓	3
05						✓	✓	2
06						✓	✓	2
07				✓		✓		2
08	✓					✓	✓	3
09	✓		✓	✓			✓	4
10		✓					✓	2
11						✓	✓	2
12				✓			✓	2
13	✓			✓	✓			3
14							✓	1
15							✓	1
16	✓			✓		✓	✓	4
17	✓			✓		✓	✓	4
18	✓					✓	✓	3

Tabela 3 – Aspectos pragmáticos das residencias por Mendes (2018) e adaptado pela autora.

As clarabóias, em sua grande maioria, estão presente em ambientes como os banheiros e escadas, nas circulações verticais daquelas UH que possuem mais de um pavimento. O uso de cobogós era disposto em áreas externas, como próximos aos pátios e garagens, semelhante ao uso de muxarabis.

Para controlar a penetração direta de raios solares na edificação, evitando assim o calor excessivo, elementos como brises e pérgolas são utilizados com frequência nos projetos, sendo a maioria de concreto cujas dimensões variam entre 10 e 30cm de altura.

Residência	Aspectos Espaciais		Aspectos Construtivos	Pontuação	Etiqueta
	Orientação da fachada frontal	Área Construída			
01	Sul	156 m ²	20 e 10cm; 10cm; fibrocimento; 1 e 1,10m	2,86	C
02	Sul	260 m ²	20 e 10cm; 10cm; telha de alumínio; 0,80cm	3,58	B
03	Norte	195 m ²	15 e 25cm; 8cm; fibrocimento; 1m	2,30	D
04	Leste	175 m ²	15 e 25cm; 12cm; fibrocimento; 0,90 a 1,70m	2,50	C
05	Norte	511,11 m ²	15 e 25cm; inexistente; fibrocimento; 1,20cm	3,15	C
06	Oeste	221 m ²	10 e 20cm; 10cm; fibrocimento; 1 a 2,10m	2,83	C
07	Sul	576,57 m ²	15 e 25cm; 15cm; fibrocimento; 0,80 a 2,30m	3,0	C
08	Oeste	308 m ²	15 e 25cm; 10cm; telha ondulada; 1,06 e 1,91m	2,01	D
09	Norte	300,56 m ²	15 e 20cm; 10cm; telha ondulada; 1,25 e 2,40m	2,04	D
10	Oeste	156 m ²	10 e 20cm; não especificada; fibrocimento; 1,55 e 1,90m	2,07	D
11	Oeste	250 m ²	15 e 25cm; 10cm; telha cerâmica; 0,50 e 1,20m	2,76	C
12	Nordeste	232 m ²	15 e 25cm; não especificada; canaleta 90; 1,20 a 1,50m	1,67	D
13	Sul	197 m ²	15 e 40cm; 6cm; fibrocimento; 1,10 a 1,60m	2,43	D
14	Oeste	165 m ²	10 e 20cm; 20cm; alumínio; 0,10 a 1,60m	3,01	C
15	Oeste	129 m ²	10 e 20cm; não especificada; alumínio; 0,40 a 1m	2,77	C
16	Sul	123 m ²	10 e 20cm; inexistente; fibrocimento; 0,40 a 1m	1,87	D
17	Leste	135 m ²	10cm; inexistente; fibrocimento; 1 a 2m	2,34	D
18	Sul	268 m ²	15, 25 e 30cm; não especificada; fibrocimento; 0,50 a 1,60m	2,72	C

Tabela 4 – Aspectos espaciais e construtivos das residências por Mendes (2018) e adaptado pela autora.

Na Tabela 4 foram sintetizados os aspectos espaciais (AE), como área construída e a orientação da fachada frontal de cada UH, que influência diretamente nos usos finais de

energia e eletricidade de cada UH e nas estratégias de conforto muitas vezes posicionadas estrategicamente de acordo com a posição da UH no terreno.

A grande maioria das residências tem sua fachada frontal posicionada à sul, podendo ser observados que na fachada eram abrigadas as zonas sociais, como salas de estar e jantar.

Nos aspectos construtivos (AC), indica-se as espessuras de paredes internas e externas, espessura de lajes, tipos de cobertura e profundidade dos beirais. Nas coberturas, se observa - de acordo com o ano dos projetos - a maior parte das indicações referentes à telhas de fibrocimento, sejam do tipo onduladas ou canaleta 90.

As espessuras das paredes internas variavam entre 10 ou 15cm, e externas entre 15 a 25cm, podendo aparecer em alguns exemplares paredes de pedras (residência 07 e 12) ou tijolos aparentes (residência 05 e 11), de 30 ou 20cm.

Por fim, foi apresentado a etiquetagem de acordo com o método prescritivo do RTQ-r e sua pontuação considerando apenas os Ambientes de Permanência Prolongada (APP).

5.2 DADOS DE ENTRADA PARA A SIMULAÇÃO

Nesta foram abordados os principais parâmetros de entrada para realização da simulação energética do conjunto de residências modernas. Primeiro considerou-se o georreferenciamento e a zona térmica de Joinville, descritos na 4.2, que apresentou as informações necessárias para entendimento dos arquivos climáticos.

Além disto, foi discorrido sobre o padrão de uso e ocupação identificado para a simulação, bem como a definição das propriedades térmicas dos materiais da envoltória e a criação dos modelos de energia, onde foram abordados a escolha do sistema de iluminação e condicionamento de ar das edificações.

5.2.1 Propriedades térmicas dos materiais das envoltórias

A modelagem em programas que utilizam a plataforma BIM, de acordo com Yeganiantz (2016) demanda não apenas o aprendizado constante de novos comandos, mas também de uma nova forma de pensar o projeto em que o modelo digital, que está sendo produzido, representa além de uma geometria, o objeto real. Por isso, é necessário conhecimento dos sistemas construtivos aplicados e todas as informações necessárias do edifício.

Para Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a geometria é o principal fator para o desempenho e usabilidade de uma edificação, onde uma construção bem projetada utiliza elementos arquitetônicos - e a arquitetura em si - para aproveitar o máximo dos recursos naturais disponíveis - como o vento e a iluminação solar.

Para o modelamento das UH, foi aplicado o processo de integração do BIM e do conceito de eficiência energética, a fim de beneficiar o processo de análise dos projetos. Para todos os materiais, exceto o vidro, a análise de energia se baseia nas propriedades térmicas inseridas no modelo, destacando valores de:

- Espessura: definido para cada camada de cada elemento, de acordo com os aspectos construtivos dos projetos;
- condutividade térmica, calor específico e densidade: definidas para cada material selecionado;

Seguindo os comandos de edições das propriedades térmicas dentro de cada material, foram inclusas as informações de acordo com os estabelecidos pela Tabela 5. Aos materiais que não foram contemplados na norma, verificou-se em especificações de fabricantes e pesquisas relacionadas.

Material	Propriedade térmica		
	Densidade de massa aparente (ρ) (kg/m ³)	Condutividade térmica (k) [(W/m.K)]	Calor específico (c) [J/(kg.K)]
Argamassa de assentamento	2000	1,15	1,00
Concreto (bloco e parede)	2400	1,75	1,00
Reboco	2000	1,15	1,00
Tijolo cerâmico	1600	0,90	0,92
Argamassa de reboco	2000	1,15	1,00
Cerâmica	2000	1,05	0,92
Concreto (laje)	2200	1,75	1,00
Fibrocimento	1900	0,95	0,84
Gesso	750	0,35	0,84
Madeira	600	0,15	1,34
Telha metálica de alumínio	7800	55	0,46

Tabela 5 – Resumo das propriedades térmicas dos componentes construtivos (ABNT, 2013b)

Deste modo, em cada parede, cobertura, piso ou laje, foram inseridas as camadas que compõem a estrutura final, como exemplo em uma parede de 25cm de espessura, são adicionadas as camadas de alvenaria, reboco e pintura externa, com as propriedades térmicas de cada material, respectivamente.

Foi calculado através das propriedades térmicas de cada material considerando sua espessuras, a média de valores através de um valor “R”, que é representado em (m².K)/W. Este cálculo é automatizado pelo programa, que é aplicado na criação do modelo de energia de cada residência para facilitar a interoperabilidade dos modelos quando simulada a análise de energia. Alguns dos principais valores encontrados para os principais elementos construtivos analisados foram:

- Parede de alvenaria de 15cm interna: 0,1839 (m².K)/W
- Parede de alvenaria de 15cm externa: 0,1839 (m².K)/W
- Parede de alvenaria de 25cm externa: 0,2225 (m².K)/W
- Parede de tijolos aparentes de 25cm externa: 0,1928 (m².K)/W
- Laje de cobertura de 10cm: 0,1419 (m².K)/W

5.2.2 Modelos de energia para simulação

Após a modelagem da edificação e definição de parâmetros construtivos, é preciso ajustar um “Modelo de Energia”, que são formas especiais de geometria utilizadas por programas de análise energética, capazes de capturar todos os caminhos e processos de transferência de calor dos espaços internos e envoltória para a análise energética. Este modelo deve estar o mais completo e preciso possível.

Foram consideradas algumas informações que são indicados pela Autodesk (2020) para a simulação energética. Ao abrir a janela de configurações, como apresentado na Figura 8, estavam reunidos dados como a definição da localização do edifício, o tipo de construção, o nível de referência, a fase do projeto que foi simulada, a resolução do espaço analítico e da superfície analítica e a profundidade da zona de perímetro, que conduzem a informações importantes utilizadas pelo algoritmo que gera o modelo de energia para a simulação.

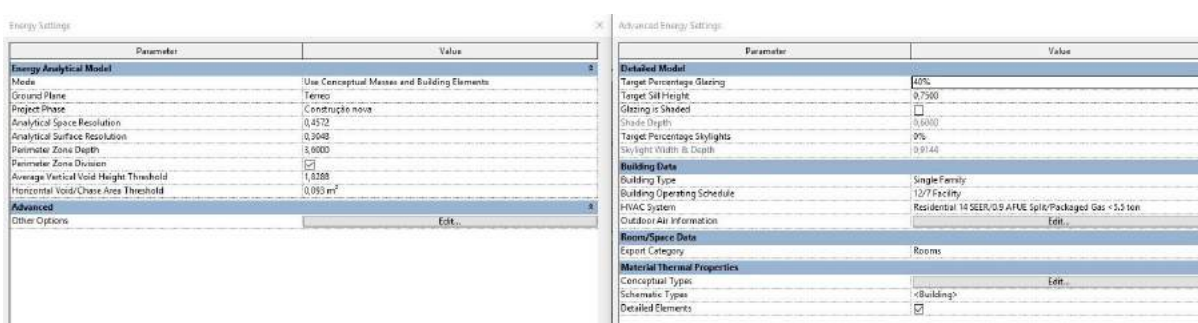


Figura 8 – Configurações do modelo de energia no Revit

Adotou-se, no Revit, o tipo de construção que engloba as massas conceituais, que são utilizadas principalmente para modelar elementos complexos e os elementos de construção, que se caracteriza, pelas paredes, coberturas, pisos e lajes, com intuito de contabilizar todos os elementos construtivos de cada Unidade Habitacional (UH). O nível de referência foi selecionado de acordo com o nível que tinha maior exposição com a superfície de contato para a transferência de calor, considerando a elevação da construção em relação ao nível do solo. O tipo de construção, apresentado na Tabela 6 referente à Edificação Unifamiliar, possui como base os dados da ASHRAE 90.1-2010, ASHRAE 90.2-2010, ASHRAE 62.1,

CBECS e outras normativas de construção. Os valores foram utilizados com o propósito de fornecer estimativas do uso de energia de acordo com a categoria selecionada.

Parâmetro	Valor
Padrão de ocupação	residencial
Pessoas//100m ²	0,945
Ganho de calor sensível a pessoas (P/pessoa)	70,00
Ganho de calor latente a pessoas (P/pessoa)	45,00
Densidade de carga de iluminação (pessoa/m ²)	4,8
Densidade de carga de equipamento (pessoa/m ²)	4,6
Fluxo de infiltração (ACH)	0,5
Ar externo (ar de ventilação) e fluxo por pessoa (litros/s)	nulo
Ar externo (ar de ventilação) e fluxo por área (m ³ /h/m ²)	1,1
Ponto definido de resfriamento de não ocupação (C)	29,4

Tabela 6 – Dados do tipo de construção de residência unifamiliar (AUTODESK, 2020)

Com relação ao padrão de uso/ocupação para as UH foi considerado como residencial. Nestes tipos, a construção e o espaço verde disponível são variáveis, onde a habitação se desenvolve em um ou vários níveis, eventualmente com subsolo ou porão destinados à acolher garagens e espaços de serviços. Ainda, as aberturas estão dispostas nos quatro lados do terreno, o que possibilita que a combinação dos espaços internos ocorra de forma extremamente livre. Este tipo de habitação foi difundido durante o Movimento Moderno, onde, até os dias atuais é o tipo de construção mais procurado. Na Figura 9, são determinados os seguintes comportamentos de acordo com os dias úteis, sábado e domingo, respectivamente.

Da fase de projeto, foi atribuído para a análise dentro do programa como uma “Construção Nova”, composto pelos elementos construtivos que permanecem no projeto sem nenhuma alteração. Nas resoluções de espaço, que afetam no modo como os espaços e superfícies são divididos para a saída de dados, a resolução máxima pode, muitas vezes, produzir resultados mais precisos, mas afetar no tempo de processamento para criação e análise do modelo de energia. Por isto, adotou-se os valores indicados pela Autodesk (2020), que produzem resultados otimizados e com boa performance, conforme mencionado abaixo.

O valor de resolução do espaço analítico, parâmetro principal que influencia na precisão e no tempo de processamento do modelo de energia, definindo a distância de folga mínima entre elementos de construção que foram ignorados na identificação de espaços internos, de 0,4572m e com relação ao de superfície analítica, responsável pela condução da habilidade do algoritmo de cálculo em encontrar superfícies analíticas individuais, de 0,3048m. É sugerida a utilização de valores altos apenas quando o modelo possuir um requerimento especial.

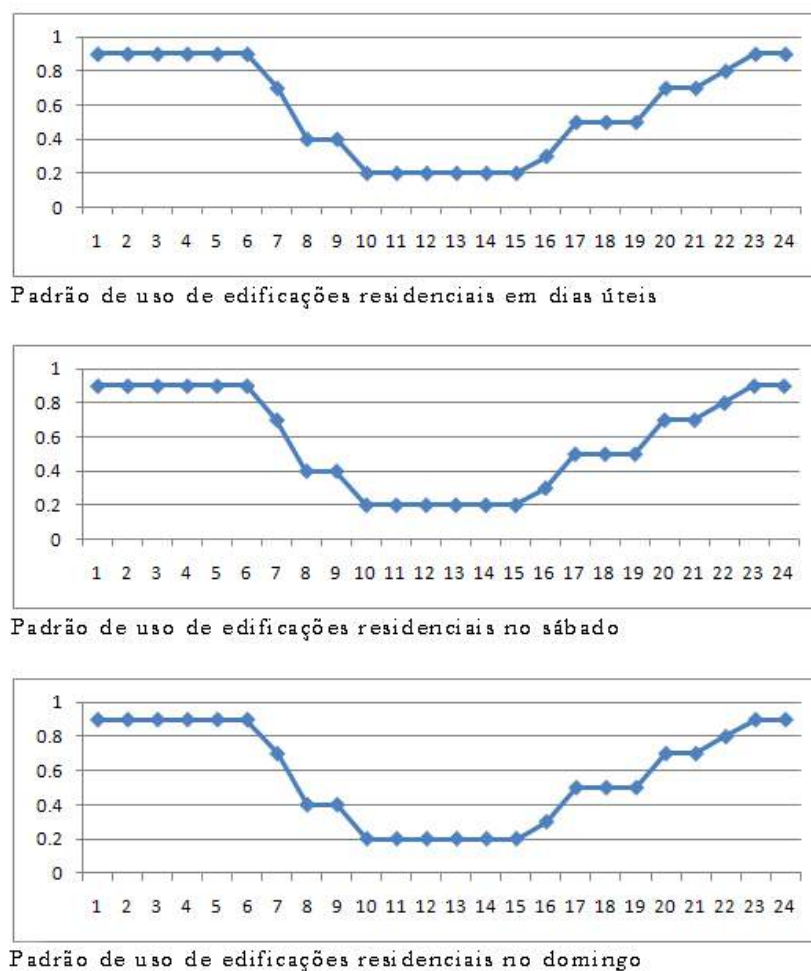
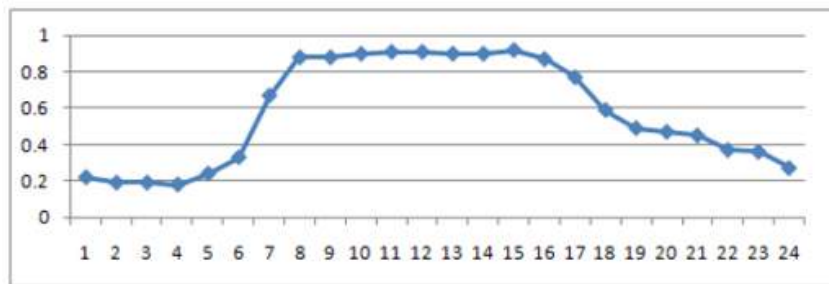


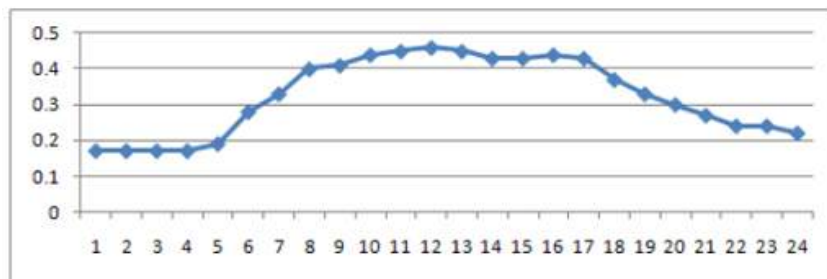
Figura 9 – Padrões de uso/ocupação para edificações do tipo residencial (AUTODESK, 2020) em horas por pessoa

Para a profundidade da zona de perímetro, que é uma parte do zoneamento térmico automático, manteve-se o valor padrão de 3,6m, e foi ativada a divisão das zonas de acordo com os ambientes internos, de modo que se obtivessem as cargas de aquecimento e resfriamento separadamente. Foram também mantidos valores padrões nas configurações avançadas, como o mínimo de aberturas de 40%, e o padrão operação da construção seguindo a norma ASHRAE 90.1 e apresentados na Figura 10, contabilizando com um padrão de operação em tempo integral todos os dias da semana.

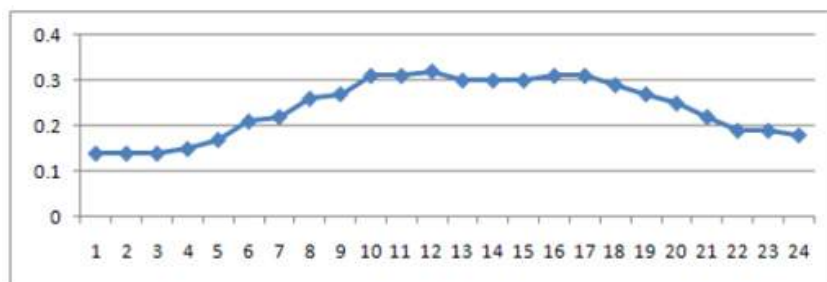
No sistema de climatização (aquecimento, ventilação e ar-condicionado - AVAC), que sofrem constante aumento de uso para aquecimento ou resfriamento das edificações e podem ser utilizados como mecanismos aptos à quantificação das cargas térmicas fundamentais para manter constantes as temperaturas de conforto e averiguar o nível de eficiência energética das residências, foi especificado o uso de ar condicionados com mini centrais de pequeno porte, caracterizado por uma unidade condensadora, a tubulação de ar refrigerado e o evaporador, que é geralmente adotado como mecanismo padrão para as edificações residenciais ao realizar a análise de energia dentro do Revit. Ressalta-se que nos projetos



Padrão de operação em tempo integral durante os dias úteis



Padrão de operação em tempo integral durante o sábado



Padrão de operação em tempo integral durante o domingo

Figura 10 – Padrões de operação em tempo integral durante os dias da semana (AUTODESK, 2020), em horas por pessoa

originais puderam ser observadas especificações de sistemas AVAC para as zonas internas. São destacadas as características mecânicas do sistema, segundo a Autodesk (2020):

- 14 SEER eficiente/fornalha de 90% AFUE <5.5 ton split/completo de sistema com aquecimento a gás;
- ventilador de ciclo de volume constante residencial
- manômetro de água de 2.0"(498Pa) com sistema de dutos de pressão estática de volume constante;
- unidade de água quente residencial (fator de energia de 0.575).

Por fim, no que diz respeito às informações de “Ambientes/Espaço de dados”, foi escolhida a aplicação dos ambientes como espaços. Em “Propriedades térmicas do material”, foi ativada a opção de elementos detalhados, onde adotou-se as propriedades térmicas

de cada elemento do modelo 3D com as alterações de valores conforme as normativas anteriormente explicadas. O modelo de energia automaticamente criado é normalmente preciso, podendo haver uma variação de 0 a 3-5% das medidas reais de cada ambiente interno da edificação, o que implica em uma saída de dados com erro máximo de 5% das dimensões originais modeladas e precisão mínima de 95% (AUTODESK, 2020).

5.3 DADOS DE SAÍDA DA SIMULAÇÃO E PARÂMETROS DE COMPARAÇÃO

Pode-se definir como principais processos para a simulação energética utilizando a ferramenta BIM: a modelagem seguindo critérios rigorosos de especificação de projeto, a definição da localização geográfica, a definição das propriedades térmicas e as demais propriedades construtivas. O que se aborda adiante está relacionado com a finalização da simulação e a visualização e leitura dos dados obtidos.

Para que a simulação ocorra, primeiramente, o usuário deve estar com sua conta da Autodesk ativa no Revit, pois o programa realiza automaticamente o carregamento no GBS e o descarregamento do relatório dos resultados quando a simulação terminar, onde o tempo necessário para obter os relatórios de usos de energia variam de acordo com o tamanho e a complexidade da edificação. Na versão do Revit 2021.2, além de acessar dados na nuvem, pode-se também ter as análises no próprio programa, com dados como as cargas de aquecimento e resfriamento, e a simulação do uso de energia anual. Este relatório é gerado pelo EnergyPlus na versão 9.1.0.

O Revit usa um fluxo de trabalho para realizar a análise, sendo este um *script* que coleta os dados, através de uma simulação que cria um relatório para aquecimento, resfriamento e fluxo de ar. As parcelas que compõem o cálculo destas cargas térmicas são pelas cargas externas, internas e de ventilação e de infiltração. Disto, os dados são dispostos através de tabelas e gráficos, com valores de cargas de aquecimento ou resfriamento, e sobre o consumo energético anual, considerando as zonas térmicas, o fluxo de ar nas edificações e o restante dos parâmetros de entradas já percorridos anteriormente.

Com o relatório dos resultados obtidos através da simulação, objetivos na comparação das etiquetas finais com base nos dados de consumo de energia para refrigeração de cada residência, tornou-se necessário elencar os parâmetros de conferência para verificação real do conjunto.

Ao comparar com os indicadores finais, de acordo com a tabela de referência percorrida na Seção 2.1, são consideradas como etiquetas finais aquelas condizentes aos valores calculados a partir dos arquivos climáticos em SWERA.

Como foi explanado na Seção 4.2 acerca dos tipos de arquivos climáticos, assume-se a utilização em SWERA como indicadores finais, devido à maior precisão e amostragem dos dados climáticos (30 anos), visto que arquivos do tipo TRY abrangem apenas um ano

de dados, e considerando algumas sazonalidades climáticas, pode-se cometer equívoco ao inserir valores de anos atípicos, como exemplo aqueles com maiores períodos de precipitações ou secas. Os arquivos climáticos em tipo SWERA são estudados e disponibilizados para as simulações energéticas de modo que os resultados são mais precisos, bem como as comparações de resultados.

No que diz respeito às cargas térmicas, que é a quantidade de calor sensível e latente que deve ser retirada (cargas de refrigeração) ou colocadas (cargas de aquecimento) no ambiente, de modo que possa proporcionar as condições de conforto desejadas ou manter as condições adequadas para a realização de atividades humanas, são calculadas automaticamente pelo programa e exibidas em forma de gráficos, para cada residência, de modo que possa ser analisado um comportamento geral da edificação com relação às trocas térmicas.

Nas cargas de resfriamento ou refrigeração, que normalmente variam com o tempo, são influenciadas diretamente pela temperatura externa, insolação, pelo número de usuários ou de equipamentos internos. O ganho de calor que é transmitido para o ambiente pode ser devido à alguns fatores como a radiação solar pelas superfícies transparentes (vidros das janelas e tipos de coberturas), a condução do calor através das paredes internas e externas, o calor gerado pela iluminação interna, motores de equipamentos internos e ocupantes, ou provido da ventilação.

Em síntese, quanto maior a carga de resfriamento em um local, significará deve-se adotar estratégias de contenção da insolação e ganho de calor especialmente da envoltória, ou maior eficácia da ventilação natural para redução de calor interno. Algumas delas podem ser encontradas nas normativas, como na ABNT (2013b), que especifica para a zona bioclimática em questão, o resfriamento evaporativo, sombreamento e ventilação natural. A maior parte do consumo de energia elétrica será para equipamentos como condicionadores de ar ou ventiladores.

No caso das cargas de aquecimento, significa que devem ser adotadas estratégias para conter o resfriamento dos ambientes internos, ou seja, perde-se calor muito rápido, proveniente da espessura de paredes, materiais empregados ou até o tamanho das aberturas em determinado ambiente, mas que deve-se atentar a permitir um mínimo recomendável de ventilação possível nos ambientes. A maior parte do uso de eletricidade será destinada a equipamentos para aquecimento dos ambientes.

Deste modo, é notório que a análise das cargas térmicas de uma edificação pode influenciar diretamente no custo do investimento, bem como no consumo de energia, interesse de análise desta pesquisa.

6 DADOS E DISCUSSÃO DAS ANÁLISES

Nas sessões seguintes constam os dados e discussões referentes às análises de eficiência energética das residências, considerando o projeto original e a etiquetagem nele baseada. Destaca-se que na Residência 01 foi apresentado as imagens das residências e a planta baixa, e nas análises subsequentes as plantas baixas podem ser encontradas nos Anexos, ao final desta pesquisa.

Não são consideradas para verificação, aqui, as etiquetagens finais de acordo com alteração de alguns parâmetros construtivos dos projetos originais, como realizado na pesquisa de Mendes (2018), mas sim colocados os demais ambientes internos das residências que não considerados para a pontuação e classificação da envoltória pelo método prescritivo, e servem como embasamento para a classificação final. Os resultados são apresentados em formas de gráficos de consumo e tabelas comparativas.

Os gráficos de usos finais totais e de consumo de eletricidade foram apresentados individualmente por UH. Quanto às cargas térmicas de resfriamento e aquecimento, são caracterizadas como que devem ser retiradas (resfriamento) ou acrescentadas (aquecimento) na edificação para promoção do conforto térmico dos usuários, e impactam diretamente no consumo energético, tendo em vista que são, em sua grande maioria, provenientes de aparelhos climatizadores para adequação da temperatura nos ambientes internos. Aos equipamentos internos, se interpreta principalmente por eletrodomésticos como televisores, sistemas AVAC, ventiladores e computadores. Como iluminação interna, elucida-se as luminárias e/ou lâmpadas (AUTODESK, 2020).

Nas tabelas comparativas de etiquetagens apenas entre os APP's e de toda a UH, se considerou como classificação final aquelas que levam em conta os dados de consumo de refrigeração obtidos à partir do arquivo climático em SWERA para a ZB5, tendo em vista que a simulação com a ferramenta BIM abrange - para o desempenho energético - arquivos desta mesma tipologia.

Ao final deste capítulo, foi realizada uma síntese das análises apresentadas, levando em conta a quantidade de edificações que permanecem com a mesma classificação, as que sofreram redução e aumento, com base no consumo de refrigeração obtido pela simulação energética em BIM. Ainda, é demonstrado a pontuação média de acordo com resultados do conjunto de residências da Arquitetura Moderna.

6.1 RESIDÊNCIA 01

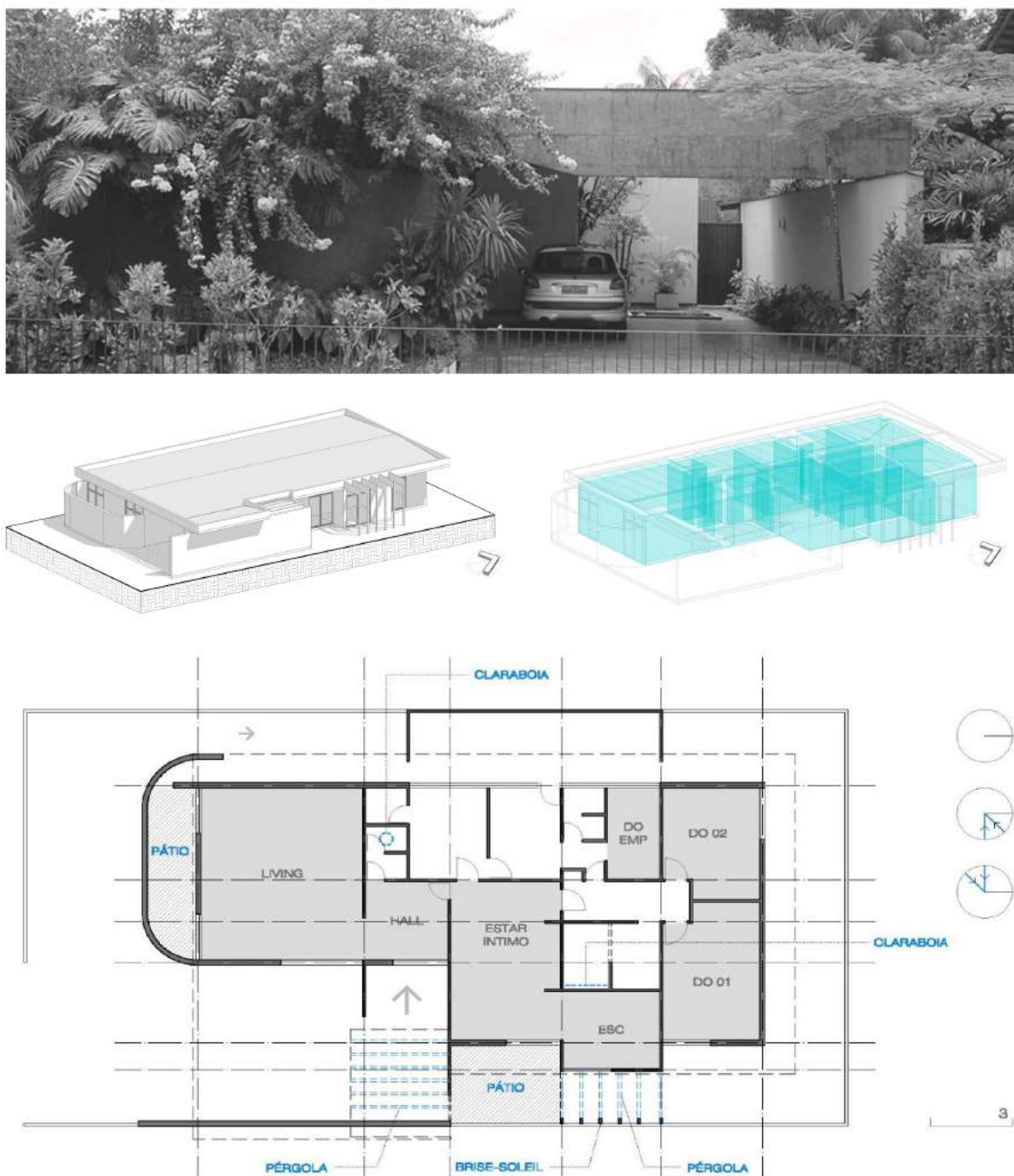


Figura 11 – Fachada da residência 01 (MENDES, 2018) e modelos 3D

A Figura 11 apresenta a UH projetada em 1972, em conjunto com o modelo 3D e o modelo de energia, resultante dos dados da simulação energética. A organização dos espaços da residência, conforme indicadas na planta baixa, mostram a disposição dos espaços em um pavimento, sendo a fachada intimista, protegida por uma parede curva de concreto, onde a ventilação ocorre com os ventos à nordeste nas estações de inverno, outono

e primavera, e durante o verão predominantemente, à leste. Nas residências seguintes, as plantas estão apresentadas no Anexo desta dissertação.

Ao realizar a simulação energética da residência, os usos finais do consumo energético são determinados principalmente pelas cargas de aquecimento, correspondendo a 57%, os equipamentos internos e iluminação interna, com respectivamente 20%, e as cargas de resfriamento, correspondendo à 4% do uso final total.

Estes dados indicam que a UH necessita, para melhor desempenho, estratégias que mantenham o calor nos ambientes internos por tempo prolongado. Os usos finais de eletricidade, por sua vez, correspondem a 50% do uso para equipamentos internos, caracterizados especialmente por televisores, ventiladores, e 50% para a iluminação interna. Os valores foram representados através da Figura 12. O consumo de eletricidade durante um ano para esta residência pode atingir 10092,65 kWh.

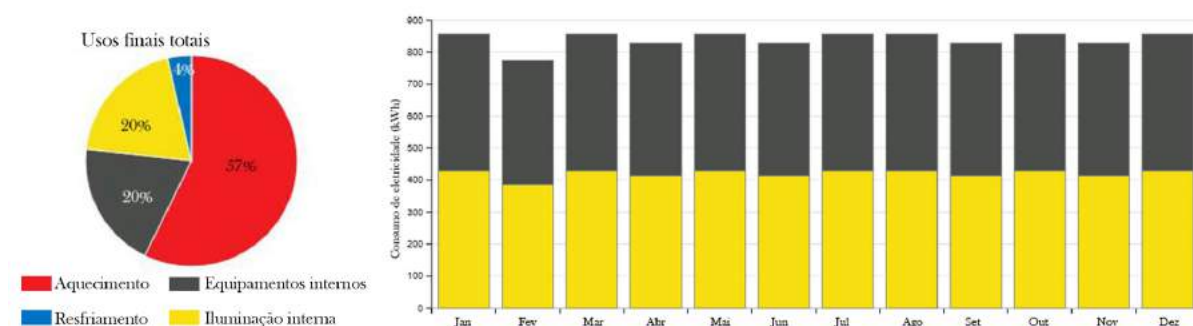


Figura 12 – Consumo de eletricidade ao ano da residência 01

- Comparativos e verificações das etiquetas

Nas comparações da etiquetagem dos Ambientes de Permanência Prolongada (APP's), quanto às cargas de resfriamento dos ambientes internos, destacou-se que aqueles demandados de melhores estratégias para manter o conforto térmico e maior eficiência energética da UH localizam-se na fachada frontal, como o *living*, e alguns ambientes à leste, como o escritório. Neste último, as pérgolas, apesar da proximidade ao ambiente, não exercem efetividade para o sombreamento, visto à disposição com a abertura e a orientação solar.

A Tabela 7 apresenta os valores obtidos e a classificação de acordo com a simulação para os APP's. Cabe ressaltar que as etiquetas consideradas computadas com base no arquivo climático em SWERA para o cálculo do consumo de refrigeração, de acordo com a ZB5, onde está situada a residência.

A verificação do consumo de refrigeração para cada APP, no que concerne aos indicadores de consumo apresentados por Eletrobras, Procel e GB3E (2012), estão sintetizados na Tabela 8. De acordo com o método prescritivo do RTQ-r, que avaliava apenas a pontuação da envoltória com os ambientes de permanência prolongada do projeto original,

APP	Área computada (m ²)	Consumo de refrigeração (C_R) (kWh/m ² .ano)	Classificação de acordo com RTQ-r	Classificação de acordo com a simulação
Dormitório 01	18,55	12,38	C	A
Dormitório 02	11,90	20,64	D	B
Dormitório Empregada	6,46	9,00	C	A
Estar íntimo	24,00	16,01	E	A
Escritório	9,00	11,71	E	A
Living	33,00	36,12	C	C
Hall	6,00	8,56	C	A
Demais ambientes	39,90	46,37	não foram classificados	D

Tabela 7 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 01

a residência obteve etiquetagem final C (pontuação de 2,86). Para a verificação da etiquetagem com base nos consumos de cada APP, a simulação demonstrou como etiquetagem B, com pontuação de 4,50.

O consumo de refrigeração total para a residência é 26,60 kWh/m².ano, estabelecendo como etiquetagem final B. Destaca-se que este aumento considera todos os ambientes, e não apenas os APP's, onde os não considerados puderam exercer um melhor desempenho energético. Outro fator importante a ser observado nesta UH, que possui forte protagonismo sobre a etiquetagem são os elementos de proteção solar (beirais e pergolados), que auxiliam no controle solar e reduzem a insolação interna, tendo em vista que a maior parte das aberturas foram posicionadas à leste e oeste pela implantação.

Classificação	Condição para SWERA (kWh/m ² .ano)	Consumo (kWh/m ² .ano)	Classificação APP (RTQ-r)	Classificação APP (Simulação)	Classificação - todos os ambientes (Simulação)
A	$C_R < 18,112$	26,60	C	B	B
B	$18,112 < C_R < 28,960$				
C	$28,960 < C_R < 38,712$				
D	$38,712 < C_R < 51,450$				
E	$C_R > 51,450$				

Tabela 8 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 01

6.2 RESIDÊNCIA 02

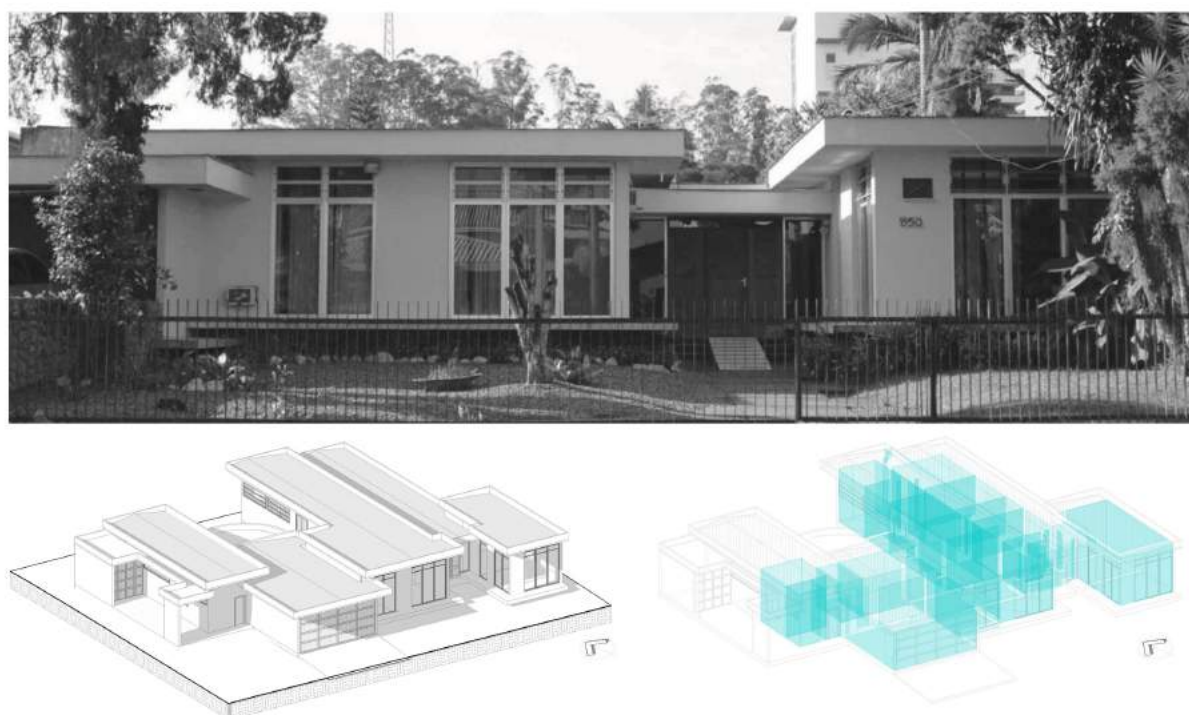


Figura 13 – Fachada da residência 02 (MENDES, 2018) e modelos 3D

A edificação projetada em 1972, está apresentada na Figura 13 com sua fachada frontal e os modelos resultantes na simulação. A principal característica é a organização dos espaços internos, pela setorização das áreas íntimas e sociais em blocos retangulares dispostos sobre o terreno na fachada localizada ao sul, e as aberturas estrategicamente posicionadas à leste e oeste da edificação. O Anexo 50 apresenta a planta baixa da UH.

Observou-se também a presença de pátios internos e de beirais de 80 centímetros de largura que permeiam toda a edificação, proporcionando sombreamento especialmente para as aberturas laterais. Mendes (2018) destacou ainda a aplicação de outros elementos como estratégias passivas de conforto, como as venezianas de madeira nas esquadrias, cobogós no pátio interno e as paredes externas com espessuras de 20 centímetros. A ventilação durante o ano é principalmente pelos ventos oeste, na primavera, e nas demais estações à nordeste.

Os usos finais de energia da edificação apontaram para o maior consumo de energia ao resfriamento dos espaços internos, que devem ser considerados elementos de contenção ao ganho de calor interno para uma melhor performance energética. Os demais usos estão divididos entre o aquecimento, e o uso de energia pela iluminação e equipamentos internos. Das cargas de aquecimento e resfriamento, 42,6% do consumo são dos sistemas AVAC, e 28,7% para iluminação e equipamentos eletrônicos, como computadores, televisões, dentre outros, respectivamente. Diante disto, o consumo de eletricidade durante um ano, em sua

totalidade, pode chegar a 17050,06 kWh, observado através da Figura 14, distribuído ao longo de um ano de referência.

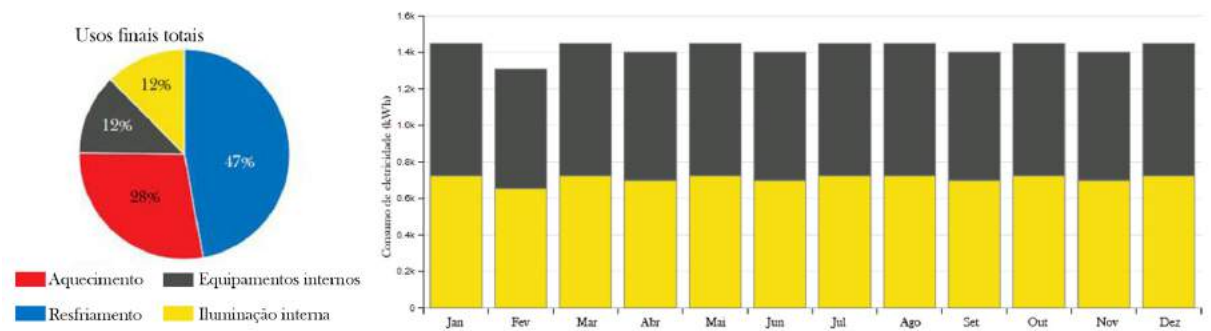


Figura 14 – Gráficos de usos de energia da residência 02

- Comparativos e verificações de etiquetas

No que diz respeito às cargas térmicas de resfriamento, destaca-se como mais propensos ao desconforto térmico e aumento do consumo energético principalmente os ambientes orientados à sul e leste. Se observarmos a carta em relação à implantação da edificação, estes ambientes estão mais favoráveis devido à insolação interna oriunda das aberturas.

Na Tabela 9 foi apresentado o consumo de refrigeração de cada ambiente com base nos resultados obtidos com a simulação e verificados com a etiquetagem do método prescritivo. A maior parte dos ambientes tem aumento de sua etiquetagem, em destaque para aqueles que obtiveram etiqueta B e que com a simulação são classificados como A. O contrário ocorre com o *living*, que sofre redução de classificação para E, e a sala de jantar, antes avaliada como B e a partir da simulação tem classificação em D, conforme seus consumos de refrigeração.

APP	Área computada (m²)	Consumo de refrigeração (C _R) (kWh/m².ano)	Classificação de acordo com RTQ-r	Classificação de acordo com a simulação
Dormitório 01	17,60	16,05	B	A
Dormitório 02	12,09	22,17	A	B
Dormitório 03	8,68	21,55	B	B
Dormitório 04	12,09	21,16	A	B
Dormitório Empregada	6,20	26,56	C	B
Escritório	9,90	16,03	B	A
Living	32,80	65,70	D	E
Estar	13,00	0,00	B	A
Jantar	25,00	40,15	B	D
Sala Costura	7,00	17,00	C	A
Demais ambientes	83,59	46,34	não foram classificados	D

Tabela 9 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 02

Classificação	Condição para SWERA (kWh/m ² .ano)	Consumo (kWh/m ² .ano)	Classificação APP (RTQ-r)	Classificação APP (Simulação)	Classificação todos os ambientes (Simulação)
A	$C_R < 18,112$	42,55	B	B	D
B	$18,112 < C_R < 28,960$				
C	$28,960 < C_R < 38,712$				
D	$38,712 < C_R < 51,450$				
E	$C_R > 51,450$				

Tabela 10 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 02

A pontuação da residência obtida pelo método prescritivo do RTQ-r considerando apenas os APP's foi de 3,58 e classificação B, que permaneceu a mesma ao considerar o consumo de refrigeração pela simulação para os mesmos ambientes - B (3,90). Entretanto, na Tabela 10 está demonstrado que, ao considerar o consumo de todos os ambientes da residência, incluindo os não englobados pelo método prescritivo, como 42,55 kWh/m².ano, e deste modo sendo considerado como classificação final a Etiqueta D.

Esta classificação é alterada devido a ambientes que, anteriormente não computados, influenciarem diretamente no consumo total. Este resultado enfatiza o discurso de que o método prescritivo do RTQ-r muitas vezes não se mostra coerente com as estratégias bioclimáticas e consumo energético das residências, conforme abordado por Dias, Pedrini e Calado (2019). Para o cálculo do método prescritivo, considerou-se apenas 50% dos ambientes da UH, enfatizando a necessidade de levar em conta banheiros, depósitos e garagem como APP's, que muitas vezes podem influenciar consideravelmente no consumo energético final. A falta de elementos de proteção solar especialmente nas fachadas com aberturas orientadas à leste e oeste na residência também demandam o maior consumo energético pelo aquecimento dos ambientes internos, como apresentado no gráfico de usos finais.

6.3 RESIDÊNCIA 03

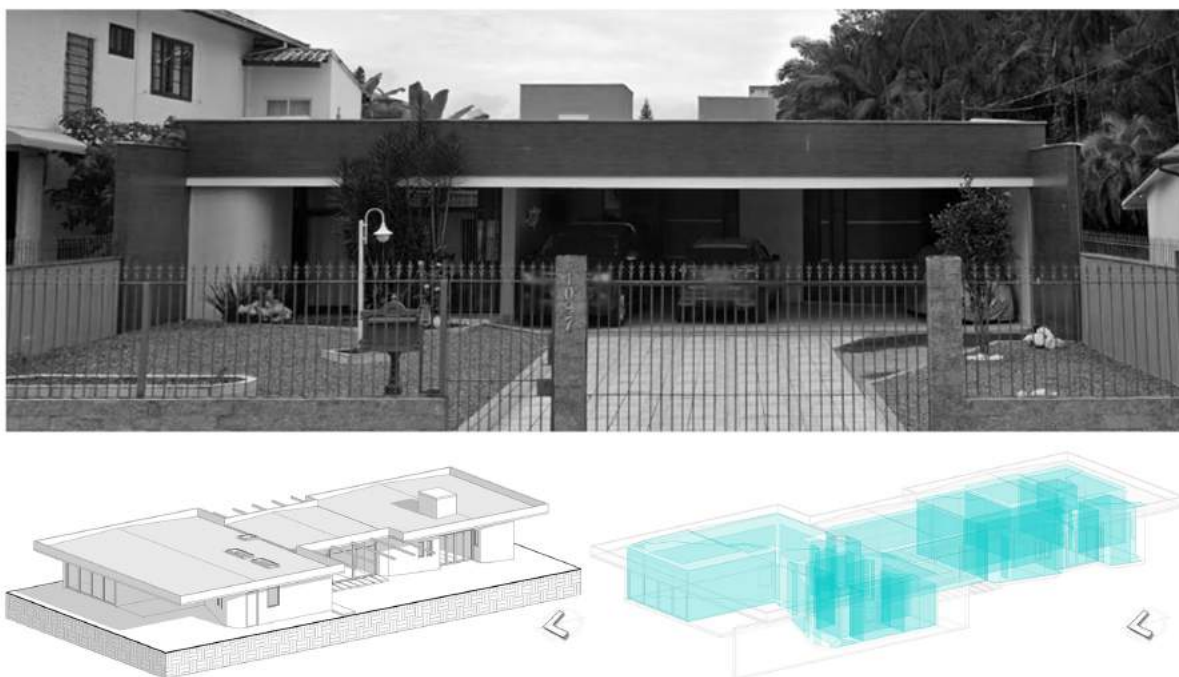


Figura 15 – Fachada da residencia 03 (MENDES, 2018) e modelos 3D

Representada pela Figura 15, a residência 03 foi projetada em 1972 pelo arquiteto Luís Napoleão Carias de Oliveira. A implantação da obra no terreno toma sua horizontalidade, onde os ambientes sociais dispõem-se predominantemente na fachada frontal, com a sala de jantar, e ambientes de serviço - a cozinha e depósitos - interligados por uma área de estar com grandes aberturas, promovendo a ventilação natural distribuída aos ambientes íntimos, dispostos em sua parte posterior, com três dormitórios, e os banheiros e um pequeno escritório (Anexo 51).

Algumas estratégias passivas de conforto são observadas, como a presença de pérgolas no pátio que circunda a sala de estar, claraboias, ventilação cruzada especialmente pelo uso de grandes aberturas nos principais ambientes e sombreamento pelos beirais dispostos ao longo de todo o perímetro da edificação.

Através da simulação pode-se constatar a relação dos usos finais de energia anuais da residência, que dividem-se entre as cargas de resfriamento, correspondendo a 49% do consumo, as cargas de aquecimento com 23% do uso final, seguido por 14% para equipamentos eletrônicos e iluminação interna, respectivamente (Figura 16). Uma melhor otimização de energia seria possível através da redução da insolação, já que a maior parcela de ganhos térmicos é pelo resfriamento, destacando que as esquadrias não possuem nenhuma proteção, senão persianas nos ambientes, que não exercem impacto significativo sobre a redução da insolação na residência.

O uso de energia é destinado a 49% para o resfriamento, 28% para eletricidade e 23% para o aquecimento. Quanto à eletricidade, é igualmente dividido entre os equipamentos internos e a iluminação interna. O consumo anual de eletricidade é calculado para 12338,17 kWh.

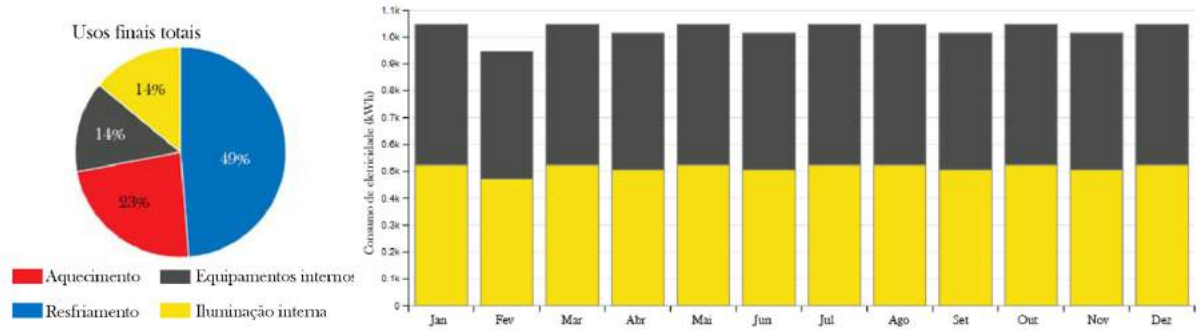


Figura 16 – Gráficos de usos de energia da residência 03

- Comparativos e verificações de etiquetagens

Com relação as cargas de resfriamento dos ambientes de permanência prolongada da UH, destacou-se que aqueles que demandam de estratégias mais eficazes para redução do desconforto térmico são as salas de jantar e estar. Esta última, apesar de possuir elementos pergolados na cobertura, não são eficazes na redução da carga de resfriamento, pois foram utilizadas com maior propósito de delimitar áreas externas propriamente para o sombreamento estratégico (MENDES, 2018).

Os ambientes que melhor respondem as cargas térmicas de resfriamento são os dormitórios, pois suas aberturas correspondem a 50% da envoltória, conseguindo ser eficazes na promoção do conforto térmico aos usuários. Com isto, foram realizadas as comparações entre as etiquetagens pelo RTQ-r e pela simulação energética, sendo a grande maioria dos APP's classificados com etiquetagem máxima (A), podendo ser observados na Tabela 11, que sintetiza as etiquetagens para os ambientes de acordo com os métodos em questão.

APP	Área computada (m²)	Consumo de refrigeração (C_R) (kWh/m².ano)	Classificação de acordo com RTQ-r	Classificação de acordo com a simulação
Dormitório 01	14,85	0,00	B	A
Dormitório 02	10,64	12,79	A	A
Dormitório 03	10,64	7,80	B	A
Dormitório empregada	4,06	7,20	C	A
Escritório	11,64	16,00	C	A
Sala de estar	59,81	46,50	D	D
Sala de jantar	32,90	71,64	D	E
Demais ambientes	23,89	22,78	não foram classificados	B

Tabela 11 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da residência 03

Classificação	Condição para SWERA (kWh/m².ano)	Consumo (kWh/m².ano)	Classificação APP (RTQ-r)	Classificação APP (Simulação)	Classificação todos os ambientes (Simulação)
A	$C_R < 18,112$	47,34	D	B	D
B	$18,112 < C_R < 28,960$				
C	$28,960 < C_R < 38,712$				
D	$38,712 < C_R < 51,450$				
E	$C_R > 51,450$				

Tabela 12 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 03

Para a classificação da envoltória pelos APP’s, seguindo os indicadores de consumo, os dados finais de acordo com o método prescritivo do RTQ-r indicavam a etiquetagem como D (pontuação de 2,30). Considerando a pontuação a partir do consumo de refrigeração, tem-se encontrado 4,00 (Etiqueta B).

A Tabela 12 sintetiza a verificação da residência 03. Com os dados de consumo de 27,65 kWh/m².ano de toda a edificação, a classificação final também foi certificada como D. Evidência-se que a pontuação do RTQ-r e da simulação abrangendo todos os ambientes não é alterada, devido aos ambientes não englobados no cálculo não possuírem consumos de refrigeração significativos, e estando a maioria orientados na fachada norte do terreno (fachada frontal), sem muitas aberturas, que não ocasionam radiação solar direta no interior e, conseqüentemente, ganho energético. O destaque maior refere-se ao consumo proveniente da sala de estar, sendo o maior cômodo da residência e que possui forte impacto na classificação final.

6.4 RESIDÊNCIA 04

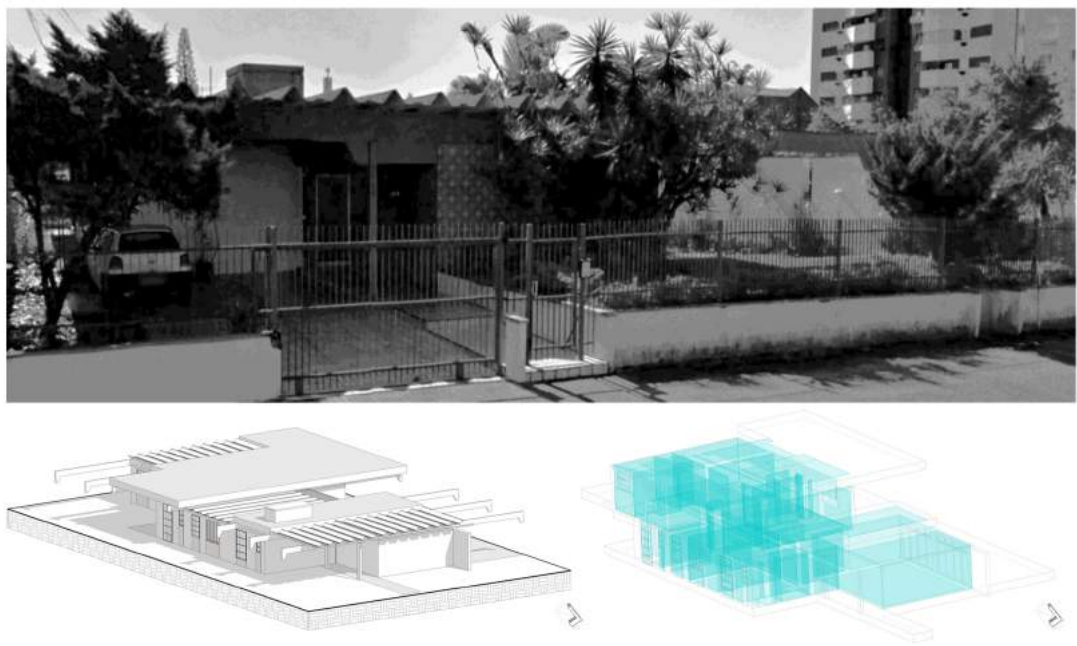


Figura 17 – Fachada da residência 04 (MENDES, 2018) e modelos 3D

A residência 04 é caracterizada apenas com um pavimento térreo tem sua fachada orientada à leste do terreno, como apresentado na Figura 17, com os modelos tridimensionais resultantes do modelamento e simulação computacional.

De acordo com Mendes (2018), o destaque desta edificação é por seu conjunto de particularidades estruturais, especialmente com as vigas que cruzam o lote em seu sentido longitudinal, e se apoiam nos muros de divisa. Estas vigas possibilitam a inserção de pátios laterais, além de serem suporte aos beirais e platibandas. Através dos eixos construtivos em planta, as paredes externas e internas seguem determinada ordenação, além da possível circulação por todos os cômodos internos através das varandas e pátios, podendo ser observados através da planta baixa no Anexo 52.

Quanto a ventilação na edificação, é dada principalmente com ventos à noroeste, nas estações com temperaturas maiores (primavera e verão), e a nordeste, durante as estações mais frias (outono e inverno).

Na Figura 18, onde se apresentam os gráficos de usos finais, destacam-se que metade dos usos de energia são ocasionados pelo aquecimento interno dos ambientes, através da relação com o ambiente externo, direcionando para a necessidade de melhor performance devem ser considerados elementos que ajudem a manter o calor interno por mais tempo nos ambientes.

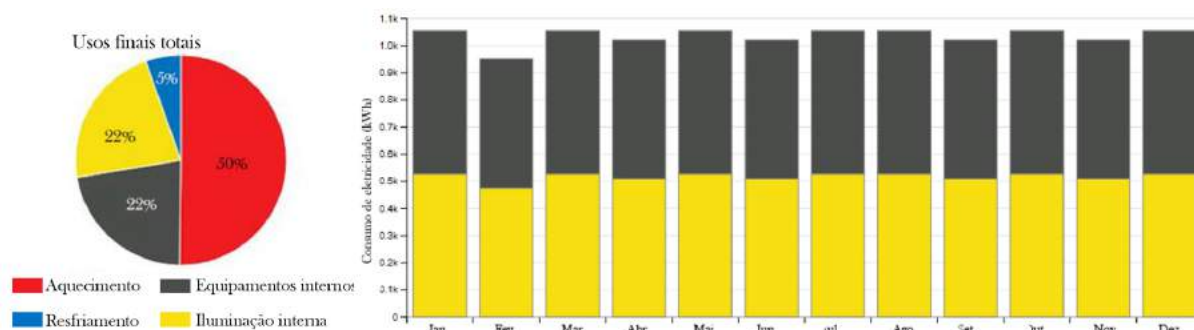


Figura 18 – Gráficos de usos de energia da residência 04

Os demais valores estão divididos para a eletricidade, com uma quantidade pouco significativa para o resfriamento da edificação, enquanto 41,3% do usos destinam-se aos sistemas AVAC, e 29,3% para iluminação e equipamentos internos. De acordo com um ano de referência, o consumo de eletricidade pode chegar em 12415,12 kWh.

- Comparativos e verificações das etiquetas

Ao comparar a etiquetagem final dos APP's, as maiores cargas de resfriamento ocorrem nos ambientes onde estão inseridas as maiores aberturas, como nas salas de estar, voltados à um grande pátio lateral. Os valores constam na Tabela 13, que aponta as cargas internas para validar a etiquetagem final real da residência.

Deste modo, a pontuação adquirida por esta residência, de acordo com seu projeto original pelo RTQ-r, foi C (2,50), determinada pelos ambientes com maiores ganhos e perdas térmicas. Na comparação apenas de APP's a etiquetagem prevalece, mas com pontuação reajustada para 3,42.

APP	Área computada (m ²)	Consumo de refrigeração (C_R) (kWh/m ² .ano)	Classificação de acordo com RTQ-r	Classificação de acordo com a simulação
Dormitório 01	15,75	27,36	B	B
Dormitório 02	15,53	17,90	B	A
Dormitório 03	20,40	32,06	B	C
Dormitório empregada	5,40	5,37	C	A
Sala de estar	32,80	85,77	E	E
Sala de estar íntimo	32,94	46,29	C	D
Copa	13,92	18,45	C	B
Demais ambientes	40,67	57,64	não foram classificados	E

Tabela 13 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 03

Na Tabela 14 se compara o consumo de refrigeração de 22,76 kWh/m².ano de toda a UH, com a condição de referência, de modo a validar a etiquetagem final da residência 04 como B. Percebe-se que os métodos podem ou não conduzir a resultados equivalentes, dependendo do cenário de avaliação, que, neste caso, acarreta em um aumento da etiquetagem final através da simulação energética, tendo em vista que foram englobados apenas dois ambientes dispostos na fachada oeste da UH, o restante dos ambientes considerados para o cálculo pelo método prescritivo estão orientados à leste, mas são amparados por elementos de proteção como pérgolas e venezianas.

Classificação	Condição para SWERA (kWh/m ² .ano)	Consumo (kWh/m ² .ano)	Classificação APP (RTQ-r)	Classificação APP (Simulação)	Classificação todos os ambientes (Simulação)
A	$C_R < 18,112$	22,76	C	C	B
B	$18,112 < C_R < 28,960$				
C	$28,960 < C_R < 38,712$				
D	$38,712 < C_R < 51,450$				
E	$C_R > 51,450$				

Tabela 14 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 04

6.5 RESIDÊNCIA 05

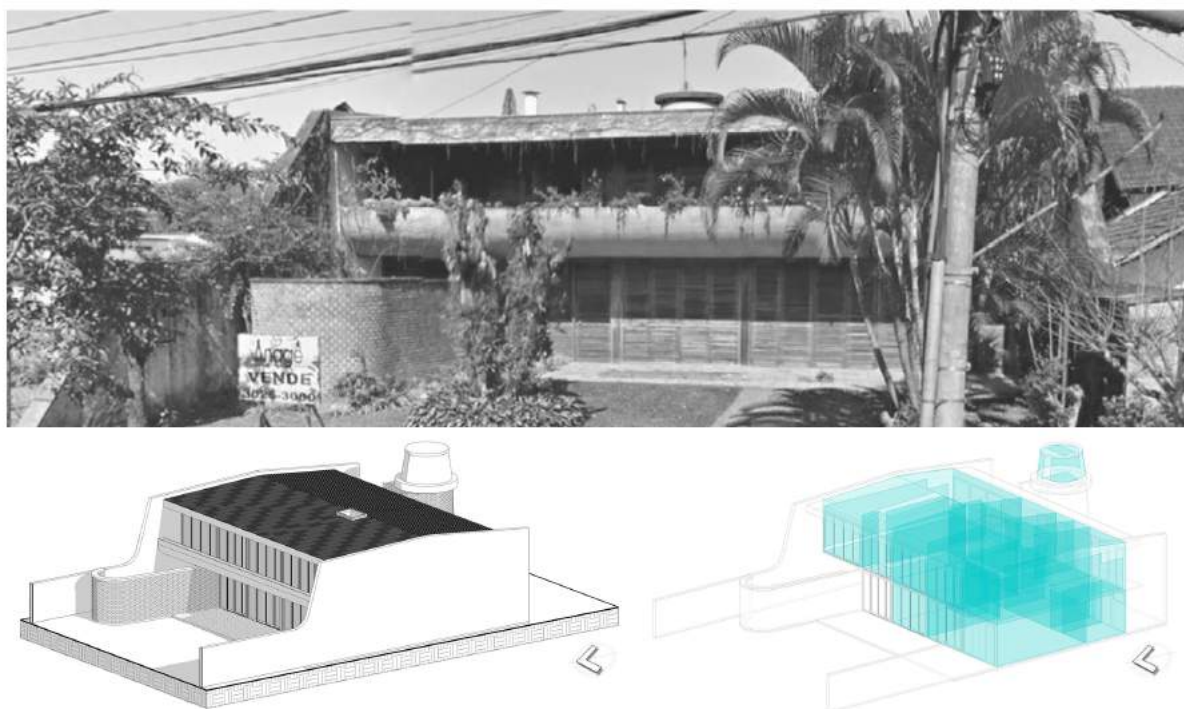


Figura 19 – Fachada da residência 05 (MENDES, 2018) e modelos 3D

Na Figura 19 está representado o modelo 3D da edificação, junto com o modelo de energia e sua fachada frontal, disposta à norte do terreno. Tendo seu projeto realizado em 1972, pelo arquiteto Zenon Segundo de Braga Desch, os ambientes estão acomodados em dois pavimentos, sendo o primeiro voltado à atividades comerciais, como uma sala de rádio, escritórios e cozinha. Já no pavimento superior, estão localizados os dormitórios, sala de estar e banheiros. A circulação vertical é caracterizada por uma escada helicoidal que se encontra em um volume cônico, junto com a caixa-d'água.

O volume da edificação permeia o terreno em seu aspecto longitudinal, com paredes de tijolos aparentes em seu exterior, e internamente com alvenaria de 15cm de espessura ou alguns cômodos sendo divididos por mobiliários, como armários. Algumas estratégias de conforto são evidentes, como a circulação cruzada, através de aberturas localizadas na fachada frontal e posterior da edificação, e uso de portas de correr em locais estratégicos para ventilação natural interna, e uso de claraboia especialmente na circulação do pavimento superior (Anexos 53 e 54).

Os usos finais totais, exibidos na Figura 20, se destinam principalmente para 41,3% no aquecimento e 25% entre equipamentos internos e iluminação, respectivamente, o que indica que para melhor performance energética devem-se adotar estratégias para manter o calor por mais tempo nos ambientes internos, de modo que se evite o uso de equipamentos aquecedores.

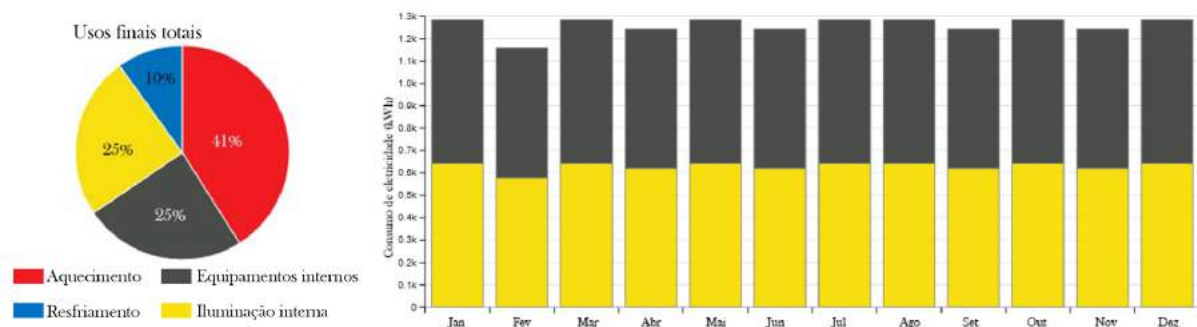


Figura 20 – Gráficos de usos de energia da residência 05

Os usos finais de energia estão destinados a 49% para eletricidade, 41% para aquecimento e apenas 10% para o resfriamento da edificação. Nos usos finais de eletricidade, são igualmente distribuídos entre equipamentos internos e iluminação. Assim, o consumo anual de eletricidade pode chegar em até 15114,59 kWh, com sua distribuição de uso durante os meses do ano.

- Comparativos e verificações das etiquetagens

Dos ambientes internos, ao realizar a simulação energética, constatou-se que aqueles com as maiores cargas para refrigeração encontram-se no pavimento superior, como a área de estar e jantar e o dormitório 01, que, por sua vez, localizam-se, respectivamente, à leste e oeste da edificação, onde há um maior ganho de carga térmica devido a falta de aberturas nas fachadas laterais da residência, já que seu volume ocupa todo o perímetro longitudinal do terreno, como descrito anteriormente.

Assim, considerando apenas os ambientes de permanência prolongada, se realizaram as verificações de etiquetagens finais com o consumo em kWh/m².ano, apresentados na Tabela 17. Foi obtida com o RTQ-r a pontuação de 3,15 (Etiqueta C). Ao levar em consideração os valores de consumo de refrigeração dos APP's, a pontuação final se elevaria para 3,83 (Etiqueta B). Esta nova pontuação foi significativa no aumento da etiquetagem, considerando que alguns ambientes permanecem com etiquetagem máxima, como o Dormitório 02 e a sala de rádio, enquanto a Sala de Estar/Jantar tem etiquetagem mínima e o Dormitório 01 verificada como C.

Na verificação final, se constata na Residência 05 o consumo de refrigeração de toda a edificação como 20,61 kWh/m².ano. Na Tabela 16 estão sintetizados os valores observados, sendo considerado como classificação final B. Mota e Cunha (2016, p.22) ressalta “que quando são considerados todos os aspectos de uso e ocupação de uma edificação, chega-se a consumos mais próximos da realidade”, enfatizando que a divergência de etiquetagem pode ser ocasionada pelo método prescritivo não avaliar todas as características necessárias para o consumo energético da UH. Sendo assim, destaca-se que do pavimento térreo desta, apenas a sala de rádio foi considerada para o cálculo no método prescritivo, e todos os

APP	Área computada (m²)	Consumo de refrigeração (C_R) (kWh/m².ano)	Classificação de acordo com RTQ-r	Classificação de acordo com a simulação
Dormitório 01	11,55	32,76	B	C
Dormitório 02	11,55	18,00	A	A
Dormitório 03	11,55	18,48	A	B
Sala de estar/jantar	39,35	59,13	B	E
Sala de rádio	5,26	8,88	A	A
Sala de costura	4,05	8,08	C	A
Demais ambientes	100,20	125,55	não foram classificados	E

Tabela 15 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 05

Classificação	Condição para SWERA (kWh/m².ano)	Consumo (kWh/m².ano)	Classificação APP (RTQ-r)	Classificação APP (Simulação)	Classificação todos os ambientes (Simulação)
A	$C_R < 18,112$	20,61	C	B	B
B	$18,112 < C_R < 28,960$				
C	$28,960 < C_R < 38,712$				
D	$38,712 < C_R < 51,450$				
E	$C_R > 51,450$				

Tabela 16 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 05

demais ambientes, especialmente as salas e cozinha não foram levadas em consideração. Estes ambientes possuem suas aberturas principalmente orientadas à norte e a sul da residência, amparados por elementos de proteção solar como venezianas e beirais, que conduzem a um bom comportamento energético, mas influenciando na classificação final.

6.6 RESIDÊNCIA 06

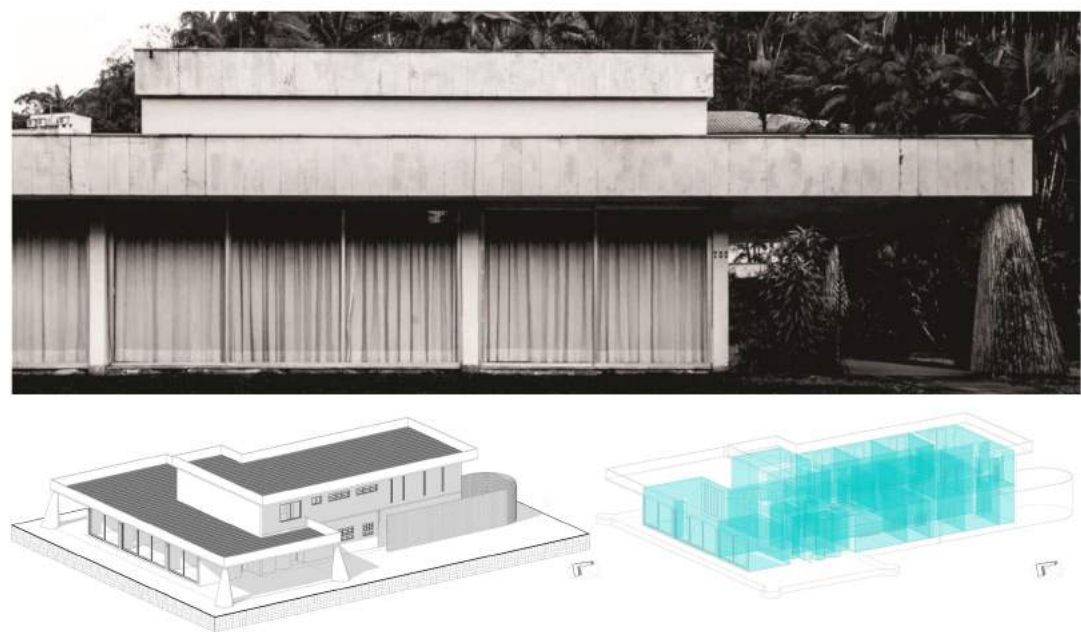


Figura 21 – Fachada da residência 06 (MENDES, 2018) e modelos 3D

O projeto, do ano de 1976, teve sua obra demolida. Através das plantas originais, observa-se que a UH dispõe-se em dois pavimentos bem setorizados, sendo o térreo destinado aos espaços para atividades sociais, e no pavimento superior as atividades íntimas. As fachada foi apresentada na Figura 21 com o modelo 3D resultante do modelamento, e as plantas baixas estão indicadas nos Anexos 55 e 56. A ventilação sobre designa-se por ventos nordeste e noroeste, sendo este último principalmente nas estações de primavera e verão.

Os principais elementos construtivos desta residência são as lajes duplas utilizadas com mesma espessura, aplicadas apenas entre os dois pavimentos, e os quatro pilares cônicos em concreto aparente que sustentam as varandas norte e sul. Das estratégias de conforto, utilizava-se cortinas para proteção solar nos ambientes da fachada, as varandas dispostas nos dois pavimentos, as aberturas internas orientadas à leste e oeste, bem como na circulação, para a iluminação e ventilação cruzada (MENDES, 2018).

Os usos finais da UH apontam que 65% do consumo reflete no resfriamento, enquanto 16% é destinado ao aquecimento interno, e demais 20% entre equipamentos e iluminação. Elucida-se, com estes valores, que a UH mantém o calor por tempo prolongado nos ambientes internos, demandado da locação de grandes aberturas em vidro sem nenhum tipo de contenção de transferência de calor na fachada oeste. Ainda, a demanda por sistemas AVAC é representada por 38,7% deste consumo, enquanto os demais 29,3% são destinados a equipamentos internos e 32,1% a iluminação. Identificou-se estes valores de acordo com a Figura 18, também apresentado o consumo de eletricidade anual, previsto para 22546,66 kWh.

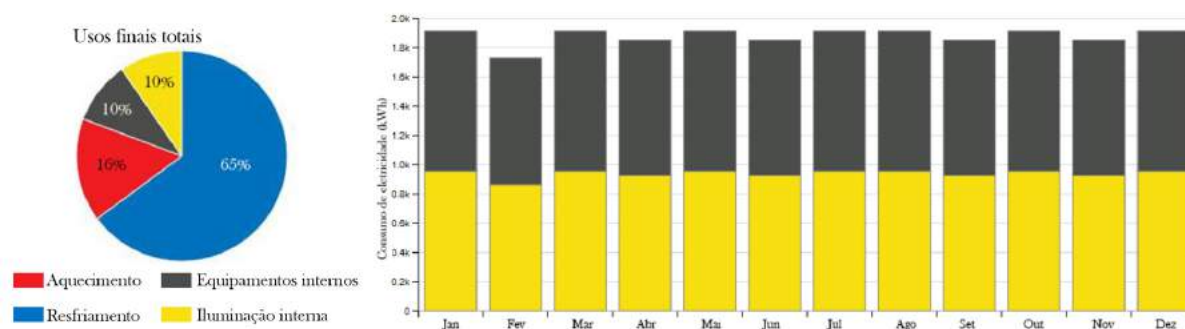


Figura 22 – Gráficos de usos de energia da residência 06

- Comparativos e verificações das etiquetagens

Nesta residência, projetada pelo arquiteto Antônio Alberto Cortez, verificou-se quantos as cargas térmicas internas, que os ambientes mais propensos a um desconforto térmico e alta demanda energética são especialmente os voltados à fachada frontal, principalmente pelas vultuosas aberturas de vidro, como o *living* e escritório, distintos dos ambientes localizados no pavimento superior, como os dormitórios, que possuem varandas

que permeiam todo o perímetro dos cômodos.

Para verificação das etiquetas dos APP's, tendo em vista as condições de referência, foram obtidos através da simulação os consumos individuais em kWh/m².ano, e comparados as etiquetas finais de acordo com a Tabela 17. É notável que a grande maioria dos ambientes tem sua classificação aumentada de acordo com o consumo, enquanto o *living* permanece com etiquetagem mínima.

APP	Área computada (m ²)	Consumo de refrigeração (C_R) (kWh/m ² .ano)	Classificação de acordo com RTQ-r	Classificação de acordo com a simulação
Dormitório 01	10,62	18,60	B	B
Dormitório 02	10,62	18,24	B	B
Dormitório 03	10,62	17,13	B	A
Dormitório 04	19,19	26,06	B	B
Dormitório hóspedes	13,69	5,70	B	A
Dormitório empregada	9,60	14,3	A	A
Escritório	12,84	25,12	D	B
Jantar	20,15	17,68	B	A
Copa	31,25	16,96	A	A
Estar íntimo	29,40	4,90	C	A
Living	53,67	72,48	E	E
Demais ambientes	119,44	227,85	não foram classificados	E

Tabela 17 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 06

Diante disto, com o método prescritivo do RTQ-r, a classificação final da residência, levando em conta os APP's, foi estipulada C, com pontuação de 2,83. Ao considerar os resultados da simulação, a pontuação obtida para os APP's é de 4,27, sendo a classificação reajustada para D.

Ao considerar todos os ambientes da residência, obteve-se o consumo de refrigeração de 49,3 kWh/m².ano, que quando comparada à condição de referência do arquivo SWERA se estabelece como classificação final da residência D. Foram considerados para o método prescritivo, apenas 46% dos ambientes da UH, e, deste modo, a etiquetagem pela simulação foi verificada em decorrência do valor de consumo considerar todos os ambientes da edificação, e não apenas aqueles de permanência prolongada.

Destaca-se que no pavimento superior, apenas um ambiente orientado à sul foi englobado aos APP's, e os demais, que possuem grandes aberturas amparadas apenas por pequenos beirais não levou-se em conta. Outro destaque é que o maior ambiente interno da edificação, caracterizado como um ambiente de lazer, disposto no pavimento térreo, aos fundos do terreno, e que possui grandes aberturas de vidro sem elementos de proteção que recebem o sol poente não foi considerado no método prescritivo. A Tabela 18 sintetiza os valores com relação as condições de referência para validação da etiquetagem final.

Classificação	Condição para SWERA (kWh/m².ano)	Consumo (kWh/m².ano)	Classificação APP (RTQ-r)	Classificação APP (Simulação)	Classificação todos os ambientes (Simulação)
A	$C_R < 18,112$	49,30	C	B	D
B	$18,112 < C_R < 28,960$				
C	$28,960 < C_R < 38,712$				
D	$38,712 < C_R < 51,450$				
E	$C_R > 51,450$				

Tabela 18 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 06

6.7 RESIDÊNCIA 07

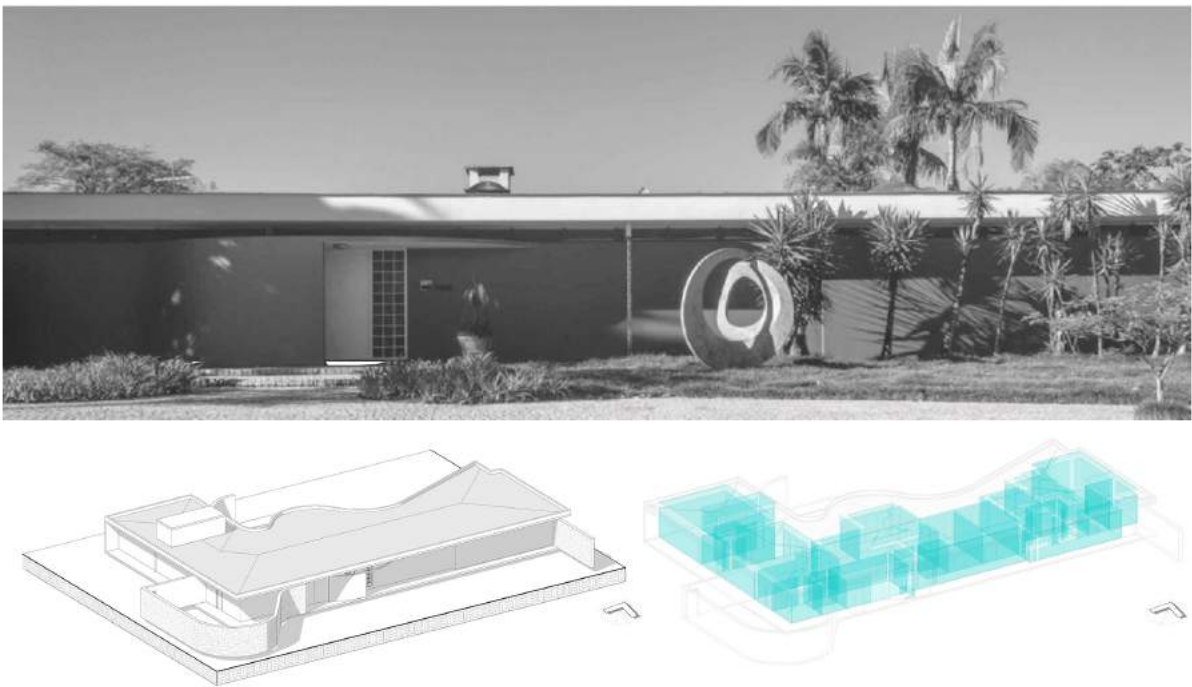


Figura 23 – Fachada da residência 07 (MENDES, 2018) e modelos 3D

Projetada por Julio Cesar Osello em 1988, a edificação representada na Figura 23 situa-se em um grande terreno de esquina, com sua fachada frontal voltada para o sul. Constituída de apenas um pavimento térreo bem aproveitado ao longo do terreno como apresentado no Anexo 57, as grandes aberturas da edificação estão localizadas à norte, sendo sua fachada predominantemente demarcada por janelas em fitas que integram o corredor de acesso interno aos cômodos.

O deslocamento de volumes dos dormitórios e sala de estar possibilitam melhor ventilação e iluminação natural nos cômodos internos, que também podem ser acessados externamente e são protegidos por um largo beiral. Além disso, algumas estratégias de conforto podem ser observadas como um pátio localizado no ambiente de estar e jantar, clarabóias nos banheiros, e paredes externas de 25cm de espessura para melhor isolamento térmico.

Dos usos finais totais da UH, 54% destinam-se ao aquecimento, enquanto outros 21% entre iluminação e equipamentos internos, enquanto apenas 4% são destinados para o resfriamento. Pode-se intervir no melhor desempenho energético quando mantido o aquecimento por mais tempo nas zonas internas. O mesmo ocorre para o uso de energia, onde a maior parte destina-se ao aquecimento externo e a eletricidade, como apresentados os valores na Figura 24. O consumo de eletricidade divide-se entre os equipamentos internos e iluminação, podendo ser utilizado anualmente até 16055,54 kWh de acordo com os dados obtidos pela simulação e apresentados através do comportamento mensal durante o ano.

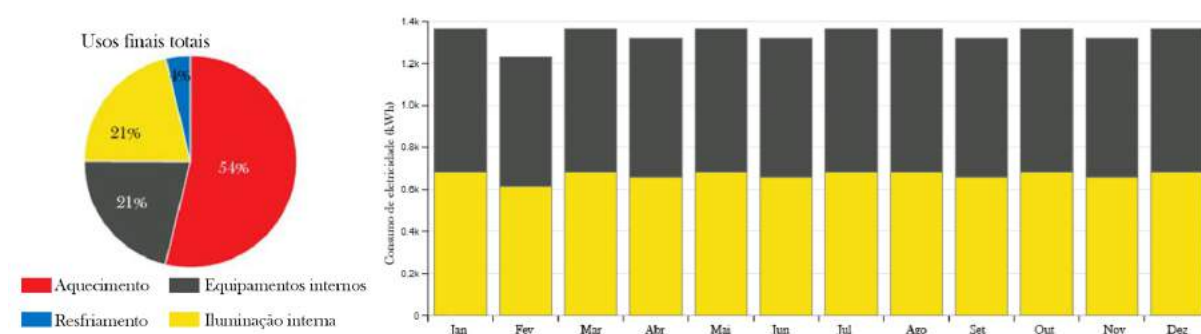


Figura 24 – Gráficos de usos de energia da Residência 07

- Comparativos e verificações das etiquetagens

Apesar de um pequeno pátio estar integrado a área de estar e jantar, o consumo de refrigeração deste ambiente acaba por ser o mais alto em relação aos demais APP's. Isto ocorre em virtude das grandes aberturas em vidros que permeiam o cômodo ao norte, sem que o beiral auxilie na redução da incidência solar determinada pela trajetória do sol ao longo do dia. Os demais ambientes possuem consumos de refrigeração favoráveis a uma etiquetagem máxima de acordo com a validação dos dados em relação a condição de referência estabelecida por Eletrobras, Procel e GB3E (2012).

Na Tabela 19, foram comparadas as classificações finais de acordo com o método prescritivo do RTQ-r e da simulação, considerando apenas os APP's. Neste caso, evidencia-se a etiquetagem máxima quando realizada esta verificação, mas que não excluem a verificação final do consumo levando em consideração todos os ambientes internos.

Sendo assim, com o método prescritivo do RTQ-r, a UH tem sua pontuação considerando apenas os APP's como 3,0, com classificação C. Conforme anteriormente apresentada com uma nova validação, a residência obteria sua pontuação de 4,62 e etiqueta A. Todavia, ao realizar a simulação considerando todos os ambientes internos, foi computado o consumo de refrigeração de 23,8 kWh/m².ano para verificação da etiquetagem final.

Em conformidade com a Tabela 20, a classificação final validada da Unidade de Habitação (UH) é considerada como B. O aumento de etiquetagem envolve a performance satisfatória dos ambientes com relação aos consumos, tendo em vista que as maiores

APP	Área computada (m ²)	Consumo de refrigeração (C_R) (kWh/m ² .ano)	Classificação de acordo com RTQ-r	Classificação de acordo com a simulação
Dormitório 01	22,49	17,23	C	A
Dormitório 02	16,73	10,34	A	A
Dormitório 03	12,23	11,28	A	A
Dormitório empregada	6,24	7,82	C	A
Atelier	32,48	28,50	A	B
Escritório	11,55	12,28	A	A
Sala de estar/jantar	44,81	31,15	B	C
Estar íntimo	11,55	12,76	B	A
Demais ambientes	63,95	53,38	não foram classificados	E

Tabela 19 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 07

Classificação	Condição para SWERA (kWh/m ² .ano)	Consumo (kWh/m ² .ano)	Classificação APP (RTQ-r)	Classificação APP (Simulação)	Classificação todos os ambientes (Simulação)
A	$C_R < 18,112$	23,80	C	A	B
B	$18,112 < C_R < 28,960$				
C	$28,960 < C_R < 38,712$				
D	$38,712 < C_R < 51,450$				
E	$C_R > 51,450$				

Tabela 20 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 07

aberturas estão orientadas à noroeste da edificação, e o deslocamento dos volumes de dormitórios proporciona sombreamento, bem como largos beirais que permeiam toda esta fachada. A presença de um pátio na sala de estar/jantar também ampara o menor consumo. Cabe ressaltar que como a fachada frontal abriga os corredores de acesso, os ambientes internos recebem uma corrente de ventilação, que promove ventilação cruzada e auxilia na redução das cargas térmicas dos cômodos, como evidenciado pelos gráficos de consumo.

6.8 RESIDÊNCIA 08



Figura 25 – Fachada da residencia 08 (MENDES, 2018) e modelos 3D

O projeto residencial, datado de 1977, dispõe a organização dos cômodos em dois pavimentos (Anexo 58), com a garagem ao nível da rua e os demais espaços no pavimento superior, como na Figura 25. As maiores aberturas da edificação estão orientadas à oeste, em grandes panos de vidro com uso de películas e de cortinas, protegidos, ainda, por beirais. Este fator influenciou significativamente na pontuação obtida pelo método RTQ-r e, posteriormente na análise do uso de energia.

As respostas adequadas ao conforto térmico na edificação podem ser destacados pelo largo beiral na sala de estar íntimo, as venezianas nas esquadrias dos dormitórios, a envoltória mais espessa à leste e a ventilação cruzada nos ambientes de estar/jantar e sala de estar íntimo/copa. Além disso, as lajes da cobertura são dispostas de acordo com as variações dos pisos (MENDES, 2018).

De acordo com os princípios passivos do projeto, o vento predominante na edificação se distribui anualmente à nordeste, de acordo com os dados climáticos obtidos pelo GBS, especialmente nas estações de inverno, primavera e verão.

Quanto usos finais anuais da edificação, na Figura 26, verifica-se que a maior quantidade de energia é atribuída ao aquecimento. O resfriamento também é significativo, visto que muitos ambientes não possuem ganho de energia suficiente para se manter dentro das adequações de conforto. Dos usos finais totais, 63,7% das cargas de aquecimento e resfriamento destinam-se aos sistemas AVAC, 20,1% ao uso de iluminação e apenas 16,3%

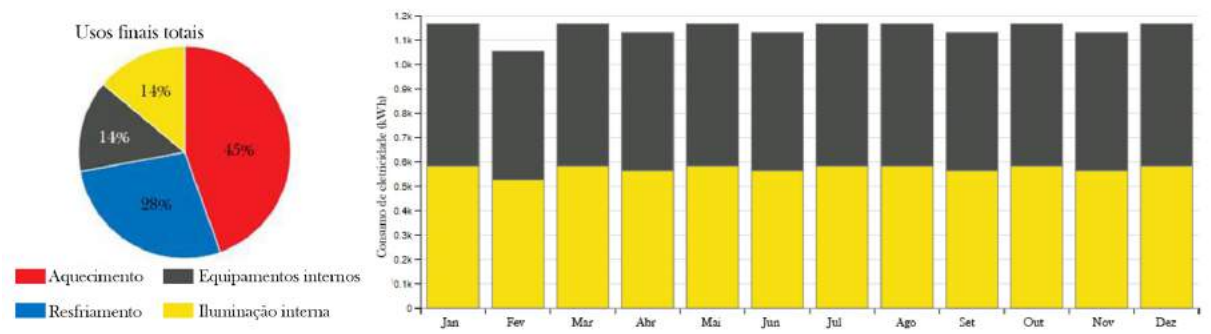


Figura 26 – Gráficos de usos de energia da residência 08

a outros usos, tais quais aparelhos eletrônicos, como computadores e televisões. O uso de eletricidade anualmente pode chegar a um consumo de 13758,47 kWh.

- Comparativos e verificações das etiquetas

Com relação as cargas térmicas, que se baseiam na quantidade de calor sensível e latente de um determinado ambiente para que seja possível proporcionar condições de conforto térmico aos ocupantes, sobressaíram-se principalmente aos ambientes voltados à leste e oeste da edificação com etiquetagem mínima - dormitório 01, escritório, estar/jantar e estar íntimo/copa. As melhores performances ficam por conta dos dormitórios 02, 03 e 04, validados com etiquetagem máxima. Os consumo de refrigeração para cada ambiente de permanência prolongada da UH está apresentado na Tabela 21, onde foi realizada a comparação das etiquetas.

APP	Área computada (m ²)	Consumo de refrigeração (C_R) (kWh/m ² .ano)	Classificação de acordo com RTQ-r	Classificação de acordo com a simulação
Dormitório 01	18,48	54,80	B	E
Dormitório 02	11,48	0,00	B	A
Dormitório 03	11,48	0,00	B	A
Dormitório 04	11,48	0,00	B	A
Dormitório empregada	8,19	29,98	C	C
Escritório/biblioteca	34,59	306,52	B	E
Estar/jantar	58,52	77,00	E	E
Estar íntimo/copa	41,28	100,24	E	E
Demais ambientes	61,61	107,05	não foram classificados	E

Tabela 21 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 08

Ao realizar a verificação final, tendo em vista que através do método prescritivo do RTQ-r a pontuação da residência de 2,01 (Etiqueta D), na simulação considerando apenas os ambientes de permanência prolongada a etiquetagem final seria atribuída C, com uma pontuação de 2,75.

Entretanto, para uma verificação aprofundada da classificação final, deve-se considerar todos os ambientes internos, que com a simulação foi obtido o consumo de 30,6

Classificação	Condição para SWERA (kWh/m².ano)	Consumo (kWh/m².ano)	Classificação APP (RTQ-r)	Classificação APP (Simulação)	Classificação todos os ambientes (Simulação)
A	$C_R < 18,112$	30,60	D	C	C
B	$18,112 < C_R < 28,960$				
C	$28,960 < C_R < 38,712$				
D	$38,712 < C_R < 51,450$				
E	$C_R > 51,450$				

Tabela 22 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 08

kWh/m².ano, classificando a residência com etiquetagem C. A Tabela 22 sintetiza estes conceitos. Ressalta-se que não houve inclusão no método prescritivo dos ambientes de serviço localizados principalmente à sul do terreno, que possuem uma demanda energética significativa, já que não recebem demasiada insolação interna e são amparados por pequenas aberturas com beirais que contrapõem-se com os ambientes frontais com grandes aberturas em vidro e elevados ganhos energéticos.

6.9 RESIDÊNCIA 09

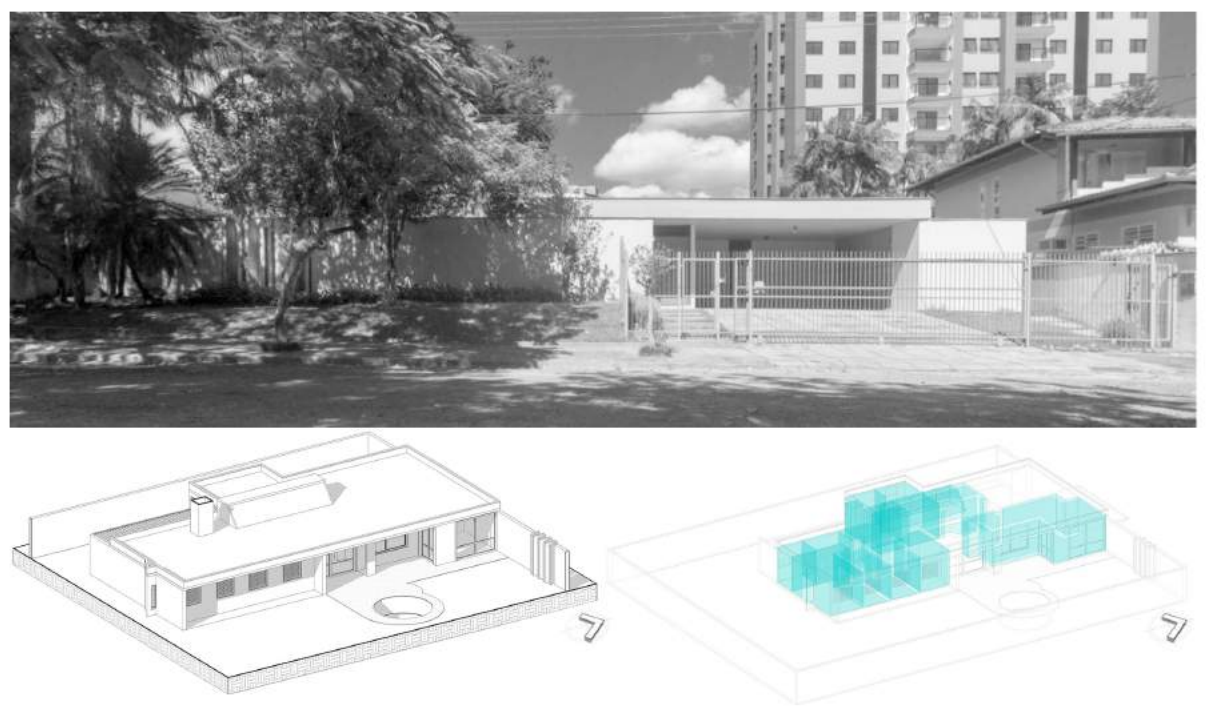


Figura 27 – Fachada da residência 09 (MENDES, 2018) e modelos 3D

Neste projeto dos arquitetos Francisco e Norma realizado em 1977, sobressaem-se algumas características construtivas passivas de conforto térmico, como em grande parcela da fachada oeste, onde estão localizados os ambientes de serviço - copa e banheiros - ser constituída por muros de cobogós cobertos com pérgolas, que permitem o controle da incidência solar internamente, assim como o controle de ventilação natural. O mesmo ocorre para a garagem, que por possuir maior profundidade, recebe iluminação e ventilação

controlada através da disposição de um segundo muro de cobogós à oeste. Considera-se que a maior predominância de ventos ocorre à nordeste e noroeste do terreno.

À leste da UH foram dispostos quatro dormitórios, interligados por uma sala de estar íntima com uma grande abertura zenital que é orientada à oeste e percorre longitudinalmente seu perímetro, interliga a sala de estar/jantar e hall de entrada, estes dispostos na fachada norte. Destaca-se que, apesar da abertura zenital proporcionar maior iluminação interna, não possui nenhuma proteção solar. Todos os ambientes, indicados na planta baixa do Anexo 59, possuem amplas esquadrias de madeira com venezianas, desenhadas exclusivamente pelos arquitetos para a UH, promovendo ventilação e iluminação interna bastante efetiva. Ainda, consta a presença de largos beirais para o sombreamento das fachadas norte, leste e sul, com exceção da copa e área de serviço, à oeste.

A volumetria, bem como a fachada frontal está representada na Figura 27, junto com o modelo de energia. Resultante das efetivas estratégias de conforto, a maior parte dos usos finais totais são provenientes do aquecimento - 72% - enquanto 12% são para o uso de eletricidade e 4% para o resfriamento, respectivamente, o que indica que a UH mantém os ambientes aquecidos por um tempo mais prolongado. Machado (2008) acrescenta que as temperaturas internas das residências atingem um grau elevado no período diurno e perdem calor mais rapidamente durante à noite devido à radiação.

Dos usos finais de energia, quanto ao uso de eletricidade, igualmente para os equipamentos internos e iluminação, o consumo anual chega em até 8977,11 kWh. Os dados estão simbolizados na Figura 28, com os gráficos de usos, e na Figura ??, com o comportamento do consumo de eletricidade ao longo do ano.

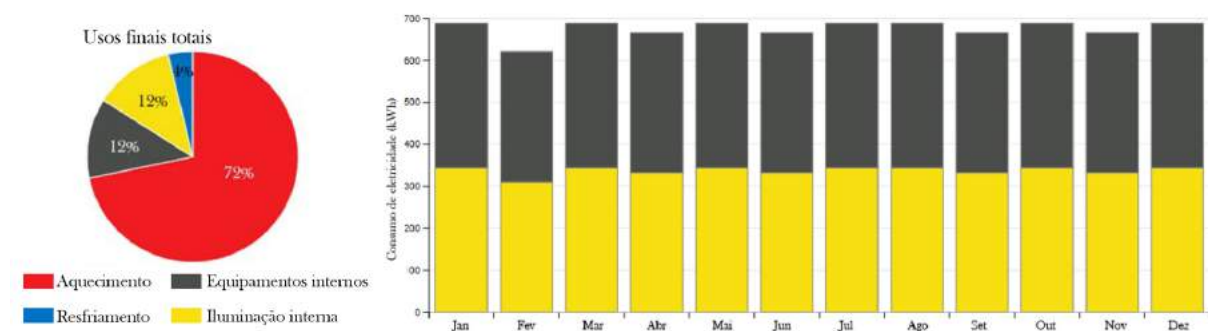


Figura 28 – Gráficos de usos de energia da residência 09

- Comparativos e verificações das etiquetagens

Os ambientes de permanência prolongada da UH são compostos pelos quatro dormitórios, o dormitório de empregada e as salas de estar social e íntimo. Quando calculada as etiquetagens finais para cada APP, as mais baixas foram atribuídas aos ambientes de estar, que encadearam em um resultado da envoltória D (2,04). Foi realizada a comparação de etiquetagens com o consumo de refrigeração obtido através da simulação

na Tabela 23, onde estes ambientes permanecem com as etiquetas mais baixas, porém reajustando os demais APP's para a etiquetagem máxima.

APP	Área computada (m ²)	Consumo de refrigeração (C_R) (kWh/m ² .ano)	Classificação de acordo com RTQ-r	Classificação de acordo com a simulação
Dormitório 01	21,60	0,00	B	A
Dormitório 02	12,56	8,44	A	A
Dormitório 03	12,56	10,46	A	A
Dormitório 04	12,56	5,90	B	A
Dormitório empregada	7,83	7,85	C	A
Estar íntimo	11,40	47,63	D	D
Estar/jantar	45,16	34,83	E	C
Demais ambientes	36,53	82,23	não foram classificados	E

Tabela 23 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 09

Classificação	Condição para SWERA (kWh/m ² .ano)	Consumo (kWh/m ² .ano)	Classificação APP (RTQ-r)	Classificação APP (Simulação)	Classificação todos os ambientes (Simulação)
A	$C_R < 18,112$	41,28	D	B	D
B	$18,112 < C_R < 28,960$				
C	$28,960 < C_R < 38,712$				
D	$38,712 < C_R < 51,450$				
E	$C_R > 51,450$				

Tabela 24 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 09

Considerando a verificação com base nos dados de simulação apenas dos APP's, a UH tem sua pontuação estabelecida de 4,28 (Etiqueta B). Ao realizar a verificação com relação ao consumo de refrigeração de toda a UH, de 41,28 kWh/m², se constata como classificação final D, a mesma obtida pelo método RTQ-r abordada anteriormente. Esta UH é um dos casos onde o consumo dos ambientes considerados como permanência prolongada são protagonistas no desempenho energético final avaliado (Tabela 24), que pode ser observado através dos dormitórios que possuem etiquetagem máxima, e não são protagonistas para a classificação final, fortemente influenciada pelo consumo dos outros ambientes, especialmente de serviço, não considerados como de permanência prolongada.

6.10 RESIDÊNCIA 10

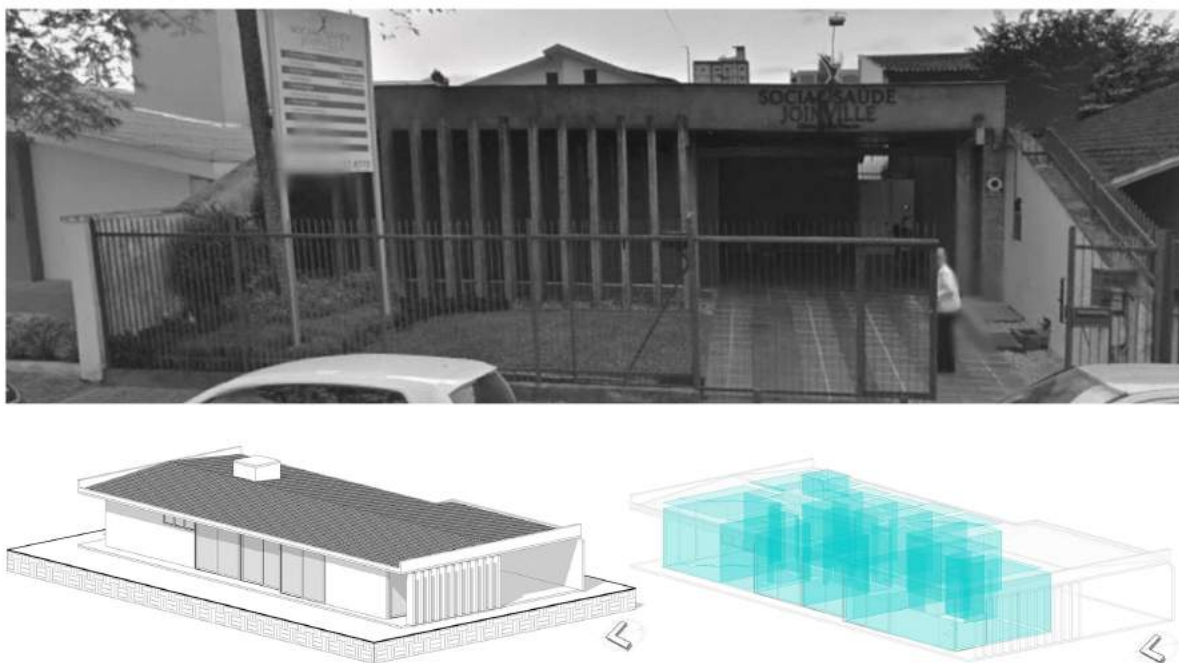


Figura 29 – Fachada da residência 10 e modelos 3D

O projeto de 1974, pelo Engenheiro Hary Nelson Schmidt, abriga um programa de necessidades simples, onde os ambientes íntimos - três dormitórios sociais - estão dispostos na fachada posterior, à norte e leste do terreno. Os ambientes sociais são localizados à norte e oeste, com as salas de estar, e à sul da UH encontram-se os ambientes de serviço, como copa e dormitório de empregada (Anexo 60).

A Figura 29 representa a fachada frontal da edificação, constituída por brises verticais de concreto que auxiliam na proteção do ambiente de estar, já que recebe ao longo da tarde grande insolação por estar posicionada na face oeste do terreno. Para proporcionar sombreamento nas aberturas laterais, beirais de 1,55 e 1,90m percorrem o perímetro da edificação.

É possível avaliar através da Figura 30, que os usos finais de energia e eletricidade são balanceados entre o aquecimento, equipamentos e iluminação interna. Para os usos finais de energia, 49% destina-se a eletricidade, enquanto 29% provém do aquecimento proveniente do meio externo e apenas 11% para o resfriamento oriundos do exterior. A proporção entre as cargas térmicas leva ao entendimento de que as transferências de calor podem ser balanceadas nesta UH, o que pode ocasionar em um satisfatório desempenho energético. O consumo de eletricidade anual pode atingir 11913,86 kWh, como observado a distribuição do consumo ao longo dos meses durante um ano.

- Comparativos e verificações das etiquetagens

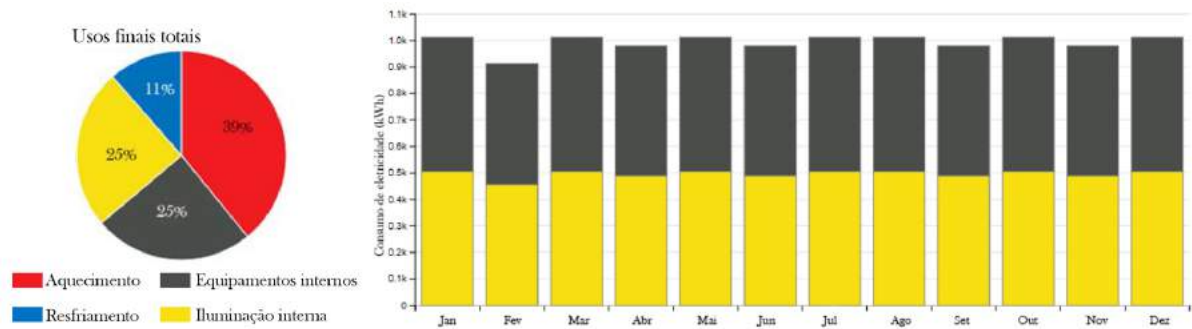


Figura 30 – Gráficos de usos de energia da residência 10

Na verificação de etiquetagem dos APP's, se obteve através da simulação energética os valores de consumo de refrigeração individuais. Todos os ambientes tiveram aumento da etiquetagem, que consequentemente aumentaram a pontuação de 2,07 (Etiqueta D) estabelecida pelo método do RTQ-r, para 4,0 (Etiqueta B), observado pela Tabela 25, que compara a classificação pelo método prescritivo e da simulação.

Destaca-se, dentre os APP's, a sala de estar/*living* que permanece com a classificação mais baixa (D). As classificações, de um modo geral, condizem com as eficazes estratégias de conforto adotadas especialmente nos dormitórios, que são constituídos por venezianas de madeira que proporcionam maior controle da insolação e ventilação natural, bem como os brises frontais em concreto. que auxiliam no controle de insolação dos ambientes frontais.

APP	Área computada (m ²)	Consumo de refrigeração (C_R) (kWh/m ² .ano)	Classificação de acordo com RTQ-r	Classificação de acordo com a simulação
Dormitório 01	19,00	23,23	D	B
Dormitório 02	14,46	26,49	C	B
Dormitório 03	14,00	19,21	C	B
Dormitório empregada	5,00	6,80	C	A
Estar íntimo	23,35	20,59	C	B
Estar/jantar	44,27	39,78	E	D
Demais ambientes	34,74	63,14	não foram classificados	E

Tabela 25 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 10

Classificação	Condição para SWERA (kWh/m ² .ano)	Consumo (kWh/m ² .ano)	Classificação APP (RTQ-r)	Classificação APP (Simulação)	Classificação todos os ambientes (Simulação)
A	$C_R < 18,112$	22,16	D	B	B
B	$18,112 < C_R < 28,960$				
C	$28,960 < C_R < 38,712$				
D	$38,712 < C_R < 51,450$				
E	$C_R > 51,450$				

Tabela 26 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 10

Para uma verificação mais ampla, foi obtido o consumo de refrigeração de 22,16 kWh.m².ano considerando todos os ambientes internos da residência. Em conformidade

com a Tabela 26, a classificação final é considerada B, levando em conta a condição de referência a partir do arquivo climático em SWERA, o mesmo utilizado nos programas de simulação. O contraste significativo de etiquetas entre o RTQ-r e a simulação condizem que, como a edificação contém poucos ambientes, e sendo maioria os APP's, os demais como banheiros e serviço, apesar de um consumo elevado, pouco influenciam no desempenho energético total.

6.11 RESIDÊNCIA 11

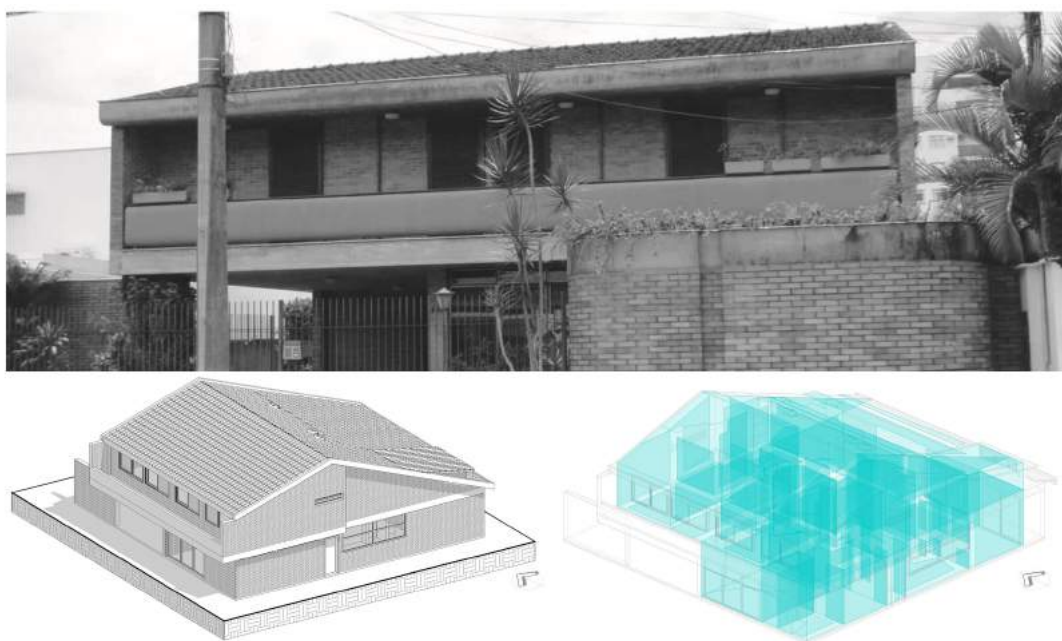


Figura 31 – Fachada da residência 11 (MENDES, 2018) e modelos 3D

Algumas estratégias de conforto podem ser facilmente observadas na residência, como a disposição de claraboias sobre a circulação vertical, já que os ambientes estão dispostos em dois pavimentos, e sobre o lavabo. As esquadrias, especialmente aquelas dispostas na fachada frontal situada à oeste, como pode ser observado na Figura 31, possuem venezianas de madeira que ajudam no controle da insolação sobre os ambientes internos. Na cozinha e na sala de jantar também foram alocadas estrategicamente duas faixas de janelas basculantes para melhor aproveitamento da iluminação.

Grande parte da envoltória é composta por paredes de tijolos aparentes de 15 e 25cm. Alguns elementos em concreto aparente também são perceptíveis ao observador, como na laje de cobertura e nas varandas. Quanto à volumetria, no pavimento térreo situam-se as zonas sociais, como a sala de estar, escritório e sala de jantar, e no pavimento superior as zonas íntimas, com quatro dormitórios e uma sala de estar íntima, observados também pelas plantas baixas dos Anexos 61 e 62.

Os usos finais de energia e eletricidade desta UH são balanceados entre os equipamentos e iluminação interna, aquecimento e resfriamento. Sendo assim, dos usos de energia 55% são destinados a eletricidade, enquanto outros 25% ao aquecimento provido do meio externo e 20% para o resfriamento, respectivamente. As transferências de calor são balanceadas entre os ambientes internos e o meio externo neste projeto, mas que não se mostram tão eficientes energeticamente quando validada a etiquetagem final da edificação.

Para eletricidade são igualmente divididos entre os equipamentos internos e iluminação, podendo ser utilizado até 27476,98 kWh anualmente de consumo. As Figura 32 e ?? apresentam os gráficos finais de consumo, bem como o comportamento do consumo de energia anualmente da UH.

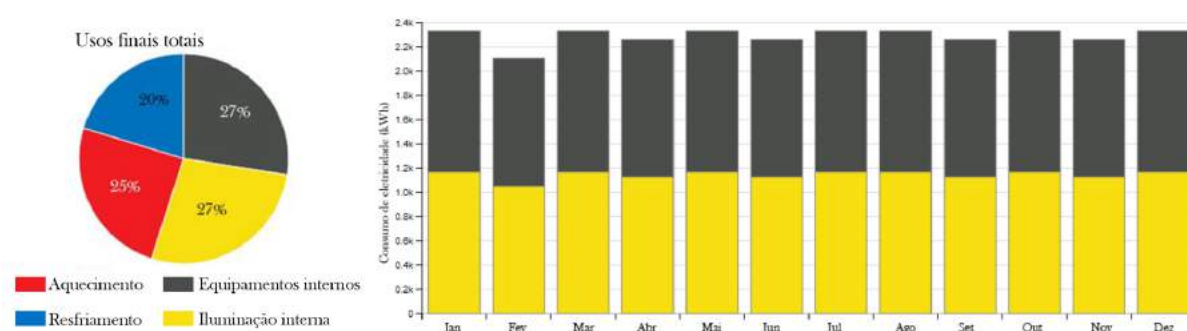


Figura 32 – Gráficos de usos de energia da residência 11

- Comparativos e verificações das etiquetagens

Os ambientes de permanência prolongada da residência são compostos pelos quatro dormitórios do pavimento superior, orientados à oeste, e o dormitório de empregada, no pavimento inferior, bem como as salas de estar, jantar, estar íntimo e o escritório. Na verificação da classificação do RTQ-r, a maior parte das etiquetagens era atribuída entre C ou D, com exceção da sala de jantar, com etiqueta B, sendo a pontuação pelo método prescritivo de 2,76 (Etiqueta C).

Para verificação destas, foi simulado o consumo de refrigeração de cada APP, a fim de validar a classificação de acordo com os indicadores de consumo presentes em Eletrobras, Procel e GB3E (2012). Foi averiguado que a maior parte da etiquetagem atribuída aos ambientes sofriam aumento da classificação, com exceção da sala de estar, que anteriormente era avaliada com C, e sofreu redução para E (Tabela 27). A pontuação final da envoltória considerando apenas os APP's pela simulação foi verificada como 3,88 (Etiqueta B).

Como o objetivo desta pesquisa consiste em averiguar a etiquetagem considerando todos os ambientes internos, foi obtido o consumo de refrigeração para a UH de 28,90 kWh/m².ano, que estabelece a etiquetagem final como C. Esta, por sua vez, é a mesma quando comparada com o RTQ-r, onde os APP's podem ser considerados protagonistas na

APP	Área computada (m ²)	Consumo de refrigeração (C_R) (kWh/m ² .ano)	Classificação de acordo com RTQ-r	Classificação de acordo com a simulação
Dormitório 01	21,60	0,00	D	A
Dormitório 02	12,56	8,44	C	A
Dormitório 03	12,56	10,46	C	A
Dormitório 04	12,56	5,90	C	A
Dormitório empregada	7,83	7,85	C	A
Escritório	17,10	21,53	D	B
Estar íntimo	11,40	47,63	D	D
Estar	45,16	34,83	C	C
Jantar	45,16	34,83	B	C
Demais ambientes	31,68	59,17	não foram classificados	E

Tabela 27 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 11

Classificação	Condição para SWERA (kWh/m ² .ano)	Consumo (kWh/m ² .ano)	Classificação APP (RTQ-r)	Classificação APP (Simulação)	Classificação todos os ambientes (Simulação)
A	$C_R < 18,112$	28,90	C	B	C
B	$18,112 < C_R < 28,960$				
C	$28,960 < C_R < 38,712$				
D	$38,712 < C_R < 51,450$				
E	$C_R > 51,450$				

Tabela 28 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 11

etiquetagem final da UH (Tabela 28), tendo em vista que apenas ambientes de serviço - como os banheiros e lavanderia - não foram incluídos no método prescritivo, mas possibilitam que o consumo energético se mantenha dentro de uma etiquetagem mediana.

6.12 RESIDÊNCIA 12

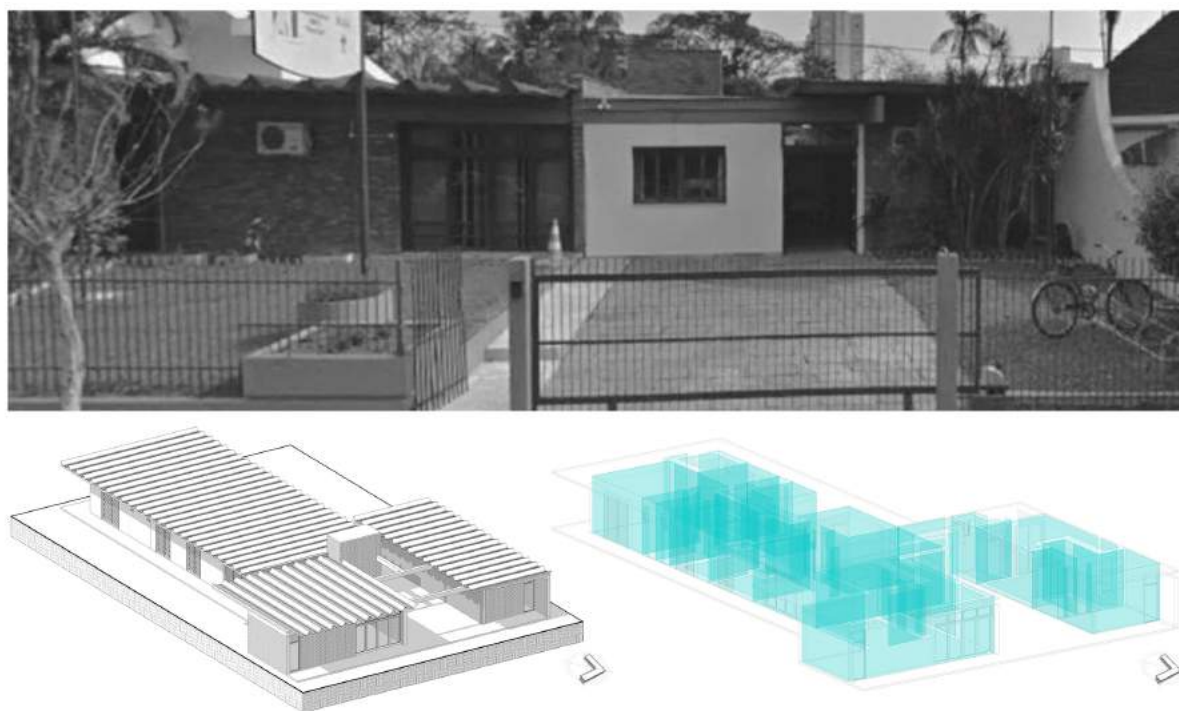


Figura 33 – Fachada da residência 12 (MENDES, 2018) e modelos 3D

Esta residência é constituída por dois volumes interligados através das vigas que percorrem a horizontalidade do terreno, e auxiliam na acomodação de beirais cobertos por telhas tipo canaleta 90. Algumas paredes externas são de tijolos aparentes, entre 15 e 25cm de espessura, assim como o volume da caixa d'água, como pode ser observado na Figura 33 em conjunto com a representação gráfica resultante do modelamento e no Anexo 63 com a planta baixa da UH.

No volume principal estão dispostos os principais APP, como as salas localizadas na fachada frontal, voltada à nordeste do terreno, e uma copa que interliga os ambientes sociais dos ambientes íntimos, localizados ao fundo do terreno. No volume menor, é disposto uma pequena sala com um dormitório. As principais estratégias de conforto observadas são a presença de venezianas de madeira em todas as esquadrias dos dormitórios, pátios entre a sala e a copa e beirais ao longo do volume principal de, respectivamente, 1,20, 1,40 e 1,50 metros.

No que diz respeito aos usos finais, 67% é atribuído ao aquecimento proveniente dos meios externos, enquanto 15% para eletricidade e apenas 2% para o resfriamento externo. Através destes dados, pode-se constatar que para uma melhor performance devem ser considerados elementos de armazenamento do calor nas zonas internas, ou aberturas mais amplas, de modo que os ambientes internos não resfriem com muita rapidez, demandando de aquecedores ou outros equipamentos semelhantes. Nos usos finais de energia, seguem a

mesma relação, enquanto para eletricidade, que o uso é dividido entre a iluminação e os equipamentos internos (Figura 34), o consumo pode chegar a 15449,11 kWh por ano.

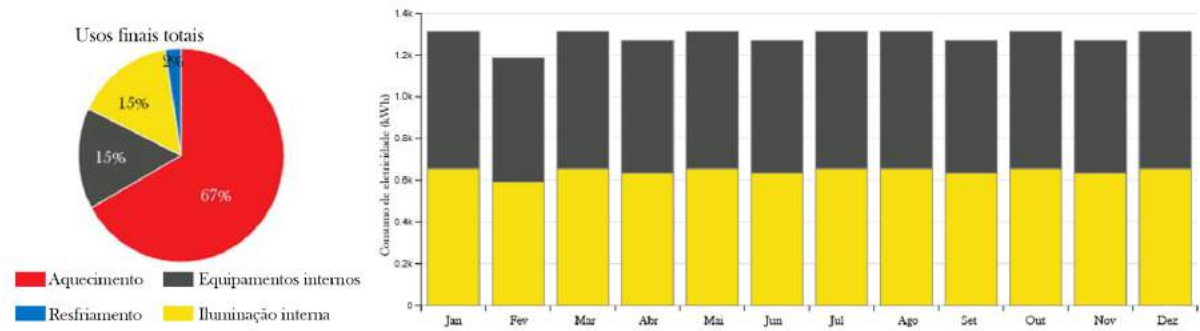


Figura 34 – Gráficos de usos de energia da residência 12

- Comparativos e verificações das etiquetagens

A grande maioria dos ambientes da UH são considerados de permanência prolongada. Apenas alguns cômodos de serviço - como depósitos ou os banheiros - não estão incluídos para o cálculo de pontuação e etiquetagem da envoltória, considerando os requisitos estabelecidos pelo RTQ-r. Destaca-se que a máxima classificação é determinada para os dormitórios, enquanto a copa e o dormitório 05 tem classificação mínima (E).

Foram considerados os consumos de refrigeração dos APP's para a verificação de acordo com as condições de referência para a ZB5. Se constata que a maioria dos ambientes possuem consumos que determinam um aumento sobre a classificação da etiquetagem, como o caso do dormitório 05, que anteriormente calculado como E, com a verificação de consumo passa a ter etiquetagem A. O único ambiente que permanece com a mesma etiquetagem é a sala 02.

A pontuação obtida com o RTQ-r para a UH de 1,67 (Etiqueta D) é verificada para 4,12 (Etiqueta B) quando considerado apenas os APP's. Na Tabela 29 pode ser observado as verificações de acordo com as resultantes da simulação.

APP	Área computada (m ²)	Consumo de refrigeração (C_R) (kWh/m ² .ano)	Etiquetagem de acordo com RTQ-r	Etiquetagem de acordo com a simulação
Dormitório 01	22,03	25,68	C	B
Dormitório 02	8,40	11,49	C	A
Dormitório 03	11,36	12,16	C	A
Dormitório 04	13,26	14,25	C	A
Dormitório 05	12,30	17,76	E	A
Dormitório empregada	5,04	10,08	D	A
Copa/sala	100,45	49,36	E	D
Sala 02	18,51	45,57	D	D
Demais ambientes	45,13	71,82	não foram classificados	E

Tabela 29 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 12

Classificação	Condição para SWERA (kWh/m².ano)	Consumo (kWh/m².ano)	Classificação APP (RTQ-r)	Classificação APP (Simulação)	Classificação todos os ambientes (Simulação)
A	$C_R < 18,112$	33,75	D	B	C
B	$18,112 < C_R < 28,960$				
C	$28,960 < C_R < 38,712$				
D	$38,712 < C_R < 51,450$				
E	$C_R > 51,450$				

Tabela 30 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 12

Apesar da verificação de acordo com os APP's, para a verificação e classificação da etiquetagem final da UH devem ser considerados todos os ambientes, que consomem cerca 33,75 kWh/m².ano para a refrigeração. Deste modo, pode ser constatado que a classificação final da residência é C, com as informações em relação às verificações está apresentada na Tabela 30. O aumento da etiquetagem está relacionado diretamente ao aumento significativo de etiquetagens máximas especialmente dos APP's, como abordado anteriormente, e que, consecutivamente, proporcionam um melhor desempenho energético.

6.13 RESIDÊNCIA 13

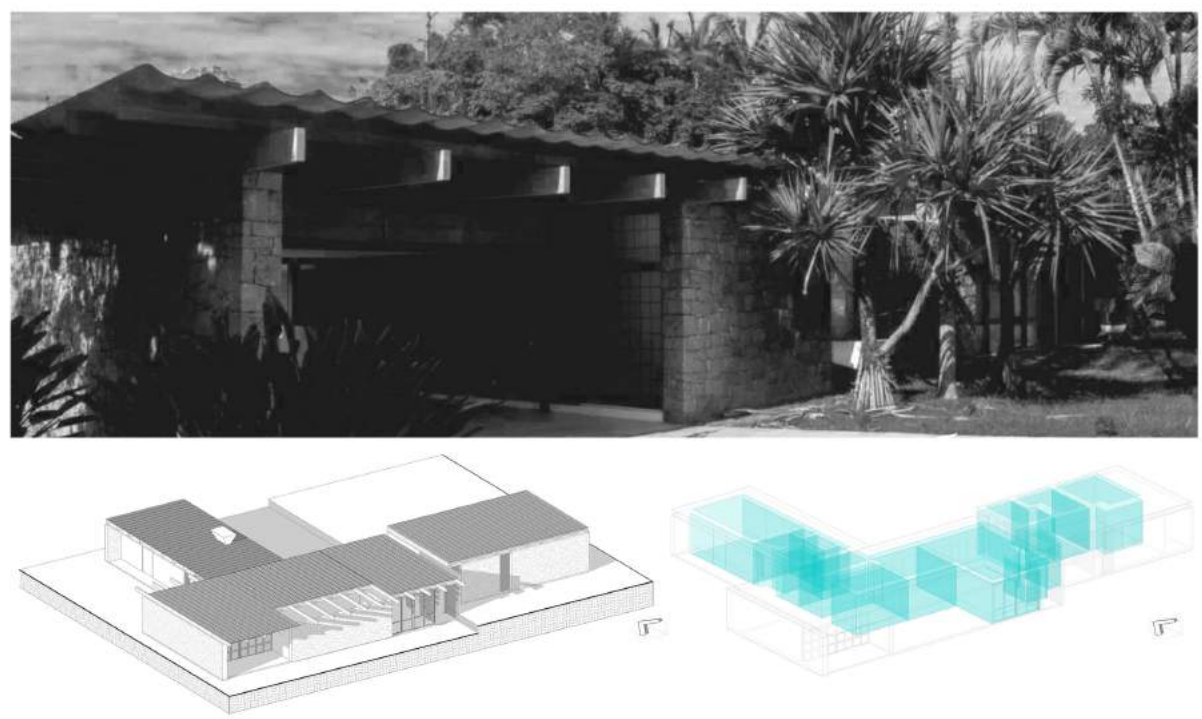


Figura 35 – Fachada da residência 13 (MENDES, 2018) e modelos 3D

Caracterizada como uma residencia térrea (Anexo 64), projetada em 1972 pelo Arquiteto Luis Napoleão Carias de Oliveira, os eixos latitudinais e longitudinais do terreno de esquina são determinantes para a disposição de dois volumes retangulares que abrigam todas as zonas da UH. A maior parte da ventilação é proveniente dos ventos à nordeste e noroeste, e na fachada frontal, localizada à sul do terreno, são dispostos pátios cobertos

por pérgolas de concreto, a sala de estar e os banheiros. Já ao norte, na parte posterior do terreno, estão dispostos os dormitórios, copa e sala de estar íntima. Ao oeste, se encontram alguns ambientes de serviço e o dormitório de empregada (Figura 35).

Alguns elementos pouco utilizados nas outras UH são evidentes nesta amostra, como o uso de muxarabi na fachada frontal como elemento de proteção do espaço de garagem e nas esquadrias dos dormitórios. Além disso, a fachada com paredes em pedras de espessura de 30cm são protagonistas dos elementos construtivos, assim como as estratégias de conforto, já citadas anteriormente: pérgolas, pátios e muxarabi.

A cobertura em telhas de fibrocimento moduladas apoiadas em vigas de concreto garante a linearidade de todo o volume da edificação bem como uma camada de ar para um melhor desempenho térmico, tendo em vista que Lamberts, Dutra e Pereira (2014) destaca sobre a cobertura ser a parte da edificação mais exposta à radiação solar, transmitindo essa carga térmica aos ambientes, o que tem influência direta sobre o consumo de energia devido ao condicionamento e ventilação artificial do ar e conforto térmico dos usuários.

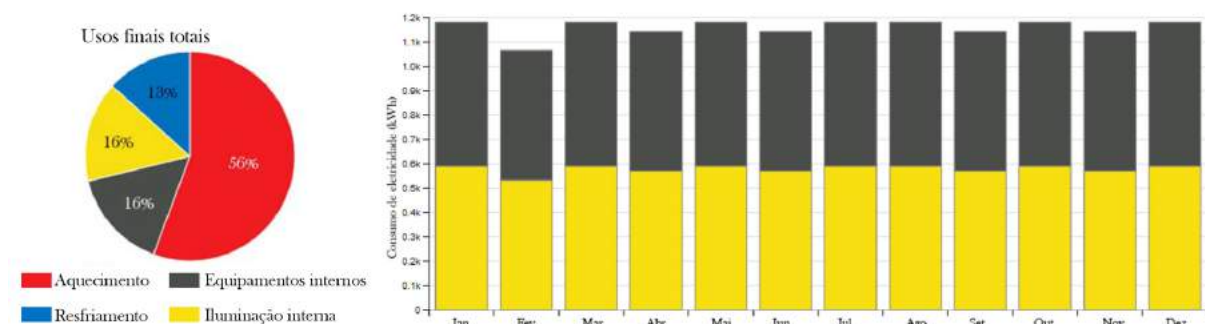


Figura 36 – Gráficos de usos de energia da residência 13

Sendo assim, ao analisar os usos finais de energia e eletricidade da UH, é evidente o protagonismo da cobertura e das paredes de pedra sobre as cargas de aquecimento, responsáveis por 56% dos usos finais da UH. Como já discorrido anteriormente, as cargas de aquecimento determinam a perda de calor significativa entre os ambientes, sem que haja promoção do conforto térmico, podendo ocasionar zonas internas mais frias e utilização de equipamentos aquecedores que demandam de maior consumo energético. Já os 13% restantes são oriundos do resfriamento externo (Figura 36). Cabe ressaltar que o consumo de eletricidade pode chegar em 13904,67kWh anualmente desta residência, divididos entre os equipamentos internos e iluminação (Figura ??).

- Comparativos e verificações das etiquetagens

Cabe ressaltar nas verificações de etiquetagem que a maior parte dos cômodos localizados no volume à oeste do terreno não são considerados como APP's. Sendo assim, a grande maioria dos APP's estão dispostos no volume horizontal da UH, orientado à sul. De acordo com a etiquetagem pelo RTQ-r, os ambientes de estar/jantar, estar íntimo e

dormitório de empregada são classificados como E, enquanto ambientes como os dormitórios 02 e 03 possuem as melhores classificações da UH.

Com relação a verificação de acordo com o consumo de refrigeração dos APP's, o dormitório de empregada tem classificação alterada de E para A. Já a sala de estar permanece com a mínima (E), enquanto os dormitórios 02 e 03, anteriormente classificados como B e A respectivamente, tem sua reajuste para C. Na Tabela 33 estão representadas as novas verificações.

APP	Área computada (m ²)	Consumo de refrigeração (C_R) (kWh/m ² .ano)	Classificação de acordo com RTQ-r	Classificação de acordo com a simulação
Dormitório 01	19,45	48,40	D	D
Dormitório 02	13,22	31,31	B	C
Dormitório 03	13,68	29,39	A	C
Dormitório empregada	5,00	14,41	E	A
Copa	20,44	40,68	E	D
Sala estar/jantar/estar íntimo	65,47	93,77	E	E
Demais ambientes	80,11	169,45	não foram classificados	E

Tabela 31 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 13

Classificação	Condição para SWERA (kWh/m ² .ano)	Consumo (kWh/m ² .ano)	Classificação APP (RTQ-r)	Classificação APP (Simulação)	Classificação todos os ambientes (Simulação)
A	$C_R < 18,112$	32,50	D	C	C
B	$18,112 < C_R < 28,960$				
C	$28,960 < C_R < 38,712$				
D	$38,712 < C_R < 51,450$				
E	$C_R > 51,450$				

Tabela 32 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 13

A pontuação obtida pelo método prescritivo desta UH foi 2,43, equivalente a Etiqueta D. Quando verificada a nova pontuação dos APP's de acordo com seus respectivos consumos, foi considerado como 2,6 (Etiqueta C). Para melhor veracidade da etiquetagem, a inclusão de todos os ambientes internos se torna essencial, e, assim sendo, considerando o consumo de refrigeração da UH de 32,50 kWh/m².ano através da simulação energética, a etiquetagem final é estabelecida como C (Tabela 32). Cabe ressaltar que a variação da etiquetagem está relacionada diretamente com a inclusão de novos ambientes no cálculo, considerando que a maior parte do volume vertical e frontal da residência não é englobado pelo método prescritivo.

6.14 RESIDÊNCIA 14

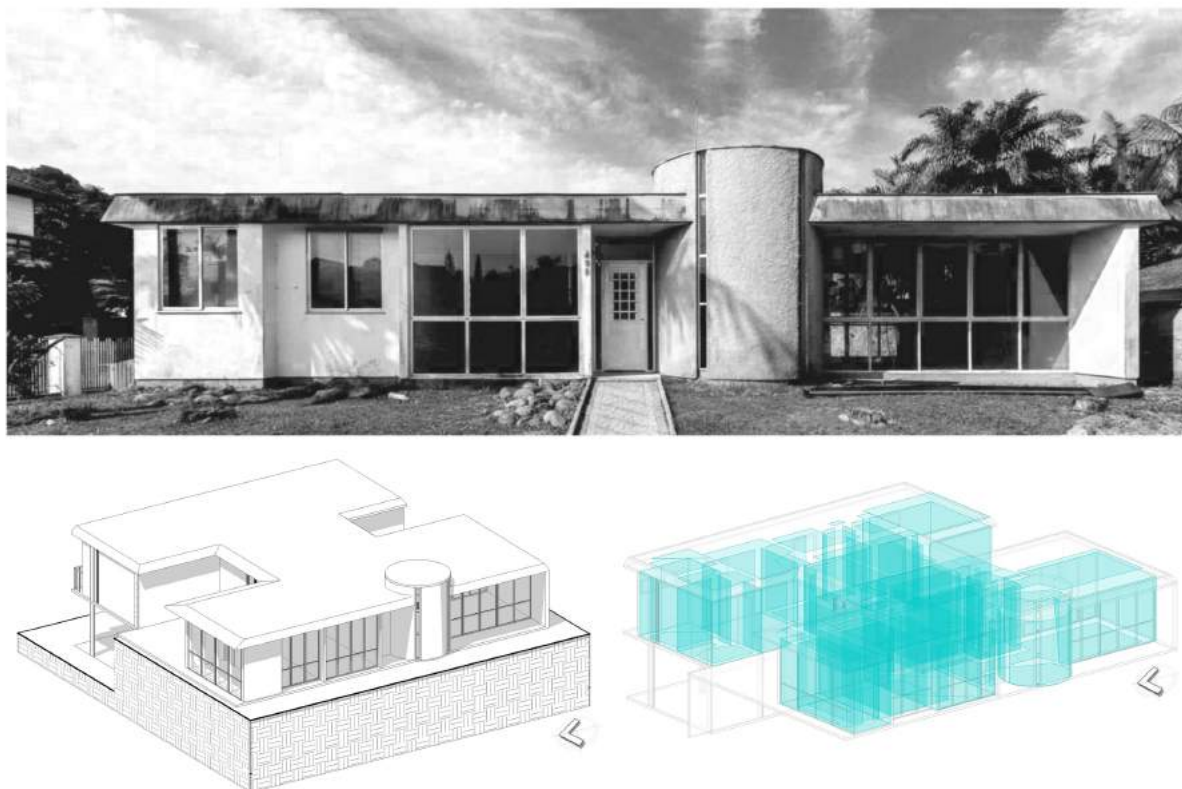


Figura 37 – Fachada da residência 14 (MENDES, 2018) e modelos 3D

Através da Figura 37, que apresenta a fachada frontal, orientada à oeste do terreno, e os modelos 3D resultantes da simulação desta pesquisa, é evidente as grandes aberturas com pouca proteção, tendo em vista que são esquadrias sem venezianas e beirais mínimos de 0,10cm de profundidade. O elemento curvo ampara a sala de jogos, e os demais ambientes são voltados a sala de jantar, living e copa, conforme as plantas baixas nos Anexos 65 e 66.

Na fachada posterior estão dispostas as zonas íntimas como os dormitórios, com aberturas cobertas por venezianas de alumínio, e os banheiros com aberturas horizontais do tipo basculante com altura de 0,60cm. Um pequeno volume no pavimento superior abriga zonas de serviço, como depósitos e dormitório de empregada. Na circulação vertical, estão localizadas aberturas rasgam as paredes em sua verticalidade, com 10cm de largura.

A maior parte da ventilação da edificação ocorre a nordeste e sudeste do terreno, sendo esta uma das duas residencias da amostragem que possuem apenas uma estratégia passiva de conforto (venezianas). Sendo assim, 51% dos usos finais estão atribuídos ao aquecimento, observado pelo pouco protagonismo das esquadrias em vidro no melhor desempenho energético, enquanto o restante divide-se proporcionalmente entre iluminação, equipamentos externos e resfriamento. O uso de eletricidade é dividido entre iluminação e equipamentos, onde o consumo anual é estabelecido em até 9435,45 kWh. A Figura 38 expressa estes resultados através da simulação energética.

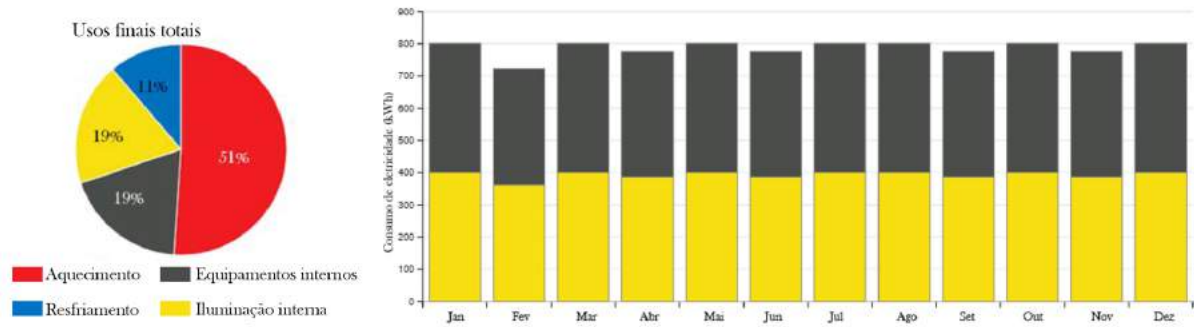


Figura 38 – Gráficos de usos de energia da residência 14

- Comparativos e verificações das etiquetas

Para analisar os ambientes internos, se considerou como APP's os dormitórios, as salas de estar social e íntima, o escritório, a sala de costura e dormitório de empregada, estes últimos localizados no pavimento inferior. Os ambientes tiveram uma boa performance com relação a classificação obtida pelo RTQ-r, desconsiderando apenas a sala de jogos e o *living*, que tiveram classificação D. Na verificação dos APP's pela simulação, foi possível constatar que quase todos os ambientes recebem etiquetagem máxima, e o ambiente com menor classificação pelo método prescritivo é verificado como B, tendo em vista o impacto da ventilação cruzada pelas aberturas opostas proporcionarem melhor conforto térmico aos usuários. A pontuação para os APP's, anteriormente calculada em 3,01 (Etiqueta C), é verificada como 4,50 (Etiqueta A).

APP	Área computada (m ²)	Consumo de refrigeração (C_R) (kWh/m ² .ano)	Classificação de acordo com RTQ-r	Classificação de acordo com a simulação
Dormitório 01	16,52	21,69	B	B
Dormitório 02	8,79	7,84	A	A
Dormitório 03	13,24	20,90	B	B
Dormitório empregada	9,80	1,53	B	A
Estar íntimo/jantar	42,58	26,97	C	B
Sala jogos/living	35,64	22,75	D	B
Escritório	6,20	7,27	B	A
Sala de costura	4,37	0,00	C	A
Demais ambientes	8,87	23,75	não foram classificados	B

Tabela 33 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 14

A verificação da etiquetagem com base em toda a edificação está sintetizada na Tabela 34. Anteriormente etiquetada como C pelo método prescritivo, a UH tem a classificação final elevada para B, ao considerar o consumo de refrigeração total de 23,94 kWh/m².ano. O fato de alguns ambientes que possuíam ventilação cruzada, como a copa, não estarem inclusos na pontuação tem impacto positivo sobre esta etiquetagem final, tendo em vista que a classificação para os demais ambientes é obtida como B.

Classificação	Condição para SWERA (kWh/m ² .ano)	Consumo (kWh/m ² .ano)	Classificação APP (RTQ-r)	Classificação APP (Simulação)	Classificação todos os ambientes (Simulação)
A	$C_R < 18,112$	23,94	C	A	B
B	$18,112 < C_R < 28,960$				
C	$28,960 < C_R < 38,712$				
D	$38,712 < C_R < 51,450$				
E	$C_R > 51,450$				

Tabela 34 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 14

6.15 RESIDÊNCIA 15

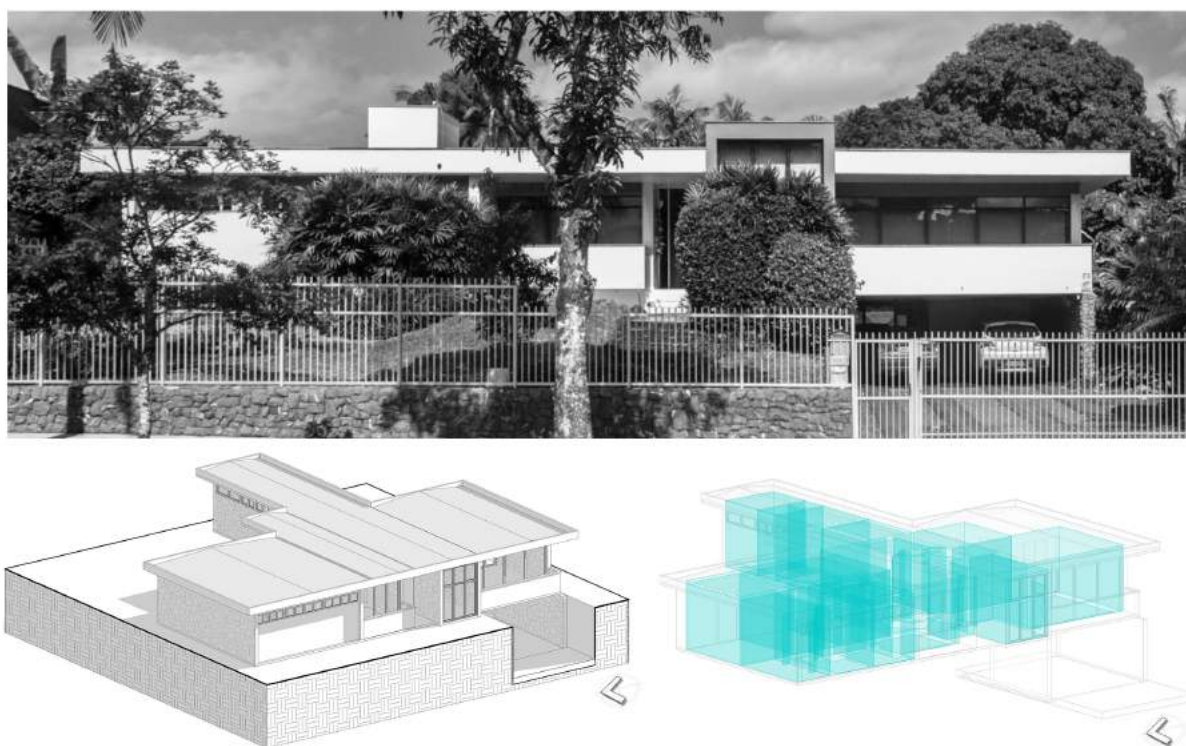


Figura 39 – Fachada da residência 15 (MENDES, 2018) e modelos 3D

O arquiteto Antônio Alberto Cortez concebeu este projeto em 1972, com características construtivas como paredes de espessuras de 10 e 20cm em alvenaria, e a cobertura com telha de alumínio galvanizado. A Figura 39 ilustra a fachada frontal da residência, bem como os modelos 3D conseguintes da aplicação metodológica desta pesquisa. É evidente o volume da garagem em um nível abaixo do terreno, enquanto no pavimento superior é disposto todo o programa de necessidades da UH em um volume retangular que permeia o sentido norte-sul do terreno.

Das estratégias passivas de conforto, a única recorrente neste projeto são as venezianas de madeira presentes nas aberturas dos dormitórios localizados à leste do terreno. Na fachada frontal, que percorre a face oeste, ambientes como banheiros são observados ao lado esquerdo da volumetria com janelas em fita, seguidos pela sala de estar íntimo com

uma pequena varanda, o escritório que se caracteriza pelo volume retangular que quebra a horizontalidade do volume central, e o *living* com grandes aberturas de vidro e varanda, localizados acima da garagem.

Na face oeste, além dos dormitórios já mencionados também se dispõem a copa e a sala de jantar. Os ambientes de serviço estão localizados em um volume retangular sobressaindo aos fundos do volume central com aberturas em janelas em fita especialmente na fachada lateral norte. A planta baixa está indicada no Anexo 67.

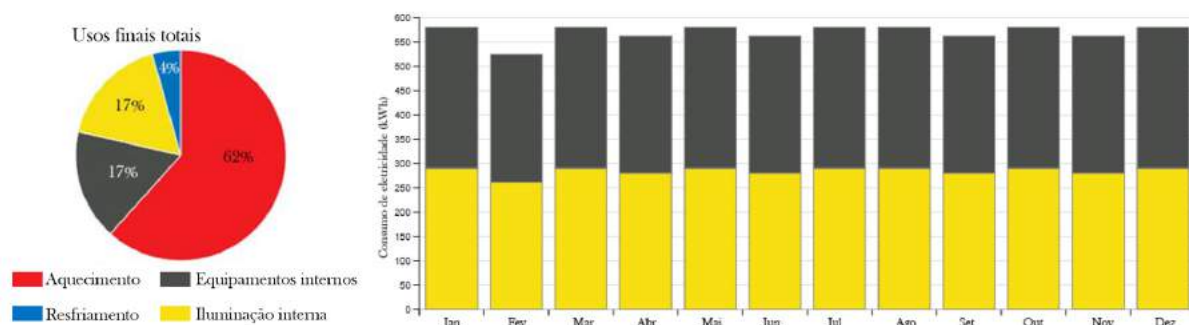


Figura 40 – Gráficos de usos de energia da residência 15

Os maiores usos finais de energia estão atribuídos ao aquecimento (62%) enquanto apenas uma pequena parcela (4%) destina-se ao resfriamento, onde Machado, Brito e Neila (2003) já destacavam que a cobertura é a parte das edificações, que está sujeita às maiores flutuações térmicas, pela exposição direta ao sol, as temperaturas superficiais internas atingem um grau elevado no período diurno, já durante o período noturno é a parte da edificação que perde calor mais rapidamente devido à radiação. Além disso, os valores de resfriamento definidos pela simulação acarretam em um maior consumo de sistemas de aquecimento, mas deve ser levado em consideração a compensação de um menor consumo de sistemas de resfriamento na UH.

O restante dos usos destina-se entre eletricidade, com 34% e apenas 4% para o resfriamento. O consumo anual atinge uma média de 6838,4 kWh, e podem ser observados os valores na Figura 40. A seguir estão apresentadas as verificações de etiquetagem da UH.

- Comparativos e verificações das etiquetagens

No que diz respeito às verificações de etiquetagem dos APP's, a Tabela 35 demonstra o consumo relativo de refrigeração dos três dormitórios; escritório; sala de estar íntimo; copa; sala de jantar; e o *living*. O que se observa é a grande maioria destes ambientes permanecerem com etiquetagem máxima (A), enquanto o estar íntimo/copa (etiqueta E) e o *living* (etiqueta D), terem alteração de etiquetagem para B. A pontuação da envoltória antes estabelecida como 2,77 (C) passa a ser 4,00 (B).

Para uma verificação amplificada da eficiência energética da UH, através da simulação foi obtido um consumo de refrigeração de todos os ambientes como 29,75 kWh/m².ano,

APP	Área computada (m ²)	Consumo de refrigeração (C_R) (kWh/m ² .ano)	Classificação de acordo com RTQ-r	Classificação de acordo com a simulação
Dormitório 01/closet	13,86	21,86	C	B
Dormitório 02	12,54	12,07	A	A
Dormitório 03	12,54	11,85	A	A
Escritório	9,75	12,43	D	A
Estar íntimo/copa	27,03	19,34	E	B
Jantar	16,46	14,68	A	A
Living	29,40	22,82	D	B
Demais ambientes	39,79	0,00	não foram classificados	A

Tabela 35 – Comparativo de etiquetagem dos APP's entre os métodos analisados da Residência 15

Classificação	Condição para SWERA (kWh/m ² .ano)	Consumo (kWh/m ² .ano)	Classificação APP (RTQ-r)	Classificação APP (Simulação)	Classificação todos os ambientes (Simulação)
A	$C_R < 18,112$	29,75	C	B	C
B	$18,112 < C_R < 28,960$				
C	$28,960 < C_R < 38,712$				
D	$38,712 < C_R < 51,450$				
E	$C_R > 51,450$				

Tabela 36 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 15

indicando a permanência de etiquetagem como estabelecida pelo RTQ-r como C (Tabela 36). Ressalta-se que através das verificações entre os métodos, pode-se identificar que os ambientes de serviço localizados aos fundos da UH não possuem alta demanda energética, especialmente pela ventilação cruzada proporcionada pelas aberturas orientadas sentido norte-sul destas zonas. Como o método prescritivo levou em consideração, neste caso, a maior parte dos ambientes da residência, através da simulação foi computado seu consumo para verificação dos métodos e etiquetagem, sendo esta um dos casos da amostragem de 18 residências que se mantém a mesma classificação final.

6.16 RESIDÊNCIA 16

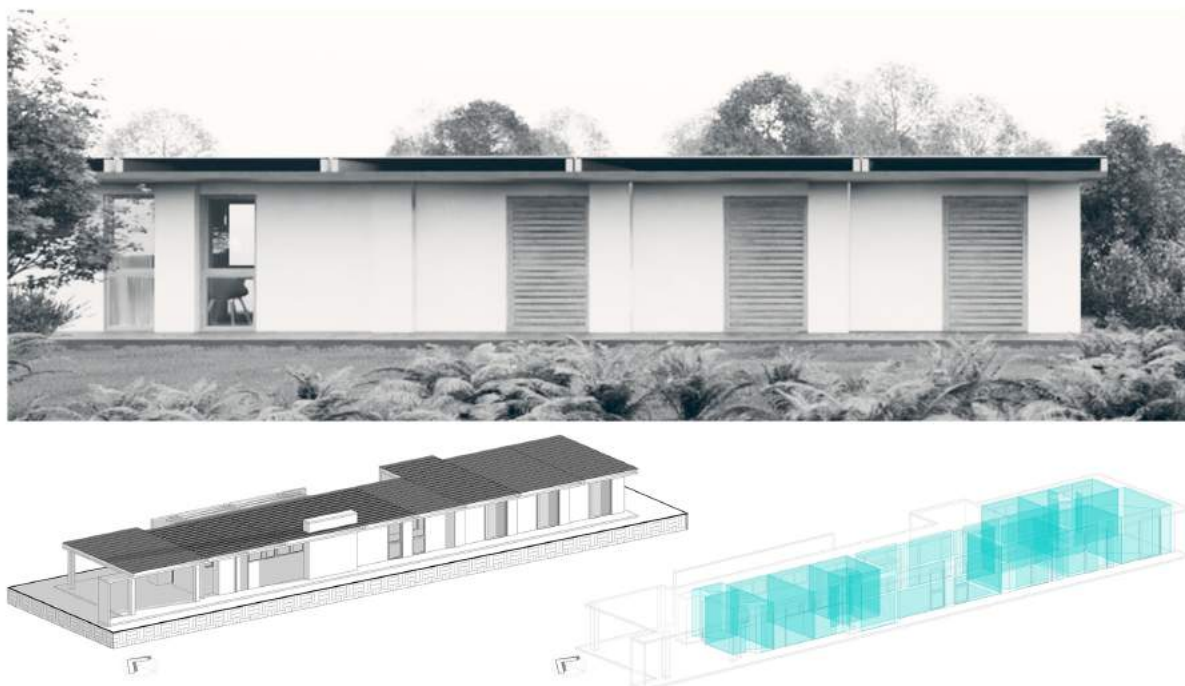


Figura 41 – Fachada da residência 16 e modelos 3D

A Figura 41 consiste na fachada frontal realizada em imagem realista pela autora para melhor visualização da residência, já que se encontra demolida. Os modelos 3D resultantes da simulação abrangem ao projeto original de 1975 pelo Engenheiro Hary Nelson Schmidt. É evidente a disposição de um único volume retangular que explora ao máximo o sentido longitudinal do terreno, onde a fachada principal está orientada à sul.

A disposição das zonas internas - no que diz respeito à insolação dos ambientes - foi estrategicamente posicionada, de modo que apenas uma abertura localizada no dormitório da empregada está orientada à oeste. O restante localiza-se à norte do terreno, que abriga o *living* como ambiente social e possui esquadrias de vidro sem nenhuma proteção efetiva, e a copa, lavanderia e banheiro como ambientes de serviço com aberturas pivotantes horizontais de até 3 metros de largura. Na fachada sul (fachada frontal) estão dispostos os ambientes íntimos - três dormitórios - que possuem suas esquadrias de venezianas de madeira (Anexo 68).

Com relação as estratégias passivas de conforto na UH, além da presença de venezianas, destaca-se o uso de pérgolas próximas ao *living* e uma claraboia no hall de entrada para melhor iluminação natural. As paredes externas possuem espessuras de 10 e 20cm - destacando a locação de uma parede de 20cm na fachada lateral voltada à leste - e internas de 10cm. Beiras são dispostos ao longo de toda a edificação, e a cobertura é caracterizada pelo uso de telhas onduladas de fibrocimento que são posicionadas em cima

de vigas ao longo da cobertura, criando um isolamento térmico pela camada de ar entre a laje e as telhas.

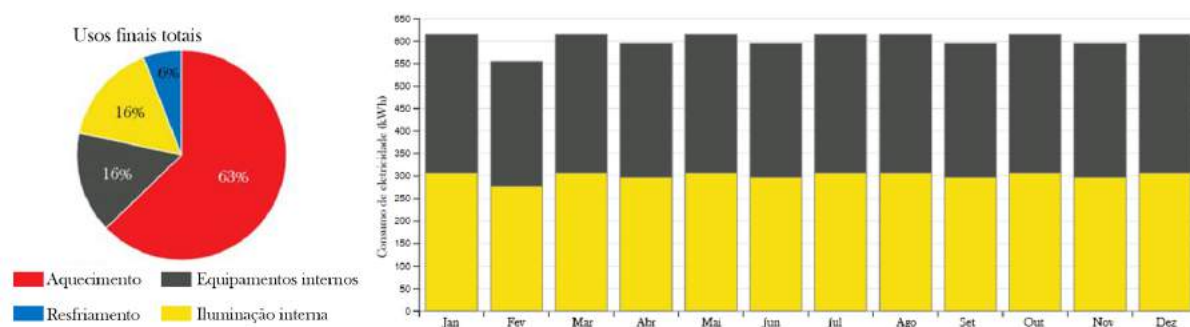


Figura 42 – Gráficos de usos de energia da residência 16

Resultante da simulação energética da UH, a maior parte dos usos de energia esta atribuída ao aquecimento (63%), que pode ser ocasionada pela espessura das paredes da envoltória, tendo em vista que as trocas térmicas entre as paredes pode ser acelerada em comparação com a cobertura, como abordado anteriormente. Granja e Labaki (2004) destacam:

Uma parede concebida erroneamente pode atuar como um painel radiante em horas impróprias, fazendo com que o usuário seja obrigado a recorrer a um sistema artificial de condicionamento térmico, que muitas vezes não resolve o problema [...] análises que considerem a variação periódica dos parâmetros climáticos externos, e a capacidade de armazenamento térmico de coberturas e paredes, fazendo uso desta energia armazenada no momento apropriado, são primordiais para o projetista com consciência energética e ambiental (GRANJA; LABAKI, 2004, p. 66).

Assim, o restante das cargas divide entre a iluminação e equipamentos internos (16%) e apenas 6% para o resfriamento externo. O uso de eletricidade anual é previsto em até 7237,6 kWh (Figura 42 e ??).

- Comparativos e verificações das etiquetas

Apesar da UH possuir diversos ambientes internos, apenas os três dormitórios principais, o dormitório de empregada e o *living* foram considerados como APP's para realização da classificação da envoltória pelo RTQ-r na pesquisa de Mendes (2018), que ao realizar o procedimento para determinação da pontuação e etiquetagem, foi obtida a Etiqueta C (2,77).

Para a verificação da etiquetagem dos APP's, foram obtidos através da simulação os consumos de refrigeração individuais, sendo possível a observação de que os ambientes

anteriormente validados com etiquetagem máxima ter permanência de classificação, enquanto o dormitório 01 e o de empregada antes etiquetados como C tem elevação para A. Para o living, a variação é de E para C. Assim, a pontuação dos APP's pode ser verificada como 4,6 (Etiqueta A). A Tabela 37 apresenta estes novos comparativos e verificações.

APP	Área computada (m ²)	Consumo de refrigeração (C_R) (kWh/m ² .ano)	Classificação de acordo com RTQ-r	Classificação de acordo com a simulação
Dormitório 01	15,71	12,91	C	A
Dormitório 02	10,65	10,33	A	A
Dormitório 03	13,26	11,68	A	A
Dormitório empregada	5,94	14,83	C	A
Living	39,11	33,05	E	C
Demais ambientes	35,05	45,86	não foram classificados	D

Tabela 37 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 16

Classificação	Condição para SWERA (kWh/m ² .ano)	Consumo (kWh/m ² .ano)	Classificação APP (RTQ-r)	Classificação APP (Simulação)	Classificação todos os ambientes (Simulação)
A	$C_R < 18,112$	32,90	D	A	C
B	$18,112 < C_R < 28,960$				
C	$28,960 < C_R < 38,712$				
D	$38,712 < C_R < 51,450$				
E	$C_R > 51,450$				

Tabela 38 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 16

Contudo, apenas 41% dos ambientes foram considerados para classificação pelo RTQ-r, o que pode não corresponder a realidade de toda a residência. Nos resultados obtidos através da simulação energética - considerando todos os ambientes internos, seus parâmetros construtivos e de uso e ocupação - tem-se o consumo de refrigeração de 32,9 kWh/m².ano, que comparado às condições de referência caracterizam a etiquetagem final da residência 16 como C (Tabela 38). O protagonismo da cobertura, seus elementos pergolados e abertura zenital nesta edificação embasam um consumo mediano de energia quando averiguada sua etiquetagem.

6.17 RESIDÊNCIA 17

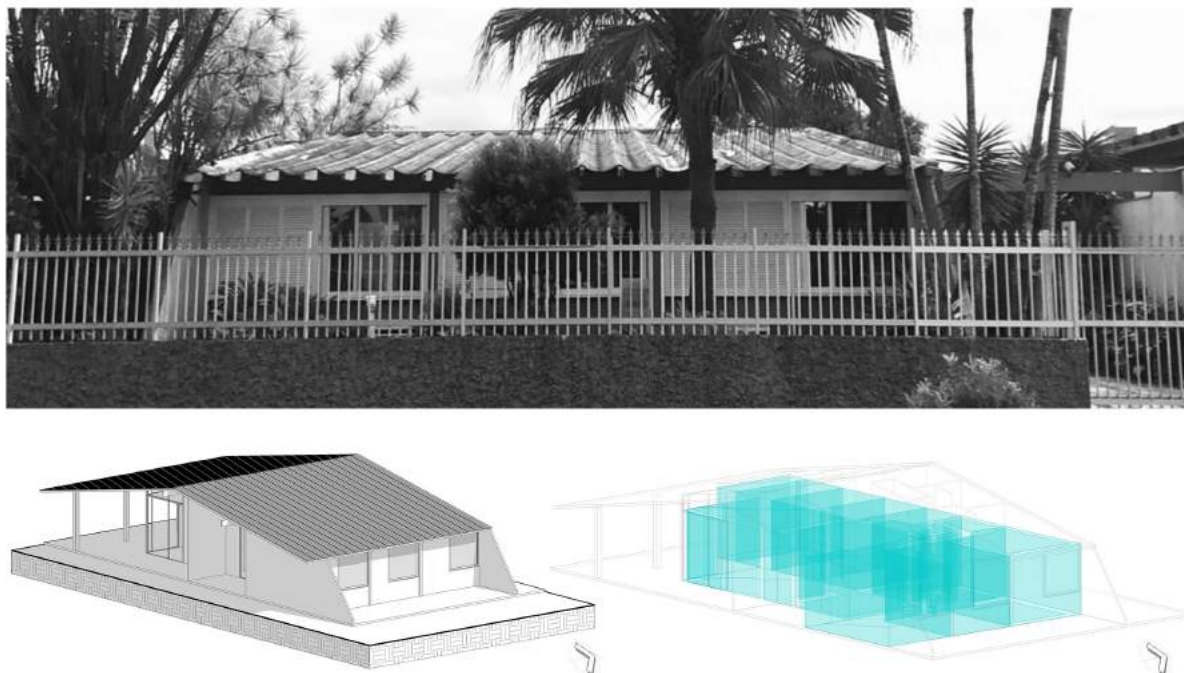


Figura 43 – Fachada da residência 17 e modelos 3D

Projetada em 1975 pelo Eng. Hary Nelson Schmidt, esta residência consiste em um programa de necessidades pequeno, onde se dispõem na fachada frontal orientada à leste do terreno três dormitórios, à norte ambientes de serviço como sopa, dormitório de empregada, lavanderia e banheiros, e à sul os ambientes sociais - *living* e sala de jantar. Na Figura 43 apresenta-se a fachada frontal e os modelos tridimensionais resultantes da modelagem para simulação.

As principais estratégias passivas de conforto que podem ser observadas são clara-boias nos dois banheiros para iluminação zenital, venezianas de madeira nas esquadrias dos dormitórios e pérgolas nos pátios laterais ao volume central. Tanto as paredes internas quanto externas possuem espessura de 10cm e a cobertura consiste em um telhado de duas águas aparente, com em telhas de fibrocimento do tipo modulada. A planta baixa do Anexo 69 demonstra a disposição dos espaços e estratégias passivas de conforto.

Os principais usos de energia são atribuídos ao aquecimento da UH (59%) enquanto 32% destinam-se a eletricidade e 9% ao resfriamento. Como já discorrido anteriormente, a troca de cargas térmicas não é balanceada, onde através dos elementos construtivos perde-se calor muito rápido por radiação, o que pode ocasionar um aumento do uso de equipamentos climatizadores nos ambientes internos. O uso de eletricidade anual pode chegar em até 8409,26 kWh e está representado pela Figura 44.

- Comparativos e verificações ds etiquetagens

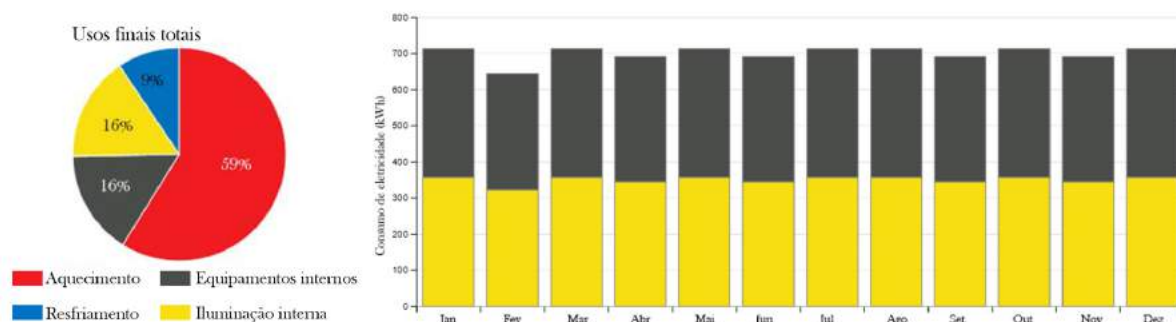


Figura 44 – Gráficos de usos de energia da residência 17

Apenas cinco dos doze ambientes internos presentes nesta UH são considerados APP's: os três dormitórios, o dormitório de empregada e o *living*. Na classificação obtida pelo método prescritivo, a maior etiquetagem ficou com o dormitório 02, enquanto ambientes como o dormitório de empregada e *living* tiveram etiquetagem D, respectivamente. A pontuação do conjunto foi estabelecida como 2,34 (Etiqueta D).

Ao realizar a verificação individual de cada APP, considerando o consumo relativo de refrigeração pela simulação, destaca-se em apoio da Tabela 39 que o dormitório de empregada tem sua etiquetagem aumentada para A, o dormitório 02 permanece com etiquetagem máxima, enquanto os dormitórios 01 e 03 tem etiquetagem B. Deste modo, a pontuação para os APP's passa a ser 4,00 (Etiqueta B).

APP	Área computada (m ²)	Consumo de refrigeração (C_R) (kWh/m ² .ano)	Classificação de acordo com RTQ-r	Classificação de acordo com a simulação
Dormitório 01	16,80	23,61	C	B
Dormitório 02	10,97	15,69	A	A
Dormitório 03	14,47	19,03	B	B
Dormitório empregada	7,00	12,55	D	A
Living	42,30	49,94	D	D
Demais ambientes	28,56	39,71	não foram classificados	D

Tabela 39 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 17

Classificação	Condição para SWERA (kWh/m ² .ano)	Consumo (kWh/m ² .ano)	Classificação APP (RTQ-r)	Classificação APP (Simulação)	Classificação todos os ambientes (Simulação)
A	$C_R < 18,112$	31,44	D	B	C
B	$18,112 < C_R < 28,960$				
C	$28,960 < C_R < 38,712$				
D	$38,712 < C_R < 51,450$				
E	$C_R > 51,450$				

Tabela 40 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 17

Para uma verificação com maior veracidade da performance energética da UH, foi computado o consumo de refrigeração de todos os ambientes de 31,14 kWh/m².ano, que ao ser relacionado com os indicadores de consumo, classificam a etiquetagem final para

C, como indica a Tabela 40. O fato de apenas 40% dos ambientes serem considerados pelo método prescritivo, apesar de possuírem as maiores áreas da edificação, indicam que a exclusão de ambientes de serviço influencia no desempenho energético da UH, que só podem ser observados a partir da simulação computacional, e enfatizando que a exclusão de ambientes não caracterizados como APP's pode ocasionar discrepâncias entre as classificações, tendo em vista o potencial da simulação para melhor visualização da performance energética desta residência.

6.18 RESIDÊNCIA 18

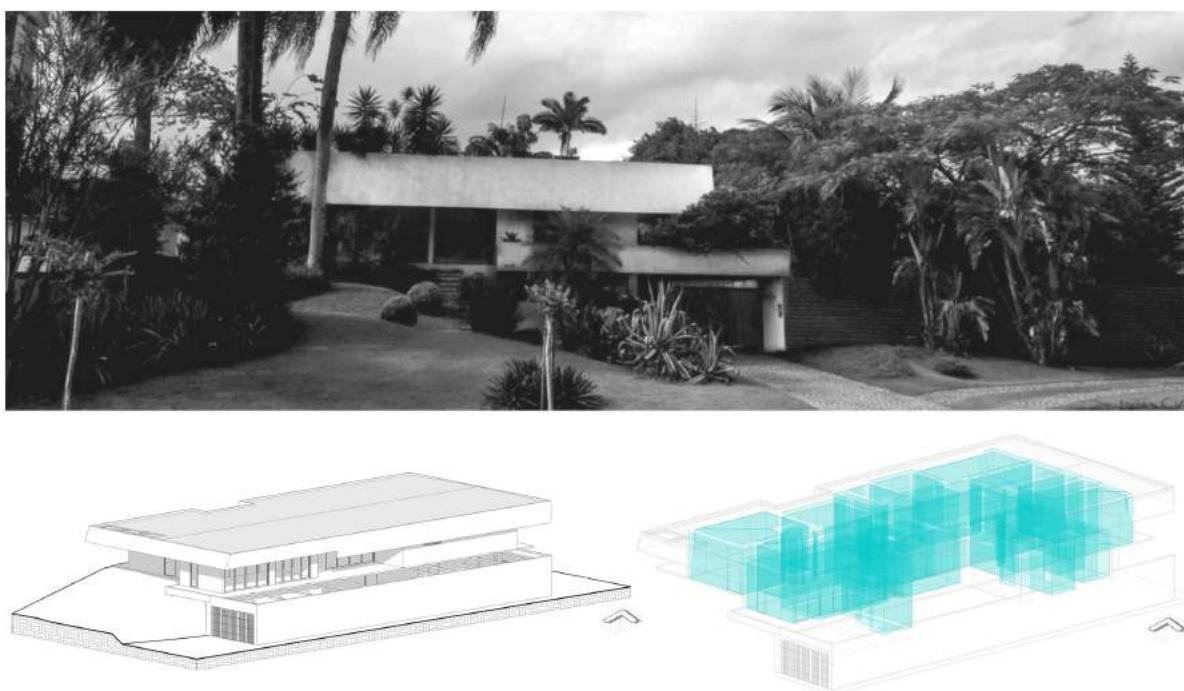


Figura 45 – Fachada da residência 18 (MENDES, 2018) e modelos 3D

A última residência nesta amostragem consiste em uma obra do arquiteto Luís Napoleão Carias de Oliveira de 1980. Na Figura 45 pode ser observada a fachada frontal e os volumes tridimensionais resultantes do modelamento e simulação energética desta pesquisa, que abrange todos os espaços internos para computação do consumo energético total.

A UH divide-se entre dois pavimentos, onde no superior estão dispostas zonas de lazer, como área com churrasqueira e uma pequena biblioteca. Já no pavimento superior, estão dispostas as zonas íntimas, com quatro dormitórios à norte, copa, estar íntimo à leste, estar social e escritório à sul, além de alguns ambientes de serviço à oeste. A fachada frontal, localizada à sul do terreno abriga as zonas sociais - salas e escritório - apresentados no Anexo 70. A ventilação pela edificação ocorre principalmente pelos ventos sudeste e noroeste.

Das estratégias passivas de conforto, o que se observa é o emprego de venezianas de madeira nos dormitórios, pérgolas na parte inferior do terreno e uso de claraboias especialmente no lavabo e escritório no pavimento superior. Beirais estão dispostos ao longo de todas as fachadas com profundidades que variam entre 50 a 160 centímetros, que cabe destaque a estratégia de proteção nas esquadrias além dos beirais, observado no modelo 3D, proporcionando um sombreamento eficaz para as aberturas de vidro das fachadas laterais. Na cobertura, telhas onduladas de fibrocimento foram utilizadas.

Os usos finais de energia da UH são direcionados à 42% provenientes do aquecimento, 41% de eletricidade (iluminação e equipamentos internos) e 17% provenientes do resfriamento. Estes dados podem oferecer reflexões quanto à perda de calor ocasionada de forma ágil dentro dos ambientes, sendo reflexo dos materiais empregados na envoltória - paredes de 15 e 25cm no pavimento superior, bem como das esquadrias, pela grande maioria se caracterizarem por aberturas de madeira apenas com vidro para proteção da insolação, sem a presença de venezianas. O consumo de eletricidade anual pode chegar a 18363,96 kWh. A Figura 46 representa os gráficos de usos finais e o comportamento de consumo anual de eletricidade da UH.

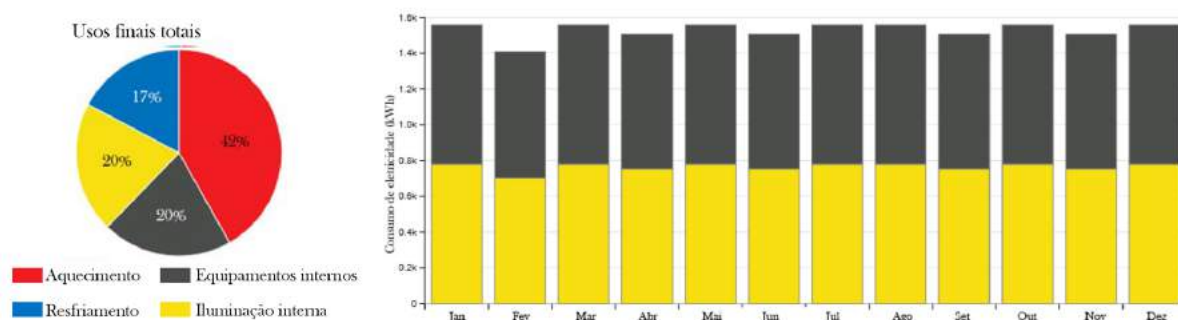


Figura 46 – Gráficos de usos de energia da residência 18

- Comparativos e verificações das etiquetagens

De todos os 40 ambientes internos da edificação, entre zonas de serviço, sociais e íntimas, apenas 8 ambientes foram considerados como de permanência prolongada para a determinação da etiquetagem estabelecida por Mendes (2018) em seu estudo inicial: os dormitórios, a sala de estar, jantar e a copa. A residência obteve como etiquetagem final C (pontuação de 2,59), enquanto na verificação realizada em conjunto com a simulação energética, que determina os valores de consumo de refrigeração para os APP's, como etiqueta C, porém com a pontuação de 3,50.

Na Tabela 41 estão identificadas as verificações de etiquetagens, evidenciando que o dormitório 02 permanece com a mesma, o dormitório 03 com a máxima, e os ambientes de estar/jantar com redução de etiquetagem para D.

O melhor entendimento sobre as estratégias de conforto e eficiência energética

APP	Área computada (m ²)	Consumo de refrigeração (C_R) (kWh/m ² .ano)	Classificação de acordo com RTQ-r	Classificação de acordo com a simulação
Dormitório 01	22,60	32,32	C	C
Dormitório 02	13,77	26,60	B	B
Dormitório 03	13,77	17,46	B	A
Dormitório 04	9,48	18,52	B	B
Estar íntimo/copa	39,23	35,70	C	C
Estar/jantar	34,00	51,21	D	D
Demais ambientes	54,87	100,40	não foram classificados	E

Tabela 41 – Comparativo de etiquetagem dos APP entre os métodos analisados da Residência 18

Classificação	Condição para SWERA (kWh/m ² .ano)	Consumo (kWh/m ² .ano)	Classificação APP (RTQ-r)	Classificação APP (Simulação)	Classificação todos os ambientes (Simulação)
A	$C_R < 18,112$	27,25	C	C	B
B	$18,112 < C_R < 28,960$				
C	$28,960 < C_R < 38,712$				
D	$38,712 < C_R < 51,450$				
E	$C_R > 51,450$				

Tabela 42 – Comparativo de etiquetagem final entre os métodos analisados da Residência 18

do Movimento Moderno nesta UH só pode ser melhor identificado quando computado o consumo de refrigeração de todos os ambientes da residência, tendo em vista que a permanência de classificação quando verificada apenas os APP's entre os métodos. Sendo assim, como resultado da simulação tem-se o consumo de 27,25 kWh/m².ano, que, quando verificado com as condições de referência estabelecidas para o consumo de refrigeração da ZB5, eleva a etiquetagem da UH para B, identificado pela Tabela 42.

Destaca-se que no método prescritivo, quando considerados os APP's na fachada oeste, apenas o dormitório 01 é computado, enquanto os demais ambientes de serviço localizados na mesma fachada, que possuem grandes aberturas com iluminação zenital e elementos de proteção solar não foram incluídos, que podem ocasionar a diferença de classificação entre os métodos e influenciar na eficiência energética final.

6.19 SÍNTESE DOS RESULTADOS

Para melhor entendimento do resultado da amostragem, foram sintetizados na Tabela 43 a etiquetagem realizada com o método prescritivo do RTQ-r, que avaliavam apenas os APP, com os obtidos a partir da simulação energética, os quais consideraram tanto a etiquetagem final reajustada para os APP's e ao incluir todos os ambientes internos. Conforme demonstrado no 4.2, para a Zona Bioclimática 5, onde está inserida a cidade de Joinville, a regulamentação do método prescritivo do RTQ-r determina que seja apenas considerado o Consumo de Refrigeração para quaisquer tipologias dos edifícios.

Convém ressaltar que algumas observações levantadas por Mendes (2018) permane-

residência	Consumo de refrigeração (kWh/m ² .ano)	Etiquetagem RTQ-r (APP's)	Etiquetagem simulação (APP's)	Etiquetagem simulação (todos os ambientes)
01	26,60	C	B	B
02	42,55	B	B	D
03	47,34	D	B	D
04	22,76	C	C	B
05	20,61	C	B	B
06	49,30	C	B	D
07	23,80	C	A	B
08	30,60	D	C	C
09	41,28	D	B	D
10	22,16	D	B	B
11	28,90	C	B	C
12	33,75	D	C	C
13	32,50	D	C	C
14	23,94	C	A	B
15	29,75	C	B	C
16	32,90	D	A	C
17	31,14	D	B	C
18	27,25	C	C	B
Média	31,49	C	B	C

Tabela 43 – Síntese das verificações de etiquetagens finais das residências

cem nesta pesquisa, tal qual a ausência de etiquetagens máximas e mínimas (A e E) nas UH para a classificação de todos os ambientes. Tendo em vista a quantidade expressiva de estratégias passivas de conforto dos projetos, como pátios, venezianas e brises, a pontuação do RTQ-r muitas vezes não condizia com a pontuação obtida quando avaliada pelo consumo de energia para refrigeração, a se destacar através da residência 02, que apesar de englobar no cálculo quase todos os ambientes internos e possuir o maior nível de eficiência da amostragem (B), na simulação foi verificado o nível D para todos os ambientes. Isto, pois, nos ambientes internos, a maior parte das aberturas estão orientadas à leste e oeste, sem que haja qualquer proteção da insolação, a não ser o sombreamento dos beirais, que não são eficazes para a redução do consumo para refrigeração, além dos demais ambientes não classificados como APP's não terem sido considerados pelo método prescritivo, resultando no aumento do consumo, e rebaixamento na classificação final de etiquetagem.

Este rebaixamento também pode ser observado na residência 06, que pelo método do RTQ-r considerou apenas 50% dos ambientes do pavimento superior para o cálculo. Ao englobar todo o conjunto, a classificação que anteriormente era C ficou como D.

Já para as residências 01, 04, 05, 07, 08, 10, 12, 13, 14, 16, 17 e 18, as classificações

finais validadas foram alteradas em relação às anteriores, o que significa que muitos ambientes não considerados possuem estratégias de conforto eficazes, reduzindo o consumo de refrigeração e aumentando sua performance energética, bem como a eficiência dos elementos de sombreamento que impactam no consumo energético (beirais, pérgolas e venezianas especialmente).

Para as residências 03, 09, 11 e 15 a classificação final manteve-se a mesma com relação aos métodos prescritivos e da simulação, mas alterados quando avaliados apenas os APP's, significando a importância de considerar todos os ambientes para verificação de uma classificação final. Coube destaque ao consumo da residência 15, que apesar de possuir classificações de nível "A" e "B" em todos os ambientes internos, foi verificada como "C" na classificação de consumo total, sendo que este é apenas 0,79 kWh/m².ano acima que a condição estabelecida para a etiquetagem "B", enfatizando que, muitas vezes, a relação entre classificação e consumo deve ser mais aprofundada para verificação de uma etiquetagem condizente com a eficiência energética. Convém ressaltar que, de maneira geral, 66,67% das residências tiveram aumento de suas etiquetagens, enquanto 11,11% sofreram redução e 22,22% mantiveram-se as mesmas.

A média de pontuação do conjunto de todas as residências, considerando apenas os APP's, anteriormente estabelecida por Mendes (2018) de 2,55 (etiqueta C), é verificada 4,00 (etiqueta B). Considerando o consumo médio de 31,49 kWh/m².ano para as residências quando avaliado todos os ambientes internos, a classificação final do conjunto é estabelecida como C. Não pode-se afirmar, aqui, que a coincidência entre a classificação final pelos métodos resulta na eficácia de aplicação do RTQ-r ou da simulação computacional, pois ambos utilizam critérios distintos para a avaliação da eficiência energética. Ressalta-se a importância da avaliação a partir de ambas metodologias, mas que considerem todos os elementos e ambientes de uma edificação e sua envoltória.

A Figura 47 representa a dispersão entre o consumo de refrigeração de cada UH em comparação com as etiquetagens obtidas, de modo a ser observado que a média de consumo é caracterizada entre 30 e 32 kWh/m².ano, sendo a maior parte das etiquetagens atribuídas entre B e C, condizente com a média encontrada pela amostragem abordado anteriormente.

Dos Ambientes de Permanência Prolongada, para melhor visualização das classificações realizadas pelas metodologias, a Figura 48 representa, por residência, a quantidade de APP's que tem aumento da etiquetagem, sofrem redução ou permaneceram a mesma considerando o consumo de refrigeração individual. O que se evidencia é que 54,19% dos ambientes tem sua etiquetagem aumentada, 12,21% permanecem a mesma, e 33,58% tem redução.

Há diversas razões para explicar as alterações das classificações, mas a principal delas é que a variável dependente escolhida anteriormente (RTQ-r) analisou o desempenho

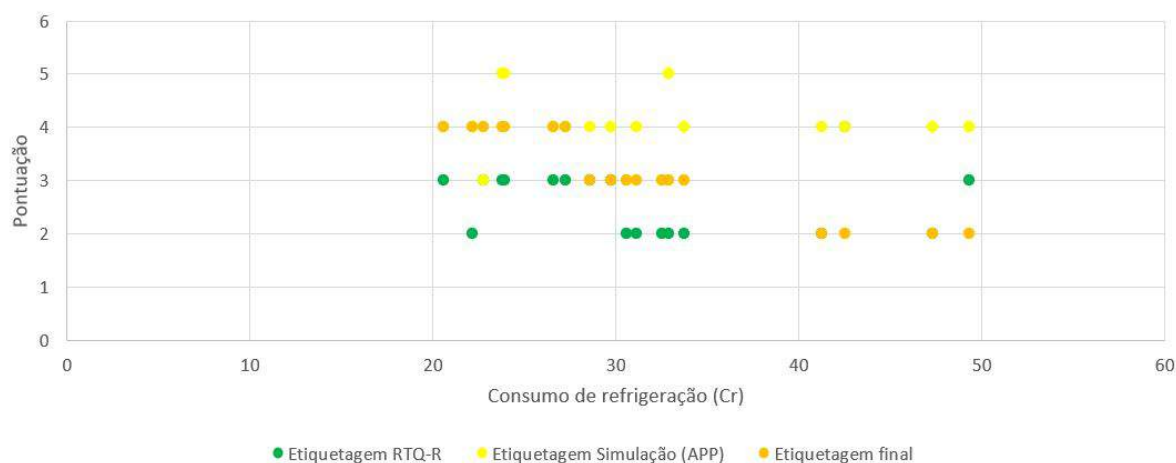


Figura 47 – Dispersão entre o Consumo de Refrigeração e as etiquetas obtidas

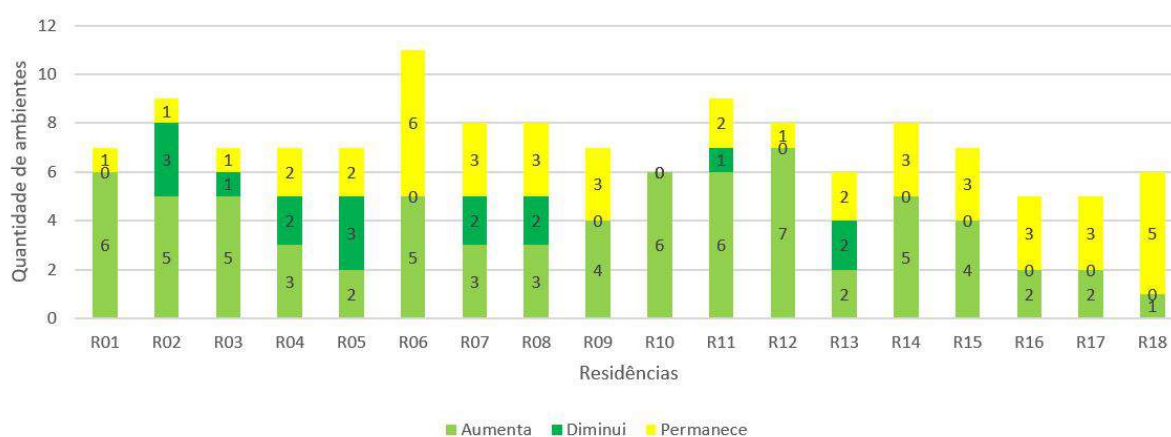


Figura 48 – Relação da quantidade de ambientes e classificações alteradas, mantidas ou reduzidas

térmico das residências apenas considerando os ambientes de permanência prolongada com relação aos elementos da envoltória (paredes e esquadrias), e aplicadas bonificações de acordo com a presença dos elementos em cada UH.

Na simulação energética, foram computados para o consumo de energia de refrigeração todos os ambientes internos; os padrões de ocupação; equipamentos condicionadores de ar e iluminação representativas, com as devidas rotinas de uso; além do comportamento das propriedades térmicas dos materiais na envoltória externa e paredes internas. Pode-se dizer que a simulação é mais coerente ao analisar o desempenho em condições mais próximas das reais. Apresentar um valor de consumo de energia para melhor visualização do conjunto torna a análise simplificada e otimizada para os pesquisadores e profissionais da construção civil, podendo ser observado onde há a maior demanda de energia, e a relação com seu projeto e estratégias construtivas para promoção da eficiência energética.

A orientação básica à norte das residências (fachada referência) pode ser verificada - de acordo com a Figura 49 - pelo critério dos consumos mais significativos da amostragem.

Contudo, o maior consumo é da residência 06, orientada à oeste, destacando que o restante das UH's com a mesma orientação obtiveram performances satisfatórias com relação ao conjunto.

As residências com as fachadas orientadas à sul também mostraram ser uma estratégia de projeto adequada no que diz respeito à implantação, ao avaliar-se pelo consumo energético. Destaca-se que a orientação de fachadas à leste e a sul podem induzir a melhores performances energéticas, em conjunto com as estratégias passivas de conforto e princípios da Arquitetura Moderna.



Figura 49 – Relação entre o consumo de cada residência e a orientação da fachada

Por fim, é evidente que os métodos podem ou não conduzir a resultados equivalentes, dependendo do cenário de avaliação, mas com apoio do BIM são fornecidos resultados mais precisos e reais sobre a performance energética de cada amostra, através da visualização da etiquetagem através do consumo relativo de refrigeração. Contudo, as comparações realizadas levando em consideração a pontuação final apenas para os APP's, e de todos os ambientes, indicou que grande parte dos casos é diferente da pontuação estabelecida pelo método prescritivo de desempenho, sendo que este não fornece um panorama detalhado sobre a aplicação das estratégias passivas de conforto sobre as UH na amostragem de Joinville.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo a análise comparativa de etiquetas de eficiência energética a partir de um conjunto de edificações residenciais Modernas da cidade de Joinville, em Santa Catarina, provenientes do estudo de Mendes (2018), através do método prescritivo do RTQ-r e da simulação computacional. A verificação das etiquetas se tornou necessária, tendo em vista que o regulamento muitas vezes não se mostra preciso e eficaz na classificação de desempenho energético de uma edificação. Sendo assim, foi ampliado o banco de dados das edificações com a modelagem virtual e seus respectivos elementos construtivos, analisado o desempenho energético de cada residência de Arquitetura Moderna através dos métodos elencados e comparado e verificado o desempenho nos índices que compõem os instrumentos regulamentadores em questão.

Com base nesses estudos, a metodologia envolveu o modelamento das edificações para a análise da eficiência energética com base no banco de dados já existente e na calibração dos modelos com diversos parâmetros. Os padrões de uso e ocupação interferem diretamente no consumo, tendo em vista que o usuário tem o poder de tomar decisões de ventilar ou não a casa, escolher os equipamentos elétricos, os tipos de lâmpadas, entre outros fatores. Por isso, foi adotado como padrão o uso durante as 24 horas do dia, todos os dias da semana. A proximidade dos resultados da simulação com a realidade está diretamente ligada com a compreensão da realidade dos usuários das Unidades Habitacionais. A generalização dos dados abordados pelo método prescritivo do RTQ-r leva ao questionamento se de fato o desempenho energético condiz com a realidade dos usuários.

Entende-se que a simulação computacional ainda é um ponto crítico, mas que com a otimização dos modelos considerando as simulações com base em BIM mostrou um grande potencial, onde os programas forneceram uma solução integrada sobre as informações e análises energéticas das UH's, bem como sobre as exportações dos modelos do Revit para os mecanismos de simulação (Green Building Studio e EnergyPlus) para obtenção dos resultados pretendidos. Na transformação do modelo 3D para o modelo de energia, que por já estar compatibilizado no mesmo programa, permitiu maior interoperabilidade dos dados e resultados com gráficos sendo mais compreensíveis.

Assim, os programas apresentaram dados interessantes para os resultados, mostrando detalhes sobre as construções e transferências de calor que concederam a identificação dos consumos de refrigeração e de eletricidade anuais, que quando comparado aos dados obtidos pelo RTQ-r se apresentaram superficiais para o entendimento sobre a avaliação energética das residências de Arquitetura Moderna. A contribuição para classificação da etiquetagem com relação ao RTQ-r e a simulação foram atingidas quando identificadas as diferenças de consumo entre os parâmetros obtidos em cada metodologia, de modo que se

validasse a etiquetagem final concordando com o consumo de cada UH.

Além disso, evidência como cerne da simulação a escolha dos dados climáticos condizentes com os arquivos utilizados pelos programas e pelo cálculo de indicador de consumo, que deve representar da melhor forma o microclima local. Além disso, com a ferramenta BIM, teve-se maior facilidade de encontrar os arquivos climáticos a partir da inserção dos endereços de cada UH de forma automatizada para escolha da estação climática mais próxima..

A especificação de equipamentos elétricos foi essencial na validação, tendo em vista sua grande utilização desde a época dos projetos. Para a obtenção de resultados mais precisos, é recomendado considerar principalmente o uso da iluminação e dos equipamentos elétricos quando avaliada a etiquetagem pelo método de simulação, já que não são considerados pelo RTQ-r.

Algumas limitações encontradas foram enquanto à escolha do sistema AVAC no programa de modelamento para avaliar com maior precisão as cargas de refrigeração, pois nos projetos originais é possível perceber o detalhamento dos condicionadores de ar nas plantas baixas, o que comprova que no período de construção das edificações eram dispostos estes sistemas. Outro fator que influencia diretamente nos resultados são as propriedades térmicas dos materiais da envoltória (paredes, lajes e coberturas), que nesta pesquisa considerou valores de acordo com a normativa brasileira, mas que podem ser distintos daqueles provenientes dos materiais utilizados *in loco*, deixando suscetível os resultados de consumo encontrados, mas que podem ser resolvidos com pesquisas de laboratório a partir de amostragens reais coletadas das residências estudadas.

Ainda, enquanto ao estudo de caso do conjunto de residências de Arquitetura Moderna de Joinville, destaca-se a dificuldade em ter acesso ao interior dos imóveis para melhor coleta de dados dos parâmetros construtivos, principalmente por serem residências privadas, assim como o consumo real de energia para validação das simulações e verificação da margem de erro dos dados apresentados.

Considerando que o RTQ-r é recente e sabidamente poucas avaliações pelo método da simulação computacional foram realizadas até o momento para verificação das etiquetagens, este estudo é importante no sentido de avaliar a aplicação deste e levantar questionamentos e discussões sobre a etiquetagem através do consumo de refrigeração, que englobe todos os ambientes internos, não apenas os ambientes de permanência prolongada. Este estudo poderia ser aplicado em todas as zonas bioclimáticas do Brasil, com o intuito de obter parâmetros que relatem a real etiquetagem para as mais diversas tipologias construtivas existentes, além de prever gastos energéticos desnecessários nas mais diversas etapas de projeto.

No quesito do desempenho das edificações se evidenciou a estratégia de conforto pas-

siva do Movimento Moderno como grande percursora de melhores desempenhos energéticos das edificações. Nesse sentido, evidencia-se o abandono de muitas práticas construtivas deste período que mostraram - através da análise de energia - serem eficazes na promoção da sustentabilidade e conforto aos usuários.

Por isso, arrisca-se dizer que o fator que determinou o abandono das práticas oriundas do Movimento Moderno no Brasil foram as poucas contribuições do que significava esta arquitetura e quais eram seus verdadeiros valores, por parte do que se produz hoje na construção civil não ser tão bem sucedido em termos energéticos, percebido pelo aumento da instalação de climatizadores de ar ocasionados pela falta de elementos construtivos que possam ser eficazes na redução das cargas de refrigeração interna. A ampliação dos preceitos modernos nas instituições de ensino atuais pode trazer, no longo prazo, a volta de muitas dessas premissas e elementos ao avaliar a situação atual das edificações, em conjunto com a maior demanda de estudos similares para promoção do conhecimento das práticas modernas e performances energéticas.

Portanto, além da comparação da eficácia entre os métodos de simulação energética, surge a necessidade de voltar a olhar para a produção da arquitetura brasileira, e no caso do sul do Brasil, da cidade de Joinville entre 1970 e 1990, se encontra muito mais que um estilo a ser revivido na construção civil atual, mas um modo de concepção formal que conseguia abranger, através da forma e função, práticas eficazes e determinantes na promoção da sustentabilidade e ganhos energéticos, de um discurso que vem ganhando, a cada dia mais, força no cenário atual.

Para trabalhos futuros, sugere-se:

- Análise estatística da porcentagem de variação de pontuação entre os métodos avaliados e orientações das residências, bem como da relação entre a quantidade de elementos e a eficiência energética do conjunto;
- considerar outras tipologias e climas do Brasil para verificar se os métodos realmente diferem;
- aplicar a metodologia com o BIM para análises energéticas de outras edificações;

REFERÊNCIAS

- ABANDA, F.; BYERS, L. An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging bim (building information modelling). *Energy*, Elsevier, v. 97, p. 517–527, 2016.
- ABNT. Nbr 15220-1: Edificações habitacionais—desempenho, requisitos gerais. *ABNT/CB-02, Comitê Brasileiro de Construção Civil*, 2013.
- ABNT. Nbr 15220-2: Desempenho térmico de edificações parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. *ABNT/CB-02, Comitê Brasileiro de Construção Civil*, 2013.
- AGENCY, I. I. E. Energy efficiency 2018. 2018.
- ALTOÉ, L. et al. Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. *Estudos Avançados*, SciELO Brasil, v. 31, n. 89, p. 285–297, 2017.
- AMANI, N.; SOROUSH, A. R. Effective energy consumption parameters in residential buildings using building information modeling. *Global Journal of Environmental Science and Management*, GJESM Publisher, v. 6, n. 4, p. 467–480, 2020.
- ANDIA, A. Towards algorithmic bim networks: The integration of bim databases with generative design. *Cadernos de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo*, São Paulo, v. 1, p. 13–30, 2008.
- ANGELIN, A. F. *Concreto leve estrutural: desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais*. 126 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014.
- ASL, M. R.; ZARRINMEHR, S.; YAN, W. Towards bim-based parametric building energy performance optimization. CUMINCAD, 2013.
- AUTODESK. *Autodesk Building Performance Analysis*. 2020. Disponível em: <http://help.autodesk.com/view/BUILDING_PERFORMANCE_ANALYSIS/ENU/>.
- AZHAR, S.; BROWN, J.; FAROOQUI, R. Bim-based sustainability analysis: An evaluation of building performance analysis software. In: *Proceedings of the 45th ASC annual conference*. [S.l.: s.n.], 2009. v. 1, n. 4, p. 276–292.
- BRITO, A. C. et al. Contribuições para o aprimoramento da nbr 15575 referente ao método simplificado de avaliação de desempenho térmico de edifícios. *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, v. 14, 2012.
- CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios: parte 1: método prescritivo. *Ambiente Construído*, SciELO Brasil, v. 10, n. 2, p. 7–26, 2010.
- CHEN, S.-y. A green building information modelling approach: building energy performance analysis and design optimization. In: EDP SCIENCES. *MATEC Web of Conferences*. [S.l.], 2018. v. 169.

- CHVATAL, K. M. S. Avaliação do procedimento simplificado da nbr 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. *Ambiente Construído*, SciELO Brasil, v. 14, n. 4, p. 119–134, 2014.
- COELHO, A.; ODEBRECHT, S. Arquitetura moderna: reconhecimento e análise de edifícios representativos em Blumenau, sc. *Revista Dynamis*, v. 13, n. 1, p. 46–58, 2008.
- CRASA, I. Entendendo a modelagem de informação da construção (bim). 2020.
- DEEPA, K. et al. Energy analysis of buildings. 2019.
- DIAS, A. R. D.; PEDRINI, A.; CALADO, B. F. Desempenho térmico da envoltória de edifícios na zona bioclimática 08: comparação entre os métodos de simulação e prescritivo do rtq-r e o modelo de conforto adaptativo. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 11, p. 25356–25370, 2019.
- ELETROBRAS; PROCEL; GB3E. Manual para aplicação do rtq-r. v. 4, 2012.
- EPE, E. d. P. E. Consumo nacional de energia elétrica na rede por classe: 1995 - 2018. 2018.
- FERREIRA, C.; SOUZA, H.; ASSIS, E. Discussão dos requisitos e dos limites das propriedades térmicas para garantia de conforto térmico segundo as normas brasileiras. *XIV Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído/X Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, Balneário Camboriú/SC*, 2017.
- FONSECA, I. C. et al. Arquitetura moderna e conforto ambiental nos trópicos–diretrizes aplicáveis a casas de Lucio Costa na Gávea, Rio de Janeiro. *Anais do 8º Seminário docomomo*, 2009.
- FREIRE, M. R.; AMORIM, A. A abordagem bim como contribuição para a eficiência energética no ambiente construído. *V Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção Civil (TIC 2011)*, Salvador, 2011.
- GERRISH, T. et al. Bim application to building energy performance visualisation and management: Challenges and potential. *Energy and Buildings*, Elsevier, v. 144, p. 218–228, 2017.
- GOMES, L. D. et al. Constructive glue laminated wood (mlc): techniques and thermoenergetic performance. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 1, p. 191911919, 2020.
- GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. *Edifício ambiental*. [S.l.]: Oficina de Textos, 2015.
- GONTIJO, T. S. et al. Consumo industrial de energia elétrica: um estudo comparativo entre métodos preditivos. *Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE*, p. 31–45, 2017.
- GRANJA, A. D.; LABAKI, L. C. Paredes orientadas a leste e a oeste: uma abordagem crítica em relação ao conforto e à eficiência energética. *Ambiente Construído*, v. 4, n. 4, p. 65–75, 2004.

- GRÜNBERG, P. R. M. Avaliação das estratégias bioclimáticas de projeto para clima quente e úmido através de simulação: estudo de caso de edificação unifamiliar em joinville/sc. 2014.
- GRUNBERG, P. R. M.; TAVARES, S. F. Carta bioclimatica para a localidade de joinville/sc. *Encontro Latinoamericano de edificações e comunidades sustentáveis (ELECS)*, Curitiba, p. 1–7, 2013.
- HABIBI, S. The promise of bim for improving building performance. *Energy and Buildings*, Elsevier, v. 153, p. 525–548, 2017.
- HASAN, R.; AKTER, J. Energy performance analysis of a residential building: A case study on a typical residential building at mohammadpur in dhaka, bangladesh. *International Conference on Planning, Architecture and Civil Engineering, Rajshahi*, 2019.
- HEYWOOD, H. *101 rules of thumb for sustainable buildings and cities*. [S.l.]: Routledge, 2019.
- INMETRO. *Programa Brasileiro de Etiquetagem*. [S.l.: s.n.], 2012.
- ISOLANI, P. Manual do consumidor - eficiência energética nos edifícios residenciais. *Lisboa: Deco*, 2008.
- JALAEI, F.; JRADE, A. Integrating building information modeling (bim) and energy analysis tools with green building certification system to conceptually design sustainable buildings. *Itcon*, v. 19, p. 494–519, 2014.
- JOHN, V. M.; SILVA, V. d.; AGOPYAN, V. Agenda 21: uma proposta de discussão para o construbusiness brasileiro. *Encontro nacional e I Encontro Latino americano sobre edificações e comunidades sustentáveis*, v. 2, 2001.
- JÚNIOR, L. C. F.; CARVALHO, A. V.; ALVES, D. E. Condições de conforto ambiental para usuários: estudo de caso realizado na biblioteca central zila mamede/ufrn. *Revista Informação na Sociedade Contemporânea*, v. 1, n. 3, p. 1–21, 2017.
- KHAN, A.; GHADGE, A. N. Building information modelling (bim) based sustainability analysis for a construction project. *Available at SSRN 3366799*, 2019.
- KUMAWAT, R.; SINGH, R. Planing and design of green building architecture: A concept of sustainability. *International Journal on Recent Technologies in Mechanical and Electrical Engineering*, v. 6, n. 4, p. 04–06, 2019.
- LAINE, T.; KAROLA, A.; OY, O. G. Benefits of building information models in energy analysis. *Clima 2007 WellBeing Indoors, Olof Granlund Oy, Helsink, Finland*, 2007.
- LAMBERTS, R. *Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa Setor Comercial e Prédios Públicos?AT*. [S.l.]: PROCEL-Eletróbrás, 2007.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. Eficiência energética na arquitetura. 3ª edição. *São Paulo: PW*, 2014.
- LASSIO, J. de et al. Case study: Lca methodology applied to materials management in a brazilian residential construction site. *Journal of Engineering*, Hindawi, v. 2016, 2016.

- LEE, D.; CHA, G.; PARK, S. A study on data visualization of embedded sensors for building energy monitoring using bim. *International journal of precision engineering and manufacturing*, Springer, v. 17, n. 6, p. 807–814, 2016.
- LIMA, P. P. d. S. Estratégias bioclimáticas na arquitetura moderna de João Pessoa: Análise aplicada em três residências produzidas entre as décadas 1950-1980. Universidade Federal da Paraíba, 2015.
- LUZIANI, S.; PARAMITA, B. Autodesk green building studio an energy simulation analysis in the design process. *KnE Social Sciences*, p. 735–749, 2019.
- MACHADO, C. B. Z. *O tratamento de aspectos de conforto térmico em residências do período modernista em Curitiba*. 232 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- MACHADO, M.; BRITO, C.; NEILA, J. Comportamiento térmico em modelos com cubiertas ecológicas. *Tecnología y Construcción, Caracas*, v. 19, n. 3, p. 49–58, 2003.
- MACIEL, A. A. et al. Integração de conceitos bioclimáticos ao projeto arquitetônico. Florianópolis, SC, 2006.
- MACIEL, C. A. Villa Savoye: arquitetura e manifesto. *Arquitextos*, 2002.
- MAKOWIECKY, S.; VIANA, A. de O. Imagens do desejo de modernidade: arquitetura moderna em Florianópolis. *DAPesquisa*, v. 3, n. 05, p. 017–026, 2019.
- MARAGNO, G. V. Eficiência e forma do brise-soleil na arquitetura de campo grande-ms. 2000.
- MARINHO, M. da S.; MELO, W. C. de. Construção civil e a sustentabilidade ambiental. 2019.
- MARTEK, I. et al. The sustainability narrative in contemporary architecture: falling short of building a sustainable future. *Sustainability*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 10, n. 4, p. 981, 2018.
- MASCARELLO, V. L. D. Princípios bioclimáticos e princípios de arquitetura moderna-evidências no edifício hospitalar. 2005.
- MASCARÓ, R.; MASCARÓ, J. Uso racional de energia elétrica em edificações-iluminação. *Agência para Aplicação de Energia-ABILUX-PROCEL, São Paulo*, 1992.
- MENDES, N. 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.
- MENDES, T. B. *Desempenho térmico nas residências modernas de Joinville: Análise dos recursos construtivos e das envoltórias pelo RTQ-R*. 244 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville., 2018.
- MENEZES, G. L. B. B. de. Breve histórico de implantação da plataforma bim. *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*, v. 18, n. 22, p. 152–152, 2011.

- MIRA, F. D. *Arquitetura moderna em Joinville: A catedral diocesana São Francisco Xavier*. 82 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade da Região de Joinville, 2012.
- MME, M. das Minas e E. Guia para a efficientização energética nas edificações públicas. *Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL*, 2014.
- MOSTAFAVI, N.; FARZINMOGHADAM, M.; HOQUE, S. Envelope retrofit analysis using equest, iesve revit plug-in and green building studio: a university dormitory case study. *International Journal of Sustainable Energy*, Taylor & Francis, v. 34, n. 9, p. 594–613, 2015.
- MOTA, R. R. S. da; CUNHA, E. G. Análise das condições de uso e ocupação de his, localizadas na cidade de pelotas-zb2, preconizadas no rtq-r no método de simulação computacional. *Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo*, v. 16, n. 2, p. 25–25, 2016.
- MOTTA, S. F.; AGUILAR, M. T. P. Sustentabilidade e processos de projetos de edificações. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 4, n. 1, p. 88–123, 2009.
- NAJJAR, M. et al. Integrated optimization with building information modeling and life cycle assessment for generating energy efficient buildings. *Applied Energy*, Elsevier, v. 250, p. 1366–1382, 2019.
- NIZAM, R. S. et al. Simulating total embodied energy of building products through bim. In: IEEE. *2017 Winter Simulation Conference (WSC)*. [S.l.], 2017. p. 2394–2404.
- OLINGER, M. S. et al. Definição de escalas de eficiência energética da envoltória em edificações residenciais: Etiquetagem brasileira. *Revista Técnico-Científica*, n. 16, 2019.
- PAIVA, R. A.; DIÓGENES, B.; CARDOSO, D. R. Futuro do pretérito": Bim e documentação digital da arquitetura moderna em fortaleza. *VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção (TIC 2015)*, Recife, 2015.
- PICÓ, E. C.; JEMNI, A.; BENZARTI, H. Thermal simulation using bim a case study: Tunisian traditional dwelling. *International Journal of Multidisciplinary and Current Research*, v. 3, n. July/August, p. 742–746, 2015.
- PROCEL. *PROCEL EDIFICA - Eficiência energética nas Edificações*. [S.l.: s.n.], 2006.
- QUEIRÓZ, G. R. de et al. Autodesk revit® como ferramenta bim aplicada à simulação térmica de edificações. *Revista de Arquitetura IMED*, v. 4, n. 2, p. 33–41, 2016.
- RAHAL, M. S. *O conforto térmico nas Residências de Rino Levi*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2006.
- RAMAZAN, S.; AYBEK, H. Evaluate and measure performance of the building design to reduce energy consumption. *Recent Advances in Energy Conservation Techniques for Buildings Workshop: From Micro Scale to Urban Level*, p. 1–7, 2017.
- REQUENA-RUIZ, I. *Building a Brazilian climate in Paris: the Case of the House of Brazil (1953-1959)*. 2018.
- RITA, A. J. d. S. et al. Construção, materiais e conforto em ambiente tropical: a arquitetura nos trópicos. Edições Universitárias Lusófonas, 2014.

- ROTHER, L. M. Entender a arquitetura: Seus elementos, história e significados. *Barcelona: Editora Gustavo Gili*, 2017.
- RUSSO, F. *Climatic Responsive Design in Brazilian Modern Architecture*. Tese (Doutorado) — Martin Centre for Architectural e Urban Studies, Cambridge University, 2004.
- SABRI, N. S. M.; BIDIN, Z. A.; BOHARI, A. A. M. Integrated data management: Building information modeling (bim) in malaysia construction industry. In: *Proceedings of the 2018 7th International Conference on Software and Computer Applications*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 139–142.
- SANTANA, L. O. et al. Impacto da geometria de edificações sobre o desempenho térmico de acordo com o método prescritivo do rtq-r | impact of the building shape on the thermal performance according to the brazilian labelling program. *Oculum Ensaios*, v. 16, n. 1, p. 139–155, 2019.
- SANTOS, I. G. D.; SOUZA, R. V. G. D. Revisão de regulamentações em eficiência energética: uma atualização das últimas décadas. *Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável*, v. 1, n. 1, 2013.
- SCHELLER, C. et al. Análise de arquivos climáticos para a simulação do desempenho energético de edificações. *Laboratório de Eficiência Energética em Edificações*, p. 217, 2015.
- SHOSHAN, A.; ATTELLAH, A.; HASEEB, Q. S. Analysis and reduction of energy consumption in educational buildings: A case study in the college of education for pure sciences at the university of kirkuk. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, v. 10, n. 03, 2019.
- SHOVE, E. What is wrong with energy efficiency? *Building Research & Information*, Taylor & Francis, v. 46, n. 7, p. 779–789, 2018.
- SILVA, V. G. da; SILVA, M. G. da; AGOPYAN, V. Avaliação de edifícios no brasil: da avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade. *Ambiente Construído*, v. 3, n. 3, p. 7–18, 2003.
- SOUSA, A. M.; FIGUEIREDO, K. V. Avaliações de desempenho na era bim e os desafios da requalificação energética de edifícios. *Boletim do Gerenciamento*, v. 8, n. 8, p. 10–22, 2020.
- TONDELO, P. G.; BARTH, F. Análise térmica simplificada da envoltória segundo as normas nbr15220 e nbr15575-estudo de caso. *ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, v. 14, p. 828–837, 2014.
- WONG, J. K. W.; ZHOU, J. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green bim: A review. *Automation in Construction*, Elsevier, v. 57, p. 156–165, 2015.
- YEGANIAN TZ, T. S. Simulação computacional ambiental no sistema bim: possibilidades e limitações do cálculo da luz natural. 2016.

ZEIN, R. V.; BASTOS, M. A. J. *Brasil: arquiteturas após 1950*. [S.l.]: São Paulo: Perspectiva, 2010.

ZHAO, Q. et al. Toward automatic review of building energy efficiency based on building information modeling. In: IEEE. *2016 12th International Conference on Computational Intelligence and Security (CIS)*. [S.l.], 2016. p. 213–217.

ŽIGART, M. et al. Environmental impact assessment of building envelope components for low-rise buildings. *Energy*, Elsevier, v. 163, p. 501–512, 2018.

ANEXOS

As plantas baixas foram elaboradas por Mendes (2018) e anexadas nesta pesquisa para que o entendimento sobre a disposição de espaços de cada residência possa ser melhor compreendido. Foram destacados, em cada uma, os Ambientes de Permanência Prolongada (APP's) e as estratégias passivas de conforto.



Figura 50 – Planta baixa - Residência 02 (MENDES, 2018)

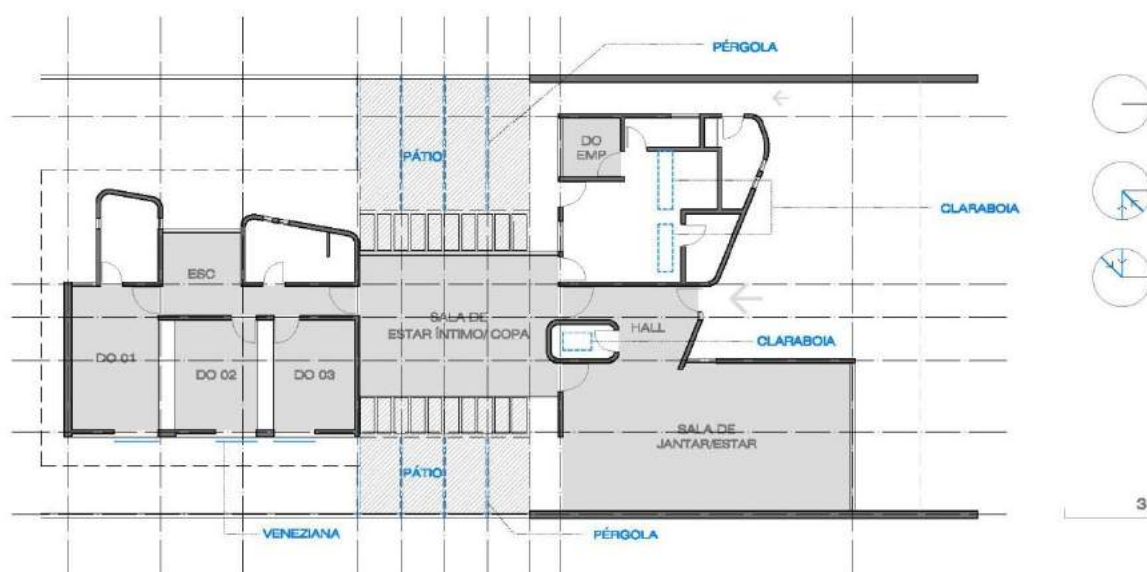


Figura 51 – Planta baixa - Residência 03 (MENDES, 2018)

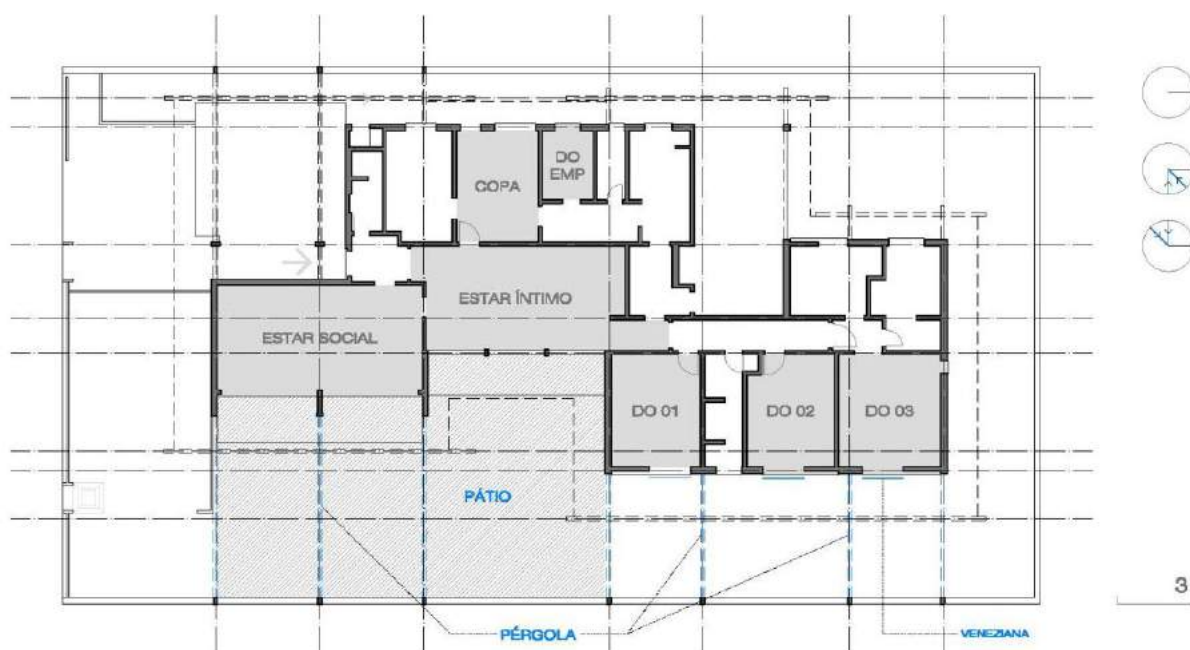


Figura 52 – Planta baixa - Residência 04 (MENDES, 2018)

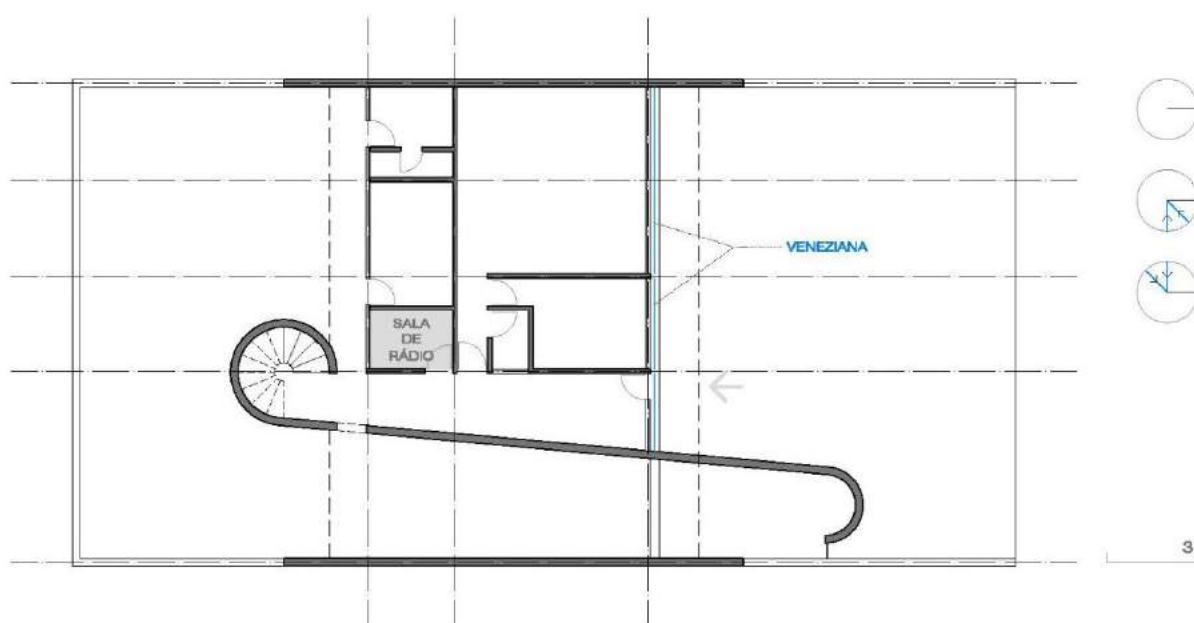


Figura 53 – Planta baixa - pavimento térreo - Residência 05 (MENDES, 2018)

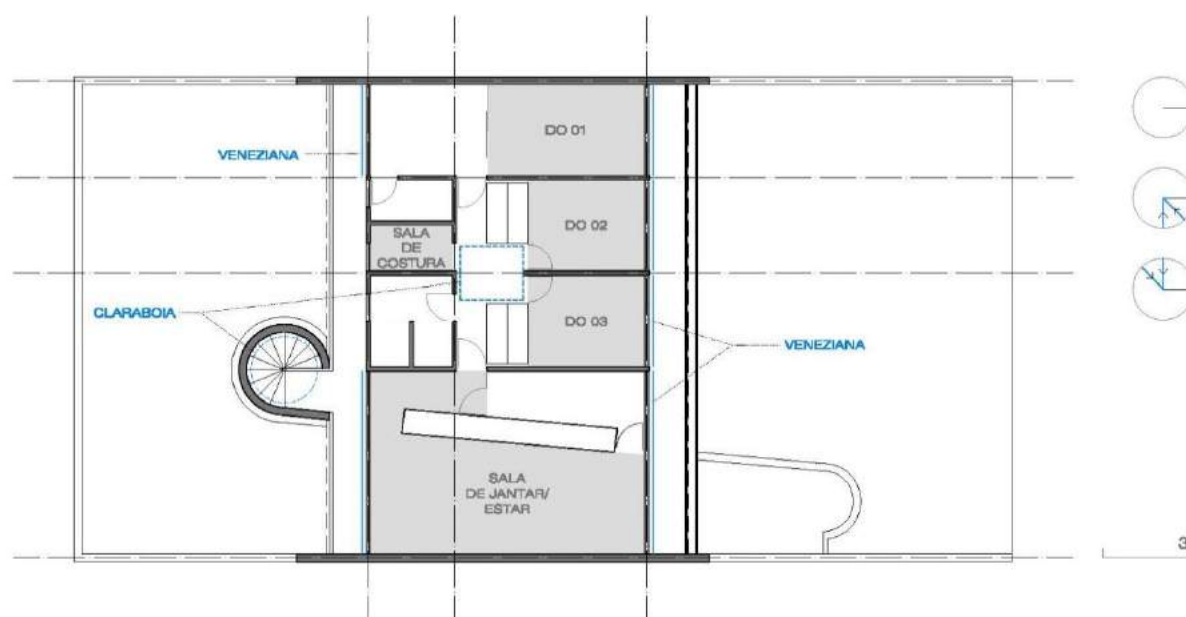


Figura 54 – Planta baixa - pavimento superior - Residência 05 (MENDES, 2018)

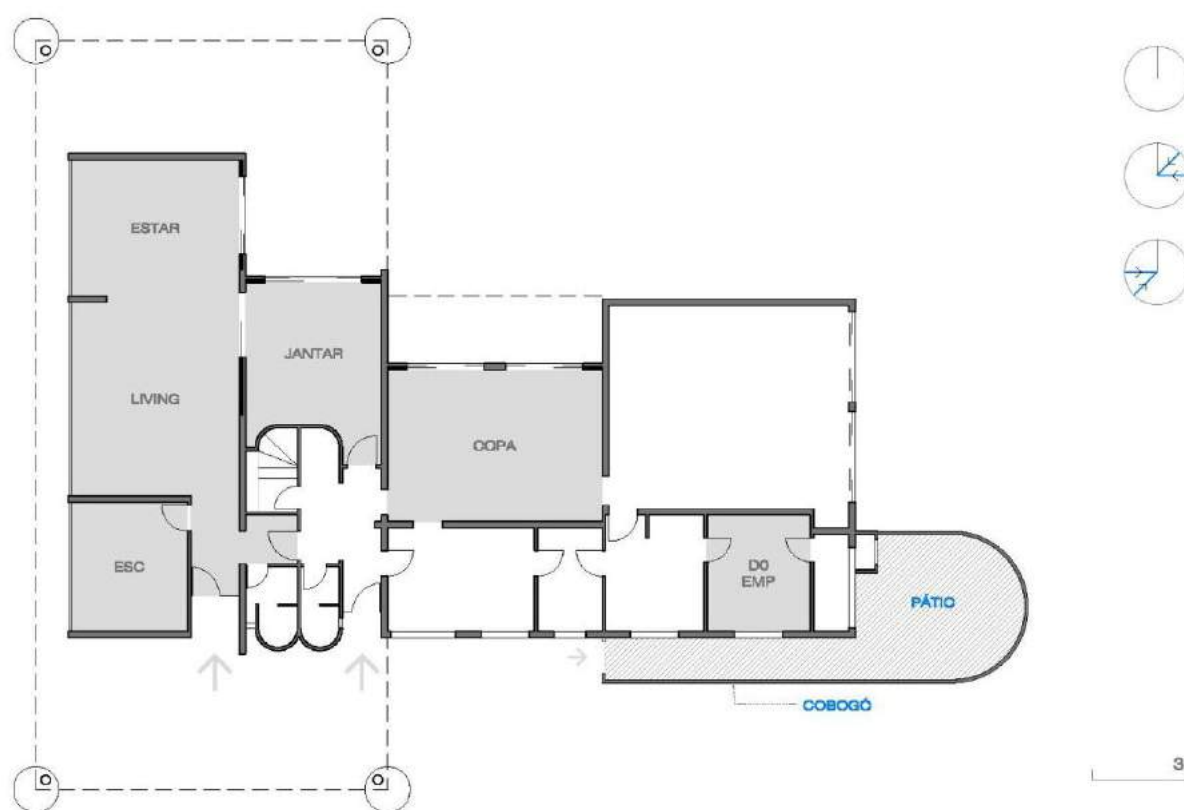


Figura 55 – Planta baixa - pavimento térreo - Residência 06 (MENDES, 2018)



Figura 56 – Planta baixa - pavimento superior - Residência 06 (MENDES, 2018)

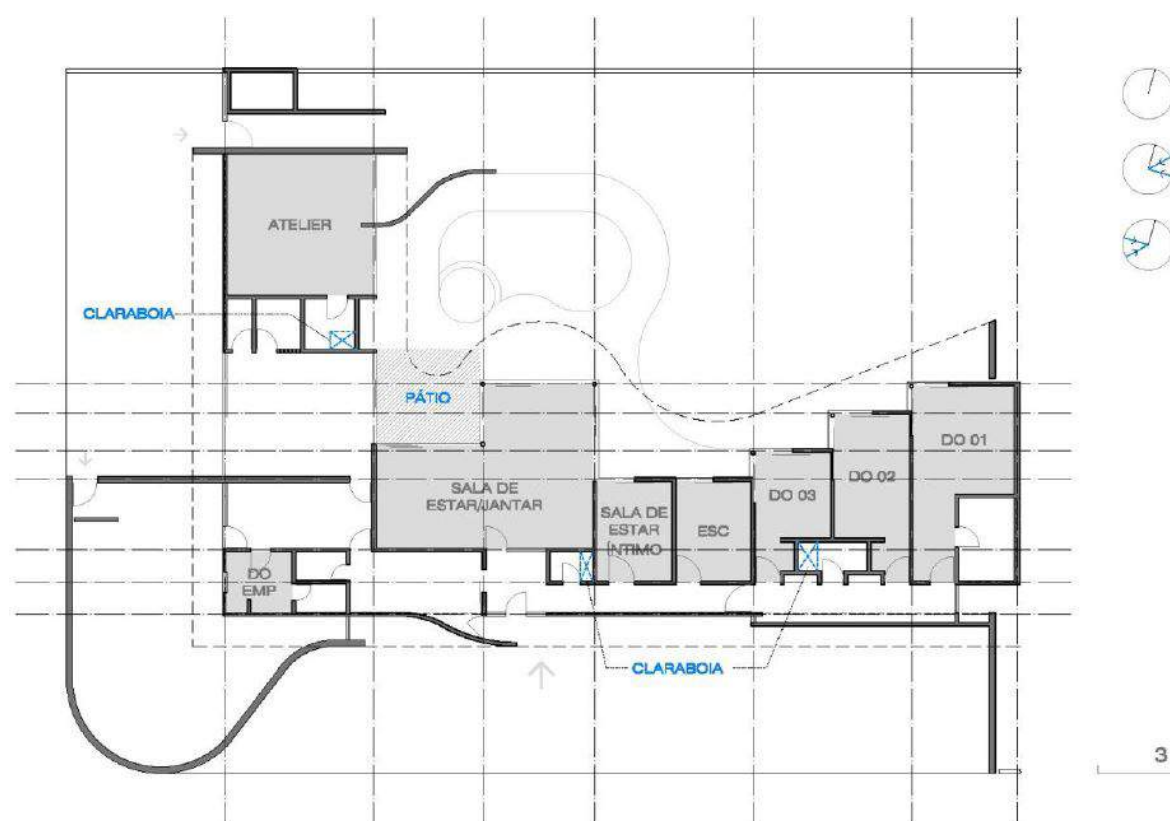


Figura 57 – Planta baixa - Residência 07 (MENDES, 2018)



Figura 58 – Planta baixa - Residência 08 (MENDES, 2018)



Figura 59 – Planta baixa - Residência 09 (MENDES, 2018)



Figura 60 – Planta baixa - Residência 10 (MENDES, 2018)

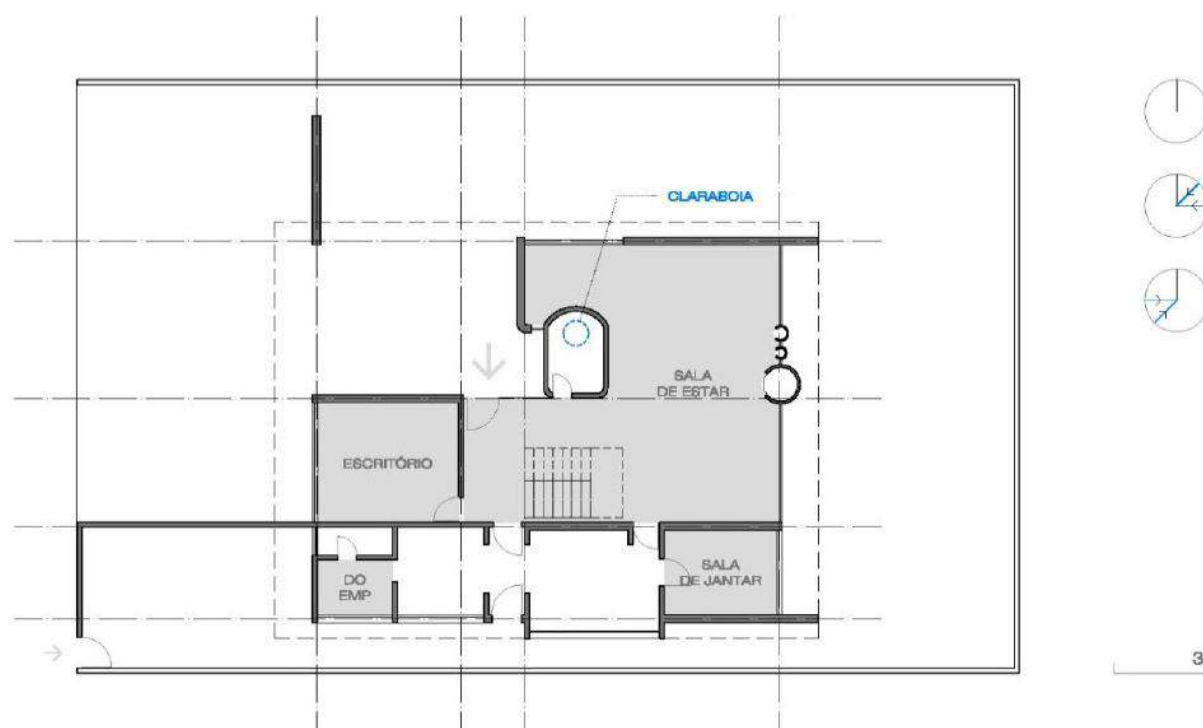


Figura 61 – Planta baixa - pavimento térreo - Residência 11 (MENDES, 2018)

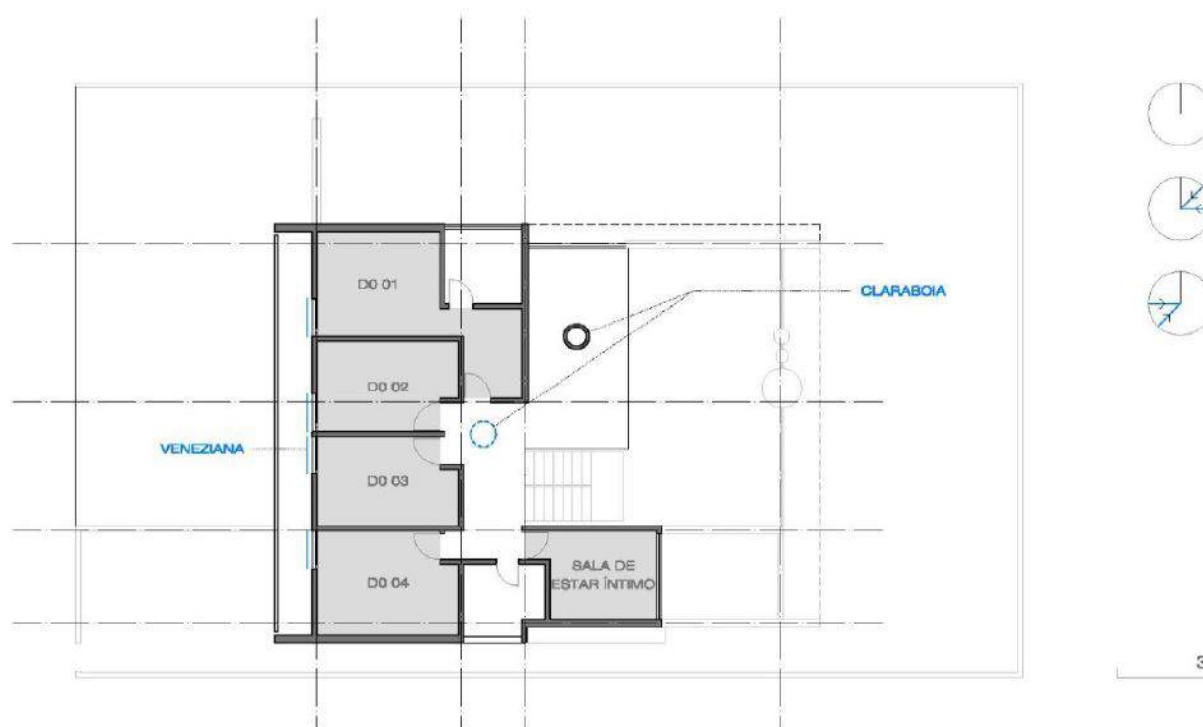


Figura 62 – Planta baixa - pavimento superior - Residência 11 (MENDES, 2018)



Figura 63 – Planta baixa - Residência 12 (MENDES, 2018)



Figura 64 – Planta baixa - Residência 13 (MENDES, 2018)

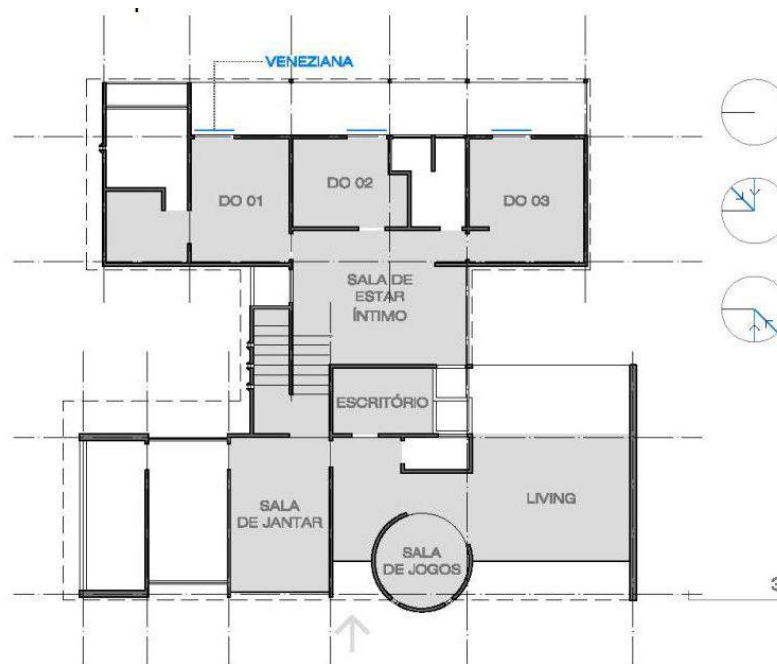


Figura 65 – Planta baixa - pavimento térreo - Residência 14 (MENDES, 2018)

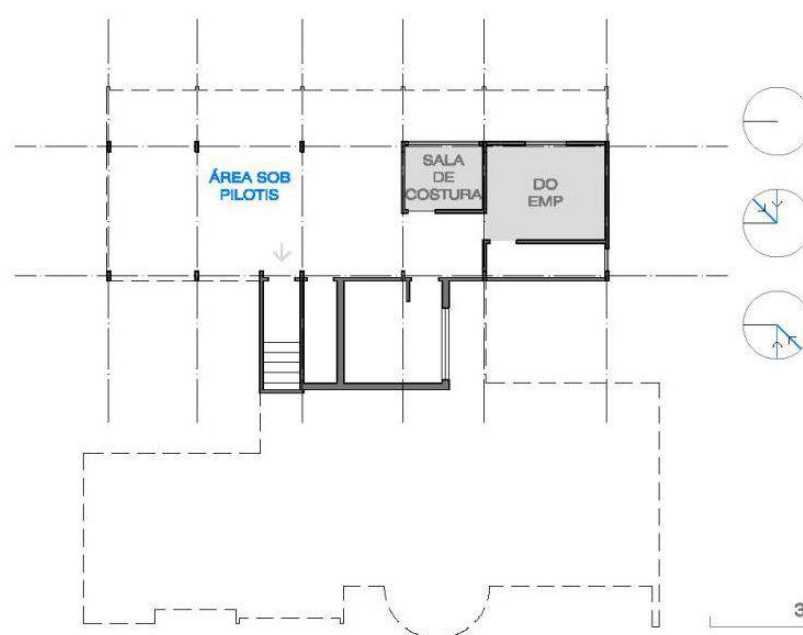


Figura 66 – Planta baixa - pavimento superior - Residência 14 (MENDES, 2018)

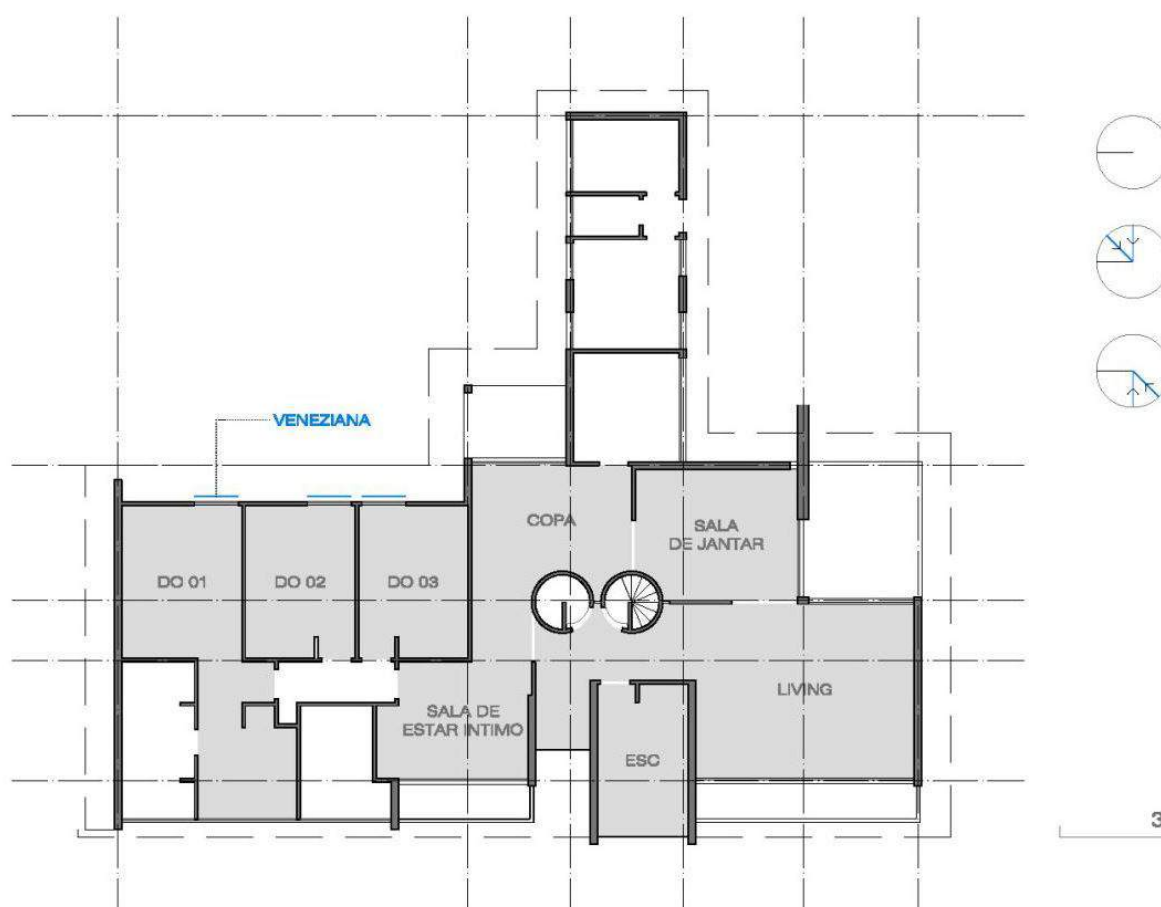


Figura 67 – Planta baixa - Residência 15 (MENDES, 2018)



Figura 68 – Planta baixa - Residência 16 (MENDES, 2018)

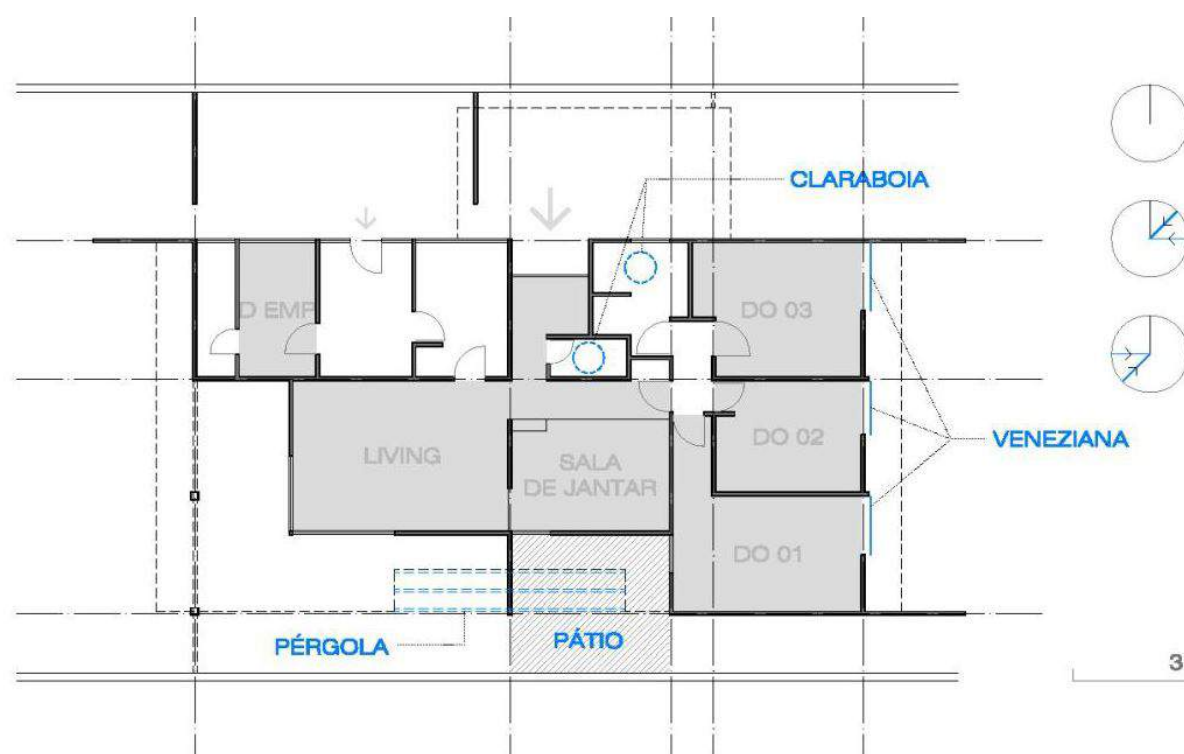


Figura 69 – Planta baixa - Residência 17 (MENDES, 2018)

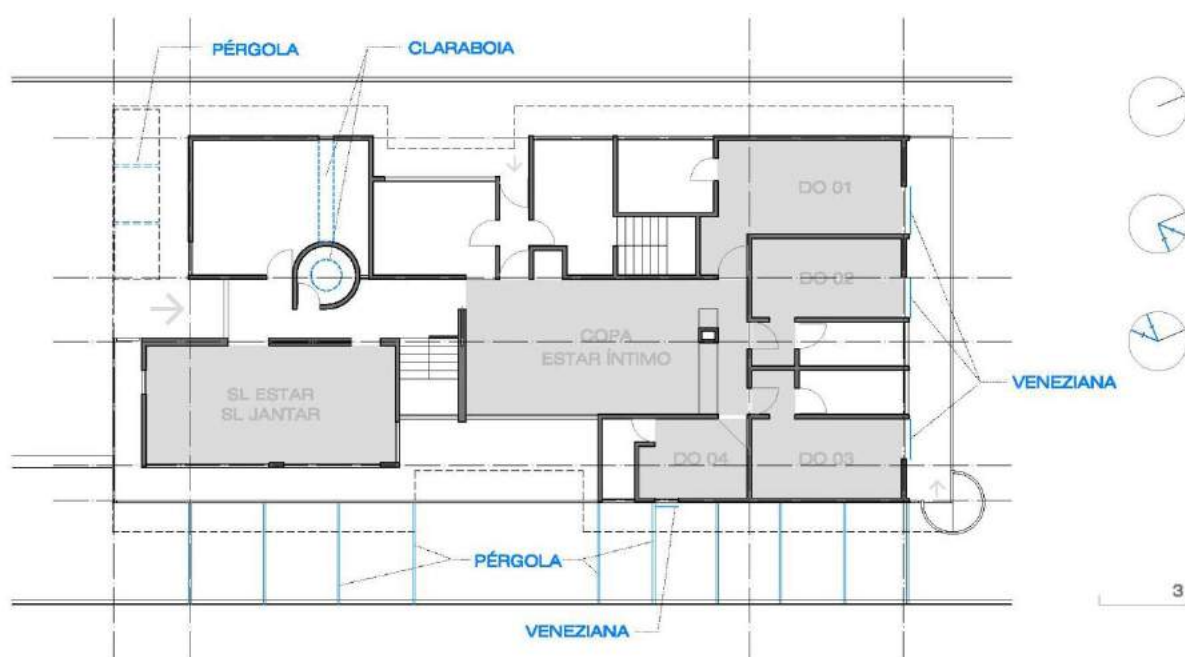


Figura 70 – Planta baixa - Residência 18 (MENDES, 2018)