

RODRIGO JENSEN CECHINEL

**AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS MÍNIMOS DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA
PARA HABITAÇÕES MULTIFAMILIARES EM JOINVILLE**

Dissertação de mestrado apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil pela Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Orientadora: Dra. Ana Mirthes Hackenberg
Co-orientadora: Dra. Elisa Henning

JOINVILLE

2017

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

Cechinel, Rodrigo Jensen
AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS MÍNIMOS DO PROGRAMA
MINHA CASA MINHA VIDA PARA HABITAÇÕES
MULTIFAMILIARES EM JOINVILLE / Rodrigo Jensen
Cechinel. - Joinville , 2017.
152 p.

Orientadora: Ana Mirthes Hackenberg
Co-orientadora: Elisa Henning
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,
Joinville, 2017.

1. Desempenho térmico. 2. RTQ-R. 3. Simulação. 4.
MCMV. 5. Análise de sensibilidade. I. Hackenberg,
Ana Mirthes. II. Henning, Elisa. , .III.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de
Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil. IV. Título.

**Avaliação nos Requisitos Mínimos do Programa Minha Casa Minha Vida para
Habitações Multifamiliares em Joinville**

por

Rodrigo Jensen Cechinel

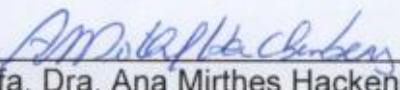
Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL

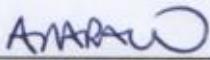
Área de concentração em "Engenharia Urbana e da Construção Civil"
e aprovada em sua forma final pelo

**CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS DA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA.**

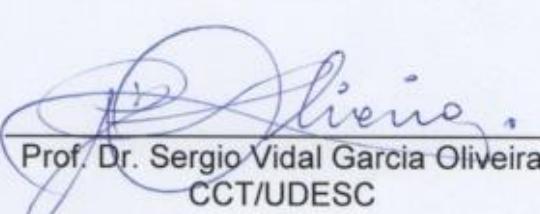
Banca Examinadora:



Profa. Dra. Ana Mirthes Hackenberg
CCT/UDESC (Orientadora/Presidente)



Profa. Dra. Ana Paula Melo
UFSC



Prof. Dr. Sergio Vidal Garcia Oliveira
CCT/UDESC

Joinville, SC, 30 de agosto de 2017.

Dedico este trabalho à minha companheira,
Maquelí, aos meus pais, Renato e Eliane, às
minhas avós Carmen e Odette. Com as suas
presenças, a vida é um presente.

AGRADECIMENTOS

Mestrado é uma nova etapa da busca do conhecimento. O desenvolvimento deste trabalho abriu oportunidade de adquiri-lo, mas também ajudou a fortalecer competências e habilidades que vão me acompanhar para o resto da vida pessoal e profissional.

Agradeço aos meus pais e familiares pelo carinho e incentivo a buscar sempre novos desafios e acreditar em mim.

À minha companheira Maqueli, que participou dos momentos intensos para a realização deste trabalho, dando todo o apoio e amor necessários.

À minha orientadora e professora Ana Mirthes, pelos ensinamentos e insistente busca de mais oportunidades de desenvolvimento.

À minha coorientadora e professora Elisa, pelo seu exemplo de pesquisadora, sempre empenhada em apresentar alguma ferramenta nova.

À UDESC e ao curso de pós-graduação em engenharia civil, com seus professores e colaboradores, que me aceitaram como mestrando acreditando no meu trabalho.

Aos colegas do mestrado, José, Talita, Adriane, Ana K., Ana B., Dalila e Laís pelas trocas constantes de dicas e suporte nos momentos de necessidades.

À Gabriela, pelo empenho no desenvolvimento dos artigos, nas viagens de estudo a Florianópolis e troca de experiências.

À CAPES pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

À Gerência Habitacional da Caixa Econômica Federal, às construtoras e, aos síndicos e moradores dos condomínios MCMV de Joinville, por fornecerem um panorama do tema.

E, principalmente, a Deus, que nos provê tudo na intensidade necessária para ter fé e aprendizado.

RESUMO

Em 2009 foi criado o incentivo federal brasileiro para construção de habitações populares conhecido como Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), que visa tornar a moradia acessível aos brasileiros, principalmente aos de baixa renda e busca, por meio de parâmetros mínimos, estabelecer uma metodologia construtiva para esse tipo de edificação. A cidade de Joinville, localizada no norte do Estado de Santa Catarina, possui atualmente mais de duas mil habitações multifamiliares de interesse social estabelecidas por este programa. Estão situadas em uma região com o clima caracteristicamente quente e úmido, em uma zona bioclimática classificada como tipo 5. O baixo desempenho térmico destas edificações tem exigido a implantação de equipamentos de ar condicionado, que aumentam o consumo de energia elétrica quando em uso, com impacto no orçamento familiar dos beneficiados destas habitações e com a consequente necessidade de maiores investimentos públicos em geração e distribuição. Este trabalho busca avaliar as condições para desempenho térmico da envoltória das habitações multifamiliares do MCMV existentes na cidade de Joinville. Pretende identificar melhores práticas construtivas que otimizem seu desempenho com economia de energia. Apresenta a classificação para eficiência dos condomínios estudados, usando a metodologia prescritiva do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e identifica a tipologia mais adequada dentre as existentes na cidade. São comparadas as temperaturas internas dos ambientes de maior permanência: zona 1 que contém sala, cozinha e área de serviço e zona 2 que contém o dormitório do casal, onde são obtidos os Graus Hora de Resfriamento (GHR), parâmetro que auxilia na obtenção da quantidade de ar condicionado necessária a manter a temperatura na faixa de conforto. Esses dados são tratados estatisticamente com base em regressão linear e análise de sensibilidade mediante uso do programa R com interface R-Studio. Para tornar estas edificações mais eficientes, são indicadas modificações da envoltória, mediante alteração de materiais, uso de cores claras nas paredes externas e na cobertura, aumento das janelas para maior ventilação e aplicação de sombreamento tipo brise nas aberturas, condições estas que poderão intensificar melhorias do desempenho térmico nas habitações do programa Minha Casa Minha Vida.

Palavras-chave: Desempenho térmico. RTQ-R. Simulação. MCMV. Análise de sensibilidade.

ABSTRACT

In 2009, the Brazilian Federal Incentive for the construction of popular housing was created, known as the Minha Casa Minha Vida Program (MCMV), which aims to make housing accessible to Brazilians, especially those with low incomes, and to establish, through minimum parameters, a methodology constructive for this type of building. The city of Joinville, located in the north of the State of Santa Catarina, currently has more than two thousand multifamily housing of social interest established by this program. They are located in a region with a characteristic warm and humid climate, in a bioclimatic zone classified as type 5. The low thermal performance of these buildings has required the installation of air conditioning equipment, which increase the consumption of electric energy when in use, with impact on the family budget of the beneficiaries of these houses and with the consequent need for greater public investments in generation and distribution. This work aims to evaluate the conditions for thermal performance of the MCMV multifamily housing in the city of Joinville. It intends to identify best constructive practices that optimize its performance with energy saving. It presents the classification for efficiency of the condominiums studied, using the prescriptive methodology of the Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) and identifies the most appropriate typology among those existing in the city. The internal temperatures of the longest dwelling are compared: zone 1 that contains living room, kitchen and service area and zone 2 that contains the dormitory for the couple, where the degrees of cooling time (GHR) are obtained, a parameter that assists in obtaining the amount of air conditioning required to maintain the temperature in the comfort range. These data are treated statistically based on linear regression and sensitivity analysis using the R program with R-Studio interface. In order to make these buildings more efficient, changes in the envelope are indicated by altering materials, using light colors on the exterior walls and in the roof, increasing the windows for greater ventilation and applying brise shading in the openings, conditions that may intensify improvements of the thermal performance in the dwellings of the Minha Casa Minha Vida program.

Keywords: Thermal performance. RTQ-R. Simulation. MCMV. Sensitivity analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Geração global de energia por tipo de recurso em 2015	31
Figura 2 - Geração de energia por tipo de fonte.....	32
Figura 3 - Consumo médio de energia elétrica por tipo de consumo no Brasil entre 2013 e 2016	33
Figura 4 - Zoneamento bioclimático brasileiro.....	38
Figura 5 - Zona bioclimática 5	39
Figura 6 - Panorama mundial de implantação de etiquetagem residencial	46
Figura 7 - Determinação do equivalente numérico do nível de eficiência em edificações multifamiliares.....	47
Figura 8 - Carta Psicrométrica para regiões de climas quentes	55
Figura 9 - Representação de graus hora de resfriamento e de aquecimento	56
Figura 10 – Modelo e cores de Telhas de PVC reconhecidas pelo SINAT	63
Figura 11 – Processo construtivo do DATEC 007	65
Figura 12 - Procedimento para análise de sensibilidade	69
Figura 13 - Organograma da metodologia	70
Figura 14 – Composição construtiva dos materiais das paredes	75
Figura 15 - Composição construtiva dos materiais das paredes	76
Figura 16 – Composição construtiva das janelas	77
Figura 17 - Histograma das temperaturas ambientais de Joinville e Itapoá	81
Figura 18 - Boxplot comparativo entre Temperatura mensal Média e Mediana de EPAGRI Joinville e Temperatura mensal INMET de Itapoá	83
Figura 19 – Rosa dos ventos.....	84
Figura 20 - Mapa com a implantação dos Condomínios Trentino 1 e 2	86
Figura 21 - Fachadas dos Condomínios Trentino 1 e 2	86
Figura 22 - Projeto típico dos Condomínios Trentino 1 e 2	87
Figura 23 - Planta baixa de uma unidade nos Condomínios Trentino 1 e 2.....	87
Figura 24 - Mapa com a implantação dos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça	91
Figura 25 - Mapa com a implantação do Condomínio Irmã Maria da Graça	91
Figura 26 - Fachadas dos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça.....	92

Figura 27 - Projeto típico dos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça.....	93
Figura 28 - Planta baixa de uma unidade nos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça.....	93
Figura 29 - Mapa com a implantação do Condomínio Procurador Luiz Bernardo Wust	97
Figura 30 - Fachadas do Condomínio Procurador Luiz Bernardo Wust	98
Figura 31 – Projeto típico do Condomínio Procurador Luiz Bernardo Wust	98
Figura 32 - Planta baixa de uma unidade do Procurador Luiz Bernardo Wust.....	99
Figura 33 - Mapa com a implantação do Condomínio João Balício Bernardes	103
Figura 34 - Fachada do Condomínio João Balício Bernardes	104
Figura 35 - Projeto típico do Condomínio João Balício Bernardes	104
Figura 36 - Planta baixa de uma unidade do Condomínio João Balício Bernardes.	105
Figura 37 – Boxplot comparativo das pontuações obtidas no RTQ-R	110
Figura 38 - Teste de Tukey para comparação das tipologias.....	112
Figura 39 - Perspectiva do modelo Energyplus	113
Figura 40 – Zonas presentes em uma UH no modelo Energyplus	114
Figura 41 – UHs e zonas presentes em um modelo Energyplus.....	114
Figura 42 - Modelo proposto para Brises	115
Figura 43 - Modelo Energyplus Perspectiva com Brises	115
Figura 44 - Indicação da máscara de sombra para o uso de brises nas quatro orientações.....	116
Figura 45 – Padrão para ocupação de pessoas.....	117
Figura 46 – Padrão para uso de iluminação.....	118
Figura 47 – Influência dos parâmetros simulados no GHR na Zona da Sala/Cozinha/Área de serviço	120
Figura 48 - Influência dos parâmetros simulados no GHR na Zona do dormitório 2	121
Figura 49 - Estatística “F”	123
Figura 50 - Interação entre os parâmetros do material da parede e cor da cobertura	124
Figura 51 - Interação entre os parâmetros do material da parede e cor da parede	125
Figura 52 - Interação entre os parâmetros da janela e material da parede	125

Figura 53- Interação entre os parâmetros do Brise e da cor da parede	126
Figura 54 - Interação entre os parâmetros do material da cobertura e cor da cobertura	126
Figura 55 - Interação entre os parâmetros da janela e da cor da cobertura.....	127
Figura 56 - Interação entre os parâmetros da cor da cobertura e orientação	127
Figura 57 - Oscilação das temperaturas e taxas de infiltração de ar na zona da Sala / Cozinha / Área de serviço em dias de calor	130
Figura 58 - Oscilação das temperaturas e taxas de infiltração de ar na zona da Sala/Cozinha/Área de serviço em dias de frio.....	130
Figura 59 - Oscilação das temperaturas e taxas de infiltração de ar na zona dormitório 2 em dias de calor	131
Figura 60 - Oscilação das temperaturas e taxas de infiltração de ar na zona dormitório 2 em dias de frio	131

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Algumas grandezas térmicas de materiais usados na construção civil ..	37
Quadro 2 - Requisitos do usuário das habitações	37
Quadro 3 - Estratégias para desempenho térmico passivo nas vedações externas em ZB5.....	41
Quadro 4 - Pré-requisitos do RTQ-R para avaliação da envoltória em ZB5.....	48
Quadro 5 - Pré-requisitos do RTQ-R para avaliação da ventilação em ZB5	48
Quadro 6 - Critério de avaliação de desempenho térmico para estações típicas do ano em ZB5.....	55
Quadro 7 - Faixas do MCMV.....	58
Quadro 8 - Especificações mínimas de envoltória do MCMV que influenciam no desempenho térmico de apartamentos	60
Quadro 9 - Especificações mínimas em aberturas e ventilação do MCMV que influenciam no desempenho térmico de apartamentos	61
Quadro 10 - Tipos de coberturas em sistemas construtivos inovadores reconhecidos pelo SINAT para uso em edifícios multifamiliares localizados em ZB5	63
Quadro 11 - Tipos de paredes externas em sistemas construtivos inovadores reconhecidos pelo SINAT para uso em edifícios multifamiliares localizados em ZB5	64
Quadro 12 - Primeiras seis combinações de parâmetros.....	73
Quadro 13 - Ultimas seis combinações de parâmetros.....	73
Quadro 14 - Características dos ambientes nos Condomínios Trentino 1 e 2	88
Quadro 15 - Características das aberturas nos Condomínios Trentino 1 e 2.....	88
Quadro 16 - Pontuação de UH em diferentes pavimentos e orientações nos Condomínios Trentino 1 e 2	90
Quadro 17 - Características das aberturas nos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça.....	94
Quadro 18 - Características dos ambientes nos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça.....	94
Quadro 19 - Pontuação e orientação de UH nos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça.....	96

Quadro 20 - Características das aberturas no Condomínio Procurador Luiz Bernardo Wust.....	99
Quadro 21 - Características dos ambientes no Condomínio Procurador Luiz Bernardo Wust	100
Quadro 22 - Pontuação e orientação de UH no Condomínio Procurador Luiz Bernardo Wust	102
Quadro 23 - Características das aberturas na tipologia 1 do Condomínio João Balício Bernardes.....	106
Quadro 24 - Características das aberturas na tipologia 2 do Condomínio João Balício Bernardes.....	106
Quadro 25 - Características dos ambientes no Condomínio João Balício Bernardes	106
Quadro 26 - Pontuação e orientação de UH no Condomínio João Balício Bernardes	108
Quadro 27 - Composição das simulações.....	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Projeção dos tipos de consumo em residências do Brasil.....	34
Tabela 2 - Equivalente numérico da envoltória do ambiente em ZB5	49
Tabela 3 - Valores máximos (R\$) para unidades habitacionais do MCMV faixa 1	58
Tabela 4 - Quantidade de unidades do MCMV	59
Tabela 5 - Déficit habitacional em Joinville	59
Tabela 6 - Satisfação com relação ao uso das unidades habitacionais	62
Tabela 7 - Propriedades térmicas em amostras de cores	65
Tabela 8 - Fatores alterados no modelo.....	73
Tabela 9 - Comparação das temperaturas em Joinville e Itapoá	82
Tabela 10 - Correlação entre as temperaturas.....	82
Tabela 11 - Comparação entre modelos regressivos para similaridade das temperaturas	82
Tabela 12 - Condomínios e unidades habitacionais do MCMV faixa 1 em Joinville ..	84
Tabela 13 - Características dos Condomínios Trentino 1 e 2	86
Tabela 14 - Propriedades térmicas de paredes externas e cobertura nos Condomínios Trentino 1 e 2	88
Tabela 15 - Pontuação final de UH nos Condomínios Trentino 1 e 2.....	89
Tabela 16 - Características qualitativas e quantitativas dos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A, B e Irmã Maria da Graça	92
Tabela 17 - Propriedades térmicas de paredes externas e cobertura nos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça ...	94
Tabela 18 - Pontuação final de UH nos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça	95
Tabela 19 - Características qualitativas e quantitativas do Condomínio Procurador Luiz Bernardo Wust.....	97
Tabela 20 - Propriedades térmicas de paredes externas e cobertura no Condomínio Procurador Luiz Bernardo Wust	100
Tabela 21 - Pontuação final de UH no Condomínio Procurador Luiz Bernardo Wust	101

Tabela 22 - Características qualitativas e quantitativas do Condomínio João Balício Bernardes.....	103
Tabela 23 - Propriedades térmicas de paredes externas e cobertura do Condomínio João Balício Bernardes	106
Tabela 24 - Pontuação final de UH no Condomínio João Balício Bernardes	107
Tabela 25 - Resumo da classificação RTQ-R dos condomínios multifamiliares do MCMV faixa 1 em Joinville	109
Tabela 26 - Comparação das médias e medianas das pontuações obtidas no RTQ-R	110
Tabela 27 - Teste “T” para comparação das tipologias usadas em Joinville	111
Tabela 28 - Maiores semelhanças nos Teste “T” para comparação das tipologias.....	111
Tabela 29 - Maiores diferenças nos Teste “T” para comparação das tipologias	111
Tabela 30 - Cargas de equipamentos nos ambientes	118
Tabela 31 - Cargas de pessoas nos ambientes	119
Tabela 32 - Valores da estatística F na análise de sensibilidade	122
Tabela 33 – Indicação dos parâmetros isolados mais influentes da Estatística “F”	123
Tabela 34 - Simulações com maior e menor quantidade de GHR	128

LISTA DE ACRÔNIMOS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
BB	Banco do Brasil
CEF	Caixa Econômica Federal
DOE	<i>Department of Energy</i>
DOE	<i>Design of Experiments</i>
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
GHR	Graus Horas de Resfriamento
GMT	<i>Greenwich Mean Time</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPT	Instituto de Pesquisa Tecnológicas
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
HIS	Habitação de Interesse Social
NBR	Norma Brasileira da ABNT
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
MCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
NW	Noroeste
NE	Nordeste
RTQ-R	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SEHAB	Secretaria de Habitação de Joinville
SINAT	Sistema Nacional de Avaliações Técnicas
SE	Sudeste
SNH	Secretaria Nacional da Habitação
SW	Sudoeste
UH	Unidade Habitacional
UNIVILLE	Universidade da Região de Joinville
ZB	Zona Bioclimática

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Absortância solar
A	Área
C _t	Capacidade térmica
TBS	Temperatura de bulbo seco
TBU	Temperatura de bulbo úmido
U	Transmitância térmica
UR	Umidade relativa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	JUSTIFICATIVA	27
1.2	OBJETIVO GERAL	28
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
1.4	HIPÓTESES	28
2	REVISÃO	30
2.1	FORNECIMENTO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	30
2.1.1	Geração e transmissão de energia elétrica no Brasil	31
2.1.2	Consumo de energia elétrica no Brasil	33
2.2	SUSTENTABILIDADE, DESEMPENHO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES	34
2.3	DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES COM FINS HABITACIONAIS	40
2.3.1	O uso do RTQ-R em habitações	44
2.3.2	Simulação computacional aplicada em habitações	50
2.4	INTERVALOS DE CONFORTO TÉRMICO	54
2.5	HABITAÇÕES DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA	57
2.5.1	Estudos de ocupação em Habitações Populares	61
2.5.2	Avaliação de desempenho dos materiais usados em habitação de interesse social	62
2.6	ANALISES ESTATÍSTICAS	66
2.6.1	Comparação de séries temporais	66
2.6.2	Variação de parâmetros em simulações	67
3	METODOLOGIA	70
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA DE JOINVILLE	70
3.2	PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA EM JOINVILLE	71
3.3	ANÁLISE DO NÍVEL DE DESEMPENHO TÉRMICO	72
3.3.1	Parâmetro Cor das paredes externas	74
3.3.2	Parâmetro Cor da cobertura	74
3.3.3	Parâmetro Material de paredes externas	74
3.3.4	Parâmetro Material de cobertura	75
3.3.5	Parâmetro Sombreamento em aberturas	77

3.3.6 Parâmetro Janelas.....	77
3.3.7 Parâmetro orientação e posição do modelo.....	77
3.4 APLICAÇÕES ESTATÍSTICAS NAS SIMULAÇÕES DOS PARÂMETROS CONSTRUTIVOS	78
4 RESULTADOS.....	79
4.1 O USO DO ARQUIVO CLIMÁTICO DE ITAPOÁ EM JOINVILLE	79
4.2 DEFINIÇÃO DA TIPOLOGIA BASE	84
4.2.1 Condomínio Residencial Trentino 1 e 2.....	85
4.2.2 Condomínios Residenciais Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça.....	90
4.2.3 Condomínio Residencial Procurador Luiz Bernardo Wust.....	96
4.2.4 Condomínio Residencial João Balício Bernardes.....	102
4.3 IDENTIFICAÇÃO DA TIPOLOGIA DO MCMV REPRESENTATIVA EM JOINVILLE INDICADA PELO RTQ-R	108
4.3.1 Comparação entre tipologias pelo método Kruskal-Wallis.....	109
4.3.2 Comparação entre tipologias pelo método Teste “T de Student”.....	111
4.3.3 Comparação entre tipologias pelo método de Tukey.....	112
4.4 SIMULAÇÃO DA TIPOLOGIA DO MCMV REPRESENTATIVA EM JOINVILLE.....	112
4.4.1 Dimensionamento dos sombreamentos tipo brise.....	115
4.4.2 Geração de cargas internas (iluminação, pessoas e equipamentos)	116
4.4.3 Variação dos parâmetros de simulação.....	119
4.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS RESULTADOS	120
4.6 COMPARAÇÃO DAS SIMULAÇÕES EXTREMAS	128
5 CONCLUSÃO	132
5.1 Limitações do trabalho	132
5.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	133
REFERÊNCIAS.....	135
ANEXOS.....	143

1 INTRODUÇÃO

O acesso facilitado à linha de financiamento do programa do Governo Federal para residências populares, conhecido como Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) faixa 1, tem por objetivo atingir as classes sociais economicamente mais deficitárias e reduzir a carência habitacional (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016).

Quando os parâmetros mínimos estabelecidos para as edificações desse programa são utilizados como referência e são aplicadas em zonas bioclimáticas tipo 5 (que é o caso de Joinville), há geração de habitações com baixo desempenho térmico, aumento do desconforto pelo calor e necessidade do uso de equipamentos de ar condicionado, com o consequente aumento do consumo de eletricidade (FAGUNDES, 2014).

Para a população carente, o aumento dessas contas impacta no orçamento familiar. Já para a administração pública, edificações menos eficientes exigem maiores investimentos em geração e transmissão de energia elétrica.

1.1 JUSTIFICATIVA

A etiquetagem apresentada pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) indica faixas de “A” a “E”, para mais ou menos eficiente respectivamente. Os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) apontam e pontuam alternativas usadas na habitação com potencial para a redução do consumo de eletricidade. A aplicação dessa etiquetagem aos requisitos mínimos para residências populares do MCMV garante que haja um instrumento de identificação para edificações que prezem a economia de energia elétrica. O uso de simulação computacional com o programa Energyplus auxilia na identificação de alternativas que efetivamente reduzem a quantidade de Graus Hora de Resfriamento (GHR) nos ambientes da habitação, fornecendo um parâmetro para o consumo de energia elétrica.

1.2 OBJETIVO GERAL

Analisar as escolhas construtivas de envoltória aplicadas a condomínios multifamiliares do MCMV faixa 1, implantados em Joinville, e identificar alternativas que acarretem em melhorias do desempenho térmico e da eficiência energética dessas edificações.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar o clima e os parâmetros construtivos das habitações multifamiliares do MCMV faixa 1 existentes em Joinville;
- b) Determinar a eficiência energética dessas edificações multifamiliares por método prescritivo do RTQ-R, identificar uma tipologia como mais representativa à Joinville e simular seu desempenho térmico mediante o uso de programa computacional Energyplus;
- c) Caracterizar por meio de simulações as mudanças em geometria e materiais que otimizem o desempenho térmico e compara-las por meio de análise de sensibilidade;
- d) Comparar as alternativas que obtiveram maior e menor quantidade de GHR e indicar seu potencial de aplicação em habitações populares.

1.4 HIPÓTESES

O uso dos novos parâmetros mínimos no MCMV faixa 1 somado à difusão do programa de etiquetagem do RTQ-R e das simulações computacionais em habitações populares reduzirá o consumo de energia elétrica.

Os parâmetros mínimos atuais para a construção das habitações populares têm exigido a necessidade de implantação de equipamentos de ar condicionado, que até permitem atingir o conforto térmico no interior da unidade habitacional, mas com o consequente aumento do consumo de energia elétrica.

Com habitações populares mais eficientes, haverá redução da necessidade do uso de condicionadores de ar, da conta de energia elétrica dos moradores, do déficit

de abastecimento energético do país e da implantação de novas matrizes de geração de energia.

Há potencial para identificação dos parâmetros mínimos das edificações que, quando alterados, influenciam mais que outros na redução dos GHR.

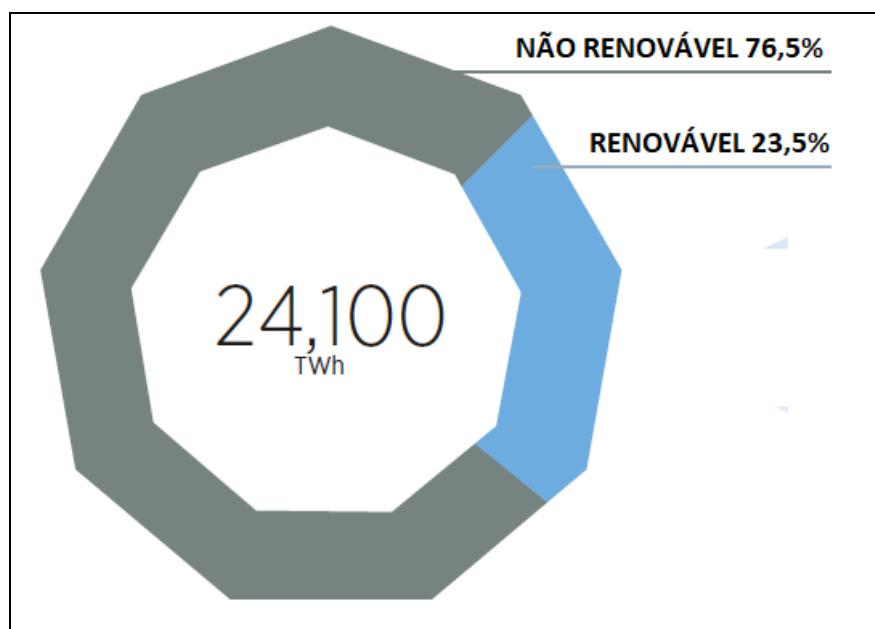
2 REVISÃO

Este capítulo trata da revisão da literatura relacionada ao aprimoramento do consumo de energia elétrica em habitações populares do programa MCMV para a cidade de Joinville, por meio de melhorias do desempenho térmico, adaptando a envoltória da edificação ao clima na qual está inserida. Inicialmente, aborda o cenário de geração e consumo da eletricidade no Brasil. Caracteriza-se o clima brasileiro e as alternativas construtivas que melhor se adaptam a ele. Indicam-se maneiras de mensurar a eficiência energética das habitações. Apresenta-se o método de simulação computacional para quantificar condições de desempenho térmico. Conclui-se com a indicação de ferramentas estatísticas para escolha do modelo de tipologia da edificação usando os dados obtidos pelo RTQ-R e tratamento dos resultados obtidos com a simulação computacional.

2.1 FORNECIMENTO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

A geração de energia elétrica implica em impactos ambientais, nos quais cerca de 76,5% da energia mundialmente produzida em 2015 (Figura 1) é oriunda de fontes não renováveis, tais como combustíveis fósseis. Suas emissões de poluentes são responsáveis por parte das mudanças climáticas ou pela produção de resíduos nucleares que podem se manter ativos e perigosos por até cem mil anos (IRENA, 2016).

Figura 1 – Geração global de energia por tipo de recurso em 2015



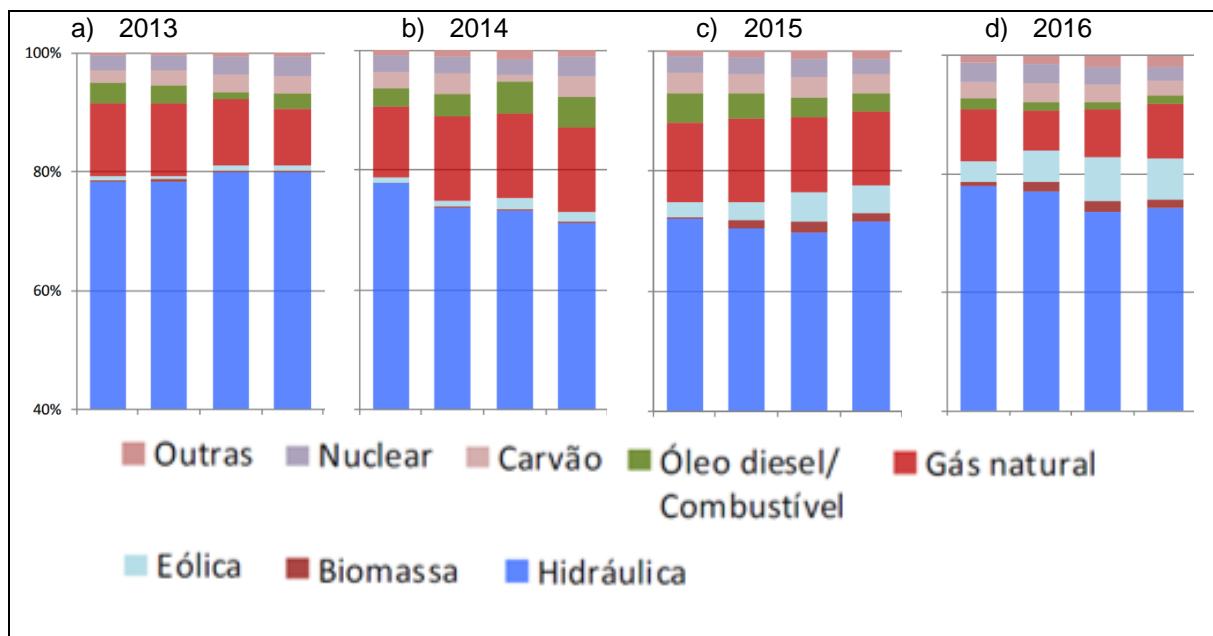
Fonte: IRENA (2016).

Mesmo em potenciais geradores com base em energias renováveis, tais como a hidrelétrica, a fotovoltaica e a eólica, há impactos nas fases de produção de seus sistemas, dos seus processos construtivos e até mesmo em suas longas linhas de transmissão (AGOPYAN e JOHN, 2014).

2.1.1 Geração e transmissão de energia elétrica no Brasil

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2017) informa sobre os tipos de geração de energia elétrica presentes no Brasil e divididos trimestralmente para o período de 2013 a 2016 (Figura 2). Observa-se que períodos de estiagem, presentes nos anos de 2014 e 2015, numa matriz energética baseada em hidro energia, são compensados pelo aumento do consumo de fontes não renováveis de energia, tais como o óleo diesel, o gás natural e o carvão.

Figura 2 - Geração de energia por tipo de fonte



Fonte: ANEEL (2017).

Naturesa (2011) fala sobre as barreiras à implantação de novos projetos hidrelétricos, da dificuldade de ampliação da oferta de energia no Brasil e alerta sobre a importância da eficiência energética para postergação desses investimentos, bem como para mitigação dos impactos ambientais. Menciona ainda que os potenciais para a ampliação futura da matriz de energia renovável, que no Brasil tem base em hidrelétricas, estão localizados nas regiões Norte e Centro-Oeste e são limitados ou restritos a aspectos ambientais, sociais, técnicos e econômicos, que atualmente os inviabilizam. Esses potenciais ficam afastados das regiões de maior consumo, localizadas no Sul e Sudeste, o que exige longas linhas de transmissão e perdas em seu caminho, necessitando grandes investimentos e alto custo de operação.

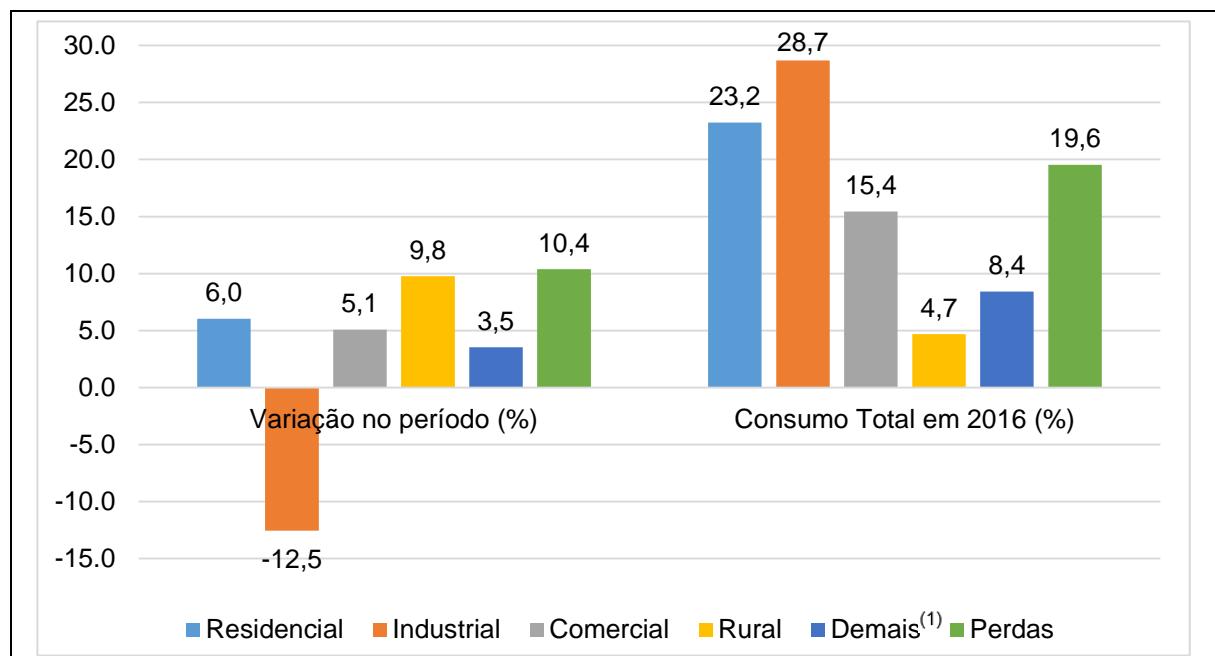
Naturesa (2011) e Grunberg (2014) afirmam que o aumento da demanda por energia elétrica no Brasil é impulsionado pela elevação do poder aquisitivo da população, que possibilita a compra de bens de consumo que proporcionam conforto, como, por exemplo, aparelhos de ar condicionado.

2.1.2 Consumo de energia elétrica no Brasil

O Ministério de Minas e Energia (MME) (2017) apresenta (Figura 3) um panorama do tipo e intensidade do consumo de energia elétrica no Brasil. Destaca-se o crescimento e a representatividade do consumo residencial, quando comparado com os demais tipos. É o terceiro que mais cresceu no período, ficando atrás apenas das perdas e do consumo rural, e é o segundo em demanda por consumo, sendo inferior apenas ao consumo industrial.

MME (2016) informa sobre os tipos de consumo dos eletrodomésticos residenciais (Tabela 1), nos anos de 2014 e 2015, e realiza projeções sobre o consumo futuro dos anos 2019 e 2024. Destaca-se a representatividade do consumo dos aparelhos de ar condicionado, sendo o maior em todos os períodos mencionados. Nesta projeção, estão considerados os aumentos da demanda de uso (pelo aumento da população), mas também o aumento da eficiência desses equipamentos.

Figura 3 - Consumo médio de energia elétrica por tipo de consumo no Brasil entre 2013 e 2016



Fonte: Adaptada de MME (2017).

⁽¹⁾ Em “Demais” estão considerados os consumos do poder público, iluminação pública, serviço público e consumo próprio das distribuidoras.

Tabela 1 – Projeção dos tipos de consumo em residências do Brasil

Equipamento (GWh)	2014	2015	2019	2024
Ar condicionado	17.126	18.658	26.230	36.216
Refrigerador	22.396	22.609	23.329	24.685
Freezer	5.964	5.865	5.508	5.428
Lâmpadas	18.552	18.019	12.670	9.856
Chuveiro Elétrico	21.324	21.671	22.708	23.979
Máquina lavar roupas	2.914	2.999	3.385	3.729
Televisão	19.232	20.883	23.152	25.472
Outros ⁽²⁾	24.542	24.642	39.285	67.829
Total	132.050	135.346	156.267	197.194

Fonte: MME (2016).

2.2 SUSTENTABILIDADE, DESEMPENHO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES

Historicamente, as edificações eram construídas observando-se as condicionantes locais (clima, recursos, técnicas), procurando amenizar os efeitos extremos de calor, frio, ventos e umidade. A partir da revolução industrial e do desenvolvimento de novas tecnologias, é que se iniciou uma internacionalização da arquitetura, na qual a garantia do conforto humano é gerida por mecanismos artificiais, impulsionando o consumo de eletricidade (MME, 2010).

A crise energética, em especial a do petróleo na década de 70, forçou o mundo a buscar fontes alternativas de energia e a otimização do seu uso. Foram desenvolvidos os primeiros programas para avaliação de desempenho térmico em edificações buscando eficiência energética no seu uso (MENDES *et al.*, 2005).

Segundo MME (2010), o relatório da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (também conhecido como relatório Brundtland), estabelecido em 1987 pela Organização das Nações Unidas (ONU), traz o conceito de sustentabilidade mais amplamente difundido como discurso público: atender as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras atenderem também às suas.

⁽²⁾ Em “Outros” estão considerados consumos irrelevantes perante aos demais apresentados.

O relatório Brundtland menciona que, em um planeta onde a pobreza é endêmica, sempre haverá propensão a catástrofes sociais e ecológicas. Apresenta preocupações quanto à inobservância das necessidades básicas dos mais carentes e ao consumo irrestrito dos mais ricos e a incompatível harmonia dos ecossistemas. Aponta que o crescente aumento demográfico mundial pode intensificar pressão por mais recursos, em especial o de energia. Políticas públicas que permitam o acesso das parcelas mais humildes da população a uma quantidade mais justa de recursos é primordial (BRUNDTLAND, 1991).

Há uma tendência crescente em se adequar os projetos das edificações da melhor forma possível, de modo a atender às necessidades de seus ocupantes, considerando suas características climáticas. Sob essa ótica, o desempenho térmico e a eficiência energética se configuram como fatores importantes nas edificações (CECHINEL, HENNING E HACKENBERG, 2017).

Estudos que orientem a edificação a modificar o ambiente natural de maneira otimizada, gerando um espaço confortável, energeticamente eficiente e com baixo custo de manutenção fazem parte da vertente para o desenvolvimento sustentável (MME, 2010).

Agopyan e John (2014) apontam a necessidade de medidas governamentais para a educação dos consumidores e para o aumento da eficiência energética no uso da eletricidade. Os desafios estão concentrados em:

- Concepção do projeto;
- Qualidade da construção;
- Restrições de custo.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2017) anuncia investimentos em diversos setores da eficiência energética. Destacam-se seus dois maiores valores investidos nas seguintes áreas da presente pesquisa:

- Baixa renda: R\$2.847,7 milhões (59,3%);
- Setor residencial: R\$515,4 milhões (10,7%).

Moraes e Granja (2016) realizaram uma revisão sistemática da literatura sobre pesquisas em Habitação de Interesse Social (HIS) no Brasil e identificaram algumas

ocorrências presentes nos 33 trabalhos efetivamente considerados. Abaixo, destacam-se os três com maior número de ocorrência:

1. Valor para o cliente de HIS: 36% das publicações;
2. Estrutura do MCMV: 33% das publicações;
3. Necessidades de melhorias em HIS: 30% das publicações.

Alertam ainda sobre a superficialidade da análise apresentada na maioria dos trabalhos quando se observam conceitos como custeio-meta e engenharia de valor, indicando lacuna dentro do tema pesquisado e a necessidade de se incorporar e traduzir os assuntos estudados em especificações técnicas com alguma aplicabilidade.

Barbieri (1997) menciona que a eficiência energética é um dos objetivos para se manter a capacidade do planeta em sustentar o desenvolvimento, considerando os ecossistemas e as necessidades das gerações futuras. Destacam-se dois objetivos principais para a indústria (que inclui a construção civil), traçados na Agenda 21⁽³⁾:

1. Produção mais limpa mediante a eficiência na utilização de recursos;
2. Responsabilidade empresarial em adotar medidas mais sustentáveis.

O Brasil se integra às tendências mundiais na busca pela eficiência das edificações. Um exemplo disso foram as edições das normas NBR 15220 (em 2005) e 15575 (em 2013) pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que identificam climas e incorporam níveis mínimos de desempenho às construções, em especial às com fins habitacionais.

A NBR 15220 (ABNT, 2005) apresenta recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações, estabelece um zoneamento bioclimático que divide o Brasil em oito zonas relativamente homogêneas e indica recomendações construtivas e estratégias passivas para obtenção do condicionamento térmico passivo. Indica ainda alguns termos que descrevem propriedades térmicas de materiais usados na

⁽³⁾ Agenda 21 pode ser definida como um instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, em diferentes bases geográficas, que concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica (MME, 2010).

construção civil. Neste trabalho, os seguintes assuntos são explorados e estão apresentados no Quadro 1:

Quadro 1 – Algumas grandezas térmicas de materiais usados na construção civil

Grandezas	Definição	Símbolo	Unidade
Resistência térmica	Quociente da diferença de temperatura entre as superfícies de um elemento pela densidade do fluxo de calor verificada	R	(m ² .K)/W
Transmitância térmica	O inverso à resistência térmica	U	W/(m ² .K)
Capacidade térmica	Quociente da quantidade de calor necessária para variar uma unidade de temperatura pela sua área	C _t	kJ/(m ² .K)
Absortância à radiação solar	Quociente da radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa da radiação incidente sobre a superfície externa dela	α	-

Fonte: Adaptado de ABNT (2005).

A NBR 15575 (ABNT, 2013) indica os requisitos do usuário relativos à segurança nas edificações, sua habitabilidade e sua sustentabilidade (Quadro 2), conjunto conhecido como Desempenho das Habitações, que nada mais é que uma investigação sobre o comportamento esperado do sistema como um todo quando do seu uso.

Quadro 2 - Requisitos do usuário das habitações

Segurança	Habitabilidade	Sustentabilidade
<ul style="list-style-type: none"> - Estrutural; - Contra o fogo; - No uso e na operação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estanqueidade; - Desempenho térmico; - Desempenho acústico; - Desempenho lumínico; - Saúde, higiene e qualidade do ar; - Funcionalidade e acessibilidade; - Conforto tátil e antropodinâmico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Durabilidade; - Manutenibilidade; - Impacto ambiental.

Fonte: Adaptado de ABNT (2013).

No desempenho térmico, ABNT (2013) indica o uso da NBR 15220, com suas orientações construtivas para os oito tipos distintos de zonas bioclimáticas nas quais o Brasil se encontra dividido.

A NBR 15220 (ABNT, 2005) apresenta diretrizes para desempenho térmico e indica (Figura 4) as oito zonas bioclimáticas brasileiras, com cada uma delas

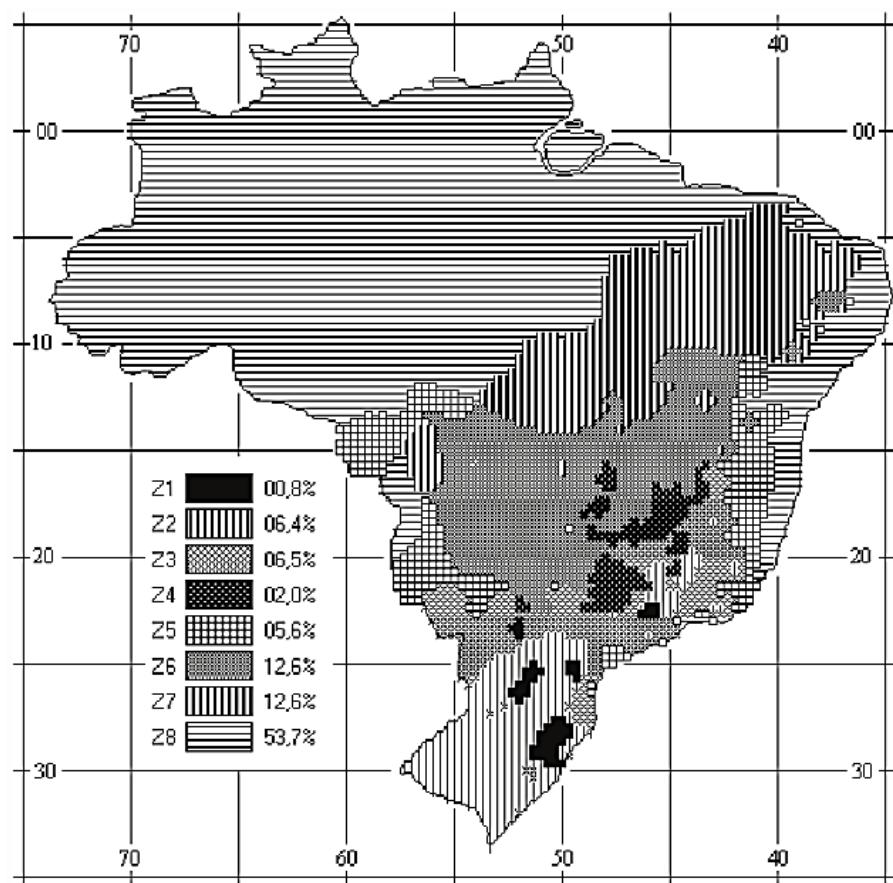
possuindo suas próprias orientações construtivas para adequar as edificações aos seus respectivos climas. Há orientações para:

- a) Tamanho das aberturas para ventilação;
- b) Proteção das aberturas;
- c) Vedações externas (tipos de paredes externas e de cobertura);
- d) Estratégias para condicionamento térmico passivo.

Joinville é a cidade catarinense mais populosa, com demografia estimada no ano de 2016 em 569.645 pessoas, possui uma área de 1.126,106 km² e está localizada ao norte do estado, na latitude 26° 18' 16" Sul e na longitude 48° 50' 44" Oeste (IBGE, 2016).

Seu clima é caracterizado pelas altas temperaturas e umidade elevada no verão, sendo uma zona bioclimática brasileira (ZB) com características tipo ZB5 (RORIZ, 2004 e GRUNBERG, 2014).

Figura 4 - Zoneamento bioclimático brasileiro



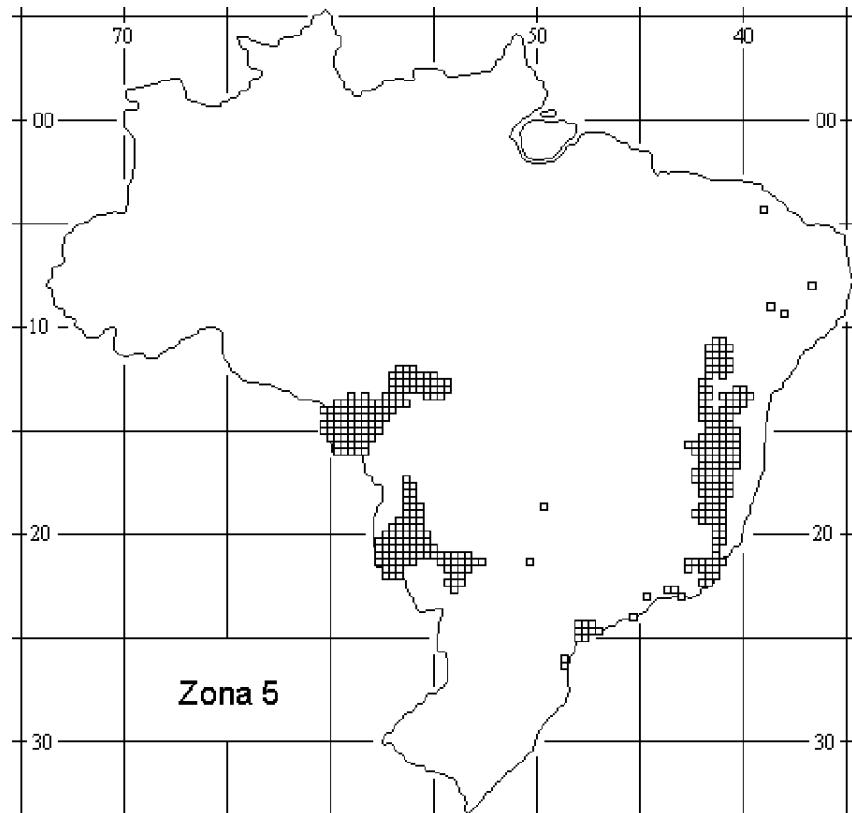
Fonte: ABNT (2005).

Roriz (2004), desenvolveu um estudo com dados climáticos de 330 cidades brasileiras buscando identificar cada tipo de zona bioclimática. Por meio da interpolação desses dados, amplia sua abrangência para mais 5231 cidades. Abaixo, estão relacionadas as cidades catarinenses com características de ZB5 (RORIZ, 2004).

- Araquari;
- Barra do Sul;
- Garuva;
- Itapoá;
- Joinville;
- São Francisco do Sul.

A NBR 15220 (ABNT, 2005) apresenta regiões brasileiras classificadas como ZB5 (Figura 5) e destaca como estratégias de condicionamento passivo a ventilação cruzada no verão e a inércia térmica no inverno.

Figura 5 - Zona bioclimática 5



Fonte: ABNT (2005).

LABEEE (2016) possui arquivos climáticos em formato *Energyplus Weather Data* (EPW) para uso em simulação computacional do programa Energyplus, que permitem inserir as edificações em seus respectivos climas numa modelagem computacional. Dentre as 411 cidades brasileiras listadas na referência, não há o arquivo para a cidade de Joinville.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) indica que, em simulações computacionais, devem ser usados dados climáticos da cidade onde o projeto está inserido. Na falta de dados, é possível utilizar o arquivo climático de uma cidade próxima, pertencente à mesma zona bioclimática e com características climáticas semelhantes. Diante de tal ponderação e na ausência de arquivo climático de Joinville, adota-se o arquivo climático de maior proximidade que no caso é Itapoá, cidade também localizada em ZB5.

2.3 DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES COM FINS HABITACIONAIS

Segundo o plano nacional de eficiência energética apresentado por MME (2010), há potencial para economia da energia elétrica na habitação popular brasileira e se destacam os seguintes itens a serem desenvolvidos:

- Estimular conceitos de eficiência energética em projetos de interesse social financiados por agentes públicos;
- Promover a integração entre a política habitacional e a política de eficiência energética para edificações;
- Incentivar o uso de sistemas de aquecimento de água baseados no aquecimento solar ou a gás;
- Inserir tema de eficiência energética em ações junto às comunidades atendidas pelos programas habitacionais.

Pellegrino, Simonetti e Chiesa (2015) analisam edificações habitacionais típicas da cidade de Kolkata, na Índia, e expõem que simples intervenções nas edificações, tais como revestimentos reflexivos, películas seletivas em vidros e isolamento do telhado, aliado a um melhor entendimento e detalhamento do comportamento dos seus usuários, podem reduzir o desconforto térmico e evitar a

dependência do ar condicionado. Destacam que há limitações no uso da ventilação natural, que depende de questões de segurança, como a proteção das aberturas das janelas com grades.

Fagundes (2014) apresenta o potencial para desempenho térmico e eficiência energética em edificações com fins habitacionais e demonstra que a inobservância nessas construções sobre os métodos estabelecidos pelo RTQ-R resulta na qualidade precária para conforto e eficiência dessas edificações. Alterações simples no projeto e na escolha dos materiais da habitação podem gerar impacto significativo na economia de energia em sua operação.

Grunberg (2014) faz uma análise para edificações inseridas em Joinville e destaca as estratégias passivas indicadas pela NBR 15220 para amenizar o desconforto causado pelo calor, mas informa que as mesmas podem prejudicar em dias de frio. Recomenda a ventilação natural (especialmente a noturna) e o sombreamento de aberturas para restaurar o conforto em dias quentes. Salienta ainda que o tipo de cobertura influencia no desempenho térmico em maior magnitude que o aumento da inércia térmica das vedações verticais.

A NBR 15220 (ABNT, 2005) apresenta diretrizes construtivas indicadas para habitações de interesse social. Para o caso de ZB5, prevê estratégias (Quadro 3) para adequação da edificação ao clima, buscando otimização do conforto térmico passivo.

Quadro 3 - Estratégias para desempenho térmico passivo nas vedações externas em ZB5

Vedação	Estratégia	Indicador
Janela	Aberturas médias para ventilação	15% < Área do piso < 25%
Parede externa	Vedação leve e refletora nas faces externas de paredes: $\alpha \leq 0,60$	$U \leq 2,30 \text{ W/m}^2\text{.K}$ $Ct \geq 130$
	Vedação leve e refletora nas faces externas de paredes: $\alpha > 0,60$	$U \leq 1,50 \text{ W/m}^2\text{.K}$ $Ct \geq 130$
Cobertura	Vedação leve e isolada em coberturas	$U \leq 2,30 \text{ W/m}^2\text{.K}$

Fonte: Adaptado de ABNT, NBR 15220 (2005).

Silva e Ghisi (2014) apontam que o Brasil possui dois métodos para avaliação da eficiência e desempenho térmico em edificações: o RTQ-R e a NBR 15575.

Oliveira et al. (2015) fazem uma comparação do RTQ-R e da NBR 15575 na análise de edificações residenciais por meio de simulações em oito zonas bioclimáticas brasileiras. Apresentam o padrão com habitações multifamiliares de

interesse popular em formato “H”, construídas com paredes de concreto espessura dez centímetros. As simulações foram desenvolvidas comparando zonas bioclimáticas e arquivos climáticos em oito cidades representantes de suas respectivas zonas:

- ZB1: Curitiba-PR;
- ZB2: Passo Fundo-RS;
- ZB3: Belo Horizonte-MG;
- ZB4: Brasília-DF;
- ZB5: Campos-RJ;
- ZB6: Goiânia-GO;
- ZB7: Cuiabá-MT;
- ZB8: Manaus-AM.

Oliveira et al. (2015) desenvolveram para a pesquisa 3 tipos distintos de modelos:

- Design original (OD) com a ausência de sombreamento em janelas e a cobertura com concreto 10 cm e fibrocimento 6 mm;
- Design revisado 1 (RD1) inserido sombreamento nas janelas dos ambientes de maior permanência e a alteração da cobertura para concreto 10 cm justa posto à uma camada de manta de fibra de vidro 63,5 mm e telha em fibrocimento 6 mm;
- Design revisado 2 (RD2) inserido sombreamento nas janelas de dormitórios e sala e a alteração da cobertura para concreto 10 cm e telha em chapa de alumínio.

São analisadas as porcentagens em conforto e desconforto para o calor e para o frio mediante o controle de ventilação passiva nos ambientes de maior permanência: dormitório 01, dormitório 02 e sala. Indicam o bom resultado do RTQ-R quando comparado à NBR 15575 e destacam que mesmo zonas bioclimáticas iguais em cidades distintas podem conter ventos (e taxas de trocas de ar) diferentes, fornecendo resultados diferentes. Indicam que a insolação direta aumenta a necessidade de resfriamento da edificação em todas as zonas bioclimáticas e destacam o uso da ventilação passiva para sua redução (OLIVEIRA ET AL., 2015).

Amorin e Vieira (2016) realizam estudos em habitações populares de alvenaria e madeira na cidade de Ribeirão das Neves – MG (ZB2). Mediante aplicação do RTQ-R, observaram a dificuldade dessa certificação em identificar madeiras com melhor desempenho no verão e no inverno (devido à alta capacidade de isolamento mediante uma baixa transmitância térmica (U_t), mas que são penalizados pela baixa capacidade térmica (C_t), quando comparados com as alvenarias. Destacam o uso de simulação computacional para melhores resultados. Elencam positivamente o uso de sombreamento de aberturas e melhorias na cobertura com aumento do isolamento e da capacidade térmica. Destacam que o *wood frame*, apesar de maior custo, possui melhor produtividade. Informam que o fator custo é fundamental nesse tipo de projeto e, portanto, limitado pelo órgão financiador, no caso o banco Caixa Econômica Federal (CEF). Informam a diversidade de metodologias construtivas empregando sistemas variados, tais como paredes de concreto, blocos de concreto, *steel frame*, *wood frame* e alvenaria cerâmica. Ressaltam ainda que o RTQ-R faz uma avaliação da envoltória da edificação mediante três parâmetros: eficiência para o resfriamento ou Graus Horas de Resfriamento (GHR), eficiência para o aquecimento e consumo relativo para refrigeração. Indicam as seguintes variáveis que interferem nesses parâmetros:

- Orientação e área das aberturas;
- Área de paredes externas e internas;
- Área útil dos ambientes;
- Transmitância térmica das paredes;
- Coberturas;
- Vidros;
- Capacidades térmicas de paredes e coberturas;
- Abertura para ventilação;
- Isolamento térmico;
- Pé-direito;
- Sombreamento.

Silva e Ghisi (2013) definiram 15 parâmetros amplamente utilizados no RTQ-R para gerar 500 simulações de eficiência energética aleatórias por meio de amostragem com Hipercubo Latino em uma habitação unifamiliar localizada em Florianópolis - SC (ZB-3). Identificaram que a absorância solar e a emissividade da

cobertura são os parâmetros mais influentes na otimização do desempenho da edificação.

Grigoletti e Linck (2014) realizam análise de comportamento térmico de diferentes habitações unifamiliares localizadas em Santa Maria - RS (ZB-2). Foram medidas as temperaturas interna e externa das edificações e aplicado um questionário aos moradores. Houveram registros no interior das edificações da ordem de 39°C no verão e 8°C no inverno. Os usuários consideraram suas edificações desconfortáveis no verão, porém informaram não ter tanto desconforto no inverno, apresentando maior tolerância às baixas temperaturas. Como conclusão dos estudos, destacam:

- O tipo e o material da cobertura se sobressai sobre o tipo e material das paredes como fatores determinantes do desempenho;
- Fachadas externas são a mais desfavoráveis, necessitando otimização de sua resistência térmica;
- Medições in loco podem ser diferentes das obtidas nos métodos de simulação;
- Os usuários são mais tolerantes a condições de frio que as de calor;
- A necessidade de incluir esquadrias que possuam isolamento térmico, privacidade e segurança.

2.3.1 O uso do RTQ-R em habitações

O PROCEL foi estabelecido pelo Governo Federal em 1985. Ele incentiva o uso eficiente da energia elétrica, combatendo o desperdício e reduzindo os custos por meio de investimentos setoriais. É notadamente conhecido como um selo (etiquetagem) para eletrodomésticos e eletrônicos e indica o nível de eficiência e consumo ao longo de seu uso (ELETROBRÁS, 2010). Em novembro de 2010, foi aprovado o RTQ-R que estabelece condições para etiquetagem quanto à eficiência energética em edificações com fins habitacionais (INMETRO, 2013).

Naturesa (2011) informa que o PROCEL é o único programa brasileiro voltado para o incentivo à eficiência do consumo de energia elétrica. Fala sobre incentivos realizados pelo governo à população de baixa renda para substituição de refrigeradores (geladeiras) e de lâmpadas antigas por novas e mais eficientes. Um investimento de R\$ 1,12 bilhão foi aplicado no PROCEL visando conservação da

energia pelo aumento da eficiência energética de dispositivos consumidores de eletricidade. Para o período pesquisado (1986 à 2009), houve uma economia de 38,37 bilhões de kWh de energia elétrica, o que é equivalente à uma usina de 9.105 MW, condição esta que posterga a necessidade de R\$ 26,75 bilhões aplicados em geração e transmissão.

Fagundes (2014) realiza a aplicação do RTQ-R na avaliação da eficiência energética e desempenho térmico de uma tipologia de habitação multifamiliar de interesse social inserida em diferentes zonas bioclimáticas do Brasil. Propõe alterações dessas edificações que elevam os níveis de eficiência de “D” e “E” para “A”, indica aquelas com melhores resultados e avalia a possibilidade de implantação pós-ocupação. Analisa o desempenho para o resfriamento e para o aquecimento por meio de uma avaliação dos ambientes de permanência prolongada (dormitórios e sala), num edifício com geometria externa tipo “formato H”, submetidos a duas orientações solares possíveis (Norte-Sul e Leste-Oeste). Afirma que alterações simples no projeto e na escolha dos materiais da habitação podem gerar impacto significativo na economia de energia em sua operação, na qual estão destacados o aquecimento de água e as bonificações em sombreamento de aberturas, ventilação cruzada, iluminação natural e condicionamento artificial do ar. Para a ZB5, destaca a necessidade das unidades térreas possuírem laje em contato direto com o solo para um maior conforto no verão.

Agopyan e John (2014) mencionam os incentivos brasileiros para pesquisas no setor elétrico com a Lei de Eficiência Energética (Lei 10.295/01) que dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional da energia elétrica e a Lei para Destinação de Recursos em Pesquisas (Lei 9991/00) que obriga as concessionárias e permissionárias de serviços de distribuição de energia elétrica a destinar parte de suas receitas líquidas em pesquisas na área de eficiência energética. A melhoria da eficiência energética é de responsabilidade do PROCEL, elaborada e gerenciada pela ELETROBRAS. Ela conta com o PROCEL Edifica, que classifica o potencial de eficiência de edificações, porém é em caráter voluntário, o que vai contra à prática mundial que apresenta regulamentos do gênero como obrigatórios.

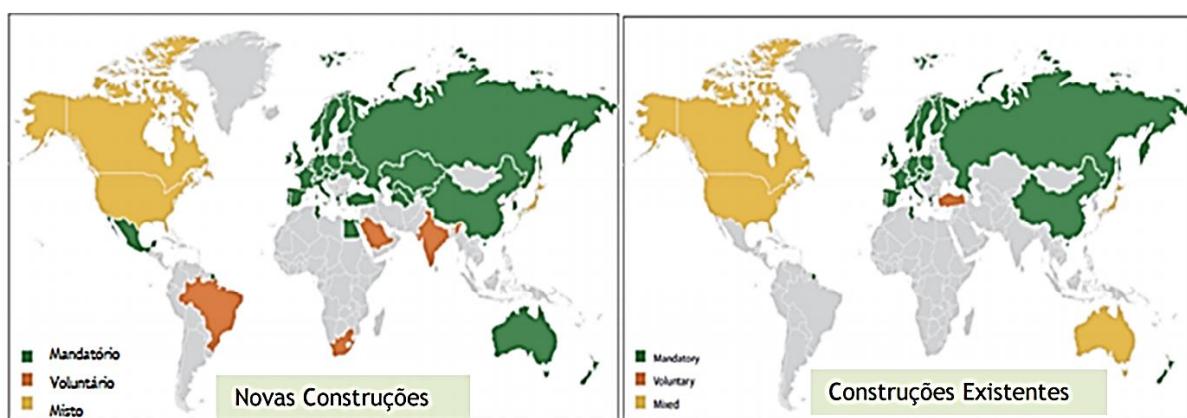
Fossati et al. (2016) falam sobre o processo de etiquetagem energética em habitações no Brasil apresentado pelo RTQ-R e abordam a necessidade de se

conseguir um processo mais flexível, economicamente viável e que permita o estabelecimento deste programa como obrigatório em um futuro próximo.

Agopyan e John (2014) citam a existência de grande variedade de selos e certificações para edificações do tipo *green* no mundo. A proliferação dos selos tem um cunho mercadológico, em que empresas e pessoas vendem essas inspeções e atestam edificações mais ou menos sustentáveis, ajudando leigos a identificar características desejáveis e a diferenciar um produto dentre os demais. No Brasil, o PROCEL é a única reconhecida em caráter oficial.

International Energy Agency (IEA, 2013a) apud MME (2016) apresenta um panorama da implantação de códigos de etiquetagem residencial em inúmeros países (Figura 6). Observa-se que no Brasil é citada a existência de uma etiquetagem voluntária para novas construções e nenhuma para construções existentes, diferente da situação de grande parte dos países do Hemisfério Norte, demonstrando uma tendência mundial para aplicação de etiquetagens em edificações.

Figura 6 - Panorama mundial de implantação de etiquetagem residencial



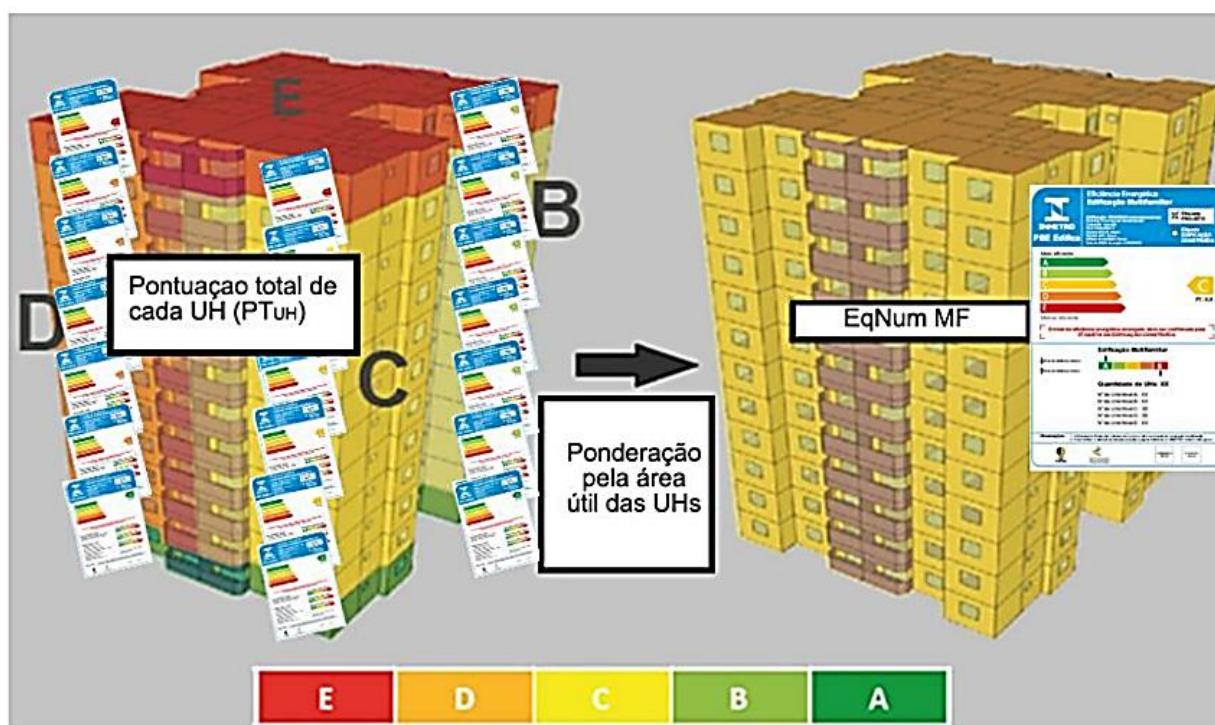
Fonte: IEA (2013) apud MME (2016).

O Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Indústria (INMETRO, 2013) apresenta o RTQ-R, que possui manual específico para cada uma das oito zonas bioclimáticas brasileiras, onde trata a necessidade de medição individualizada de água e eletricidade como geral (e necessário à todas as ZB's) e descreve pré-requisitos para cada uma das avaliações da unidade habitacional autônoma compatíveis à sua respectiva ZB:

- Envoltória;
- Aquecimento de água;
- Bonificações.

Para a determinação da eficiência em edificações multifamiliares pelo método prescritivo do RTQ-R, é necessário obter uma somatória entre a análise do atendimento a pré-requisitos iniciais, da pontuação na unidade autônoma pela indicação do desempenho da envoltória, do desempenho para o aquecimento de água e das bonificações. Realiza-se uma média ponderada entre as pontuações de cada uma das unidades autônomas para identificar uma pontuação de Equivalente Numérico para edificações Multifamiliares (EqNum MF), na Figura 7.

Figura 7 - Determinação do equivalente numérico do nível de eficiência em edificações multifamiliares



Fonte: INMETRO (2013).

No manual para ZB5, apresenta pré-requisitos para avaliação da envoltória específica para essa ZB e indica (Quadro 4) as diretrizes para obtenção da classificação nível “A” de edificações residenciais.

Quadro 4 - Pré-requisitos do RTQ-R para avaliação da envoltória em ZB5

Envoltória	Parede Externa		Cobertura	
Absortância solar (adimensional)	$\alpha \leq 0,60$	$\alpha > 0,60$	$\alpha \leq 0,60$	$\alpha > 0,60$
Transmitância térmica [W/(m ² K)]	$U \leq 3,70$	$U \leq 2,50$	$U \leq 2,30$	$U \leq 1,50$
Capacidade térmica [kJ/(m ² K)]	$CT \geq 130$	$CT \geq 130$	Sem exigência	Sem exigência
Ventilação natural em ambientes de permanência prolongada	Abertura para ventilação em relação à área de piso A $\geq 8\%$			
Fechamento de janelas	Possuir mecanismo de fechamento da janela durante períodos de frio			
Iluminação natural em ambientes de permanência prolongada	Percentual de abertura para iluminação em relação à área de piso A $\geq 12,5\%$			

Fonte: Adaptado de INMETRO (2013).

Mostra também os pré-requisitos das Unidades Habitacionais (Quadro 5), que trata de ventilação cruzada dos ambientes e da presença de ventilação em banheiros.

Quadro 5 - Pré-requisitos do RTQ-R para avaliação da ventilação em ZB5

Ventilação	Indicador
Cruzada	$A2/A1 \geq 0,25$ A1: somatório das áreas de ventilação na orientação de maior abertura A2: somatório das áreas de ventilação nas demais orientações
Dos banheiros	Pelo menos 50% dos banheiros devem possuir ventilação natural

Fonte: Adaptado de INMETRO (2013).

Apresenta ainda que há bonificações e que as mesmas são pontuações atribuídas a iniciativas adicionais que otimizam a eficiência energética da edificação. Essas bonificações são obtidas mediante atendimento dos seguintes critérios:

- Ventilação natural em todas as fachadas;
- Dispositivos especiais para sombreamento e ventilação tais como venezianas e peitoris ventilados;
- Centro geométrico da abertura próximo ao centro da parede;
- Permeabilidade da fachada;
- Profundidade do ambiente;
- Refletância teto;
- Uso racional de água;
- Condicionamento artificial de ar;
- Iluminação artificial;

- Ventiladores de teto;
- Refrigeradores;
- Medição individualizada de água quente.

Após verificados todos os pré-requisitos e bonificações, INMETRO (2013) mostra que a pontuação total (PT) é oriunda do indicador GHR dos ambientes de permanência prolongada e varia conforme a região e a zona bioclimática a qual pertence. O nível de eficiência é descrito pela equação 1:

$$PT = (a \times EqNumEnv) + [(1-a) \times EqNumAA] + \text{Bonificações} \quad (1)$$

Na fórmula:

- a é o coeficiente que varia entre 0,65 e 0,95, conforme região geográfica;
- $EqNumEnv$ é o equivalente numérico da envoltória quando ventilada naturalmente;
- $EqNumAA$ é o equivalente numérico para aquecimento de água;

O equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional ($EqNumEnv$) considera os equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para resfriamento ($EqNumEnvAmbResf$), para aquecimento ($EqNumEnvAmbA$) e para refrigeração ($EqNumEnvAmbRefrig$). No caso de ZB5, o desempenho térmico da envoltória tem sua eficiência definida pela Tabela 2 e segue a Equação 2:

$$EqNumEnv = EqNumEnvAmbResf \quad (2)$$

Tabela 2 - Equivalente numérico da envoltória do ambiente em ZB5

Eficiência	EqNumEnv	Condição
A	5	$GHR \leq 5.209$
B	4	$5.209 < GHR \leq 8.365$
C	3	$8.365 < GHR \leq 11.520$
D	2	$11.520 < GHR \leq 14.676$
E	1	$GHR > 14.676$

Fonte: Adaptada de INMETRO (2013).

O equivalente numérico do sistema de aquecimento de água ($EqNumAA$) é definido pela soma dos equivalentes numéricos de cada um dos tipos de sistemas de

aquecimento de água usados (ex: elétrico, solar, a gás, bomba de calor caldeira à óleo). É obtida a quantidade percentual (%) do uso de cada sistema (no caso de sistemas mistos).

O INMETRO (2013) apresenta uma planilha para determinação do nível de eficiência de habitações autônomas pelo método do RTQ-R. Essa planilha faz parte do método prescritivo para indicação da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) e permite três tipos de avaliações:

- ENCE de unidade autônoma;
- ENCE da unidade multifamiliar;
- ENCE das áreas de uso comum.

A planilha apresentada por INMETRO (2013) é composta por seis abas, cada qual contém células indicativas para serem preenchidas com os dados da edificação:

- Envoltória e pré-requisitos (Anexo 1);
- Peso das variáveis (Anexo 2);
- Pré-requisitos da UH (Anexo 3);
- Bonificações (Anexo 4);
- Aquecimento de água (Anexo 5);
- Pontuação total (Anexo 6).

2.3.2 Simulação computacional aplicada em habitações

Segundo Mendes *et al.* (2005), os programas de simulação de desempenho térmico e energético podem auxiliar muito nos escritórios de engenharia e arquitetura, ajudando na concepção do projeto do edifício com estratégias passivas. No entanto, Agopyan e John (2014) mencionam a necessidade de aperfeiçoamento das metodologias de simulação de desempenho que ajudam a comparar alternativas de diferentes selos e certificações de edificações sustentáveis ou de *green buildings*.

O INMETRO (2013) apresenta os seguintes pré-requisitos indicados pelo RTQ-R para o uso de um programa de simulação computacional:

- Ser um programa voltado para análise do consumo de energia;
- Estar validado pela American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) Standard 140,

que é um método padrão de teste para a avaliação de programas de computador voltadas à análise de energia de edifícios;

- Modelar 8760 horas por ano;
- Permitir variações de ocupação, potência de iluminação e equipamentos, rede de ventilação natural e sistemas de condicionamento de artificial, em dias de semana, finais de semana ou até mesmo feriados;
- Apresentar efeitos multi-zonas térmicas;
- Simular as estratégias bioclimáticas adotadas;
- Determinar a necessidade de condicionamento de ar do sistema;
- Produzir relatórios indicativos de temperatura, de trocas de ar, das infiltrações e do uso final de energia.

O programa Energyplus foi desenvolvido junto com o Departamento Americano de Energia (DOE, em inglês), é aberto e gratuito. Realiza simulações energéticas computacionais de vários tipos de construção, auxiliando engenheiros, arquitetos e pesquisadores a modelar conjuntos visando obter resultados em termos de consumo de energia para aquecimento, refrigeração, ventilação, iluminação, cargas e usos (DOE, 2015).

Lamberts, Dutra e Pereira (2013) falam da necessidade de observância dos zoneamentos bioclimáticos nas fases de projeto das edificações. Apresentam estratégias que, quando bem observadas, impactam positivamente na obtenção da eficiência: ventilação, resfriamento evaporativo, inércia térmica, aquecimento solar passivo, ar condicionado, aquecimento artificial, iluminação natural e artificial. Informam ainda que edificações de pequeno porte (que é o caso de habitações de interesse social) possuem menor número de variáveis e, portanto, maior possibilidade de explorar alternativas para iluminação e condicionamento natural da edificação em simulações computacionais.

Sorgato (2009) indica o potencial das habitações em utilizar estratégias passivas e de baixo custo e consumo energético. O autor desenvolveu uma análise das superfícies externas e das áreas dos ambientes em edificações residenciais unifamiliares naturalmente ventiladas afim de estudar as envoltórias dessas estruturas

por meio de simulação, com o apoio do programa Energyplus. Quatro tipologias foram estudadas:

- Habitação popular unifamiliar de 36m²;
- Habitação popular unifamiliar de 63m²;
- Habitação unifamiliar de médio padrão de 150m²;
- Habitação unifamiliar de alto padrão de 300m².

O autor estabeleceu intervalos para geração das cargas internas em cada uma das edificações (pessoas, iluminação, eletroeletrônicos) e padrões para seu uso e ocupação. Alterou propriedades térmicas de paredes e cobertura, absorção de paredes, sombreamento e ventilação de aberturas. As propriedades térmicas foram montadas em três composições diferentes baseadas na NBR 15220 e adequadas à zona bioclimática 3 (que é o caso de Florianópolis):

- Paredes: todas com tijolo cerâmico alterando espessura da alvenaria, presença ou ausência de câmara de ar e de isolantes térmicos;
- Coberturas: todas com telha de barro e comparado ao uso de lã de vidro, ou de lâmina de alumínio, ou ainda ausência desses elementos.

As absorções das cores de paredes são simuladas em 0,20, 0,40 e 0,80. Os elementos de janelas possuem abertura para ventilações com 15% da área do piso para ambientes de longa permanência e de 10% para os de curta permanência. O autor realiza ainda uma análise dos Graus Hora de Resfriamento e de Aquecimento, momentos em que a temperatura interna supera ou é inferior aos limites do intervalo de conforto proposto (18 a 26°C). Apresenta como resultado que o aumento da superfície externa exposta ao ambiente e o aumento da área do ambiente, aumentam a necessidade de Graus Hora de Resfriamento. Indica que coberturas escuras são inferiores ao desempenho das com cores claras em uma análise anual. Em todos os modelos, a presença da ventilação é determinante para a dissipação do calor interno.

Versage (2009) identificou o potencial de parâmetros da ventilação natural em edificações multifamiliares inseridas no clima ZB6 de Campo Grande - MS. No desenvolvimento, é simulada, pelo programa Energyplus, a influência dos coeficientes de descarga, de pressão do vento, do fluxo de ar pelas frestas das aberturas e da

rugosidade do entorno como influentes nas condições de ventilação. É utilizado um edifício multifamiliar com tipologia “H” nas simulações, e observadas as variações que os parâmetros causam na ventilação passiva e na quantidade de Graus Hora para Resfriamento do ambiente. Como resultado, são comparadas as temperaturas dos ambientes internos às do ambiente externo e as variações da quantidade de Graus Hora de Refrigeração para manter as temperaturas de conforto em cada um deles. As taxas de ventilação possuem influência significativa para a redução dos GHR.

Kelly (2011) apresenta uma análise para eficiência na redução do consumo de energia elétrica em edificações com fins residenciais localizadas na Inglaterra, informando que o resultado positivo para eficiência depende das seguintes variáveis: área das edificações, clima local, número de ocupantes e sua renda familiar.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) indica que sejam utilizadas simulações computacionais das temperaturas de inverno e de verão nos ambientes de longa permanência (Dormitórios e Salas) para atestar capacidades térmicas e de transmitância dos materiais que não estejam compatíveis com os valores preconizados pela ABNT NBR 15575. A edificação com as condições mais críticas para o desempenho térmico dos ambientes é a que deve ser preferencialmente simulada, devendo ser adotado:

- Orientação: conforme implantação ou com condição mais crítica possível;
- Verão: janelas dos dormitórios ou da sala voltado para oeste e outra parede voltada para norte;
- Inverno: janela do dormitório ou da sala voltada para sul e outra parede voltada para leste;
- Obstrução do entorno: considerar paredes externas e janelas sem obstruções. Caso haja outras edificações do mesmo complexo, essa interação pode ser considerada;
- Absortância solar da cobertura: utilizar o especificado em projeto;
- Absortância solar das paredes externas: utilizar o especificado em projeto ou na sua ausência simular cor clara ($\alpha = 0,30$), média ($\alpha = 0,50$) e escura ($\alpha = 0,70$).

A norma traz ainda que, caso não haja atendimento dos estabelecidos para o verão, as seguintes alterações devem ser desenvolvidas:

- Ventilação: janelas fornecendo uma taxa de cinco renovações do volume de ar do ambiente por hora e sem sombreamento;
- Sombreamento: proteção solar capaz de eliminar um mínimo de 50% da radiação solar direta, mantendo uma taxa de renovação do volume de ar do ambiente por hora;
- Ventilação e sombreamento: combinação das duas estratégias anteriores, mantendo uma taxa mínima de cinco renovações.

2.4 INTERVALOS DE CONFORTO TÉRMICO

Marin, Casatejada e Chvatal (2016) desenvolveram estudos do impacto da temperatura na faixa de conforto em habitações de interesse social naturalmente ventiladas a partir da análise de dois métodos: um proposto pela Sociedade Americana de Aquecimento, Refrigeração e Engenharia de Condicionamento de Ar (ASHRAE) sob o número 55 e o RTQ-R proposto pelo programa brasileiro PROCEL Edifica. Os autores indicam forte relação entre a temperatura de controle e o uso da ventilação natural em simulação de desempenho térmico, mediante operação de abertura e fechamento de janelas. Enquanto o RTQ-R propõe 20°C como temperatura média anual para considerar alternativas de combate ao calor, a ASHRAE 55 baseia-se na hipótese de que as pessoas se adaptam à temperatura externa em uma faixa imediata de conforto.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) indica os seguintes intervalos para temperaturas de para três distintos níveis de desempenho em ZB5 (Quadro 6):

Quadro 6 - Critério de avaliação de desempenho térmico para estações típicas do ano em ZB5

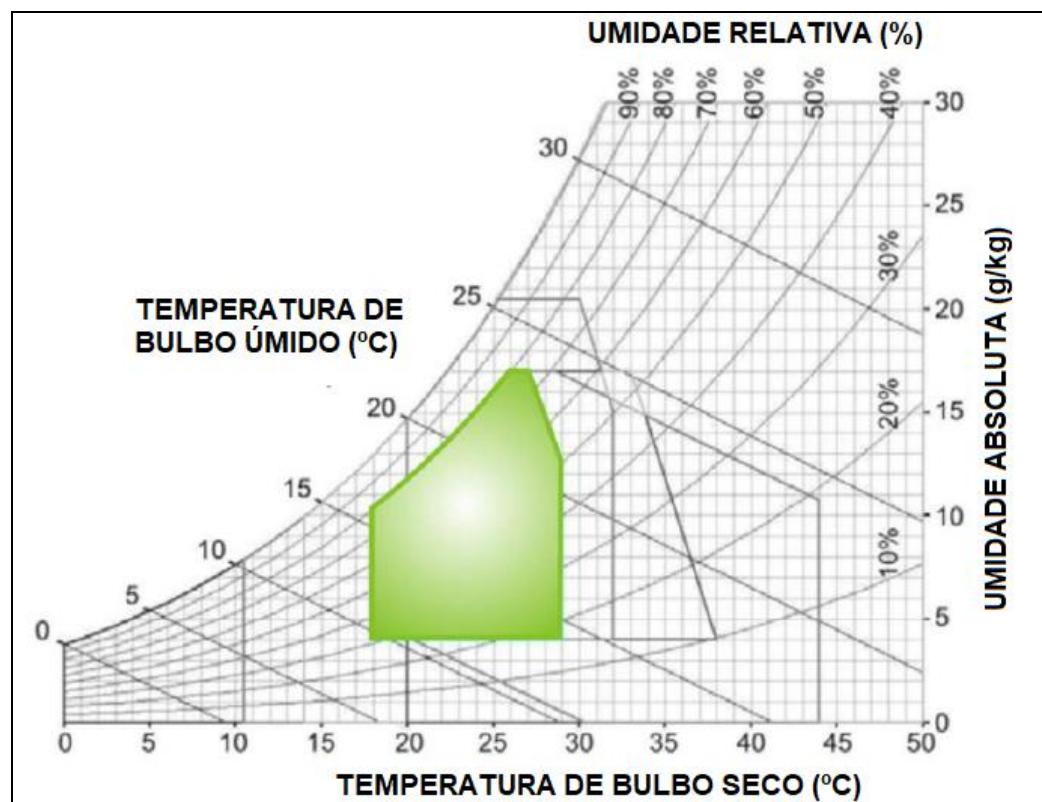
Nível de desempenho	Estação do Ano	
	Verão	Inverno
Mínimo (M)	$T_i, \text{máx.} \leq T_e, \text{máx.}$	$T_i, \text{mín.} \geq T_e, \text{min.} + 3^\circ\text{C}$
Intermediário (I)	$T_i, \text{máx.} \leq (T_e, \text{máx.} - 2^\circ\text{C})$	$T_i, \text{mín.} \geq T_e, \text{min.} + 5^\circ\text{C}$
Superior (S)	$T_i, \text{máx.} \leq (T_e, \text{máx.} - 4^\circ\text{C})$	$T_i, \text{mín.} \geq T_e, \text{min.} + 7^\circ\text{C}$

$T_i, \text{máx.}$: valor máximo diário no interior da edificação.
 $T_e, \text{máx.}$: valor máximo diário exterior à edificação.
 $T_i, \text{mín.}$: valor mínimo diário no interior da edificação.
 $T_e, \text{min.}$: valor mínimo diário exterior à edificação.

Fonte: Adaptado de ABNT (2013).

Givoni (1992) estabelece uma carta psicrométrica que indica intervalos de conforto térmico do interior de edificações, considerando temperatura e umidade relativa de algumas regiões. A Figura 8 indica condições para conforto em climas de regiões quentes, que é o caso do Brasil.

Figura 8 - Carta Psicrométrica para regiões de climas quentes



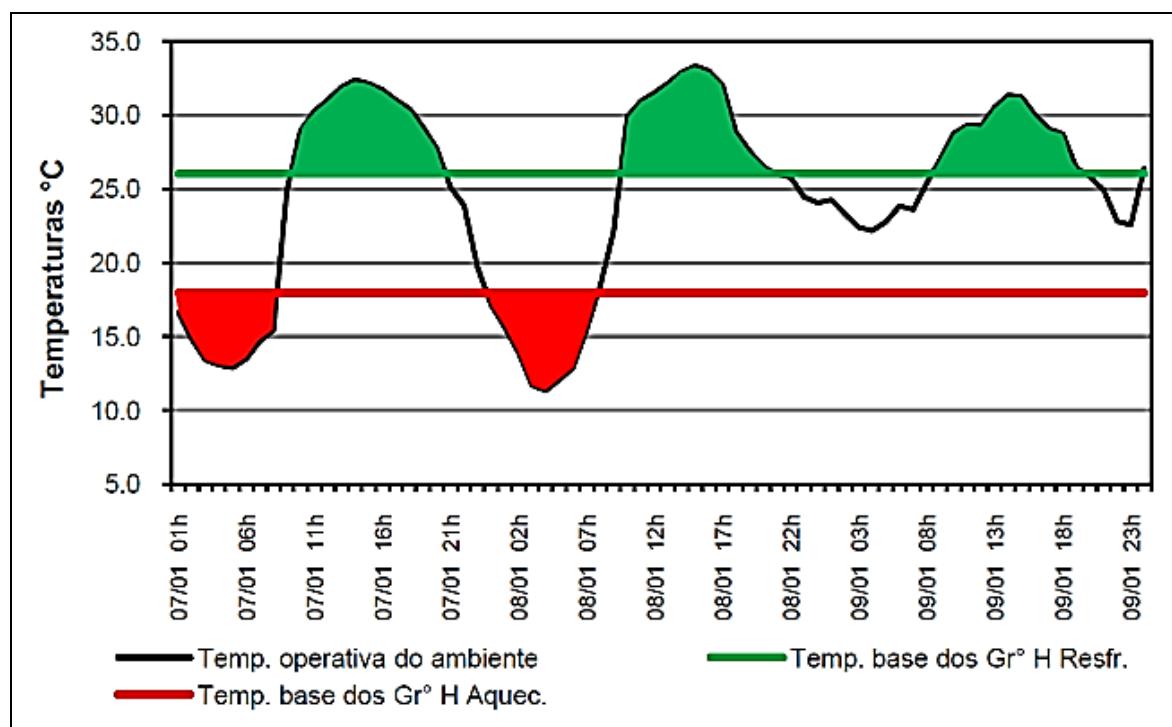
Fonte: Givoni (1992) apud Sorgato (2009).

Rupp (2011) realizou simulações com o Energyplus sobre edificações comerciais localizadas em Florianópolis - SC (ZB3) com o objetivo de pré-dimensionar as áreas de janelas baseado no consumo de energia elétrica mediante uso de ventilação híbrida (ventilação natural e condicionamento artificial). O autor indica que o estudo de Givoni é o que apresentou resultados mais adequados para estabelecer um intervalo de conforto para o controle de ambientes ventilados.

O RTQ-R (INMETRO, 2013) apresenta o indicador Graus Hora para Resfriamento (GHR) como um parâmetro de análise do desempenho térmico da edificação contida em um clima quente (com temperatura ambiental média superior a 20°C). É a quantidade anual de graus hora necessária para realizar o resfriamento do ambiente mantendo-o na faixa para conforto térmico.

Sorgato (2009) e Versage (2009) utilizam o limite indicado na Figura 9, com intervalo de conforto entre 18°C e 26°C. Ambientes com temperatura inferior a 18°C necessitam de aquecimento e superior a 26°C de resfriamento.

Figura 9 - Representação de graus hora de resfriamento e de aquecimento



Fonte: Sorgato (2009).

2.5 HABITAÇÕES DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA

A Lei nº 11.977, de 7 de julho de 2009, intitula o programa nacional brasileiro para redução do déficit habitacional como Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), que tem por objetivo estimular a produção de novas unidades habitacionais e proporcionar um financiamento facilitado para aquisição de imóveis novos ou existentes (BRASIL, 2009).

Segundo Ministério das Cidades (2017), o público alvo do MCMV são famílias com renda mensal bruta limitada a R\$1.800, que deverão ser gerenciadas em organizações associativas para construção de empreendimentos (casas ou apartamentos) denominados MCMV faixa 1. Eles devem seguir as seguintes diretrizes:

- Melhoria da qualidade de vida de seus habitantes;
- Observância dos planos diretores municipais;
- Sustentabilidade social, econômica e ambiental;
- Geração de emprego e renda;
- Condições de acessibilidade às vias públicas e as áreas comuns por pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida;
- Atendimento às diretrizes do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H);
- Observação às especificações mínimas para a elaboração de habitação de interesse social (HIS).

O Ministério das Cidades (2017) apresenta os seguintes participantes do programa MCMV bem como suas atribuições:

- Secretaria Nacional da Habitação (SNH): órgão gestor responsável pelas diretrizes, prioridades, sanções, critérios e parâmetros do programa;
- Caixa Econômica Federal (CEF): agente operador responsável pela alocação e distribuição orçamentária para os agentes financeiros. Monitora as operações;
- Agentes financeiros: instituições financeiras federais responsáveis por analisar e selecionar as propostas para intervenção habitacional. Acompanham as

obras, realizam as liberações de recursos para execução e efetuam a cobrança das prestações dos beneficiários;

- Beneficiários: pessoas físicas adquirentes das unidades habitacionais.

O programa conta com quatro faixas (Quadro 7) diferenciadas pelos rendimentos familiares dos beneficiários e pelos juros anuais e tamanho do subsídio aos imóveis aos quais poderão optar (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2017).

Segundo o Ministério das Cidades (2016), um dos principais fatores para escolha dos imóveis é o seu baixo custo de aquisição. Há valores máximos por unidade habitacional que deverão ser oferecidos no MCMV (Tabela 3). No caso de Joinville, unidades habitacionais do faixa 1 podem ter valor de até R\$120.000 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2017).

Quadro 7 - Faixas do MCMV

Faixas	Renda Familiar	Características
Faixa 1	Até R\$1.800	Até 90% de subsídio do valor do imóvel. Sem juros.
Faixa 1,5	Entre R\$1.801 a R\$2.600	Até R\$47.500 de subsídio. 5% de juros ao ano.
Faixa 2	Entre R\$2.601 a R\$3.000	Até R\$29.000 de subsídio. 5,5% de juros ao ano.
	Entre R\$3.001 a R\$3.600	Até R\$29.000 de subsídio. 6% de juros ao ano.
	Entre R\$3.601 a R\$4.000	Até R\$29.000 de subsídio. 7% de juros ao ano.
Faixa 3	Entre R\$4.001 a R\$7.000	8,16% de juros ao ano.
	Entre R\$7.001 a R\$9.000	9,16% de juros ao ano.

Fonte: Adaptado de Ministério das Cidades (2017).

Tabela 3 - Valores máximos (R\$) para unidades habitacionais do MCMV faixa 1

Localidade	DF, RJ, SP	SUL, ES, MG	Centro- Oeste	Norte, Nordeste
Capitais classificadas como metrópoles.	135.000	125.000	120.000	120.000
Demais capitais e municípios com população maior ou igual a 100 mil. Capitais regionais com população maior ou igual a 250 mil.	125.000	120.000	115.000	115.000
Municípios com população igual ou maior que 250 mil.				
Capital com população menor que 100 mil.	115.000	110.000	105.000	100.000
Capitais regionais, com população menor que 250 mil.				
Municípios com população maior ou igual a 50 mil e menor que 250 mil.	100.000	95.000	90.000	85.000
Municípios com população entre 20 e 50 mil.	80.000	75.000	75.000	70.000
Demais municípios.	70.000	70.000	70.000	70.000

Fonte: Adaptada de Ministério das Cidades (2017).

Brasil (2017) indica a quantidade de unidades presentes no programa Minha Casa Minha Vida (Tabela 4), em todas as faixas, atualizado até 30 de abril de 2017.

Tabela 4 - Quantidade de unidades do MCMV

Região	Unidades Contratadas	Unidades Concluídas	Unidades Entregues
Joinville	17.897	14.637	13.582
Santa Catarina	190.084	171.895	161.274
Brasil	4.652.728	3.812.046	3.378.052

Fonte: Brasil (2017).

A Tabela 5 mostra o déficit habitacional apresentado pela Secretaria Municipal da Habitação de Joinville (SEHAB, 2016), contendo uma lista de famílias cadastradas e que aguardam acesso às suas unidades. Destaca-se a quantidade de famílias que possuem renda de até três salários mínimos e que são elegíveis à aquisição de habitações populares da faixa 1 do MCMV na região.

Tabela 5 - Déficit habitacional em Joinville

Famílias	Com renda de até 3 salários mínimos	Total de Cadastradas
Total	15.509	16.415

Fonte: SEHAB (2016).

As atuais diretrizes para elaboração de novos projetos indicam as especificações mínimas das unidades habitacionais do MCMV e são apresentadas pelo Ministério das Cidades (2016). Nelas, estão presentes as obrigatoriedades em se aplicar uma qualidade mínima em seus sistemas construtivos, sua arquitetura e em seu entorno. Como aspectos sustentáveis, cita:

- Qualidade interna dos ambientes;
- Adoção de estratégias para conforto térmico;
- Observância das características físicas, geográficas e climáticas do local;
- Estratégias para redução do consumo de energia elétrica;

- Gestão para mitigação do consumo de água e geração de esgoto e resíduos sólidos;
- Obrigatoriedade de instalação de sistemas de aquecimento solar em casas localizadas nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

O Ministério das Cidades (2016) traz as especificações mínimas de envoltória e de aberturas das edificações habitacionais respectivamente nos Quadros 8 e 9, itens influentes no desempenho térmico de apartamentos.

Quadro 8 - Especificações mínimas de envoltória do MCMV que influenciam no desempenho térmico de apartamentos

Tipo	Especificação mínima para apartamentos
Ambientes no interior da UH	Sala / Dormitório para casal / Dormitório para duas pessoas / Cozinha / Área de serviço / Banheiro
Área mínima	41,00 m ²
Paredes	Bloco cerâmico ou de concreto com espessura mínima de 14 cm, desconsiderando revestimentos. É aceitável solução com desempenho mínimo conforme NBR 15575
	Nas zonas bioclimáticas de 3 a 8, pinturas externas com cores claras predominantes (absortância solar inferior a 0,40)
Pé direito	Mínimo de 2,50 m. Admite-se 2,30 m no banheiro
Cobertura de apartamentos	Conforme NBR 15575, aplicada sobre laje, com telhado sobre estrutura de madeira ou metálica
	Beiral é opcional, pode haver platibanda. No caso de beiral, mínimo de 0,60 m ou 10 cm mais que a largura da calçada
	No uso de telhas cerâmicas esmaltadas, concreto ou fibrocimento, devem ser usadas cores claras
Revestimento externo	Concreto regularizado e plano ou chapisco e massa única ou ainda emboço e reboco
Revestimento interno	Gesso ou chapisco e massa única, ou emboço e reboco ou ainda concreto regularizado e plano. Desempenho conforme NBR 15575
Pisos	Piso cerâmico assentado sobre contrapiso impermeável com espessura mínima de 3,00 cm

Fonte: Adaptado de Ministério das Cidades (2016).

Quadro 9 - Especificações mínimas em aberturas e ventilação do MCMV que influenciam no desempenho térmico de apartamentos

Tipo	Especificação mínima para apartamentos
Janelas	Aberturas mínimas de 1,50 m ² nos dormitórios e 2,00 m ² na sala
	As esquadrias dos dormitórios devem permitir o escurecimento do ambiente com garantia da ventilação natural
	As esquadrias de todos os ambientes devem possibilitar a abertura total da janela para a entrada da luz natural
	Obrigatório somente nas zonas bioclimáticas 7 e 8, a abertura externa da sala deverá prever uso de sombreamento (veneziana, varanda, brise, beiral, anteparo ou equivalente)
Portas	Portas de acesso e internas em madeira
	Para regiões litorâneas e meios agressivos, admite-se porta de acesso em aço ou alumínio, desde que não haja vidros em altura inferior a 1,10 m em relação ao piso
Ventilação cruzada	Nas zonas bioclimáticas 7 e 8, é obrigatória a ventilação cruzada entre pelo menos duas fachadas diferentes, opostas ou adjacentes. Para as demais zonas, é apenas recomendável
Ventilação noturna	Nas zonas bioclimáticas 7 e 8, é obrigatória a ventilação noturna com segurança nos ambientes de longa permanência (dormitórios e sala). Os dispositivos devem ter possibilidade de fechamento em períodos frios
Ventilador de teto	Nas zonas bioclimáticas 7 e 8, é obrigatória a instalação de ventilador de teto com selo PROCEL em ambientes de longa permanência (dormitórios e sala)

Fonte: Adaptado de Ministério das Cidades (2016).

2.5.1 Estudos de ocupação em Habitações Populares

A Tabela 6 apresenta uma pesquisa sobre satisfação com relação às unidades habitacionais já em uso, em uma amostra obtida entre 2009 a 2014, que pontua a opinião do morador entre 10 (muito satisfatório) e 1 (insatisfatório) sobre aspectos de: iluminação, umidade, temperatura, distribuição dos ambientes e área e indica a condição média dos resultados obtidos para o Brasil e para Santa Catarina (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016). O indicador “área” obteve as piores notas, apontando a insatisfação dos moradores sobre os espaços das habitações. O indicador “temperatura” é o segundo pior na amostra, indicando problemas com o conforto térmico dessas edificações.

Tabela 6 - Satisfação com relação ao uso das unidades habitacionais

Região	Indicador				
	Iluminação	Umidade	Temperatura	Distribuição dos ambientes	Área dos ambientes
Santa Catarina	8,89	5,49	5,12	7,95	4,59
Brasil	8,91	6,21	5,34	7,88	4,66

Fonte: Adaptada de Ministério das Cidades (2016).

Logsdon et al. (2016) fizeram um estudo de caso para avaliação pós-ocupação por meio de aplicação de questionário aos moradores de um condomínio com 322 habitações unifamiliares do MCMV, localizadas em Cuiabá - MT (ZB7). Destacam:

- A diversidade dos perfis e a composição das famílias da amostra estudada, variando entre 2 e 12 moradores;
- Entre as condições de conforto (iluminação, ventilação, temperatura e ruído), é citada a temperatura interna como muito alta por 45% dos entrevistados.

Os autores observaram modificações pós-ocupação nas edificações estudadas objetivando segurança (grades e portões) e o aumento da área útil mediante construção de varanda nos fundos. Recomendam que os projetos possuam flexibilidade atendendo às necessidades individuais dos moradores.

2.5.2 Avaliação de desempenho dos materiais usados em habitação de interesse social

O Ministério das Cidades (2011) identifica o Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT) como órgão responsável à harmonização de procedimentos na avaliação de sistemas construtivos que não possuam normas técnicas específicas. Desenvolve análise dos materiais em inúmeros aspectos, inclusive no seu desempenho, baseando-se nas normas internacionais já existentes, como a ASHRAE, e nas nacionais como a ABNT.

O Ministério das Cidades (2016) traz uma avaliação de desempenho técnico de sistemas construtivos por meio das Diretrizes para Avaliação Técnica de Sistemas Construtivos (DATEC), elaborados sob coordenação do SINAT, e destaca a

necessidade de tais sistemas estarem em acordo aos limites estabelecidos na NBR 15575, que trata inclusive do desempenho em segurança estrutural. Destacam-se os sistemas inovadores que, para seu uso, necessitam de testes acreditados pelo Instituto de Pesquisa Tecnológicas (IPT), identificados nos Quadros 10 e 11, para uso em edificações multifamiliares do MCMV localizadas em ZB 5, objetivando estabelecer procedimentos para indicação do potencial de aplicação desses materiais.

Quadro 10 - Tipos de coberturas em sistemas construtivos inovadores reconhecidos pelo SINAT para uso em edifícios multifamiliares localizados em ZB5

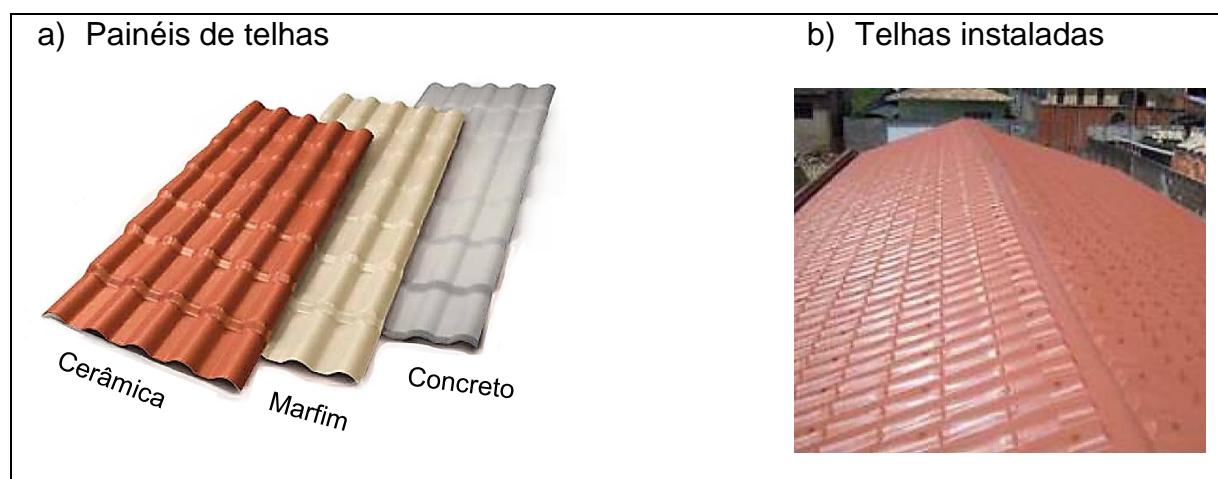
Tipo	DATEC	Detalhes do sistema construtivo inovador	Material do elemento	Espessura do elemento (mm)
Cobertura	022	Telhas de PVC PreconVC modelo colonial cerâmica	PVC	2,5

Fonte: Adaptado de Ministério das Cidades (2016).

Dentre os sistemas inovadores mencionados no Quadro 10, é citada apenas o DATEC 22 como potencial a ser inserido na habitação popular (Figura 10). Tendo em vista as cores apresentadas nas telhas, é possível indicar as seguintes absorções solares (α):

- Cerâmica: $\alpha=0,62$;
- Marfim: $\alpha=0,245$;
- Concreto: $\alpha=0,715$.

Figura 10 – Modelo e cores de Telhas de PVC reconhecidas pelo SINAT



Fonte: Adaptada de Ministério das Cidades (2016).

Quadro 11 - Tipos de paredes externas em sistemas construtivos inovadores reconhecidos pelo SINAT para uso em edifícios multifamiliares localizados em ZB5

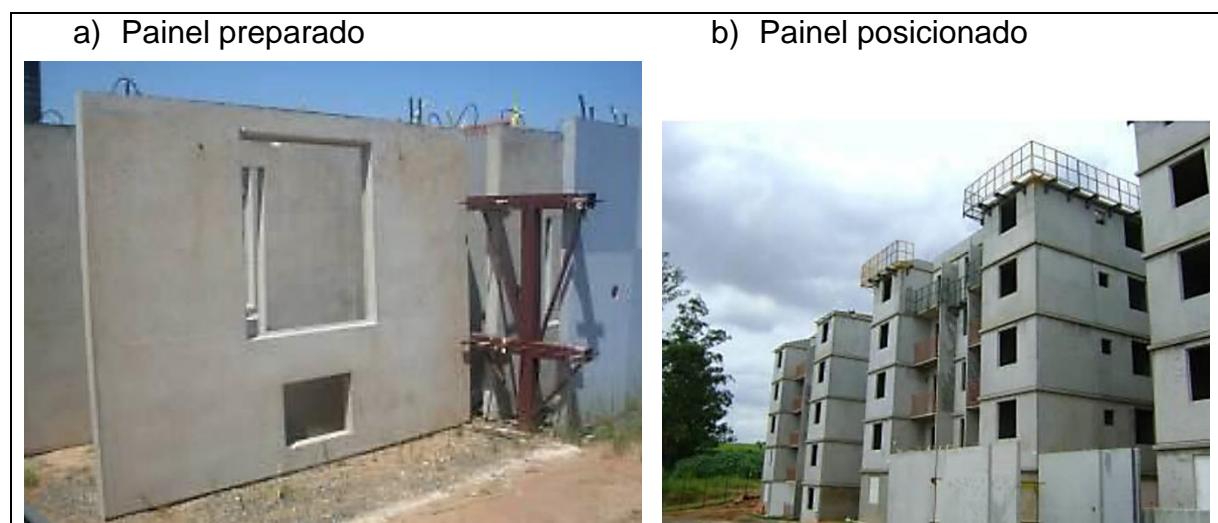
Tipo	DATEC	Detalhes do sistema construtivo inovador	Material do elemento	Espessura do elemento (mm)
Parede externa	007	Painéis pré-moldados maciços de concreto armado para execução de paredes - Rossi	Concreto	100,0
	008	Painéis JETCASA pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos para paredes	Argamassa interna Bloco cerâmico Argamassa externa	10,0 120,0 10,0
	012	Painéis pré-fabricados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos sem função estrutural - PRECON	Gesso interno Tijolo cerâmico 8 furos Concreto externo	5,0 11,5 15,0
	031	Painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos sem função estrutural	Concreto interno Tijolo cerâmico 8 furos Concreto externo	25,0 90,0 25,0

Fonte: Adaptado de Ministério das Cidades (2016).

Nos sistemas construtivos apresentados no Quadro 11, é possível identificar que o DATEC 007 é uma parede de concreto pré-moldada com alta transmitância térmica (da ordem de 4,40 W/m².k), valor que extrapola os limites preconizados no RTQ-R e na NBR 15220. O sistema DATEC 008 é indicado para casas e sobrados. O sistema DATEC 012 não possui função estrutural, criando a necessidade de um sistema em concreto armado para suporte das cargas, somente assim permite sua adoção em edificações verticais multifamiliares. Já o sistema DATEC 031 possui uma orientação à pré-moldados, utilizando elementos semelhantes a uma parede de alvenaria.

Dentre os sistemas inovadores mencionados no Quadro 11, o material DATEC 007 (Figura 11) é o único monolítico e pré-moldado. Características desejáveis na indústria da construção civil.

Figura 11 – Processo construtivo do DATEC 007



Fonte: Adaptada de Ministério das Cidades (2016).

Quando se citam cores, Pereira, Ghisi e Güths (2013) destacam as propriedades radiantes e emitentes das amostras na cor branca para a redução das ilhas de calor e da temperatura de edificações em climas quentes (Tabela 7).

Tabela 7 - Propriedades térmicas em amostras de cores

Amostra	Refletância solar média	Absortância solar (α)
Tinta acrílica branca fosca	0,8694	0,1306
Tinta acrílica branca de alta refletância	0,9055	0,0945
Revestimento branco impermeabilizante para coberturas	0,8014	0,1986
Tinta acrílica preta comum	0,0475	0,9525

Fonte: Adaptada de Pereira, Ghisi e Güths (2013).

Já Dornelles (2008) apud INMETRO (2013) mostra as tintas, as cores e absorções obtidas em superfícies quando expostas à radiação solar (Anexo 7).

Para o caso de aberturas, Rupp (2011) otimiza a dimensão das janelas baseado na necessidade de consumo para condicionamento e iluminação artificial dos ambientes. Indica que quanto maior a área da janela, maior é seu consumo de eletricidade. Já Matos (2007) desenvolveu simulações de residências unifamiliares naturalmente ventiladas localizadas em Florianópolis - SC (ZB3). Apontou as relações entre a área do piso (AP) e a abertura da janela de 15% de ventilação como a que apresentou melhores resultados.

No entanto, Lamberts, Dutra e Pereira (2014) recomendam que a abertura da janela em relação à área do piso não exceda 20%, evitando ganhos excessivos no verão e perdas no inverno.

Segundo Miranda et al. (2010), para a situação de definição de sombreamento, o programa Analysis Sol-Ar 6.2 é possível ser utilizado em programas de simulação tais como o Energyplus, permitindo obter a carta solar da latitude especificada, assim como auxiliar nos estudos de proteções solares através da visualização gráfica dos ângulos de projeção desejados sobre transferidor de ângulos, que pode ser plotado para qualquer ângulo de orientação. Além disso, o programa também permite, para as cidades com dados horários disponíveis na base de dados, a visualização de intervalos de temperatura anuais correspondentes as trajetórias solares ao longo do ano e do dia.

Para obter informações sobre ventos, há a possibilidade de obtenção da rosa dos ventos para frequência de ocorrência dos ventos e das velocidades médias do ar predominantes para cada estação do ano e segundo suas orientações (LAMBERTS, MACIEL e ONO, 2015).

2.6 ANALISES ESTATÍSTICAS

Devore (2006) apresenta a importância na aplicação de ferramentas de probabilidade e estatística para auxiliar a obtenção de informações e a consolidação de conclusões quando diante de incertezas.

2.6.1 Comparação de séries temporais

A análise de agrupamento permite a classificação de objetos e a identificação de semelhanças com outros grupos. Para medidas de similaridade, a mais usada é a distância, que indica as dimensões das proximidades. Medidas correlacionais não métricas permitem comparar similaridade em padrões de dados (DEVORE, 2006).

O método proposto de Box-Jenkins faz uma análise de séries temporais por meio de modelos que variam entre Auto-regressivos (AR), Médias Móveis (MA), Auto-regressivos com médias móveis (ARMA) e Auto-regressivos integrado com médias

móveis (ARIMA), o que permite identificar se os processos possuem mesma origem estocástica (DEVORE, 2006).

2.6.2 Variação de parâmetros em simulações

Tian (2013) identifica em edificações com usos não residenciais, a análise de sensibilidade como ferramenta de destaque na identificação das variáveis que mais afetam o desempenho térmico de edificações quando desenvolvidos modelos em simulação computacional. O autor cita a importância de uma distribuição probabilística dos dados de entrada de modo a explorar as mais variadas possibilidades de modificações do modelo de análise da eficiência, buscando diferentes alternativas para economia de energia em modelos de simulação da eficiência energética, automação do processo em programa para este fim, tal como é o Energyplus.

Henning et al (2016) desenvolveram estudos em uma edificação com fins comerciais, considerando variações em características construtivas (fatores), mediante simulações pelo uso do programa Energyplus. Elaboraram análise mediante uso de Método da Regressão Linear Múltipla. São alterados os tamanhos de aberturas, a orientação da edificação e a presença de brises de modo a obter a influência de cada uma dessas variáveis nas horas anuais em desconforto térmico. Foi elaborado um planejamento de experimentos, no qual todas as combinações das três alterações foram consideradas em 24 simulações distintas (HENNING ET AL, 2016). Como resultado, Henning et al. (2016) indicaram que a ventilação pelo aumento do tamanho da abertura é o fator que mais influencia na redução das horas anuais em desconforto térmico, seguido da presença de brises e, em último, a orientação da edificação. Para esta análise em planejamento de experimentos ou *Design of Experiments* (DOE em inglês), é proposto:

- Plotagem de *boxplot* para visualização dos efeitos principais;
- Verificação das interações por meio da análise da variância;
- Verificação dos efeitos e da sua magnitude por meio de teste Shapiro-Wilk e gráfico de Pareto;
- Elaboração de gráficos das interações entre fatores.

Silva (2016) mostra a necessidade de aperfeiçoamento das simulações em desempenho térmico de edificações mediante conhecimento das variáveis existentes

nesse tipo de projeto. Indica a aplicação de experimentos computacionais e a análise de sensibilidade em simulações, por meio da aplicação de diferentes métodos de análise de sensibilidade.

Dentre esses métodos, Silva (2016) utiliza o planejamento de experimentos, onde a análise de variância (ANOVA) indica quais variáveis de entrada são influentes no modelo por meio das somas dos quadrados (SQ) na Equação 3. A estatística F é oriunda esta soma (SQ) e é um indicador eficaz para medida de sensibilidade entre variáveis do modelo (Equação 4 e 5), apresentando melhor precisão dos resultados quando utilizando em sistema de sensibilidade global mediante combinação de todas as variáveis independentes.

$$SQ(AB) = SQ(Total) - SQ(Erro) - SQ(A) - SQ(B) \quad (3)$$

$$MQ(A) = \frac{SQ(A)}{a-1} \quad (4)$$

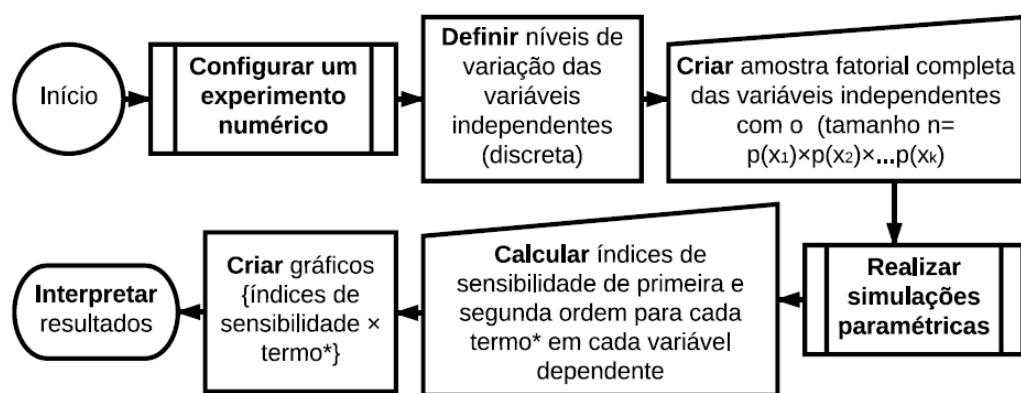
$$F(A) = \frac{MQ(A)}{MQ(Erro)} \quad (5)$$

Onde:

$SQ(A)$ é a soma dos quadrados da variável A;
 $SQ(B)$ é a soma dos quadrados da variável A;
 $SQ(Total)$ é a soma dos quadrados total;
 $SQ(AB)$ é a soma dos quadrados da interação entre as variáveis A e B;
 $SQ(Erro)$ é a soma dos efeitos não contabilizados;
 a é o número de níveis na variável A;
 $MQ(A)$ é a média dos quadrados da variável A;
 $MQ(Erro)$ é a média dos quadrados do erro da variável A;
 $F(A)$ é o valor F da variável A.

Numa análise de sensibilidade global em um projeto de experimento fatorial, Silva (2016) recomenda o uso do procedimento (Figura 12) para desenvolvimento de uma configuração adequada.

Figura 12 - Procedimento para análise de sensibilidade

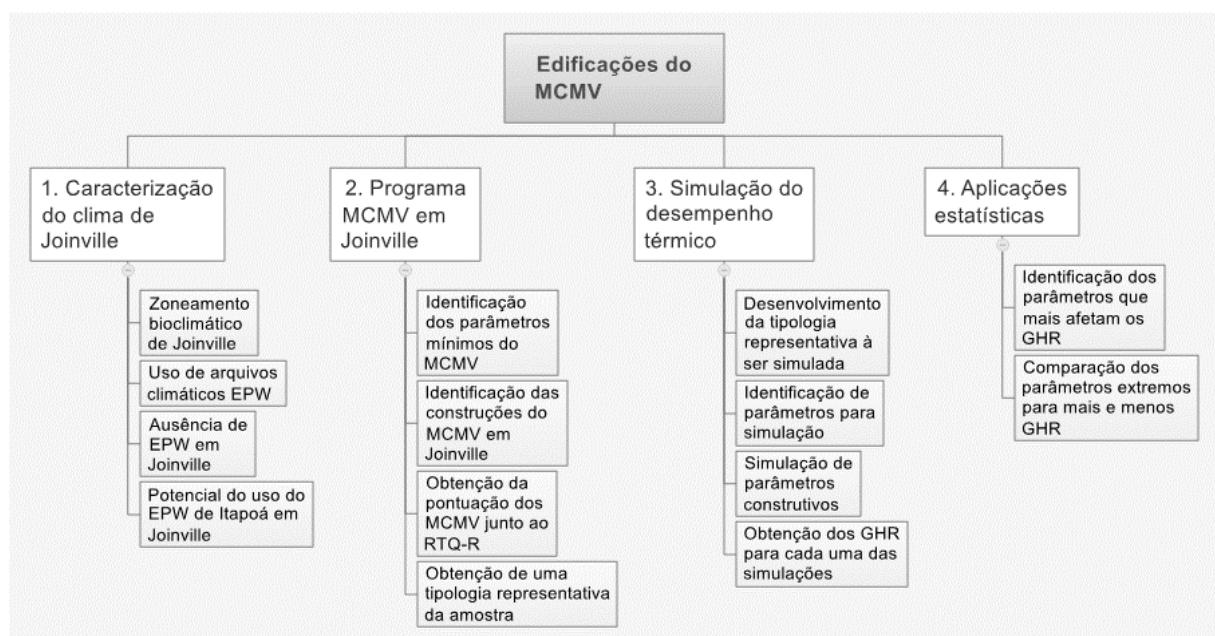


Fonte: Silva (2016)

3 METODOLOGIA

Este trabalho realizará uma identificação das habitações multifamiliares do MCMV faixa 1 existentes em Joinville de modo a propor parâmetros construtivos da envoltória que impactem no desempenho térmico do indicador GHR. Identificará os parâmetros com maior influência e proporá um modelo que, quando comparado ao original, gerará economia de energia elétrica, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Organograma da metodologia



Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA DE JOINVILLE

O uso de arquivos climáticos em simulações computacionais está intimamente relacionado à precisão e dimensão dos resultados obtidos. Serão utilizadas ferramentas de comparação e similaridade de séries temporais para identificar o potencial de aplicação do arquivo climático oriundo da estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de Itapoá como arquivo climático de Joinville oriundo da EPAGRI.

3.2 PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA EM JOINVILLE

As habitações de interesse social já construídas em Joinville possuem parâmetros de construção que afetam o desempenho térmico das unidades habitacionais. É necessário caracterizar as alternativas construtivas possíveis de serem inseridas nesses projetos de MCMV e que melhor se adaptam ao clima da cidade.

O RTQ-R possui planilhas para aplicação de seu método prescritivo e permite identificar a eficiência dos condomínios MCMV faixa 1 construídos em Joinville e a tipologia que apresenta a melhor classificação. Todos os condomínios MCMV faixa 1 de Joinville serão caracterizados mediante o uso desta ferramenta com a indicação de sua pontuação de análise da envoltória.

Serão realizadas comparações quantitativas considerando a pontuação obtida no RTQ-R e qualitativas considerando as características globais das edificações do MCMV faixa 1 em Joinville. Será proposta uma tipologia que será identificada como referência do MCMV em Joinville para tratamento com modelagem e simulação do desempenho térmico. Serão apresentadas estatísticas descritivas e medidas gráficas das pontuações obtidas.

Na seleção da edificação referência serão comparadas pontuações obtidas no RTQ-R. Serão apresentadas estatísticas descritivas (média, mediana e desvio padrão) e também os gráficos boxplot dos valores das pontuações. Para auxiliar na identificação de um edifício referência serão aplicados testes de hipóteses para médias. As pontuações médias serão comparadas com o uso do teste t de Student para dois grupos (dois edifícios) e Análise da Variância (ANOVA) para três ou mais grupos. Na comparação múltipla, após a ANOVA, será aplicado o teste Tukey. Deste modo as pontuações estarão comparadas a cada dois edifícios e considerando o conjunto total. O nível de significância adotado será 5% (0,05). O critério de decisão será a partir do p-valor (probabilidade de significância), sendo consideradas significativas as diferenças de pontuação entre os edifícios que obtiverem p-valor inferior ao nível de significância adotado (0,05). Em outras palavras, edifícios com pontuações semelhantes não apresentam diferenças significativas.

3.3 ANÁLISE DO NÍVEL DE DESEMPENHO TÉRMICO

As simulações serão desenvolvidas sobre a envoltória da tipologia identificada como referência mediante o uso do programa Energyplus 8.4, buscando o indicador GHR para os ambientes de permanência prolongada (dormitório 2 e sala/cozinha/área de serviço).

A geometria da edificação será modelada através da extensão Legacy Openstudio 1.0.14, que permite combinar o Energyplus 8.4 ao Sketchup 2014. Estarão indicados o contato com o solo (Site:GroundDomain:Slab), os materiais e elementos construtivos (Material, Material:AirGap, WindowMaterial:Glazing, Construction), as portas e janelas (FenestrationSurface:Detailed), os sombreamentos tipo brise (Shading:Building: Detailed), as cargas geradas (People, Lights, ElectricEquipment), os padrões de uso e funcionamento (Schedule:Compact) e a ventilação natural (AirflowNetwork).

A ventilação natural será controlada pelo intervalo de conforto proposto pelo RTQ-R, entre 20ºC e 26ºC. Temperaturas do ambiente externo superiores ou inferiores a este intervalo fazem com que as aberturas (janelas e portas) se fechem. Neste trabalho serão contabilizados os GHR para os momentos em que a temperatura supera os 26ºC, conforme equação 6.

$$GHR = \sum(T_h - 26^\circ C) \quad (6)$$

Onde:

T_h é a temperatura da zona num dado horário (ºC)

Os parâmetros construtivos serão modificados conforme referencial teórico e estão indicadas na Tabela 8, onde cada um possui seu respectivo nível, que é a quantidade de opções previstas nas simulações. Dentre as 256 rodadas de simulações possíveis (conforme equação 7), estão indicadas as seis primeiras combinações no Quadro 12 e as seis ultimas no Quadro 13.

Tabela 8 - Fatores alterados no modelo

Número	Parâmetro	Níveis
1	Cor Paredes Externas	2
2	Cor Cobertura	2
3	Material Paredes Externas	2
4	Material Cobertura	2
5	Brise	2
6	Janelas	2
7	Orientação	4

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

$$N = P_1^{n_1} \cdot P_2^{n_2} \cdots P_n^{n_n} \quad (7)$$

Onde:

N = Número de simulações possível na matriz

P_n = Níveis ou fatores dos parâmetros

n_n = Quantidade de parâmetros que possuem a mesma quantidade de níveis

Quadro 12 - Primeiras seis combinações de parâmetros

Nº	MAT.PAR	COR.PAR	MAT.COB	COR.COB	BRISE	JANELA	ORIENT
1	Alvenaria	Escura	Telha.Fibrocimento	Escura	Sem	50%	SE
2	Concreto	Escura	Telha.Fibrocimento	Escura	Sem	50%	SE
3	Alvenaria	Clara	Telha.Fibrocimento	Escura	Sem	50%	SE
4	Concreto	Clara	Telha.Fibrocimento	Escura	Sem	50%	SE
5	Alvenaria	Escura	Telha.PVC	Escura	Sem	50%	SE
6	Concreto	Escura	Telha.PVC	Escura	Sem	50%	SE

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Quadro 13 - Ultimas seis combinações de parâmetros

Nº	MAT.PAR	COR.PAR	MAT.COB	COR.COB	BRISE	JANELA	ORIENT
251	Alvenaria	Clara	Telha.Fibrocimento	Clara	Com	100%	NW
252	Concreto	Clara	Telha.Fibrocimento	Clara	Com	100%	NW
253	Alvenaria	Escura	Telha.PVC	Clara	Com	100%	NW
254	Concreto	Escura	Telha.PVC	Clara	Com	100%	NW
255	Alvenaria	Clara	Telha.PVC	Clara	Com	100%	NW
256	Concreto	Clara	Telha.PVC	Clara	Com	100%	NW

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

3.3.1 Parâmetro Cor das paredes externas

Serão adotadas as cores das paredes externas propostas:

- Caso base - Escura: absorância solar de 0,40, conforme mínimo proposto por (Quadro 8) Ministério das Cidades (2016);
- Caso proposto - Clara: absorância solar de 0,1306, conforme proposto por (Tabela 7) Pereira, Ghisi e Güths (2013).

3.3.2 Parâmetro Cor da cobertura

Serão adotadas as cores da cobertura propostas pela bibliografia:

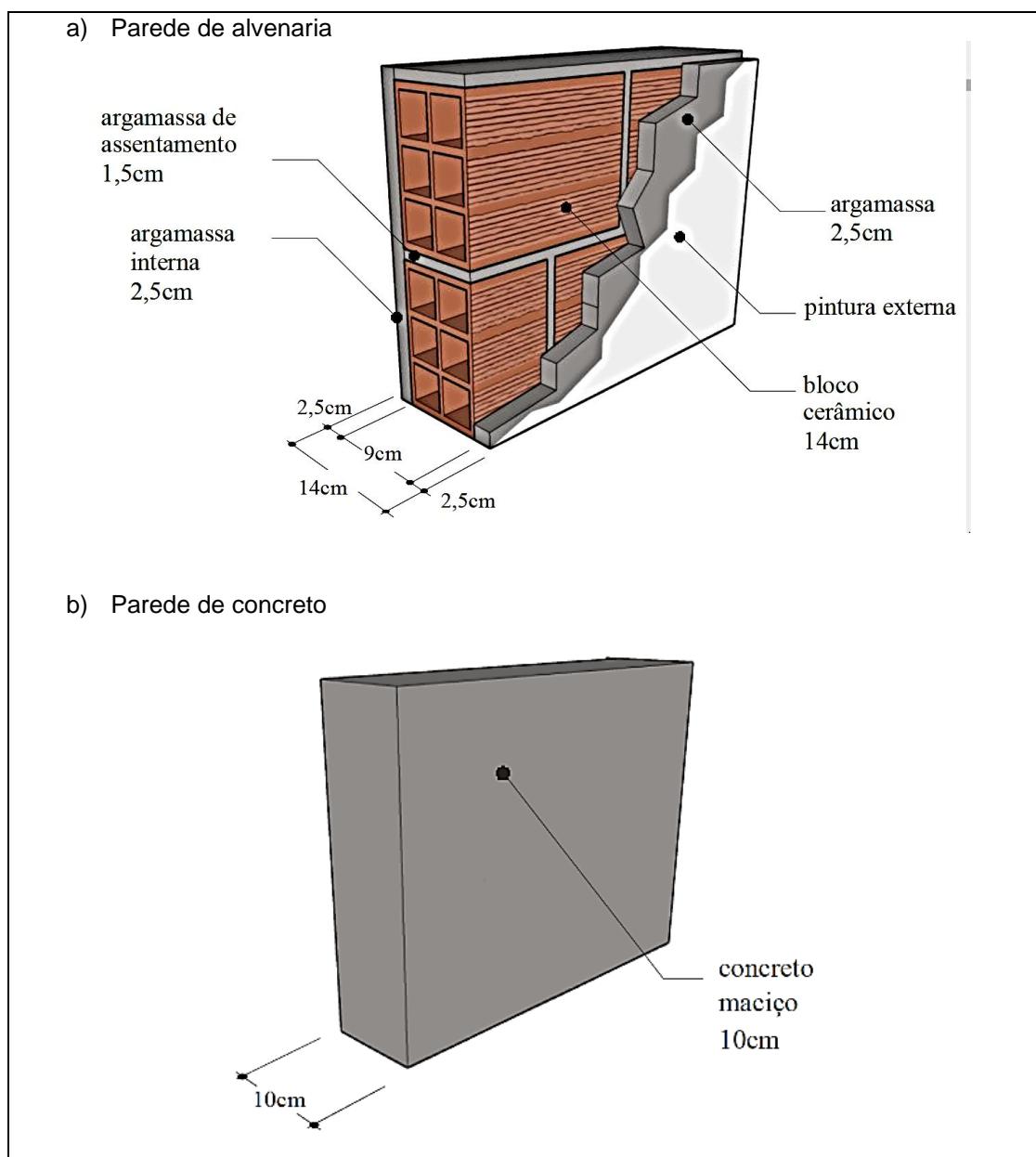
- Caso base - Escura: absorância solar de 0,610, na cor Cinza BR, proposto por (Anexo 7) Dornelles (2008) apud INMETRO (2013);
- Caso proposto - Clara: absorância solar de 0,245, na cor Marfim, proposto por (Anexo 7) Dornelles (2008) apud INMETRO (2013).

3.3.3 Parâmetro Material de paredes externas

Serão simuladas duas composições distintas:

- Caso base - Parede de alvenaria: material mínimo proposto pelo MCMV e que já é utilizado na tipologia representativa de Joinville, conforme Figura 14, a;
- Caso proposto - Parede de concreto: material DATEC 007 proposto por (Quadro 11) Ministério das Cidades (2016), conforme Figura 14, b.

Figura 14 – Composição construtiva dos materiais das paredes



Fonte: Adaptada de INMETRO (2012).

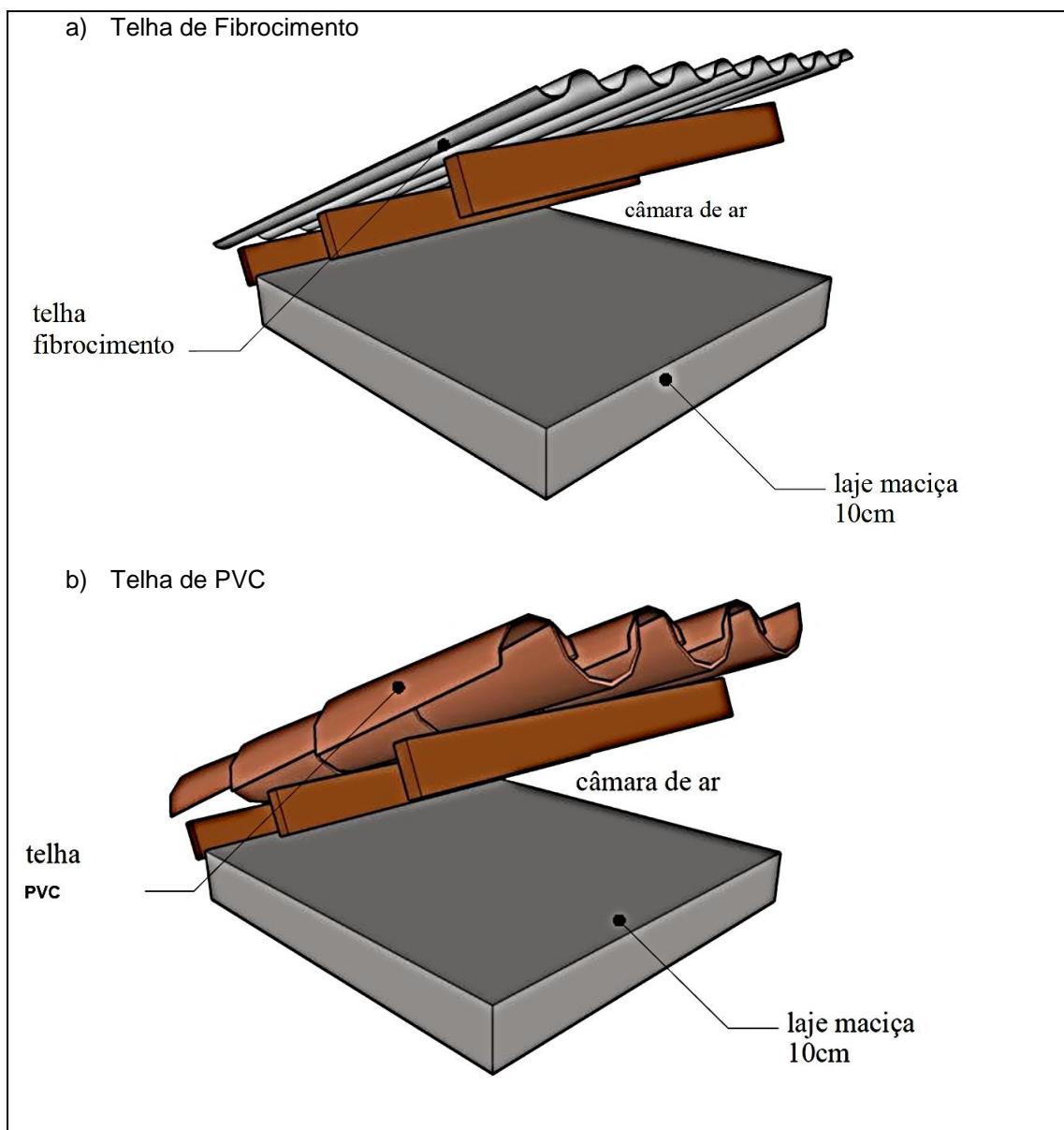
3.3.4 Parâmetro Material de cobertura

Serão simuladas duas composições distintas:

- Caso base - Cobertura com telha em fibrocimento: material mínimo proposto pelo MCMV e que já é utilizado na tipologia representativa de Joinville, conforme Figura 15, a;

- Caso proposto - Cobertura com telha de PVC: Material DATEC 022 proposto por (Quadro 10) Ministério das Cidades (2016), conforme Figura 15, b.

Figura 15 - Composição construtiva dos materiais das paredes



Fonte: Adaptada de INMETRO (2012).

3.3.5 Parâmetro Sombreamento em aberturas

Serão simuladas duas composições para sombreamento nas aberturas:

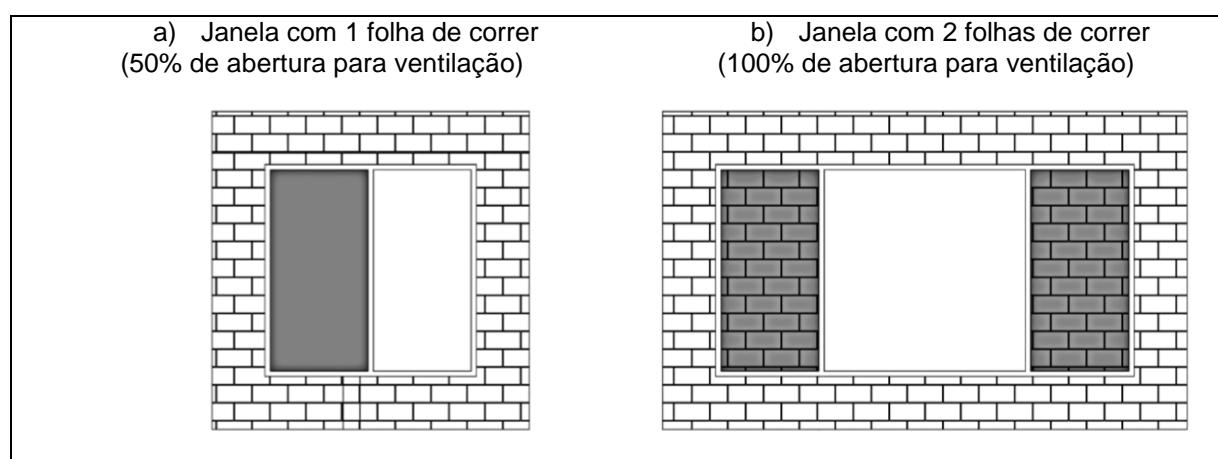
- Caso base - Sem sombreamento, conforme condição atual do MCMV;
- Caso proposto - Com sombreamento tipo brise horizontal sobre as janelas, conforme recomendado pela revisão bibliográfica.

3.3.6 Parâmetro Janelas

Serão simuladas composições alterando a abertura das janelas para ventilação natural, mas mantendo a abertura existente da tipologia do MCMV:

- Caso base - Abertura de 50% para ventilação, atual do MCMV (Figura 16, a);
- Caso proposto - Abertura de 100% para aumento da ventilação, conforme recomendado pela revisão bibliográfica (Figura 16, b).

Figura 16 – Composição construtiva das janelas



Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

3.3.7 Parâmetro orientação e posição do modelo

A posição e a orientação do modelo acompanham o preconizado pela NBR 15575 (ABNT, 2013), que solicita análise da UH que tenha as condições mais desfavoráveis. Para este estudo, é considerado o quarto andar do edifício (onde há contato direto com a cobertura) e em todas as orientações:

- Caso base - UH 41: orientação Sudeste (SE);
- Caso proposto - UH 42: orientação Sudoeste (SW);
- Caso proposto - UH 43: orientação Noroeste (NW);
- Caso proposto - UH 44: orientação Nordeste (NE).

3.4 APLICAÇÕES ESTATÍSTICAS NAS SIMULAÇÕES DOS PARÂMETROS CONSTRUTIVOS

Comparar os resultados obtidos em GHR para cada uma das variações dos parâmetros simulados e identificar os com maior impacto para sua redução mediante uso de análise de sensibilidade global, com a rotina proposta por Silva (2016).

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o software R (R CORE TEAM, 2016) e interface RStudio. O nível de significância adotado foi 5% (0,05) em todos os testes estatísticos.

4 RESULTADOS

Neste capítulo, serão desenvolvidos os resultados considerando as ferramentas, a técnica e a metodologia abordados nos capítulos anteriores. Inicialmente, aborda sobre o clima de Joinville. Realiza indicação da pontuação do RTQ-R das tipologias adotadas do MCMV. Desenvolverá tratamentos estatísticos dessas pontuações e indicará uma tipologia que melhor representa a cidade. Fará simulação da tipologia adotada, alterando parâmetros construtivos e proporá parâmetros que melhor se adequam ao clima local.

4.1 O USO DO ARQUIVO CLIMÁTICO DE ITAPOÁ EM JOINVILLE

Para desenvolvimento das simulações, se faz necessário o uso do arquivo climático de Joinville. Na inexistência de um arquivo climático local, foi usado o arquivo climático da cidade de Itapoá, disponibilizado por LABEEE (2016), para uso no programa de simulação Energyplus.

A ausência de uma estação automática em Joinville com uma série histórica longa (superior a 10 anos), com dados completos e informação horária e acessível aos pesquisadores, impede a criação de um arquivo climático para uso em simulação computacional de edificações. Na cidade, há estações mantidas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO) e Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE).

A EPAGRI possui estações de monitoramento climático voltado a usos da atividade pesqueira e rural. Isoppo (2016) fornece dados da estação automática mantida pela EPAGRI em Joinville - SC, localizada nas coordenadas -26.34º latitude sul, -48.99º longitude oeste e 47 metros de altitude em relação ao nível do mar. Contém informações horárias da temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade de vento, em três anos completos: 2013, 2014 e 2015.

A INFRAERO possui uma estação de monitoramento climático, em Joinville, no Aeroporto Lauro Carneiro de Loyola, voltado ao atendimento da aviação. Localizada nas coordenadas -26,22º latitude sul, -48,78º longitude oeste e 4 metros de altitude, possui registros horários em doze anos completos (2004 a 2016), com dados de

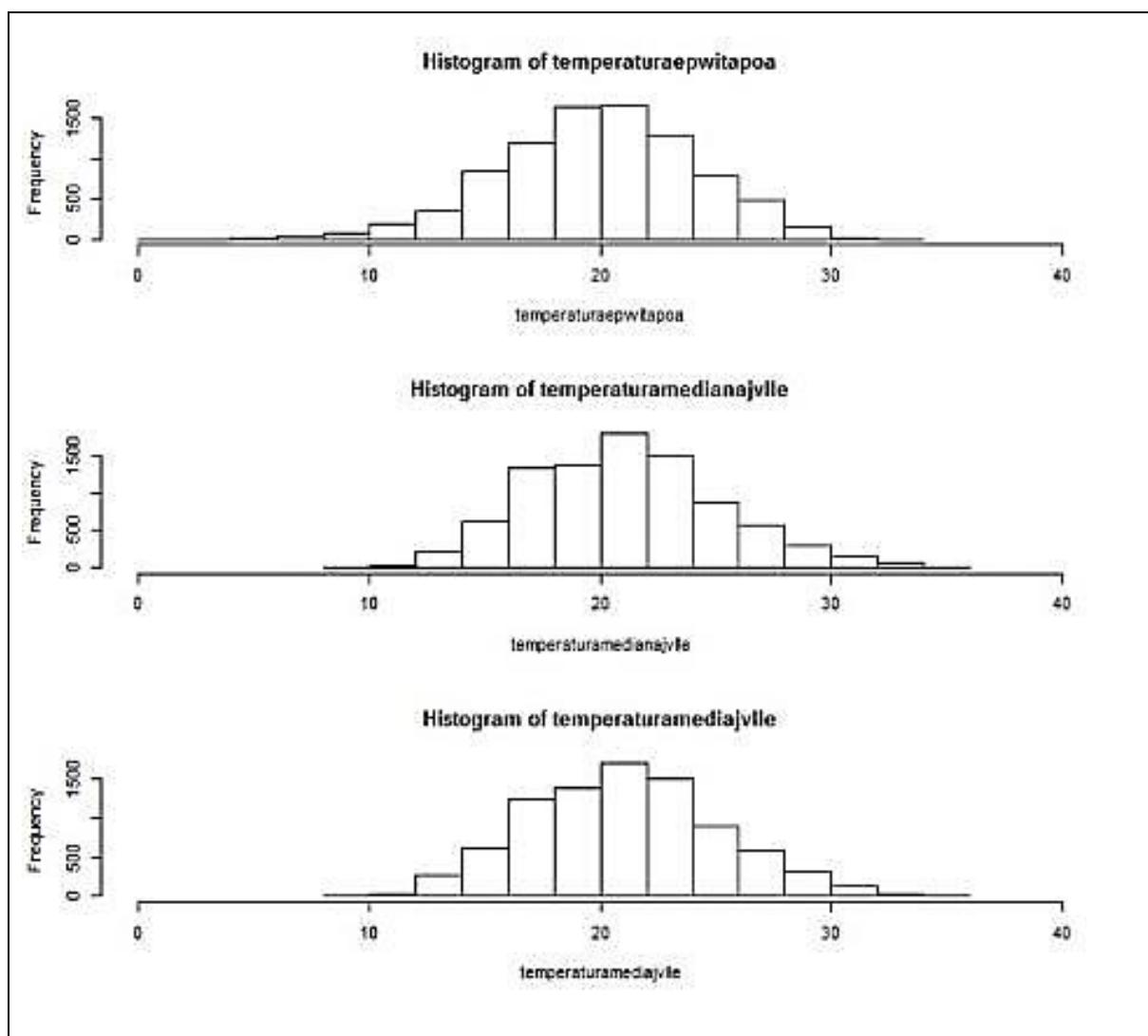
direção e velocidade de ventos, temperaturas de bulbo seco, úmido e ponto de orvalho, umidade relativa, pressão atmosférica, quantidade e duração de precipitações.

A UNIVILLE possui uma estação climática com registros de dezoito anos completos (1996 a 2014), porém segundo Grunberg (2014), há apenas registros em três horários específicos do dia (9h, 15h e 21h) para monitoramento da temperatura, precipitação e umidade relativa. Por não se tratarem de dados horários, esse monitoramento se inviabiliza para uma simulação anual contendo 8760 horas.

Fazendo uma análise comparativa dos dados climáticos do arquivo INMET de Itapoá (LABEEE, 2016) e dos dados obtidos da estação meteorológica da EPAGRI em Joinville (ISOPPO, 2016), é possível identificar semelhanças para temperatura de bulbo seco. LABEEE (2016) apresenta o arquivo climático INMET de Itapoá - SC, localizada nas coordenadas -26.12º latitude sul, -48.62º longitude oeste e 2 metros de altitude em relação ao nível do mar. Contém informações completas para confecção de um arquivo climático, em um ano típico obtido da estação do INMET mediante pesquisa no período compreendido entre 2001 e 2010. As coordenadas dos dados climáticos indicam que as estações estão afastadas em 44,32 quilômetros e pertencem ao mesmo *Greenwich Mean Time (GMT) -03:00*.

Por ferramentas estatísticas, são comparadas as temperaturas média e mediana de Joinville para os anos de 2013, 2014 e 2015 com as temperaturas do ano típico de Itapoá. Em uma primeira análise das séries das temperaturas, a Figura 17 apresenta que ambas possuem distribuição normal e com aparente simetria.

Figura 17 - Histograma das temperaturas ambientais de Joinville e Itapoá



Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

É possível realizar uma comparação das temperaturas de temperatura de bulbo seco obtidos da estação da EPAGRI Joinville e os dados oriundos do arquivo climático INMET de Itapoá, indicando similaridade no uso.

Analizando os resultados intermediários (média e mediana), a Tabela 9 indica semelhança das temperaturas. Por meio da correlação, também é possível identificar semelhanças na intensidade e na direção dos dados, indicadas na Tabela 10, entre as temperaturas, sendo a média dos dados de Joinville mais próxima à média de Itapoá.

Já com o uso de um modelo ARIMA (Modelo Autorregressivo, Integrado e de Médias Móveis), na Tabela 11, é possível elaborar o modelo que indica a estrutura

dos dados. Neste caso há similaridade entre a temperatura mediana de Joinville e temperatura de Itapoá. Esta similaridade também é possível ser observada no boxplot da Figura 18, onde os modelos apresentam sazonalidades anuais semelhantes e aparentam ter origem de um mesmo processo estocástico.

Tabela 9 - Comparação das temperaturas em Joinville e Itapoá

Cidade	Temperatura Média (ºC)	Temperatura Mediana (ºC)
Joinville	21,10	21,00
Itapoá	19,94	20,05

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Tabela 10 - Correlação entre as temperaturas

Comparação	Correlação
Temperatura Média de EPAGRI Joinville e Temperatura INMET de Itapoá	0,7445
Temperatura Mediana de EPAGRI Joinville e Temperatura INMET de Itapoá	0,7288

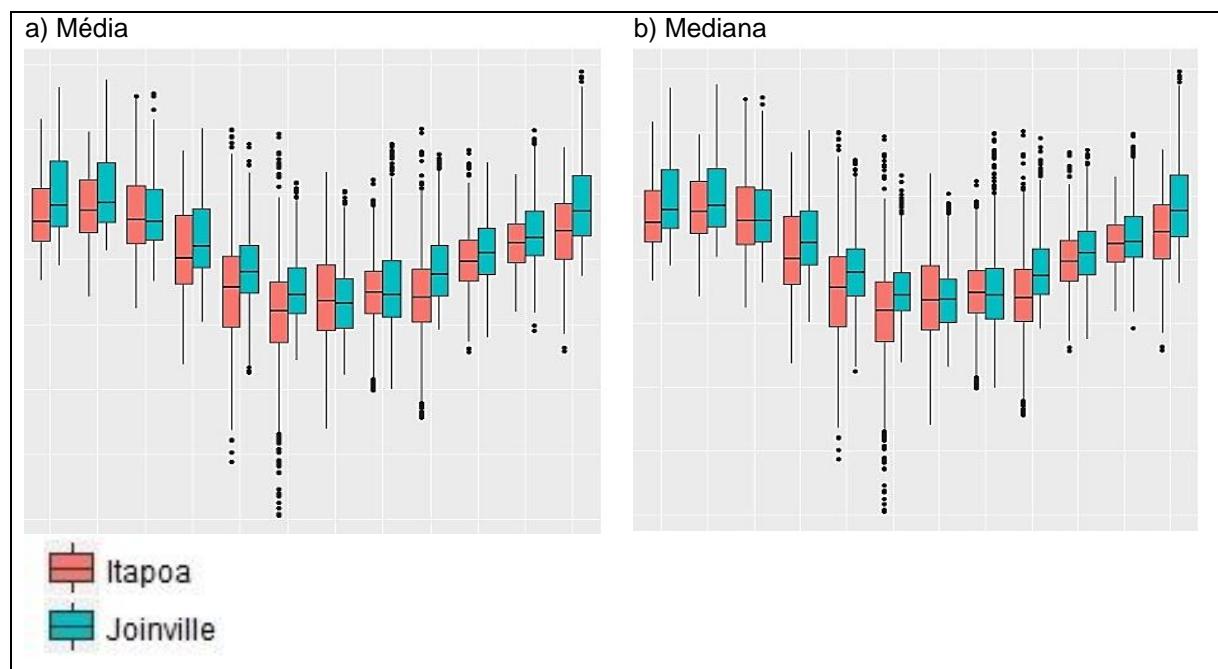
Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Tabela 11 - Comparação entre modelos regressivos para similaridade das temperaturas

Comparação	Modelo ARIMA
Temperatura Média de EPAGRI Joinville	3,1,4
Temperatura Mediana de EPAGRI Joinville	3,1,3
Temperatura INMET de Itapoá	3,1,3

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

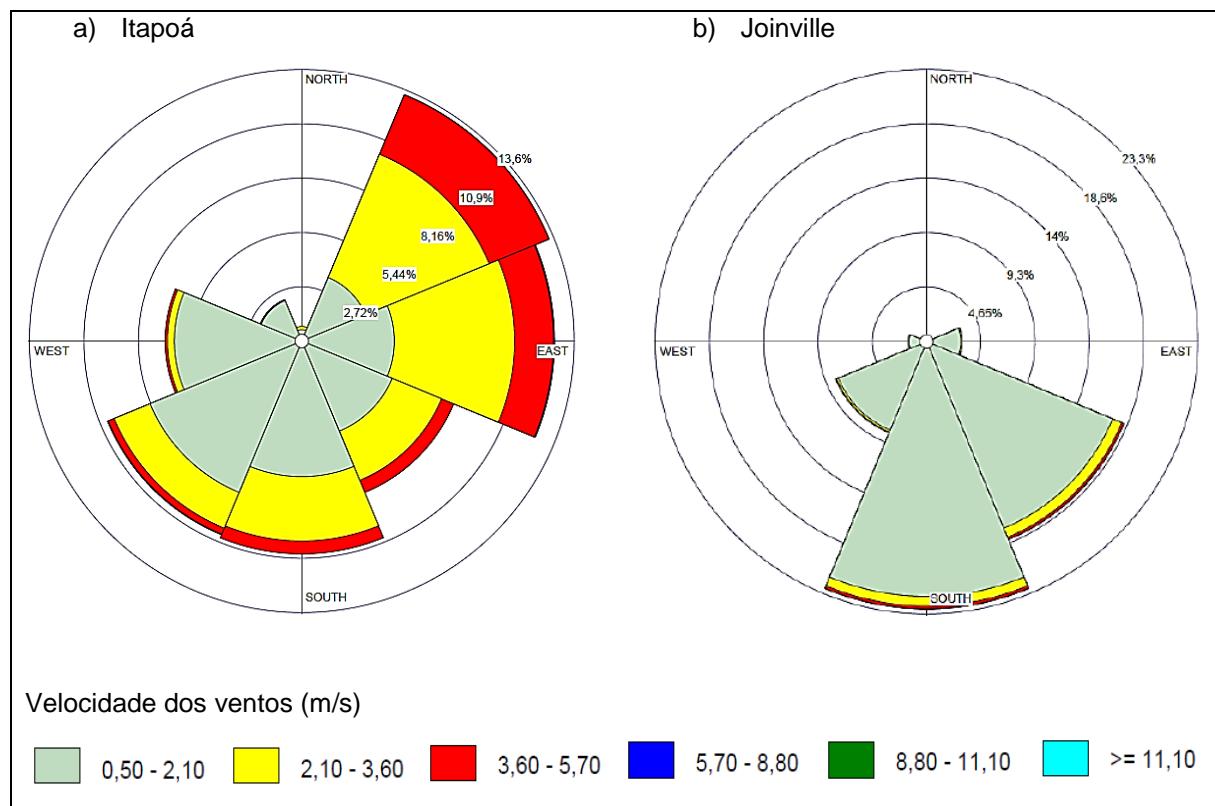
Figura 18 - Boxplot comparativo entre Temperatura mensal Média e Mediana de EPAGRI Joinville e Temperatura mensal INMET de Itapoá



Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

No arquivo climático de Itapoá e nos dados climatológicos de Joinville, é possível traçar a intensidade e a direção dos ventos, mostrando que há diferenças quando se comparam uma cidade com vento predominante Nordeste e Leste (Figura 19, a) a uma cidade com incidência mais intensa do vento Sul e Sudeste (Figura 19, b).

Figura 19 – Rosa dos ventos



Fonte: Adaptada de LABEEE (2016) e Isoppo (2016)

4.2 DEFINIÇÃO DA TIPOLOGIA BASE

Brasil (2017) apresenta quantidade e localização das habitações financiadas pelo programa MCMV. A Tabela 12 indica as habitações multifamiliares do MCMV faixa 1 inseridas na cidade de Joinville e suas respectivas quantidades.

Tabela 12 - Condomínios e unidades habitacionais do MCMV faixa 1 em Joinville

Condomínio Residencial	Unidades habitacionais
Trentino 1 e 2	784
Engenheira Rúbia Kaiser A e B	640
Irmã Maria da Graça	320
Procurador Luiz Bernardo Wust	280
João Balício Bernardes	100
Total	2124

Fonte: Adaptada de Brasil (2017).

Dentre estas edificações, há diferentes geometrias, cores, materiais, orientações e quantidade de unidades. Todas têm em comum o fato de pertencerem ao mesmo programa de habitação popular multifamiliar (MCMV) e de estarem inseridas na mesma cidade (Joinville, na ZB 5). Todas seguem os parâmetros mínimos do MCMV que solicita que essas habitações possuam dois dormitórios, cozinha conjugada com área de serviço, sala e banheiro. Há presença de medição individualizada do consumo de água e eletricidade.

O RTQ-R indica a classificação do nível de eficiência energética das unidades habitacionais (UH) e da edificação multifamiliar como um todo (por média ponderada), para cada uma das orientações possíveis. Nesta pesquisa, se trata como sendo:

- Orientação 1: fachada de maior dimensão da edificação voltada para as orientações Norte e Sul;
- Orientação 2: fachada de maior dimensão da edificação voltada para as orientações Leste e Oeste.

4.2.1 Condomínio Residencial Trentino 1 e 2

Os dois condomínios residenciais Trentino 1 e 2 são contíguos e estão localizados no bairro Boehmerwald (Figura 20). Juntos, somam 784 unidades habitacionais de mesma tipologia, sendo o mais antigo condomínio MCMV faixa 1 implantado em Joinville (Tabela 13). As cores, o aspecto arquitetônico externo e a planta de uma UH estão indicados nas Figuras 21, 22 e 23 (ampliado no Anexo 8). Os Quadros 14 e 15 mostram as características dos ambientes e das aberturas e a Tabela 14 as propriedades dos materiais.

Figura 20 - Mapa com a implantação dos Condomínios Trentino 1 e 2



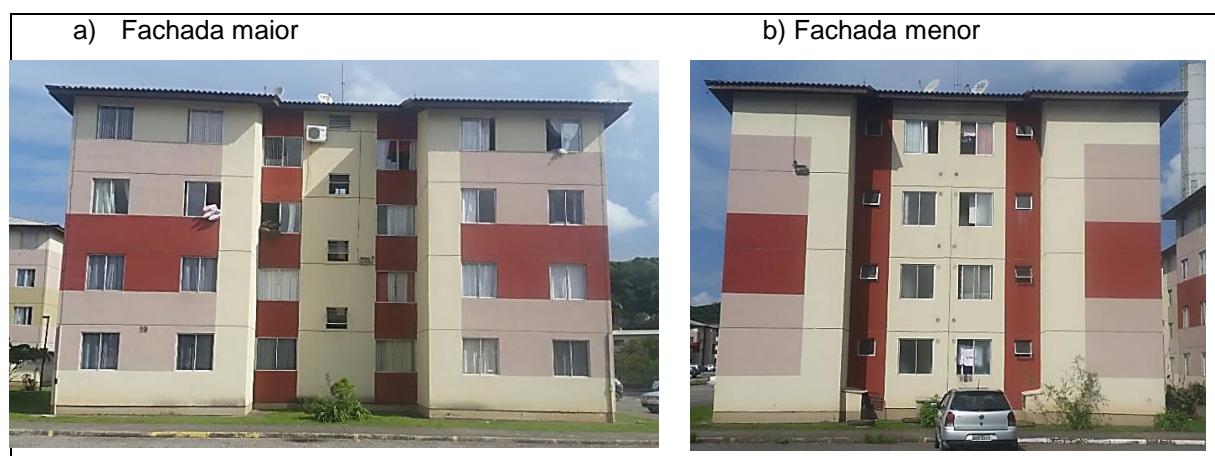
Fonte: GOOGLE MAPS (2016a).

Tabela 13 - Características dos Condomínios Trentino 1 e 2

Característica	Informação
Total de unidades	784
Quantidade de condomínios	2
Quantidade de edifícios no Trentino 1	31
Quantidade de edifícios no Trentino 2	18
Nº de andares	4
Nº de UH por andar	4
Pé direito	2,48 m

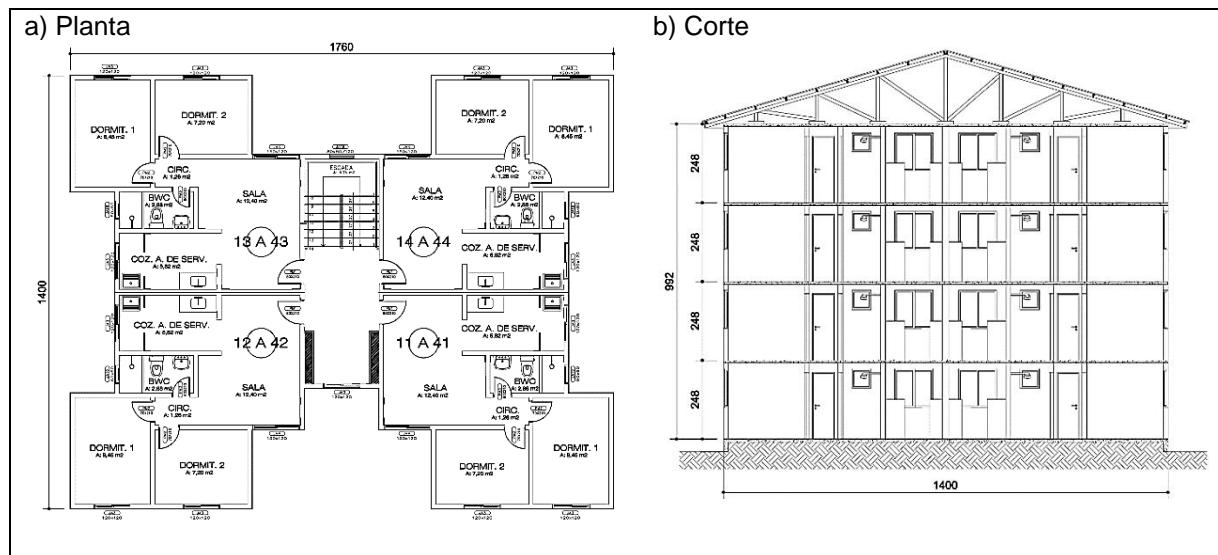
Fonte: Adaptado de Reis (2016).

Figura 21 - Fachadas dos Condomínios Trentino 1 e 2



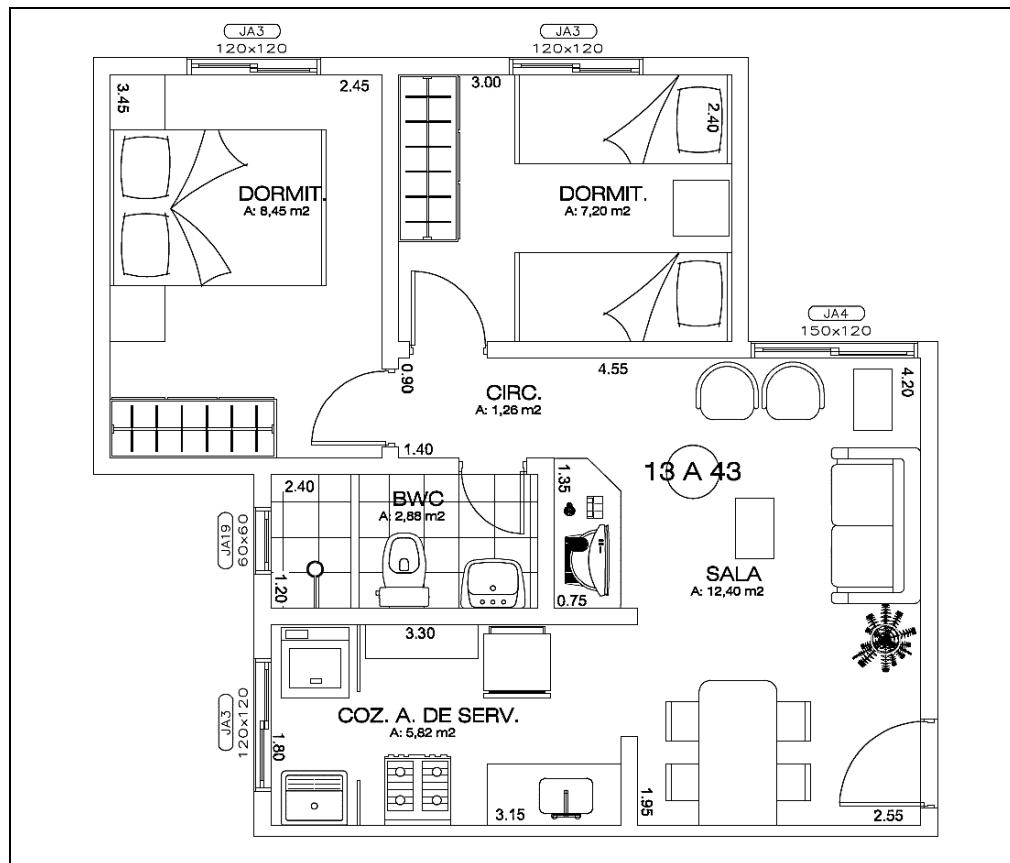
Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Figura 22 - Projeto típico dos Condomínios Trentino 1 e 2



Fonte: Reis (2016).

Figura 23 - Planta baixa de uma unidade nos Condomínios Trentino 1 e 2



Fonte: Reis (2016).

Quadro 14 - Características dos ambientes nos Condomínios Trentino 1 e 2

Ambiente	Área	Piso	Teto
Sala, circ., cozinha e á. de serviço	19,48 m ²	Cimento / Cerâmica	Cimento / Forro de PVC
Dormitório 1	8,45 m ²	Cimento	Cimento
Dormitório 2	7,20 m ²	Cimento	Cimento
BWC	2,88 m ²	Cerâmica	Forro de PVC

Fonte: Adaptado de Reis (2016).

Quadro 15 - Características das aberturas nos Condomínios Trentino 1 e 2

Abertura	Dimensões	Materiais	Tipo
Janela BWC	A=0,36m ² 60x60cm	Alumínio e vidro 3 mm	Maxin-Ar
Janela dormitórios e á. de serviço	A=1,44m ² 120x120cm	Alumínio e vidro 3 mm	Correr 2 folhas
Janela sala	A=1,80m ² 150x120cm	Alumínio e vidro 3 mm	Correr 2 folhas
Portas	A=1,68m ² 210x80cm	Madeira	Abrir

Fonte: Adaptado de Reis (2016).

Tabela 14 - Propriedades térmicas de paredes externas e cobertura nos Condomínios Trentino 1 e 2

Propriedades	Paredes	Cobertura
Transmitância térmica (U)	2,46 W/m ² .K	2,06 W/m ² .K
Capacidade térmica (C _t)	150,0 kJ/m ² .K	233,0 kJ/m ² .K
Absortância (α) (Média ponderada das cores)	0,46	0,61 (cinza)

Fonte: Adaptada de Reis (2016).

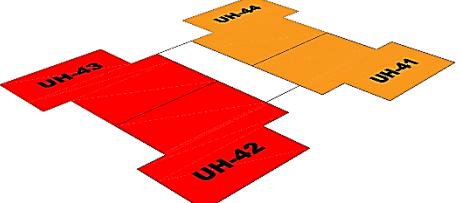
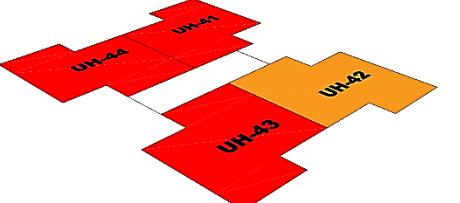
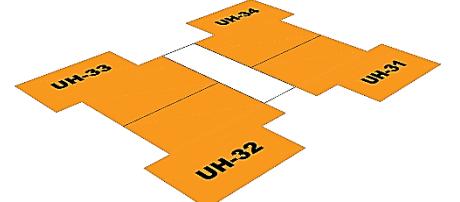
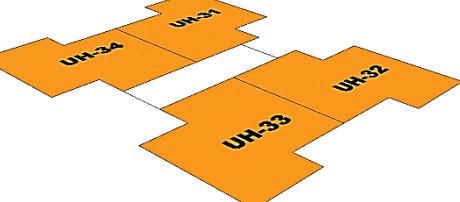
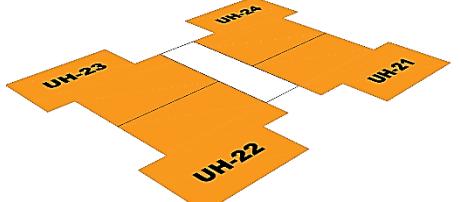
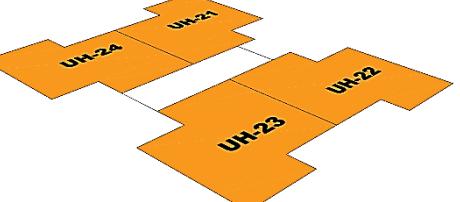
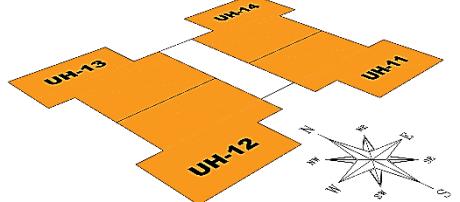
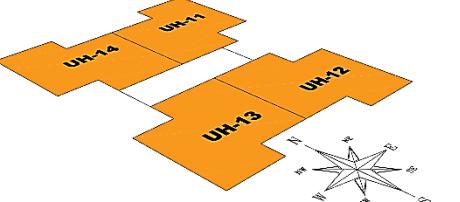
Por meio do uso do RTQ-R, é possível obter a pontuação da eficiência energética em cada uma das unidades do Trentino 1 e 2, para cada uma das duas orientações (1 e 2) e apresentar a classificação representativa desses edifícios, no caso, "D" (Tabela 15 e Quadro 16).

Tabela 15 - Pontuação final de UH nos Condomínios Trentino 1 e 2

UH	Orientação 1	Orientação 2
11	2,15	2,15
12	1,79	1,66
13	1,79	2,02
14	2,02	1,50
21	1,66	1,64
22	1,79	1,66
23	1,66	1,53
24	1,66	1,50
31	1,66	1,64
32	1,79	1,66
33	1,66	1,53
34	1,66	1,50
41	1,50	1,14
42	1,14	1,50
43	1,14	1,37
44	1,66	1,14
Média	1,67	1,57

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Quadro 16 - Pontuação de UH em diferentes pavimentos e orientações nos Condomínios Trentino 1 e 2

PAV	Orientação 1	Orientação 2
4º		
3º		
2º		
1º		

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

4.2.2 Condomínios Residenciais Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça

Os dois condomínios residenciais Engenheira Rúbia Kaiser A e B são contíguos e estão localizados no bairro Jardim Paraíso (Figura 24). O condomínio residencial Irmã Maria da Graça está localizado no bairro Jardim Iririú (Figura 25).

O condomínio residencial Irmã Maria da Graça possui tipologia e materiais idênticos ao Engenheira Rúbia Kaiser A e B e serão tratados juntos por este motivo.

Somados, os condomínios possuem 960 unidades habitacionais de mesma tipologia sendo o mais numeroso MCMV faixa 1 implantado em Joinville (Tabela 16). As cores, o aspecto arquitetônico externo e a planta de uma UH estão indicados nas

Figuras 26, 27 e 28 (ampliado no Anexo 9). Os Quadros 17 e 18 mostram as características dos ambientes e das aberturas e a Tabela 17 as propriedades dos materiais.

Figura 24 - Mapa com a implantação dos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça



Fonte: GOOGLE MAPS (2016b)

Figura 25 - Mapa com a implantação do Condomínio Irmã Maria da Graça



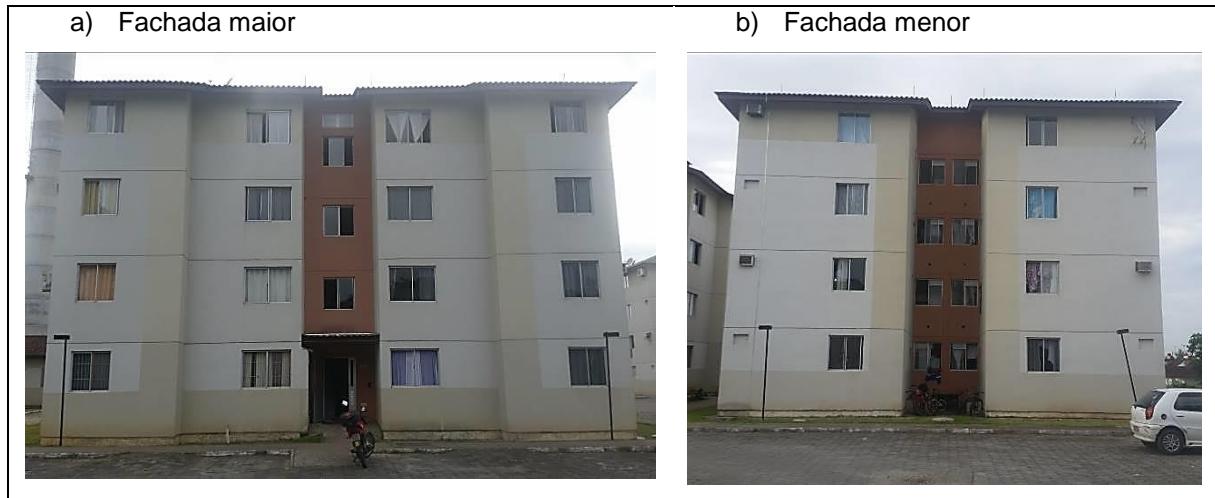
Fonte: GOOGLE MAPS (2016c)

Tabela 16 - Características qualitativas e quantitativas dos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A, B e Irmã Maria da Graça

Característica	Informação
Total de unidades	920
Quantidade de condomínios	3
Quantidade de edifícios no Engenheira Rúbia Kaiser A	20
Quantidade de edifícios no Engenheira Rúbia Kaiser B	20
Quantidade de edifícios no Irmã Maria da Graça	20
Nº de andares	4
Nº de UH por andar	4
Pé direito	2,68 m

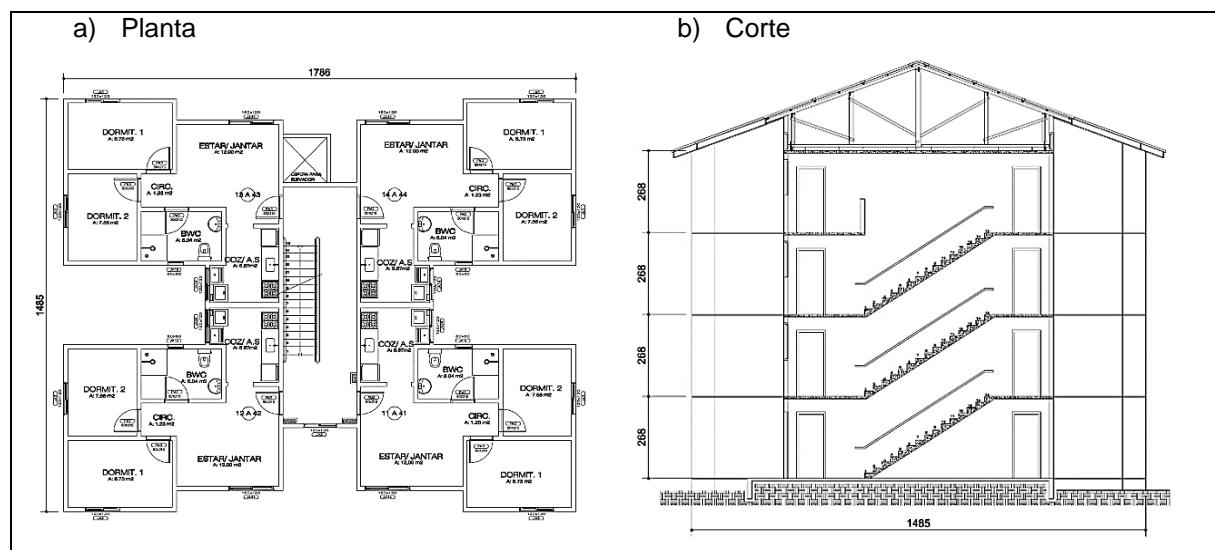
Fonte: Adaptada de Reis (2016).

Figura 26 - Fachadas dos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça



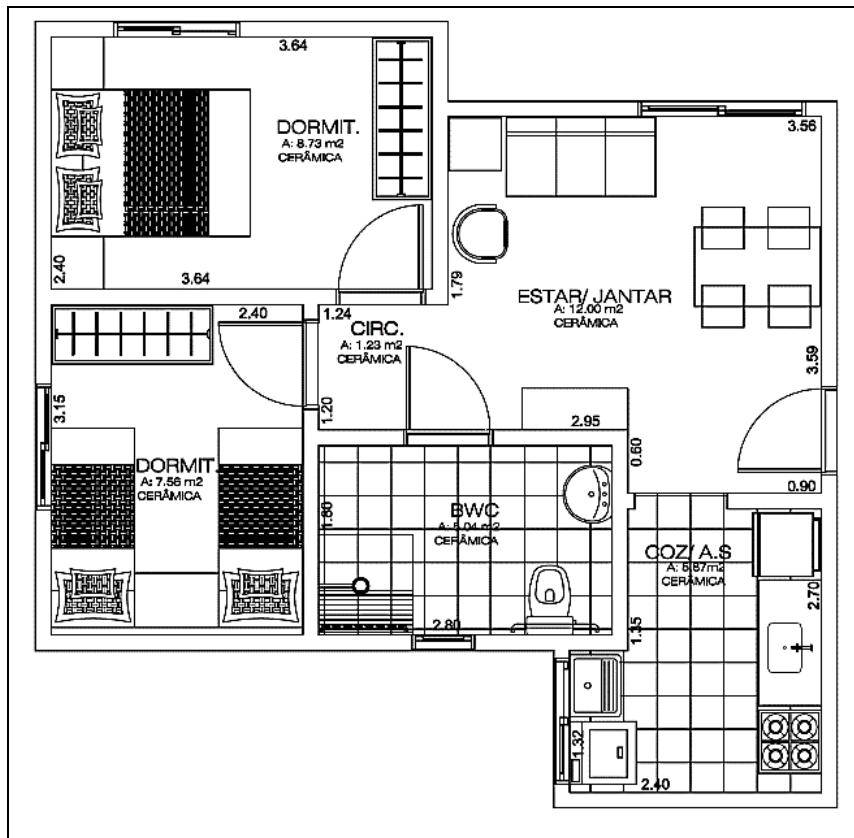
Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Figura 27 - Projeto típico dos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça



Fonte: Larsen (2016).

Figura 28 - Planta baixa de uma unidade nos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça



Fonte: Larsen (2016).

Quadro 17 - Características das aberturas nos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça

Abertura	Dimensões	Materiais	Tipo
Janela BWC	A=0,36m ² 60x60cm	Alumínio e vidro 3 mm	Maxin-Ar
Janela dormitórios e á. de serviço	A=1,44m ² 120x120cm	Alumínio e vidro 3 mm	Correr 2 folhas
Janela sala	A=1,92m ² 160x120cm	Alumínio e vidro 3 mm	Correr 2 folhas
Portas	A=1,68m ² 210x80cm	Madeira	Abrir

Fonte: Adaptado de Larsen (2016).

Quadro 18 - Características dos ambientes nos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça

Ambiente	Área	Piso	Teto
Sala, circ., cozinha e a. de serviço	19,10 m ²	Cimento	Cimento
Dormitório 1	8,73 m ²	Cimento	Cimento
Dormitório 2	7,56 m ²	Cimento	Cimento
BWC	5,04 m ²	Cerâmica	Forro de PVC

Fonte: Adaptado de Larsen (2016).

Tabela 17 - Propriedades térmicas de paredes externas e cobertura nos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça

Propriedades	Paredes	Cobertura
Transmitância térmica (U)	2,46 W/m ² .K	2,06 W/m ² .K
Capacidade térmica (Ct)	150,0 kJ/m ² .K	233,0 kJ/m ² .K
Absortância (α)	0,29 (Média ponderada das cores)	0,61 (cinza)

Fonte: Adaptada de Larsen (2016).

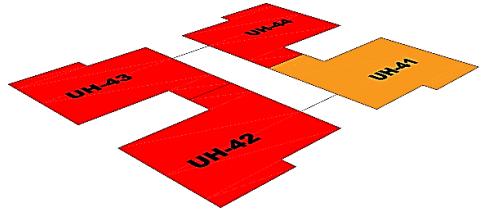
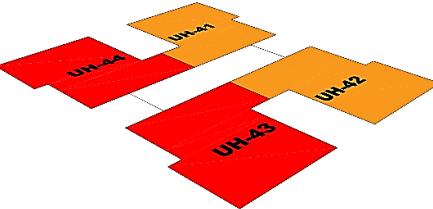
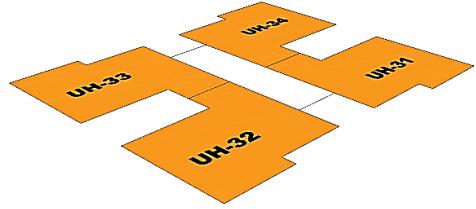
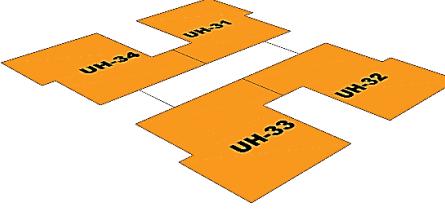
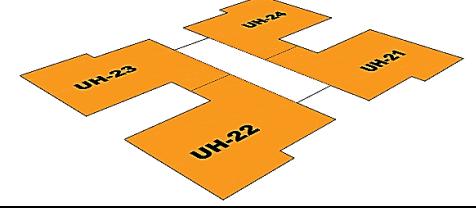
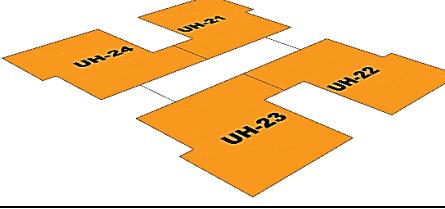
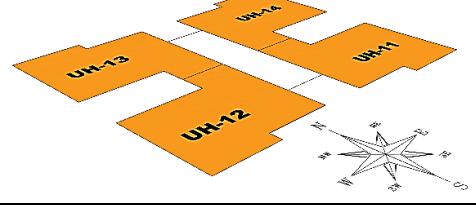
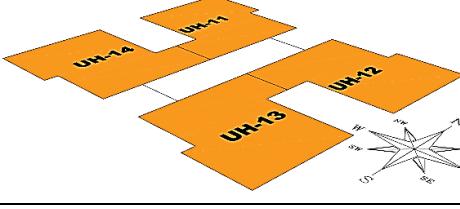
Por meio do uso do RTQ-R, é possível obter a pontuação da eficiência energética em cada uma das unidades do Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça, para cada uma das duas orientações (1 e 2) e apresentar a classificação representativa desses edifícios, no caso, “D” (Tabela 18 e Quadro 19).

Tabela 18 - Pontuação final de UH nos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça

UH	Orientação 1	Orientação 2
11	2,31	2,31
12	2,17	2,15
13	1,80	1,80
14	2,15	1,80
21	2,01	2,01
22	1,66	1,80
23	1,66	1,80
24	1,80	1,80
31	2,01	2,01
32	1,66	1,80
33	1,66	1,80
34	1,80	1,80
41	1,78	1,78
42	1,29	1,78
43	1,27	1,27
44	1,41	1,27
Média	1,78	1,81

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Quadro 19 - Pontuação e orientação de UH nos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça

PAV	Orientação 1	Orientação 2
4º		
3º		
2º		
1º		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

4.2.3 Condomínio Residencial Procurador Luiz Bernardo Wust

O condomínio residencial Procurador Luiz Bernardo Wust está localizado no bairro Paranaguamirim (Figura 29). Possui 280 unidades habitacionais de mesma tipologia e é o condomínio MCMV faixa 1 com maior número de pavimentos (no caso, cinco), implantado em Joinville (Tabela 19). As cores, o aspecto arquitetônico externo e a planta de uma UH estão indicados nas Figuras 30, 31 e 32 (ampliado no Anexo 10). Os Quadros 20 e 21 mostram as características dos ambientes e das aberturas e a Tabela 20 as propriedades dos materiais.

Figura 29 - Mapa com a implantação do Condomínio Procurador Luiz Bernardo Wust



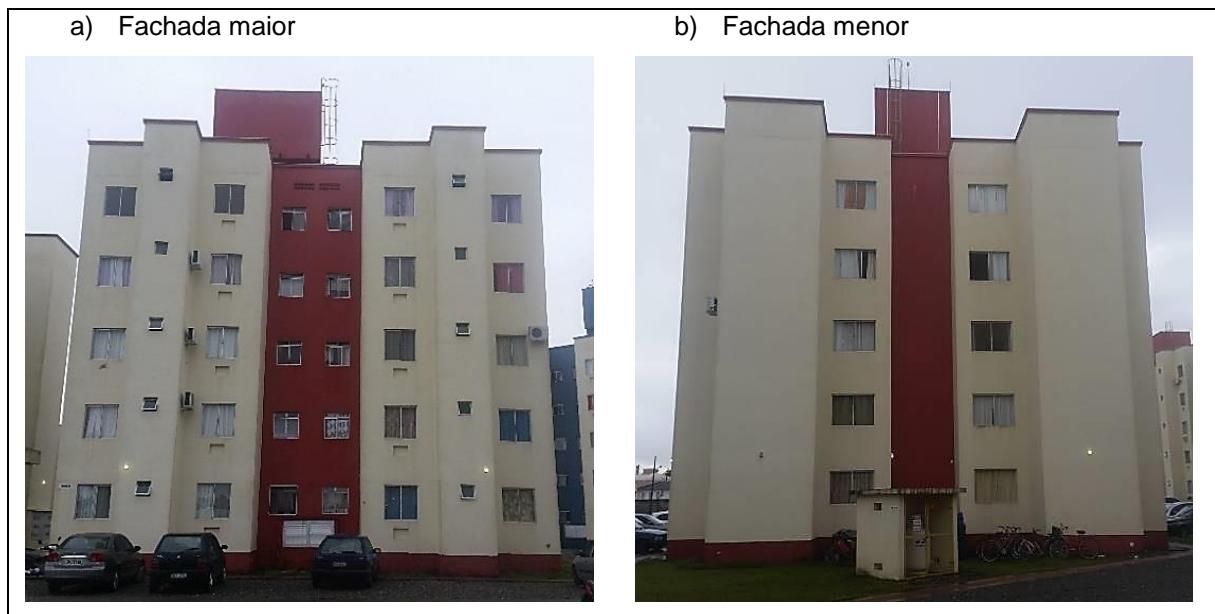
Fonte: GOOGLE MAPS (2016d).

Tabela 19 - Características qualitativas e quantitativas do Condomínio Procurador Luiz Bernardo Wust

Característica	Informação
Total de unidades	280
Quantidade de condomínios	1
Quantidade de edifícios	14
Nº de andares	5
Nº de UH por andar	4
Pé direito	2,70 m

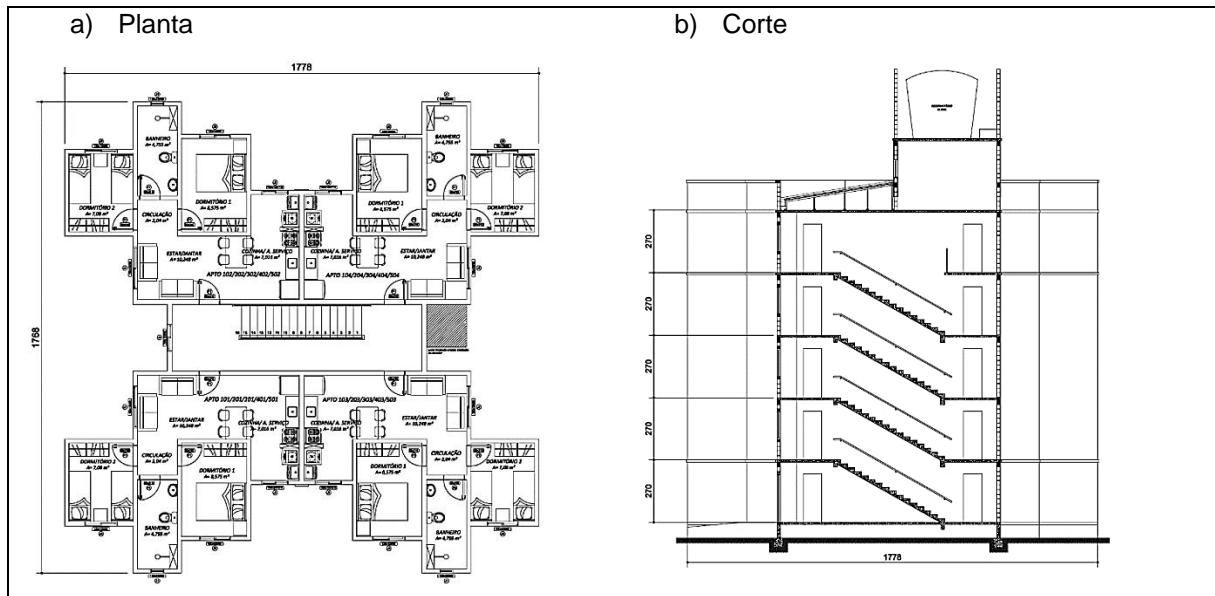
Fonte: Adaptado de Benetti (2016).

Figura 30 - Fachadas do Condomínio Procurador Luiz Bernardo Wust



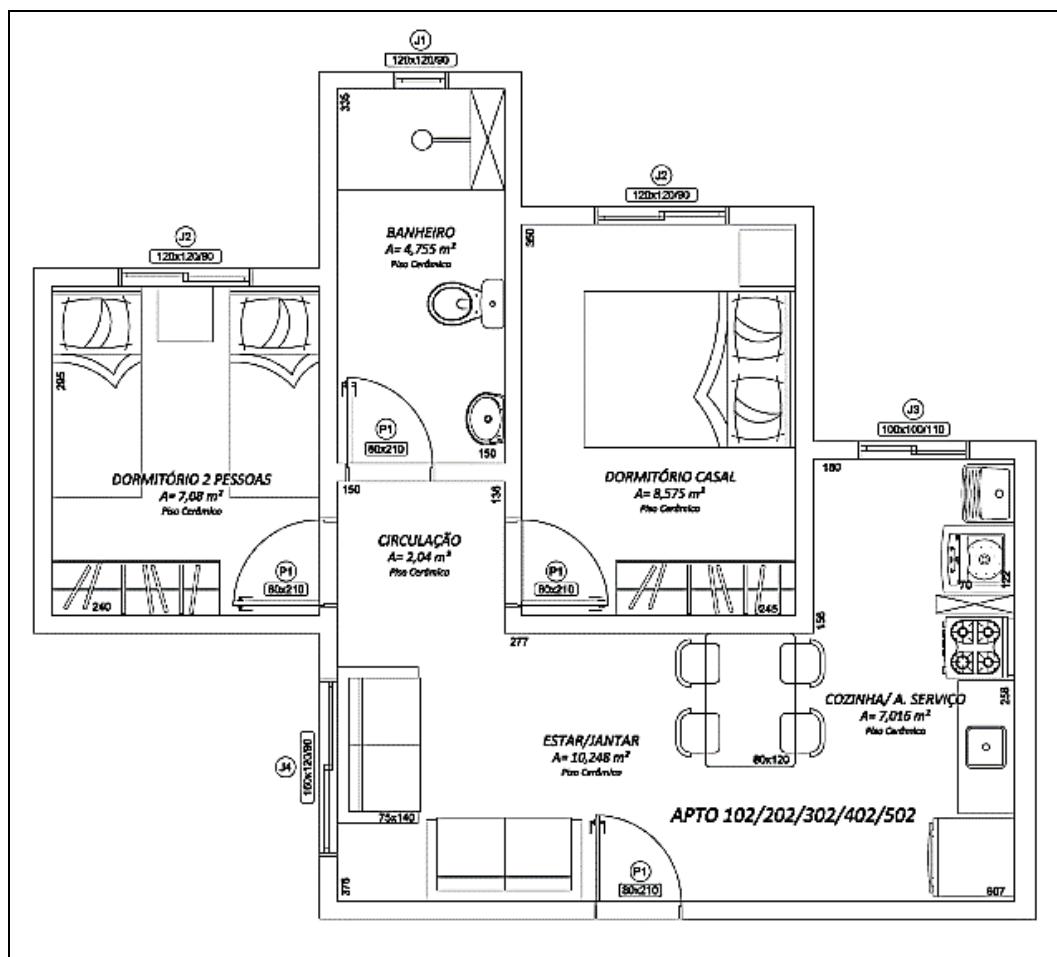
Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Figura 31 – Projeto típico do Condomínio Procurador Luiz Bernardo Wust



Fonte: Benetti (2016).

Figura 32 - Planta baixa de uma unidade do Procurador Luiz Bernardo Wust



Fonte: Benetti (2016).

Quadro 20 - Características das aberturas no Condomínio Procurador Luiz Bernardo Wust

Abertura	Dimensões	Materiais	Tipo
Janela BWC	A=0,36m ² 60x60cm	Alumínio e vidro 3 mm	Maxin-Ar
Janela dormitórios e á. de serviço	A=1,44m ² 120x120cm	Alumínio e vidro 3 mm	Correr 2 folhas
Janela sala	A=1,80m ² 150x120cm	Alumínio e vidro 3 mm	Correr 2 folhas
Portas	A=1,68m ² 210x80cm	Madeira	Abrir

Fonte: Adaptado de Benetti (2016).

Quadro 21 - Características dos ambientes no Condomínio Procurador Luiz Bernardo Wust

Ambiente	Área	Piso	Teto
Sala, circ., cozinha e a. de serviço	19,304 m ²	Cimento / Cerâmica	Cimento / Forro de PVC
Dormitório 1	8,575 m ²	Cimento	Cimento
Dormitório 2	7,08 m ²	Cimento	Cimento
BWC	4,755 m ²	Cerâmica	Forro de PVC

Fonte: Adaptado de Benetti (2016).

Tabela 20 - Propriedades térmicas de paredes externas e cobertura no Condomínio Procurador Luiz Bernardo Wust

Propriedades	Paredes	Cobertura
Transmitância térmica (U)	2,46 W/m ² .K	2,06 W/m ² .K
Capacidade térmica (C _t)	150,0 kJ/m ² .K	233,0 kJ/m ² .K
Absortância (α) (Tinta acrílica fosca cor marfim)	0,33	0,61 (cinza)

Fonte: Adaptado de Benetti (2016).

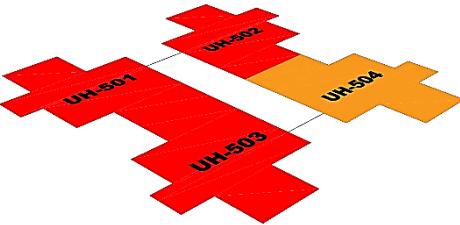
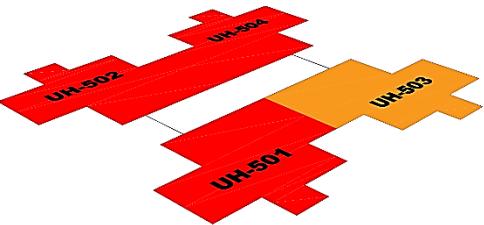
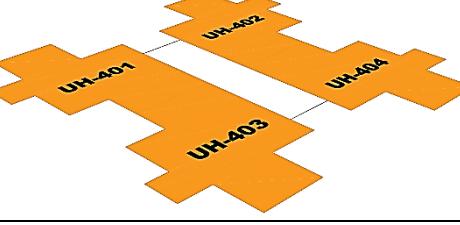
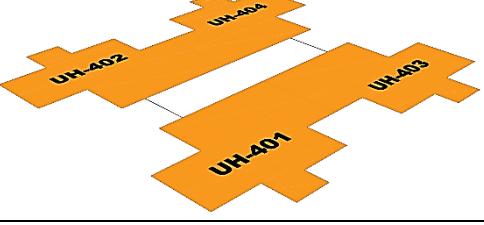
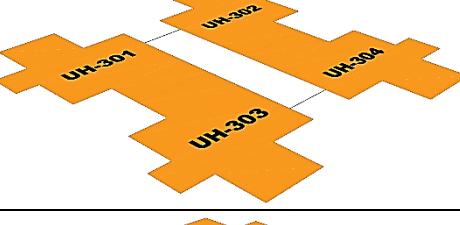
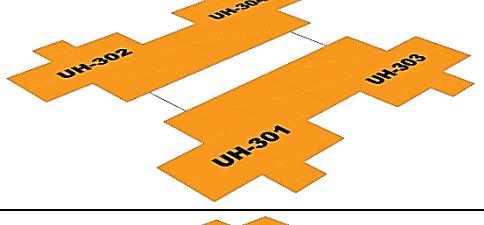
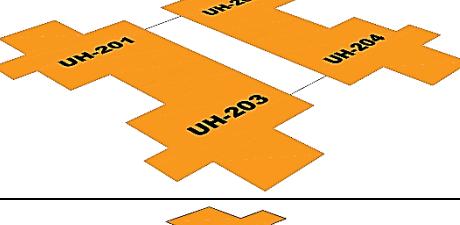
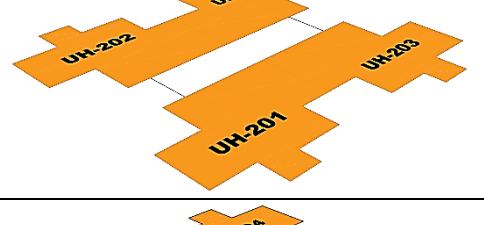
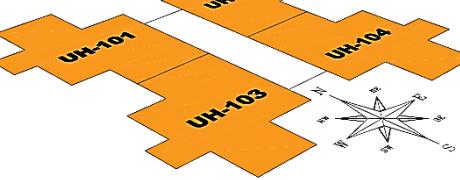
Por meio do uso do RTQ-R, é possível obter a pontuação da eficiência energética em cada uma das unidades Procurador Luiz Bernardo Wust, para cada uma das duas orientações (1 e 2) e apresentar a classificação representativa desses edifícios, no caso, “D” (Tabela 21 e Quadro 22).

Tabela 21 - Pontuação final de UH no Condomínio Procurador Luiz Bernardo Wust

UH	Orientação 1	Orientação 2
101	1,82	1,82
102	1,82	1,82
103	1,66	2,18
104	2,31	2,31
201	1,69	1,82
202	1,82	1,82
203	1,66	1,82
204	2,18	2,18
301	1,69	1,82
302	1,82	1,82
303	1,66	1,82
304	2,18	2,18
401	1,69	1,82
402	1,82	1,82
403	1,66	1,82
404	2,18	2,18
501	1,17	1,33
502	1,33	1,3
503	1,01	1,66
504	1,66	1,3
Média	1,72	1,81

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Quadro 22 - Pontuação e orientação de UH no Condomínio Procurador Luiz Bernardo Wust

PAV	Orientação 1	Orientação 2
5º		
4º		
3º		
2º		
1º		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

4.2.4 Condomínio Residencial João Balício Bernardes

O condomínio residencial João Balício Bernardes está localizado no bairro Jardim Iririú (Figura 33). Possui 280 unidades habitacionais dividindo-se em dois tipos de tipologia. É o condomínio MCMV faixa 1 com maior número de unidades por pavimento (no caso, oito), implantado em Joinville (Tabela 22). As cores, o aspecto arquitetônico externo e a planta de uma UH estão indicados nas Figuras 34, 35 e 36

(ampliado no Anexo 11). Os Quadros 23, 24 e 25 mostram as características dos ambientes e das aberturas e a Tabela 23 as propriedades dos materiais.

Figura 33 - Mapa com a implantação do Condomínio João Balício Bernardes



Fonte: GOOGLE MAPS (2016e).

Tabela 22 - Características qualitativas e quantitativas do Condomínio João Balício Bernardes

Característica	Informação
Total de unidades	100
Quantidade de condomínios	1
Quantidade de edifícios	3
Nº de andares	5
Nº de UH por andar	1º ao 4º andar: 8 UH 5º andar: 4 UH
Pé direito	2,70 m

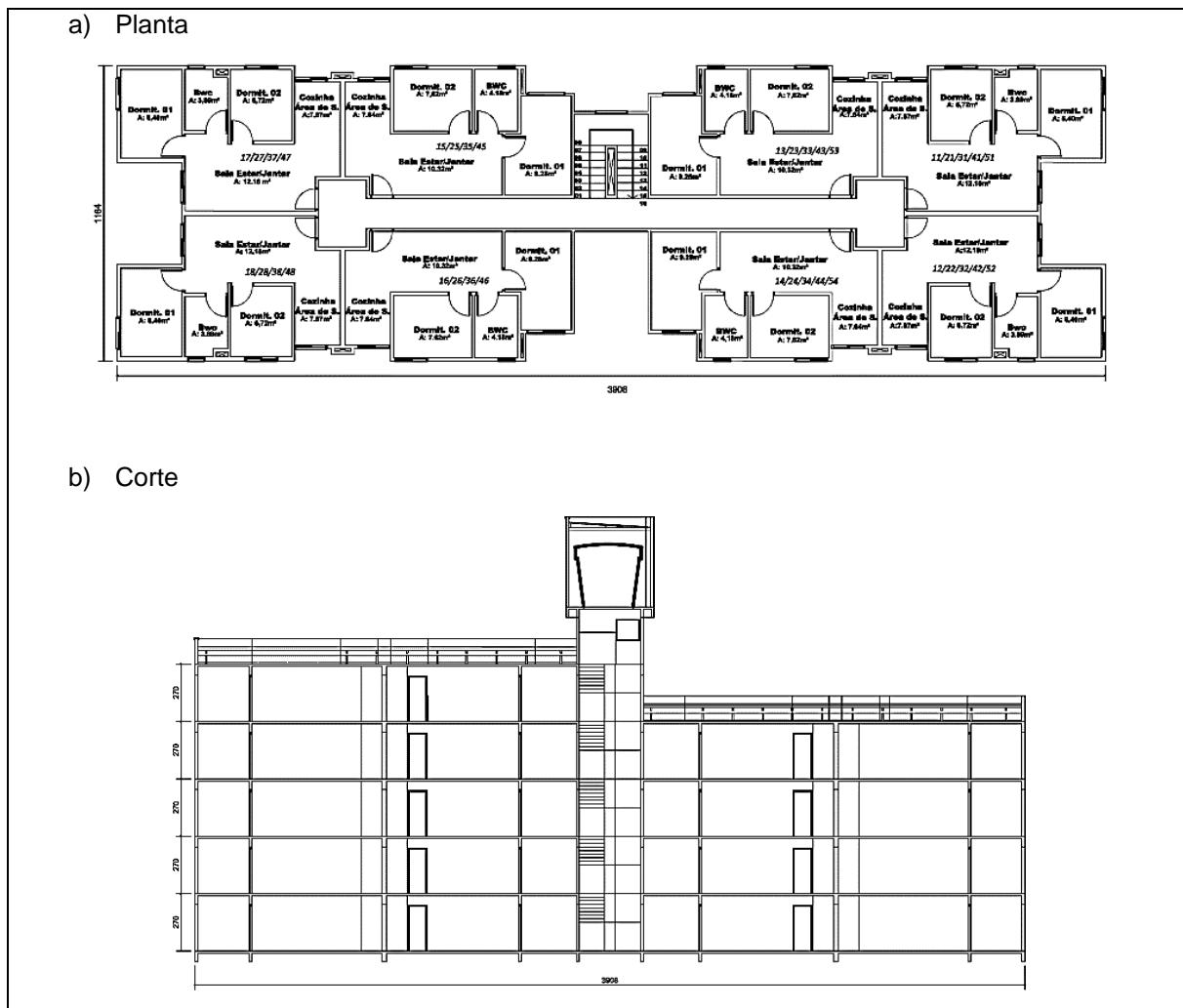
Fonte: Adaptada de Benetti (2016).

Figura 34 - Fachada do Condomínio João Balício Bernardes



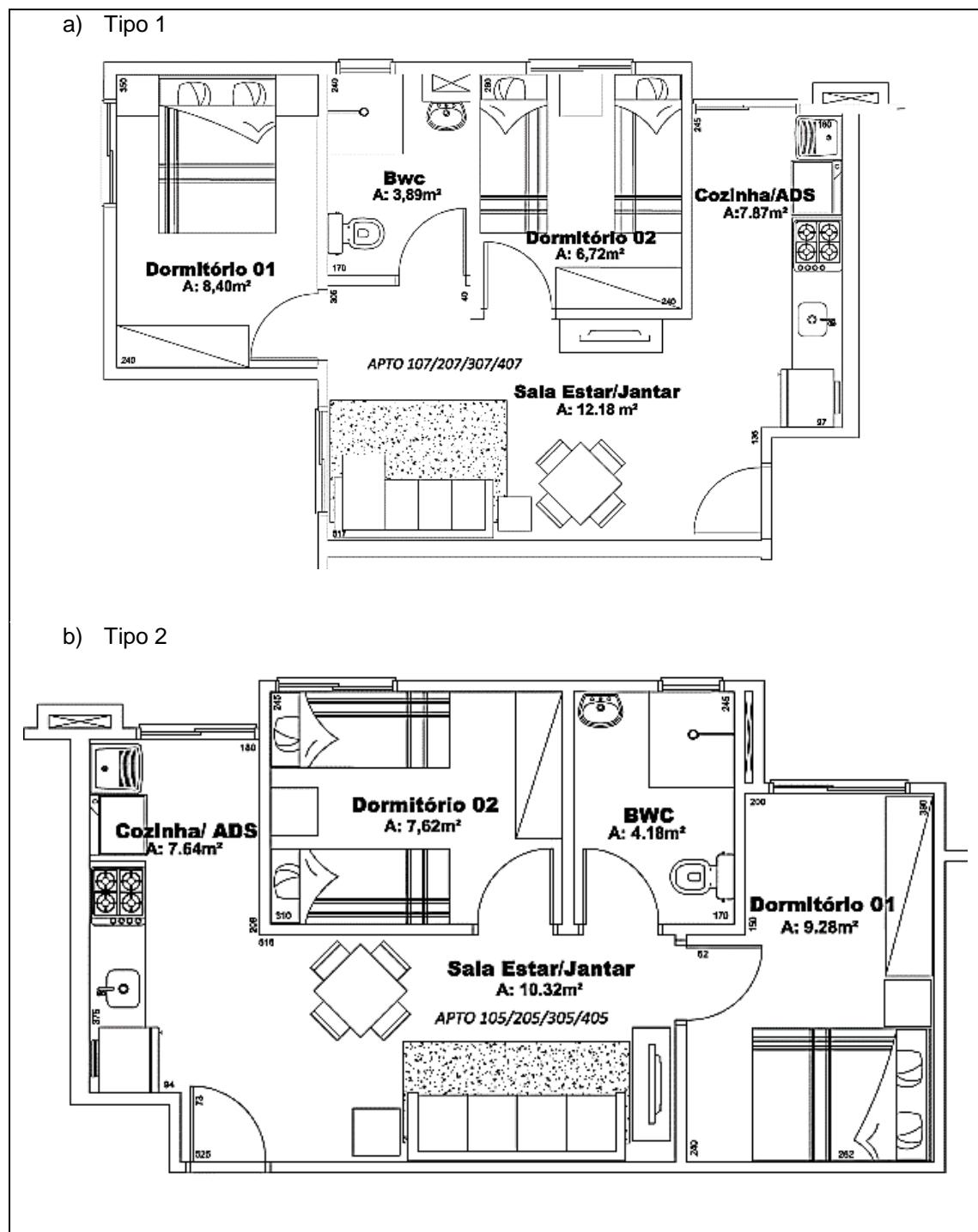
Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Figura 35 - Projeto típico do Condomínio João Balício Bernardes



Fonte: Benetti (2016).

Figura 36 - Planta baixa de uma unidade do Condomínio João Balício Bernardes



Fonte: Benetti (2016).

Quadro 23 - Características das aberturas na tipologia 1 do Condomínio João Balício Bernardes

Abertura	Dimensões	Materiais	Tipo
Janela BWC	A=0,36m ² 60x60cm	Alumínio e vidro 3 mm	Maxin-Ar
Janela dormitórios e á. de serviço	A=1,20m ² 120x100cm	Alumínio e vidro 3 mm	Correr 2 folhas
Janela sala	A=1,20m ² 120x100cm	Alumínio e vidro 3 mm	Correr 2 folhas
Portas	A=1,68m ² 210x80cm	Madeira	Abrir

Fonte: Adaptado de Reis (2016).

Quadro 24 - Características das aberturas na tipologia 2 do Condomínio João Balício Bernardes

Abertura	Dimensões	Materiais	Tipo
Janela BWC	A=0,36m ² 60x60cm	Alumínio e vidro 3 mm	Maxin-Ar
Janela dormitórios e á. de serviço	A=1,20m ² 120x100cm	Alumínio e vidro 3 mm	Correr 2 folhas
Janela sala	0	-	-
Portas	A=1,68m ² 210x80cm	Madeira	Abrir

Fonte: Adaptado de Reis (2016).

Quadro 25 - Características dos ambientes no Condomínio João Balício Bernardes

Ambiente	Área		Piso	Teto
	Tipo 1	Tipo 2		
Sala, circ., cozinha e a. de serviço	20,05 m ²	17,96 m ²	Cimento / Cerâmica	Cimento / Forro de PVC
Dormitório 1	8,40 m ²	9,28 m ²	Cimento	Cimento
Dormitório 2	6,72 m ²	7,62 m ²	Cimento	Cimento
BWC	3,89 m ²	4,18 m ²	Cerâmica	Forro de PVC

Fonte: Adaptado de Reis (2016).

Tabela 23 - Propriedades térmicas de paredes externas e cobertura do Condomínio João Balício Bernardes

Propriedades	Paredes	Cobertura
Transmitância térmica (U)	2,69 W/m ² .K	2,06 W/m ² .K
Capacidade térmica (C _t)	272,0 kJ/m ² .K	233,0 kJ/m ² .K
Absortância (α)	0,33 (Tinta acrílica fosca cor pérola)	0,61 (cinza)

Fonte: Benetti (2016).

Por meio do uso do RTQ-R, é possível obter a pontuação da eficiência energética em cada uma das unidades João Balício Bernardes, para cada uma das duas tipologias (1 e 2) e das duas orientações (1 e 2) e apresentar a classificação representativa desses edifícios, no caso, “D” (Tabela 24 e Quadro 26).

Tabela 24 - Pontuação final de UH no Condomínio João Balício Bernardes

Orientação 1				Orientação 2			
UH	Tipo 1	UH	Tipo 2	UH	Tipo 1	UH	Tipo 2
11	2,03	13	2,31	11	2,19	13	2,31
12	2,15	14	2,31	12	2,19	14	2,14
17	2,15	15	2,31	17	2,15	15	2,31
18	2,15	16	2,31	18	2,15	16	2,17
21	2,03	23	2,14	21	2,03	23	2,14
22	2,15	24	2,31	22	2,03	24	2,14
27	1,66	25	2,17	27	2,15	25	2,17
28	2,15	26	2,31	28	1,66	26	2,17
31	2,03	33	2,14	31	2,03	33	2,14
32	2,15	34	2,31	32	2,03	34	2,14
37	1,66	35	2,17	37	2,15	35	2,17
38	2,15	36	2,31	38	1,66	36	2,17
41	2,03	43	2,14	41	2,03	43	2,14
42	2,15	44	2,31	42	2,03	44	2,14
47	1,13	45	1,66	47	1,63	45	1,99
48	1,5	46	1,99	48	1,13	46	1,52
51	1,66	53	1,66	51	2,03	53	2,14
52	2,03	54	1,99	52	1,54	54	1,49
Média		2,05		Média		2,01	

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Quadro 26 - Pontuação e orientação de UH no Condomínio João Balício Bernardes

PAV	Orientação 1	Orientação 2
5º		
4º		
3º		
2º		
1º		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

4.3 IDENTIFICAÇÃO DA TIPOLOGIA DO MCMV REPRESENTATIVA EM JOINVILLE INDICADA PELO RTQ-R

Por meio das planilhas do RTQ-R, para lançamento dos dados das unidades habitacionais, foi possível indicar a classificação do nível de eficiência energética dos edifícios. A Tabela 25 apresenta um resumo com as médias ponderadas em unidades localizadas nos pavimentos térreo, tipo e cobertura. Caracteriza a eficiência dessas edificações e apresenta variações quando consideradas orientações diferentes.

Tabela 25 - Resumo da classificação RTQ-R dos condomínios multifamiliares do MCMV faixa 1 em Joinville

Condomínio	Nº de UH	Nº total de edifícios	Orientação 1		Orientação 2	
			Nº de edifícios	Média	Nº de edifícios	Média
Trentino 1 e 2	784	49	24	1,67	25	1,57
Eng. Rúbia Kaiser A e B	640	40	28	1,78	12	1,81
Irmã Maria da Graça	320	20	18	1,78	2	1,81
Procurador Luiz Bernardo	280	14	8	1,72	6	1,81
João Balício Bernardes	100	3	3	2,05	0	2,01

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

São desenvolvidas análises comparativas para identificar se as tipologias adotadas em Joinville possuem mesma eficiência quando considerada a pontuação junto ao RTQ-R do Procel Edifica. Como as tipologias usadas nos condomínios do Eng. Rúbia Kaiser A e B e do Irmã Maria da Graça são idênticas, ambas serão tratadas com uma mesma nomenclatura. Para os tratamentos estatísticos, tais nomenclaturas são adotadas:

- João Balício Bernardes tipologia 1: Joao1;
- João Balício Bernardes tipologia 2: Joao2;
- Procurador Luiz Bernardo: Luiz;
- Trentino 1 e 2: Trentino;
- Eng. Rúbia Kaiser A e B e do Irmã Maria da Graça: Rubia-Irma.

4.3.1 Comparação entre tipologias pelo método Kruskal-Wallis

O teste desenvolvido por Kruskal e Wallis é um teste não paramétrico semelhante ao ANOVA fator único. Ele pode ser utilizado para comparar três ou mais amostras independentes entre si e indicar se há semelhança entre as mesmas (PORTAL ACTION, 2017).

O teste de Kruskal-Wallis é análogo ao teste F utilizado na ANOVA. Neste caso, como o P-valor de 2,885e-10 (e sendo menor que 0,05), pelo menos duas tipologias possuem distribuições diferentes. Em outras palavras, há diferenças entre "os pontos" de pelos menos duas tipologias. Não compara as médias e sim "os postos" (posição) dos valores. É possível imaginar que "as medianas" dos pontos de pelo menos duas

tipologias diferem. As médias são diferentes na maioria dos casos, em que não se contempla o Zero na sua distribuição. As tipologias Rubia-Irma e Luiz são as que possuem maior frequência de possibilidade de semelhanças com as demais.

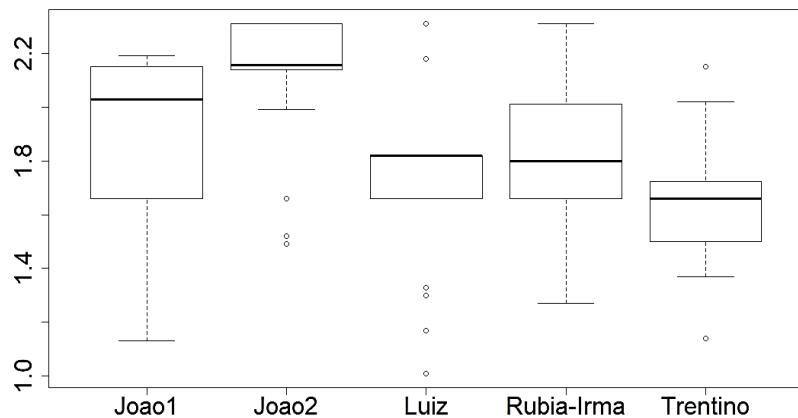
É utilizada a comparação entre médias dos ambientes obtidos para cada uma das unidades das tipologias estudas usando o teste Kruskal Wallis. Como no teste Kruskal-Wallis o p-valor de 2,885e-10 é menor que 0,05, é possível afirmar que pelo menos duas tipologias possuem distribuições diferentes. Ou seja, há diferença em ao menos duas tipologias. Essa condição pode ser melhor observada ao apresentar as médias e medianas das pontuações junto ao RTQ-R das tipologias (Tabela 26) e ao se realizar um boxplot do conjunto (Figura 37).

Tabela 26 - Comparação das médias e medianas das pontuações obtidas no RTQ-R

Tipologias	Joao1	Joao2	Luiz	Rubia-Irma	Trentino
Média	1,938	2,123	1,787	1,794	1,621
Mediana	2,030	2,155	1,820	1,800	1,660

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Figura 37 – Boxplot comparativo das pontuações obtidas no RTQ-R



Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Notadamente, as tipologias Joao1 e Joao2 possuem médias e medianas superiores aos demais. Luiz, Rubia-Irmã e Trentino apresentam distribuição relativamente semelhantes. Rubia-Irmã apresenta-se como uma tipologia intermediária ao Luiz e ao Trentino, com distribuição mais uniforme da pontuação junto ao RTQ-R dentre todas as unidades.

4.3.2 Comparação entre tipologias pelo método Teste “T de Student”

Utiliza-se o Teste “T de Student” ou simplesmente teste “T”, que permite verificar se há possibilidades de as médias das amostras serem semelhantes (Tabela 27).

Tabela 27 - Teste “T” para comparação das tipologias usadas em Joinville

	Trentino	Luiz	Joao2	Joao1	Rubia-Irma
Rubia-Irma	0,01242	0,9124	1,383e-06	0,04073	*
Joao1	1,035e-05	0,02946	0,003017	*	*
Joao2	4,236e-12	4,308e-07	*	*	*
Luiz	0,01524	*	*	*	*
Trentino	*	*	*	*	*

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

A Tabela 28 mostra que a tipologia Rubia-Irma possui similaridade com a tipologia Luiz, quando comparadas suas pontuações junto ao RTQ-R. A tipologia Joao2 é a que apresentou as maiores diferenças (Tabela 29) com todas as demais, oriundo de uma planta arquitetônica onde apenas uma fachada possui orientação externa.

Tabela 28 - Maiores semelhanças nos Teste “T” para comparação das tipologias

Combinações	P-value
Rubia-Irma com Luiz	0,9124
Rubia-Irma com Joao1	0,04073
Luiz com Joao1	0,02946
Luiz com Trentino	0,01524

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Tabela 29 - Maiores diferenças nos Teste “T” para comparação das tipologias

Combinações	P-value
Joao2 com Trentino	4,236e-12
Joao2 com Luiz	4,308e-07
Joao2 com Rubia-Irma	1,383e-06
Joao1 com Trentino	1,035e-05

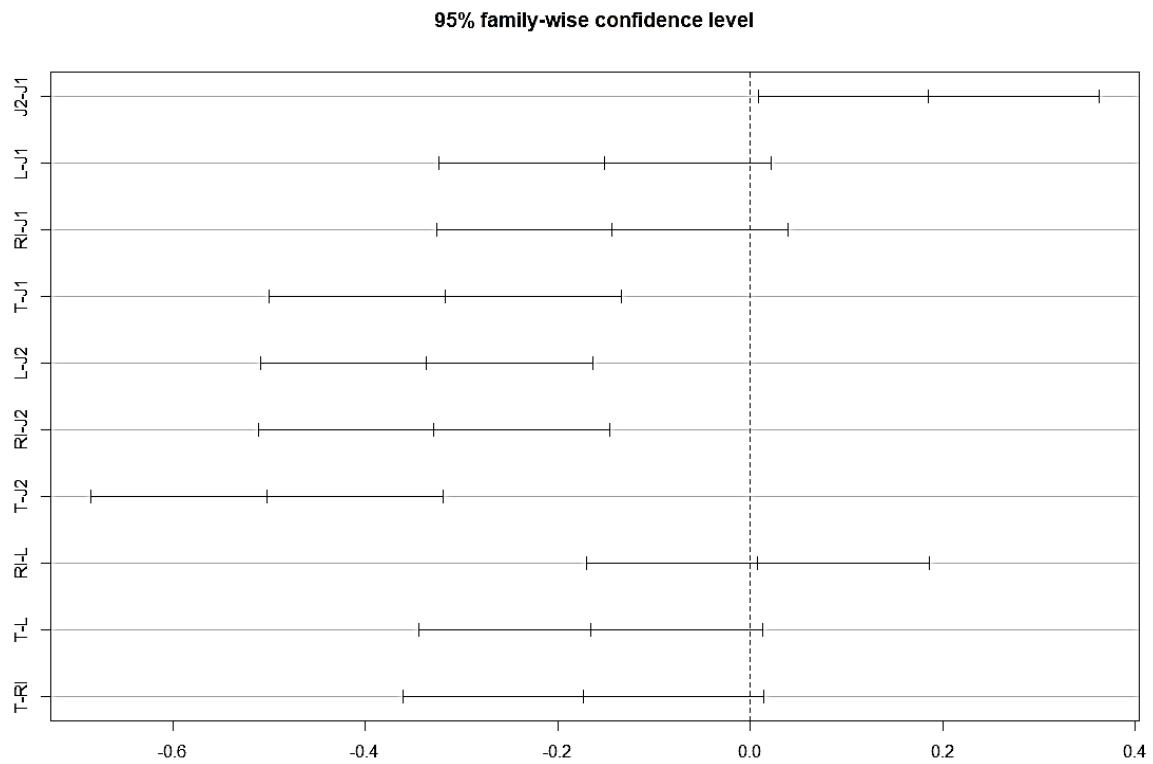
Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

4.3.3 Comparação entre tipologias pelo método de Tukey

O teste de Tukey indica se há possibilidades de as médias serem semelhantes (Figura 38). Nesta composição, a tipologia “Rubia-Irmã” possui três ocorrências, assim como a tipologia “Luiz”. Indica possibilidades para semelhança nas médias em:

- Luiz com João1 (L-J1);
- Rubia-Irmã com João1 (RI-J1);
- Rubia-Irmã com Luiz (RI-L);
- Trentino com Luiz (T-L);
- Trentino com Rubia-Irmã (T-RI).

Figura 38 - Teste de Tukey para comparação das tipologias



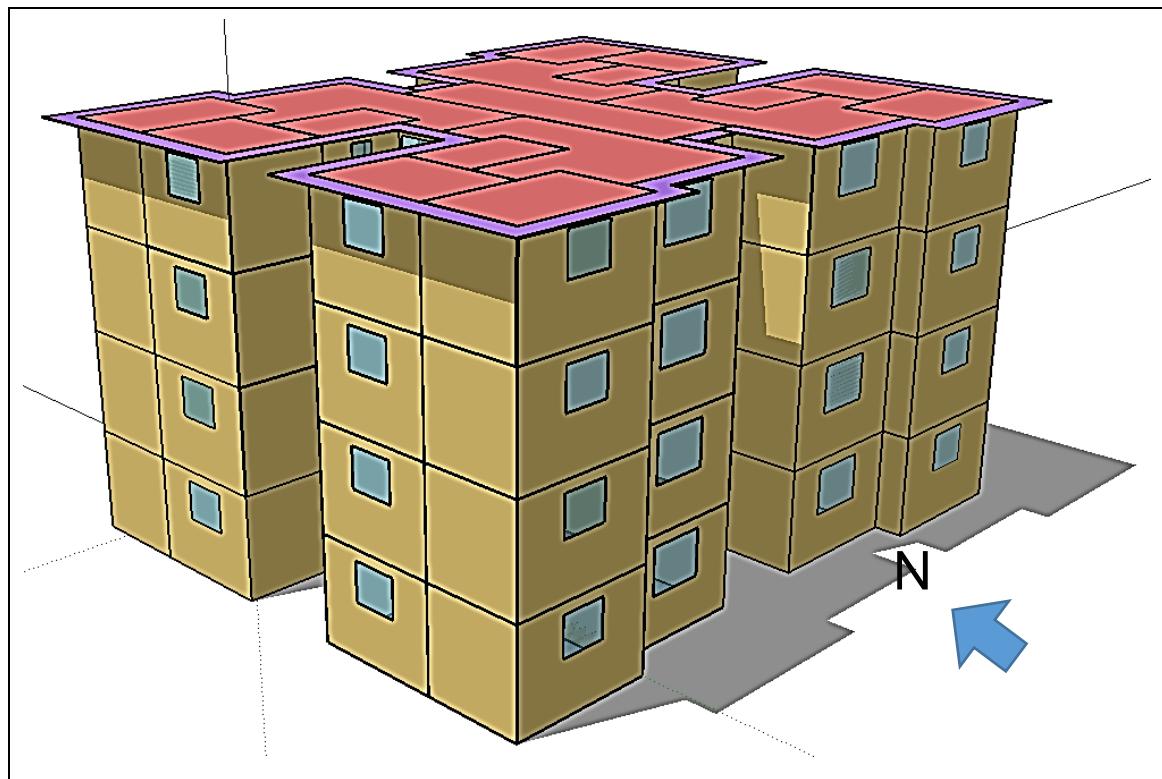
Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

4.4 SIMULAÇÃO DA TIPOLOGIA DO MCMV REPRESENTATIVA EM JOINVILLE

A tipologia Rubia-Irmã é a que possui maior quantidade de similaridades dentre os métodos apresentados e é adotada nos estudos. É também a que possui mais quantidade de habitações, 960 (ou 45,2% de todas as UHs).

Utilizam-se os programas Energyplus 8.4 e o Legacy OpenStudio com interface no Sketchup 2014 para modelagem da geometria e adoção dos materiais e padrões de uso (Figuras 39, 40 e 41). Como dado resposta, é fornecida a temperatura interna das zonas. Nesta pesquisa, serão observadas apenas as zonas Sala/Cozinha/Área de Serviço e do dormitório 2. O dormitório 1, mesmo sendo um ambiente de permanência prolongada, possui ocupação semelhante ao dormitório 2 e não é considerado nesta pesquisa.

Figura 39 - Perspectiva do modelo Energyplus



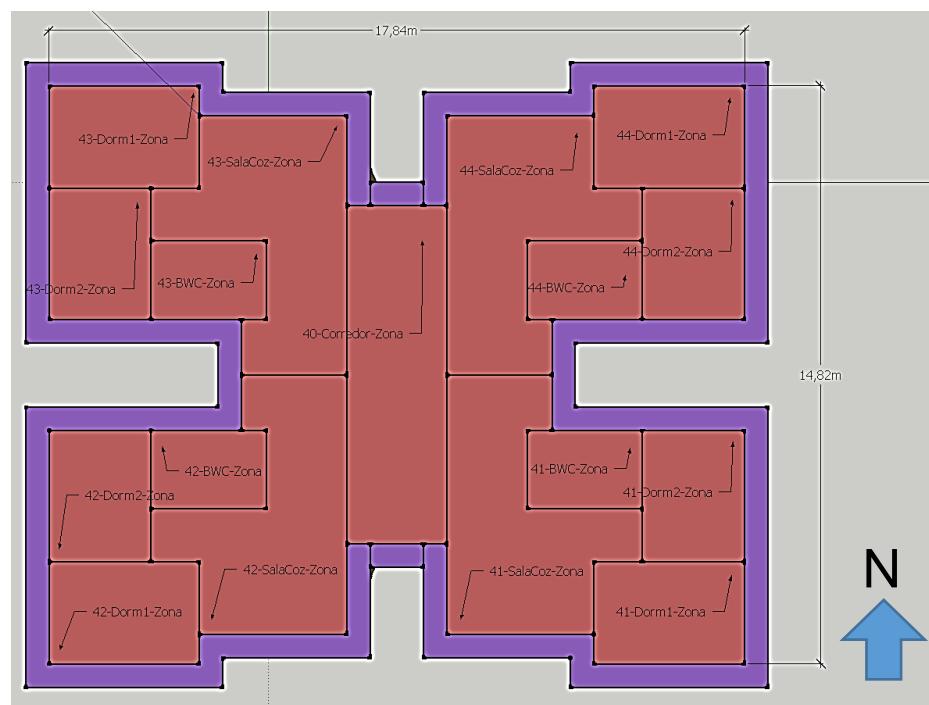
Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Figura 40 – Zonas presentes em uma UH no modelo Energyplus



Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Figura 41 – UHs e zonas presentes em um modelo Energyplus

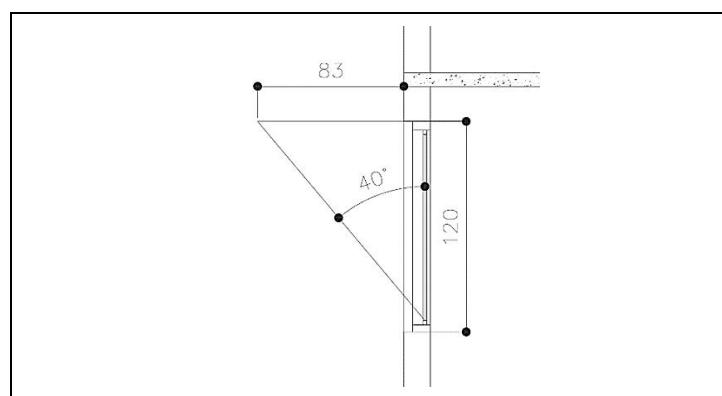


Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

4.4.1 Dimensionamento dos sombreamentos tipo brise

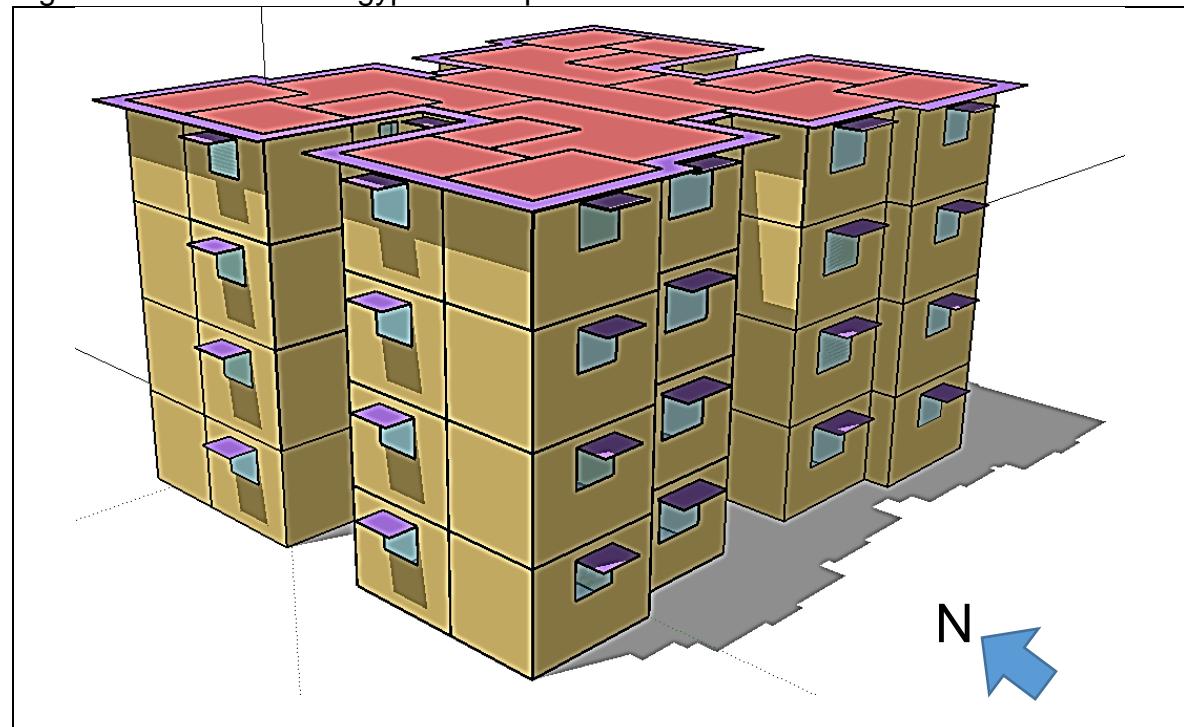
Realiza-se o dimensionamento dos brises horizontais mediante uso do programa SOL-AR para as coordenadas de Joinville (Figura 42). O ângulo interno de 40° foi o que apresentou melhores resultados nas janelas com 120 centímetros de altura, fornecendo uma máscara de sombra como a observada na Figura 43 e modelada na Figura 44.

Figura 42 - Modelo proposto para Brises



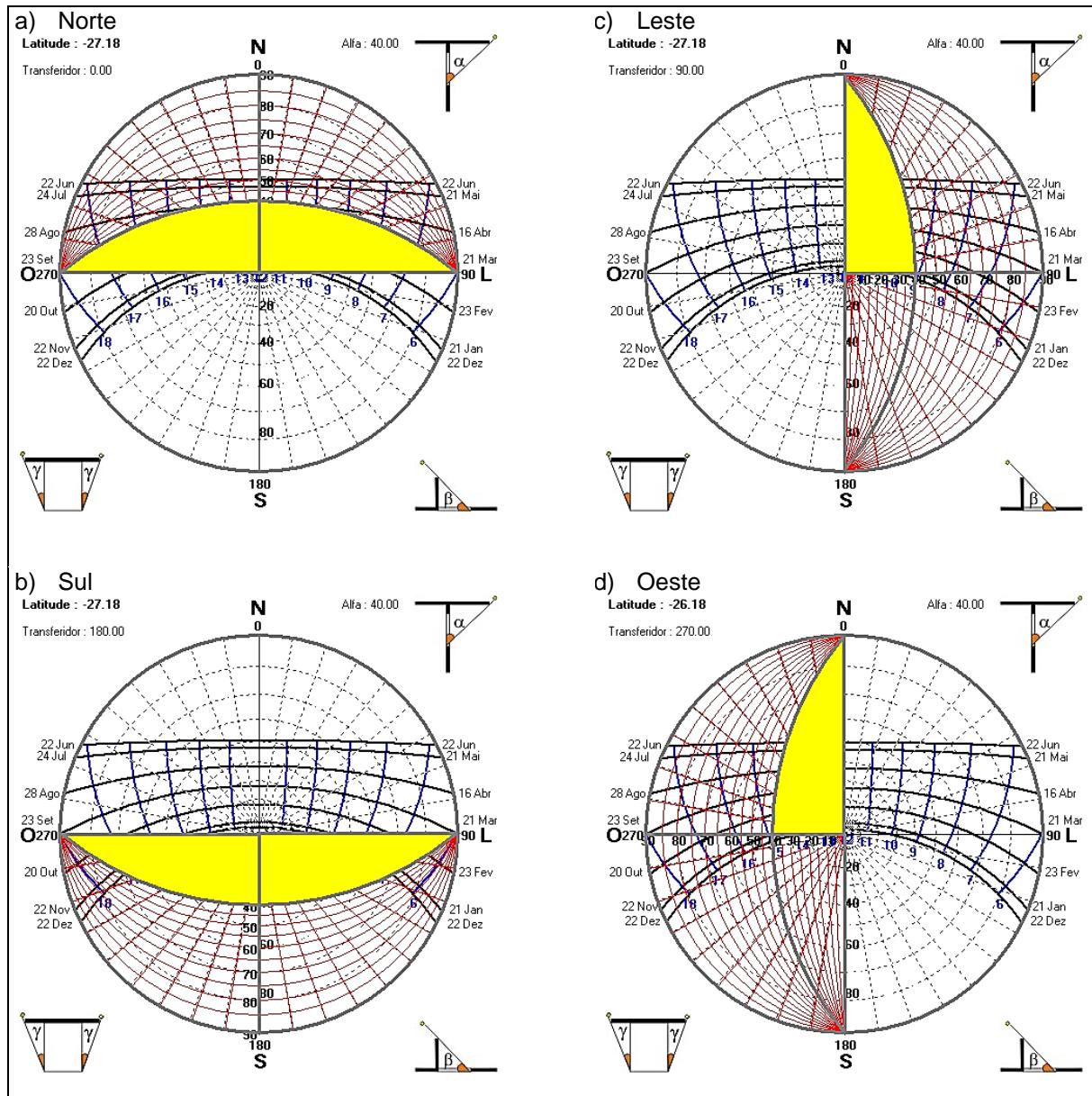
Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Figura 43 - Modelo Energyplus Perspectiva com Brises



Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Figura 44 - Indicação da máscara de sombra para o uso de brises nas quatro orientações

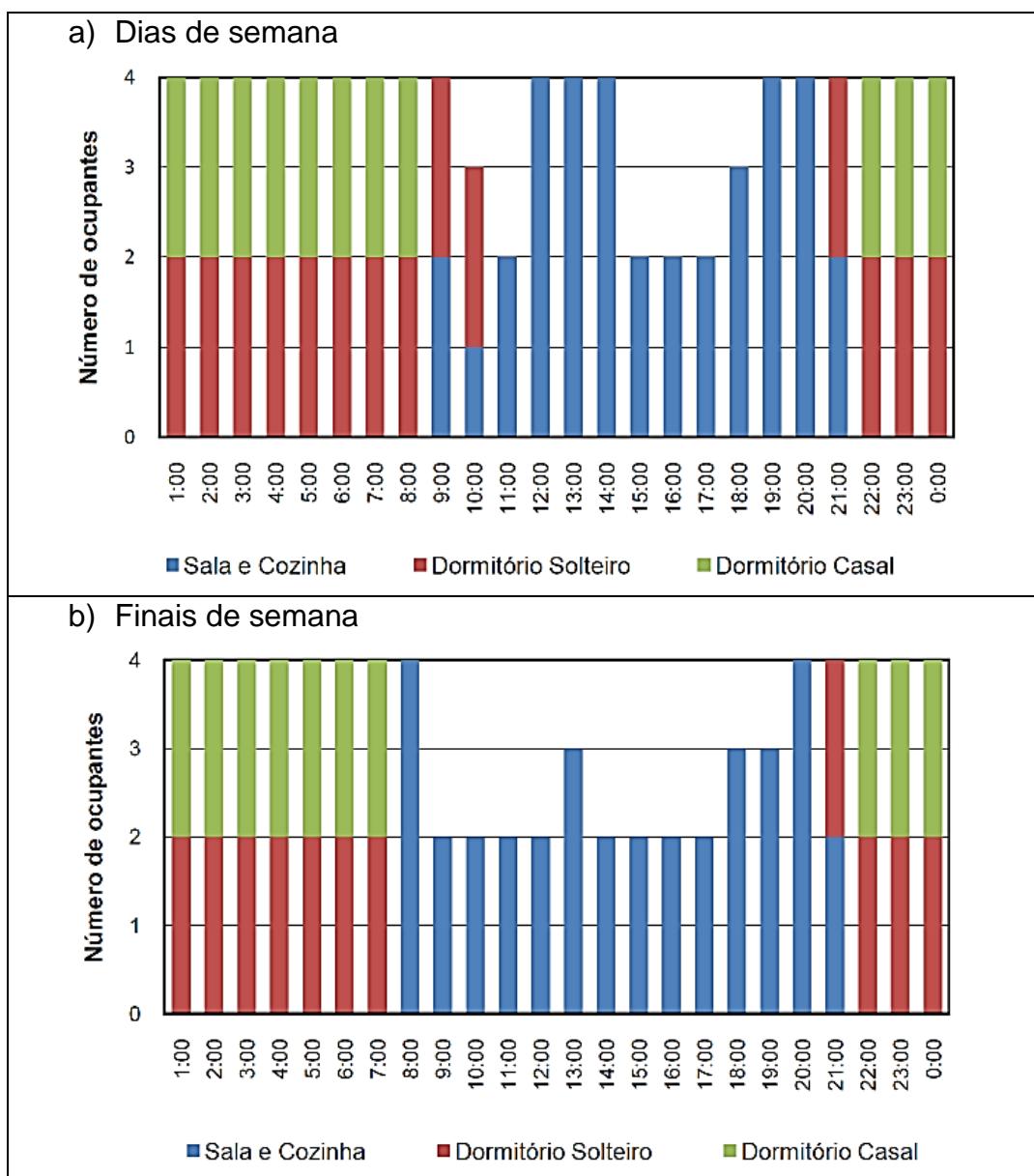


Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

4.4.2 Geração de cargas internas (iluminação, pessoas e equipamentos)

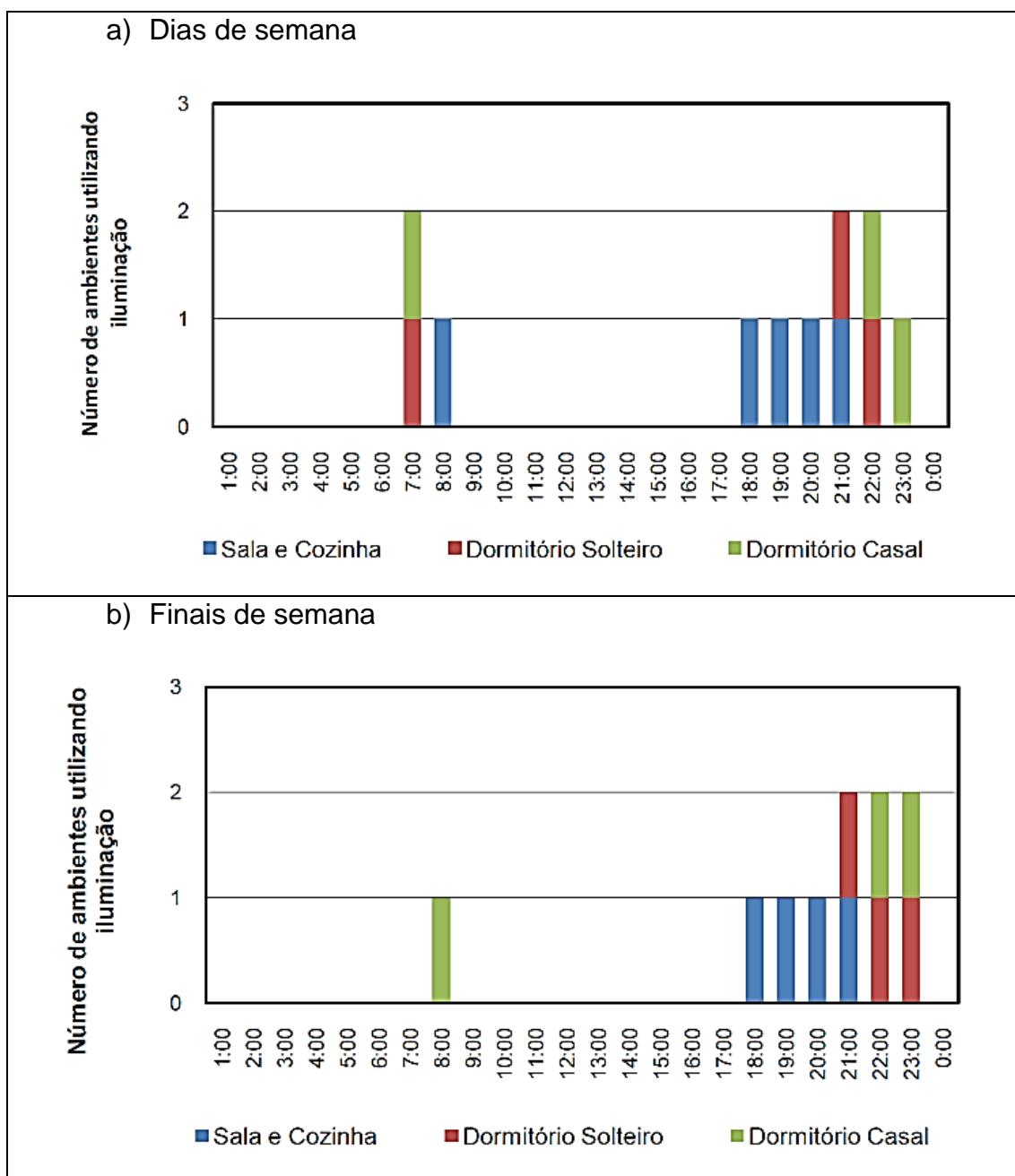
Os modelos de padrão para ocupação de pessoas em dias e finais de semana estão definidos conforme Figuras 45 (a e b) respectivamente, iluminação em dias e finais de semana, conforme Figuras 46 (a e b). O uso de equipamentos segue conforme Tabela 30 e as cargas geradas pelas pessoas quando em ocupação dos ambientes está conforme Tabela 31.

Figura 45 – Padrão para ocupação de pessoas



Fonte: Sorgato (2009).

Figura 46 – Padrão para uso de iluminação



Fonte: Sorgato (2009).

Tabela 30 - Cargas de equipamentos nos ambientes

Zona	Período (horas)	Potência (Watts)
Cozinha e área de serviço	24	33,0
Sala	24	21,0

Fonte: Adaptada de Sorgato (2009).

Tabela 31 - Cargas de pessoas nos ambientes

Zona	Período (horas)	Potência (Watts/pessoa)
Deitado ou reclinado (Dormitório 1 e dormitório 2)	Conforme padrão de uso	82,8
Atividade sedentária em casa (Sala, cozinha, área de serviço)	Conforme padrão de uso	126,0

Fonte: Adaptada de ISO 7730 (2005).

4.4.3 Variação dos parâmetros de simulação

São combinados os seguintes fatores, conforme indicado no Quadro 27. São desenvolvidas 256 simulações visando obter a variável resposta Graus Hora de Resfriamento (GHR) na zona da Sala/Cozinha/Área de serviço e na zona do dormitório 2.

Quadro 27 - Composição das simulações

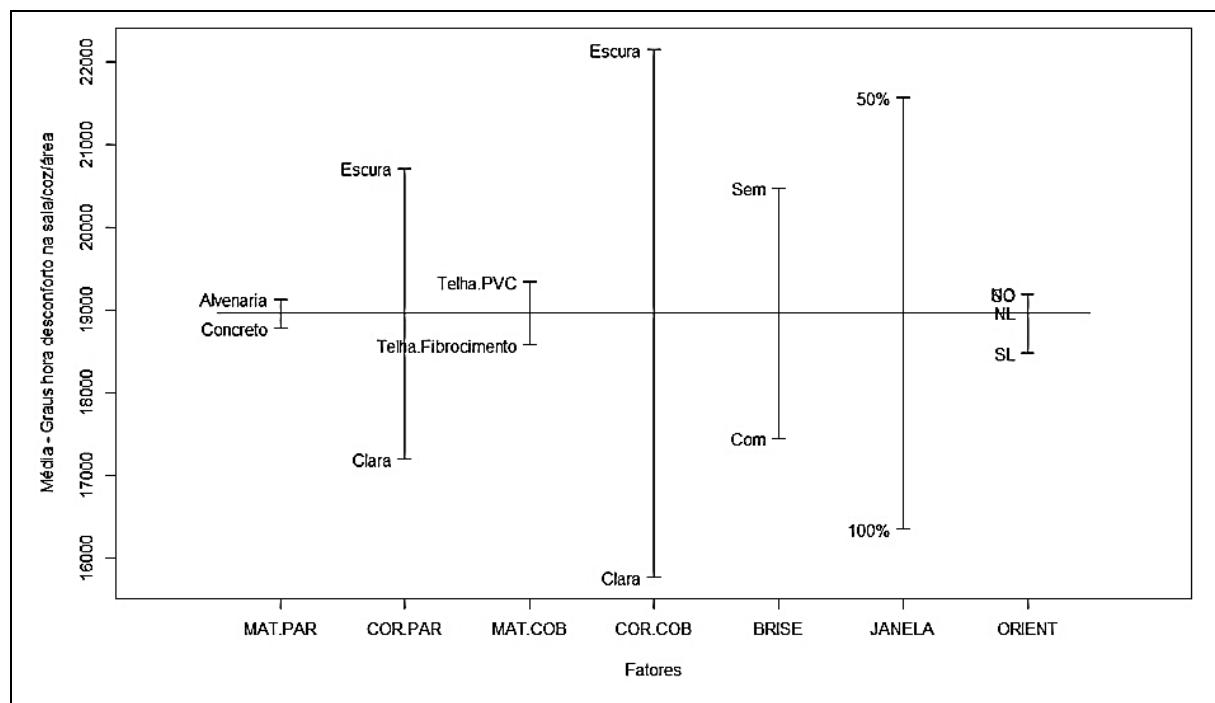
Fator	Atalho	Parâmetros modificados		
		1	2	
1	Cor Parede (COR.PAR)	Material: Solar Absorptance	0,4 (B) 0,1306 (A)	
2	Cor Cobertura (COR.COB)	Material: Solar Absorptance	0,61 0,245	
3	Material Parede Externa (MAT.PAR)	Construction: Layer	Outside Layer: Reboco Layer2: Blococeramico Layer3: Camaradear Layer4: Blococeramico Layer5: Reboco	
4	Material Cobertura (MAT.COB)		Outside Layer: Telhafibrocimento Layer2: Camaradear Layer3: Lajeconcreto	
			Outside Layer: TelhaPVC Layer2: Camaradear Layer3: Lajeconcreto	
			Outside Layer: TelhaPVC Layer2: Camaradear Layer3: Lajeconcreto	
5	Brise	Shading: building detailed	SemBrise ComBrise	
6	Janelas	AirflowNetwork: Multizone: Surface: Window/Door Opening Factor:	0,5 1,0	
7	Orientação	Output: Variable Name: Zone Mena Air Temperatura	41: Sul-Leste 42: Sul-Oeste 43: Norte-Oeste 44: Norte-Leste	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

4.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS RESULTADOS

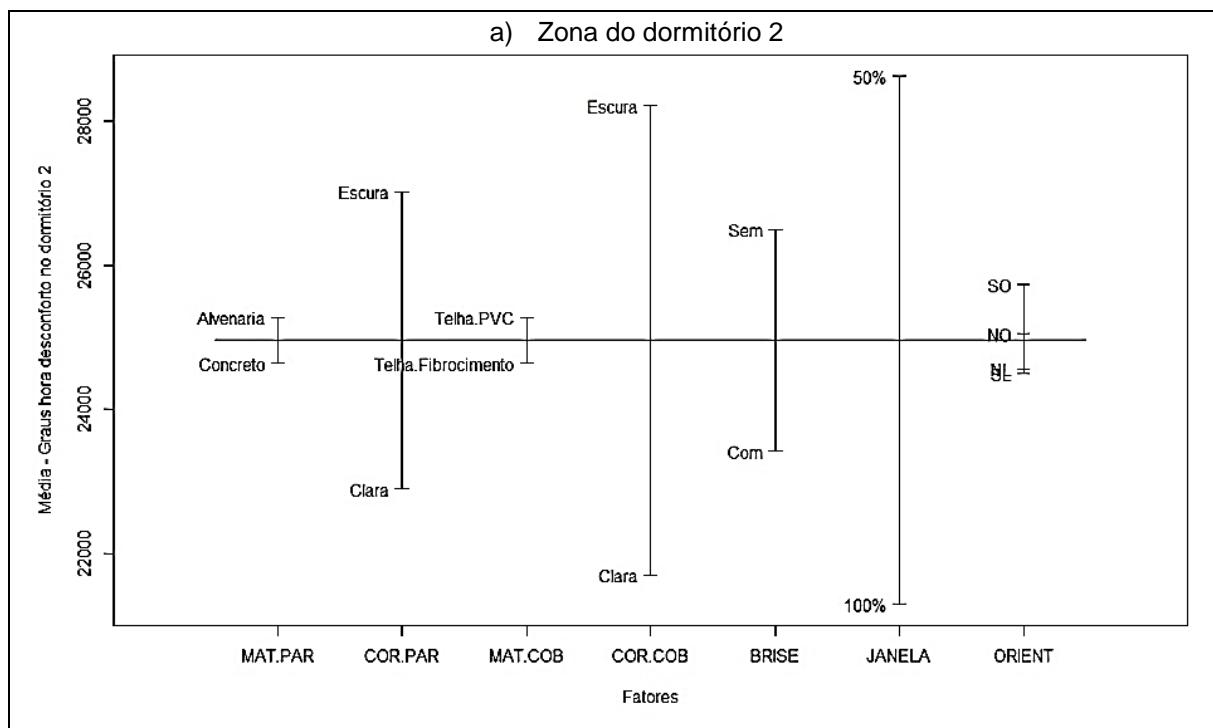
Com base nas 256 simulações e obtida a variável resposta GHR de cada uma delas, realizam-se as leituras dos efeitos dos parâmetros na zona da Sala/Cozinha/Área de serviço (Figura 47) e na zona do dormitório 2 (Figura 48), onde é possível observar as influências individuais principais. Destacam-se: cor da cobertura, abertura da janela para ventilação, cor da parede, presença de brises em ambas as zonas.

Figura 47 – Influência dos parâmetros simulados no GHR na Zona da Sala/Cozinha/Área de serviço



Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Figura 48 - Influência dos parâmetros simulados no GHR na Zona do dormitório 2



Fonte: Elaborada pelo autor (2017)

Aplicando o método ANOVA para análise de sensibilidade, é possível obter a estatística F e verificar a influência dos parâmetros nos GHR isoladamente e combinados dois a dois (Tabela 32). Destacam-se os valores de ocorrência de até 5%. Os demais (podem ser classificados como pouco influentes ou não influentes.

Dentre todos os parâmetros, destacam-se os cinco maiores valores da estatística F, quando considerados parâmetros isolados usados em simulações das zonas da Sala/Cozinha/Área de serviço e do dormitório 2 (Tabela 33). Quanto maior o valor da estatística F, maior é o efeito do parâmetro sobre os GHR. A cor da cobertura foi a que obteve maior resultado para a zona da Sala/ Cozinha/Área de serviço. No dormitório 2, esse parâmetro está indicado na segunda posição, condição justificada devido à zona da Sala/Cozinha/Área de serviço possuir área maior que a área do dormitório 2 e consequentemente maior influência desse parâmetro. A janela foi o segundo parâmetro com maior influência para a zona da Sala/Cozinha/Área de serviço, mas é o primeiro colocado quando na análise da zona do Dormitório 2, devido ao ambiente possuir apenas uma janela (diferente da zona da Sala/Cozinha/Área de serviço que possui duas e um volume do ambiente menor.

Tabela 32 - Valores da estatística F na análise de sensibilidade

Parâmetros	Sala/Cozinha/Área de serviço			Dormitório 2		
	F-value	Pr(>F)	Signif. code	F-value	Pr(>F)	Signif. code
MAT.PAR	2.251	0.134997		5.836	0.01655	*
COR.PAR	231.992	< 2e-16	***	244.404	< 2e-16	***
MAT.COB	10.937	0.001106	**	5.743	0.01742	*
COR.COB	766.8	< 2e-16	***	612.026	< 2e-16	***
BRISE	172.358	< 2e-16	***	135.834	< 2e-16	***
JANELA	512.608	< 2e-16	***	773.305	< 2e-16	***
ORIENT	2.11	0.099914	.	4.683	0.00344	**
MAT.PAR:COR.PAR	17.153	4.97E-05	***	16.951	5.49E-05	***
MAT.PAR:MAT.COB	7.147	0.008092	**	0.179	0.6725	
MAT.PAR:COR.COB	48.494	4.05E-11	***	51.877	1.00E-11	***
MAT.PAR:BRISE	1.137	0.287506		0.001	0.97914	
MAT.PAR:JANELA	2.213	0.138344		6.806	0.00973	**
MAT.PAR:ORIENT	0.024	0.994978		0.345	0.79308	
COR.PAR:MAT.COB	15.278	0.000125	***	3.261	0.07237	.
COR.PAR:COR.COB	0.015	0.901562		2.64	0.10569	
COR.PAR:BRISE	1.269	0.261223		8.096	0.00487	**
COR.PAR:JANELA	1.035	0.310218		0.399	0.52831	
COR.PAR:ORIENT	0.163	0.921133		1.015	0.38708	
MAT.COB:COR.COB	5.317	0.022086	*	5.831	0.01659	*
MAT.COB:BRISE	1.778	0.183844		1.501	0.22193	
MAT.COB:JANELA	0.312	0.576775		0.363	0.54756	
MAT.COB:ORIENT	0.22	0.882393		0.672	0.56995	
COR.COB:BRISE	3.31	0.070262	.	2.066	0.15206	
COR.COB:JANELA	29.135	1.79E-07	***	33.978	2.04E-08	***
COR.COB:ORIENT	0.465	0.707351		2.77	0.0426	*
BRISE:JANELA	0.013	0.910442		0.084	0.77209	
BRISE:ORIENT	0.266	0.850202		0.395	0.75652	
JANELA:ORIENT	0.159	0.924087		0.107	0.95597	

Legenda:

- *** entre 0 e 0,001 ou 0 e 0,1%
- ** entre 0,001 e 0,01 ou 0,1 e 1%
- entre 0,01 e 0,05 ou 1 e 5%
- entre 0,05 e 0,1 ou 5 e 10%
- ‘’ superior a 10%

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

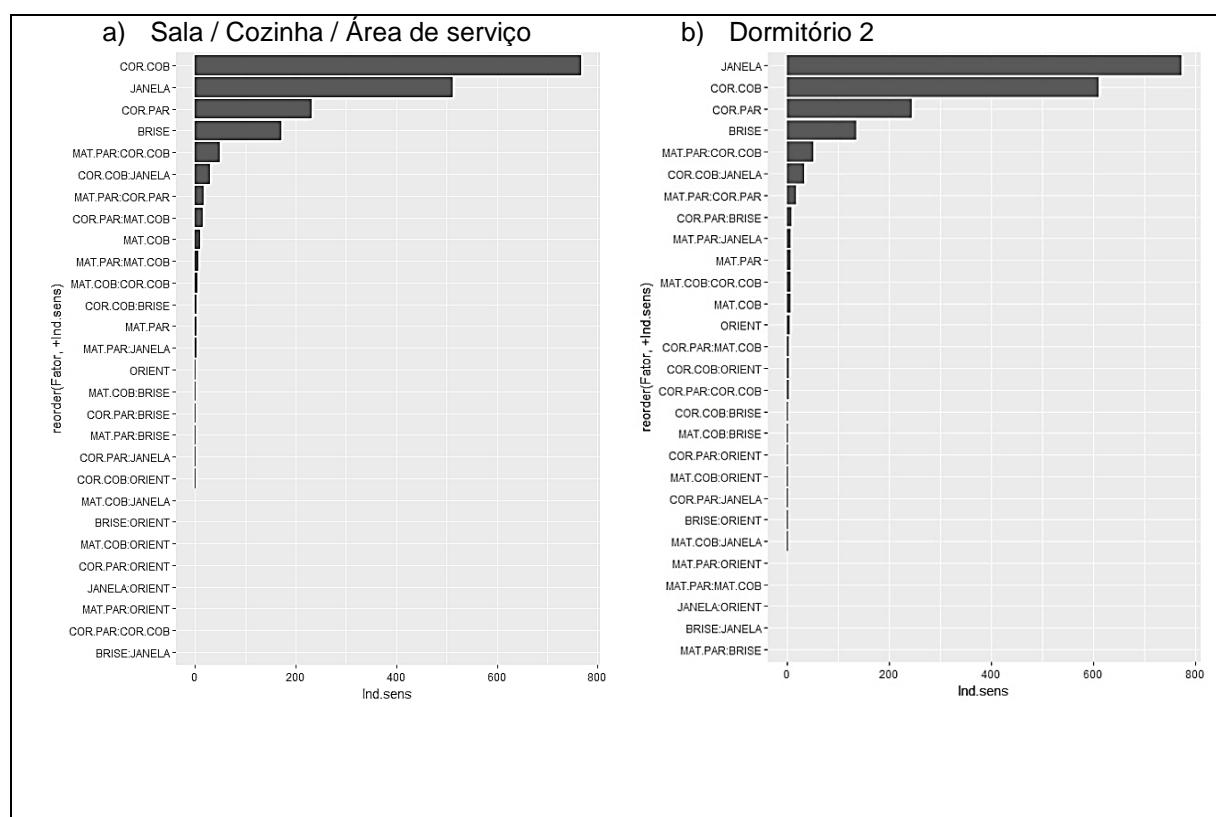
Tabela 33 – Indicação dos parâmetros isolados mais influentes da Estatística “F”

Parâmetro	Zona: Sala / Cozinha / Área de serviço	Zona: Dormitório 2
COR.COB	766.8	612.03
JANELA	512.61	773.31
COR.PAR	231.99	244.4
BRISE	172.36	135.83
MAT.COB	10.94	5.74
MAT.PAR	2.25	5.84

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

A magnitude dos efeitos dos parâmetros individuais e combinados sobre mudanças no GHR é observada na zona da Sala/Cozinha/Área de serviço (Figura 49, a) e na zona do dormitório 2 (Figura 49, b).

Figura 49 - Estatística “F”

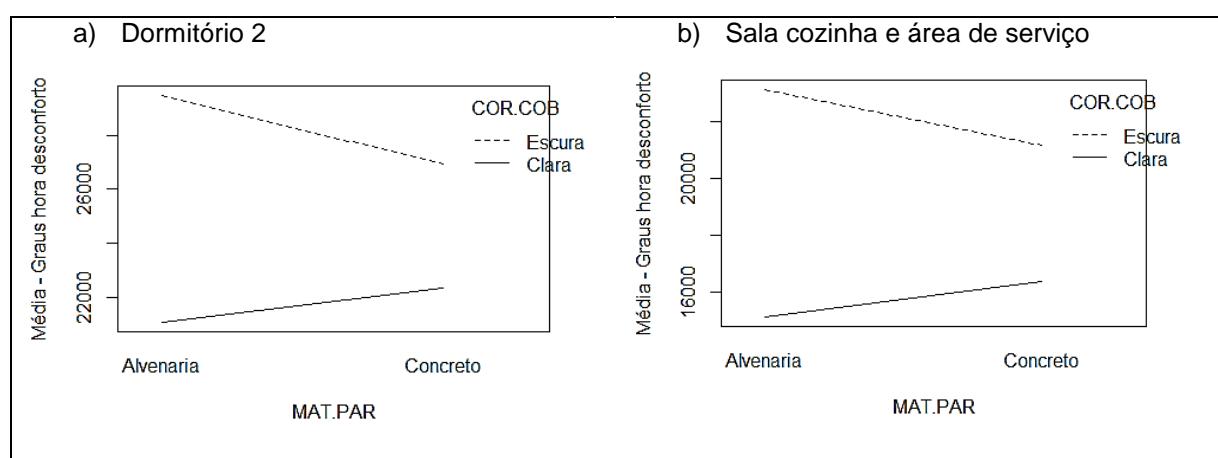


Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

As Figuras 50 a 56 indicam a interação entre os parâmetros. Retas convergentes são os casos que indicam que os parâmetros afetam entre si. Retas paralelas ou sem uma ordenação mostram pequena ou ausente interação.

Analizando a interação entre o material das paredes externas e a cor da cobertura, observa-se que há convergência dos efeitos (Figura 50). Para o caso da cor escura, a mudança de alvenaria para concreto causa uma redução dos GHR, sendo mais benéfica quando há parede de concreto. Já a cor clara na cobertura, é mais benéfica na parede de alvenaria do que na de concreto.

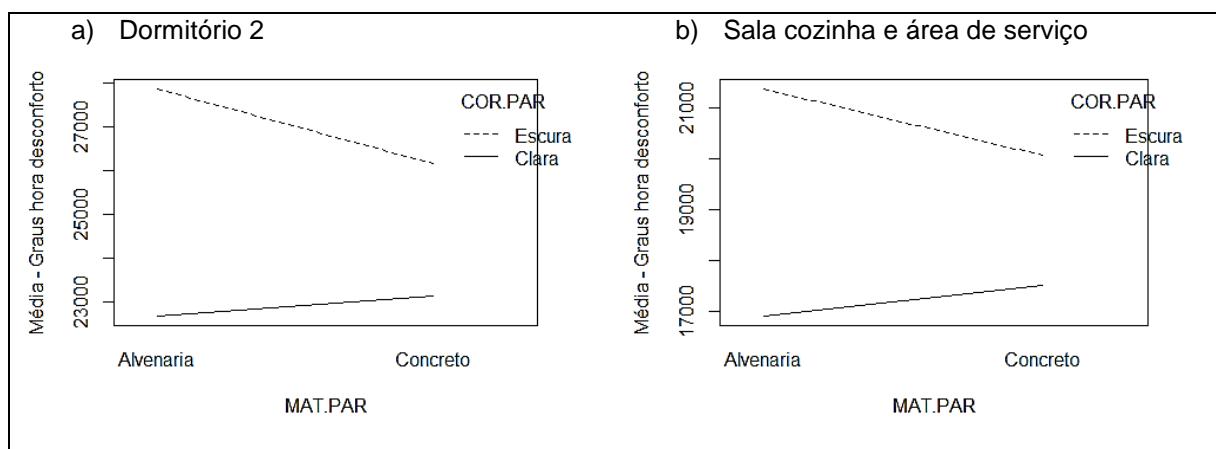
Figura 50 - Interação entre os parâmetros do material da parede e cor da cobertura



Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Averiguando a interação entre o material das paredes externas e a cor da parede externa, observa-se que há convergência dos efeitos (Figura 51). Para o caso da cor escura, a mudança de alvenaria para concreto causa uma redução dos GHR, sendo mais benéfica quando há parede de concreto. Já a cor clara na parede, é mais benéfica na parede de alvenaria do que na de concreto.

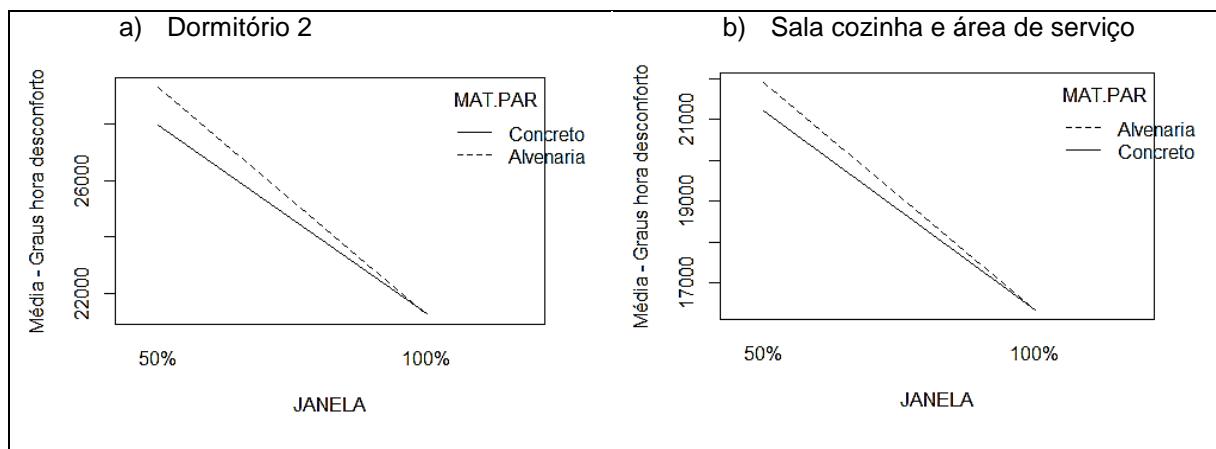
Figura 51 - Interação entre os parâmetros do material da parede e cor da parede



Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Estudando a interação entre o material das paredes externas e a abertura da janela para ventilação, observa-se que há convergência dos efeitos (Figura 52). A mudança de 50% para 100% é mais abrupta na parede de alvenaria do que na de concreto.

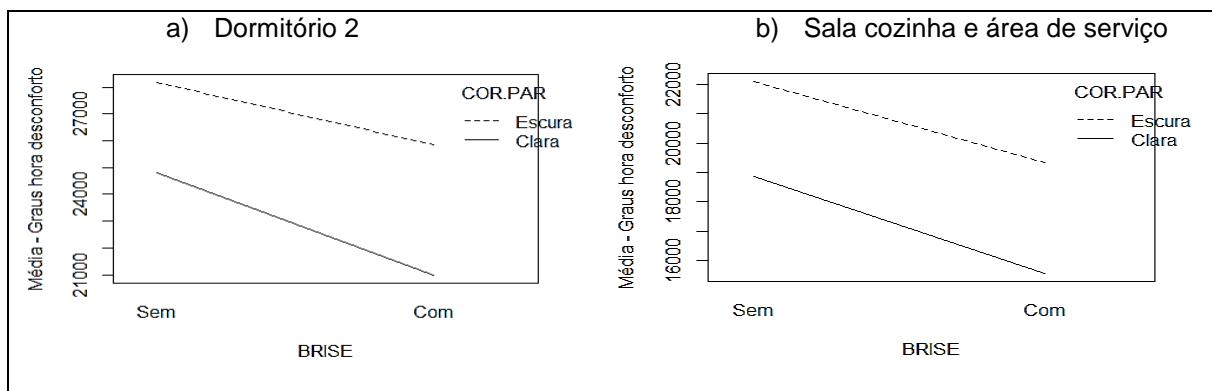
Figura 52 - Interação entre os parâmetros da janela e material da parede



Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Considerando a interação entre a cor das paredes externas e a presença do brise, observa-se paralelismo nas retas, indicando divergência dos efeitos (Figura 53). A mudança da cor clara para escura nas paredes externas não causa efeitos sobre os brises, porém a mudança de ambos (cor e brise) causa impacto sobre mudanças nos GHR.

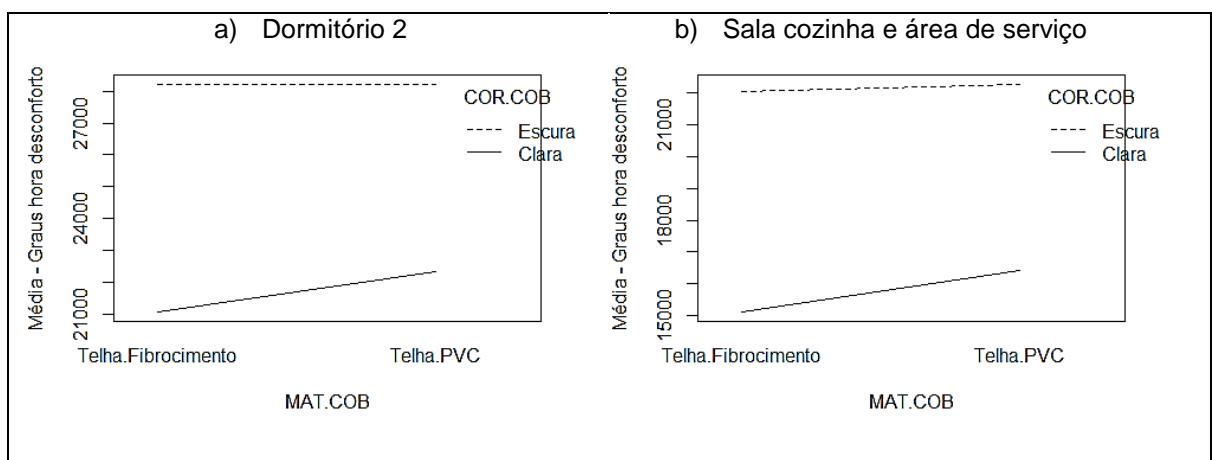
Figura 53- Interação entre os parâmetros do Brise e da cor da parede



Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Analizando a interação entre a cor da cobertura e o material da cobertura, observa-se algum paralelismo nas retas, indicando divergência dos efeitos (Figura 54). A cor escura não causa mudanças quando da mudança de material. Já a cor clara mostra um incremento nos GHR quando se muda de telha de fibrocimento para telha de PVC.

Figura 54 - Interação entre os parâmetros do material da cobertura e cor da cobertura

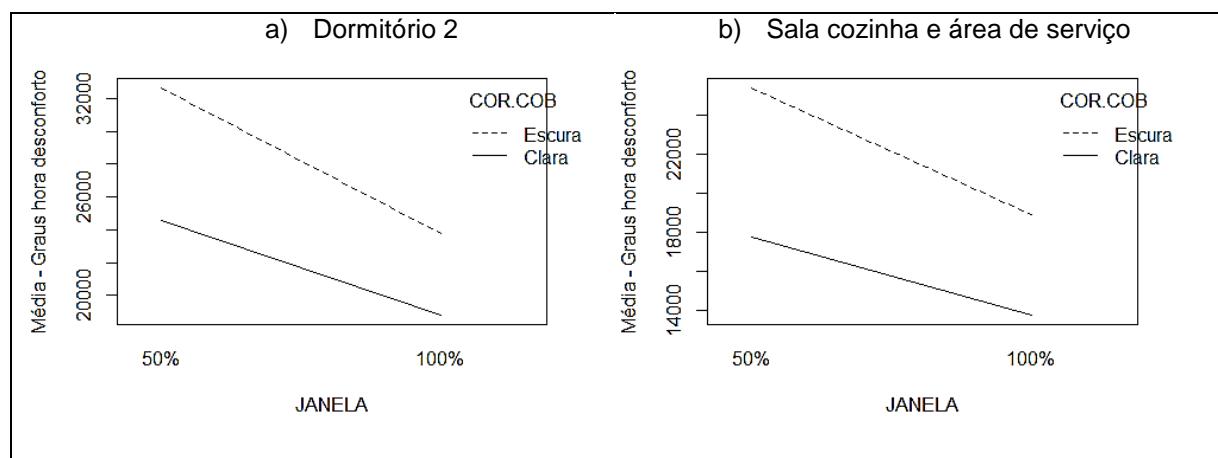


Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Examinando a interação entre a cor da cobertura e a abertura da janela para ventilação, observa-se algum paralelismo nas retas, indicando divergência dos efeitos (Figura 55). A mudança de 50% para 100% causa redução dos GHR assim como a

mudança da cor clara para a escura, porém os efeitos possuem pouca influência entre si.

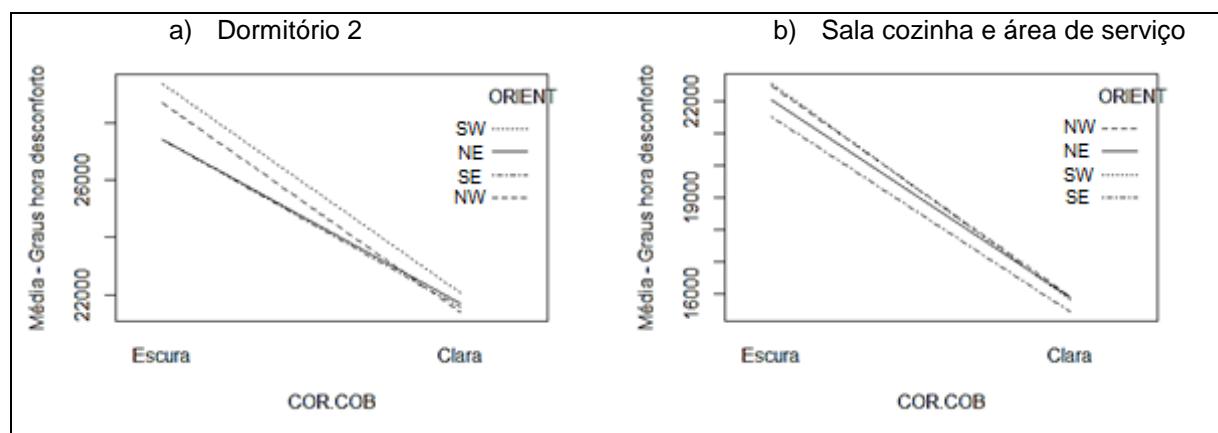
Figura 55 - Interação entre os parâmetros da janela e da cor da cobertura



Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Analizando a interação entre a cor da cobertura e a orientação da UH, observa-se paralelismo entre as retas para SW e NW e paralelismo entre as retas para SE e NE (Figura 56). Indica divergência (independência de efeito) entre as orientações à Oeste e à Leste. Na mudança da cor escura para clara da cobertura, há redução dos GHR, porém aparenta ter pouco efeito sobre a orientação.

Figura 56 - Interação entre os parâmetros da cor da cobertura e orientação



Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

4.6 COMPARAÇÃO DAS SIMULAÇÕES EXTREMAS

Dentre as 256 simulações obtidas para desenvolvimento deste estudo, destacam-se as que obtiveram a maior e a menor quantidade de GHR (Tabela 34). Na comparação dos resultados extremos e para a zona da Sala/Cozinha/Área de serviço, regista-se uma redução de 75,86% da quantidade de GHR. No caso da zona do Dormitório, a redução é de 74,28%.

Tabela 34 - Simulações com maior e menor quantidade de GHR

Parâmetros							GHR	
MAT. PAR.	COR PAR.	MAT. COB.	COR COB.	BRISE	JANELA	ORIENT.	Sala/ Coz./ A. de S.	Dorm2
1	1	2	1	1	1	2	38277.04	47016.14
2	2	1	2	2	2	1	9241.98	12092.48

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

No arquivo climático, é possível identificar os períodos com temperaturas extremas para o calor e para o frio do ambiente. No caso:

- Dias de calor: 03, 04 e 05 de março;
- Dias de frio: 16, 17 e 18 de junho.

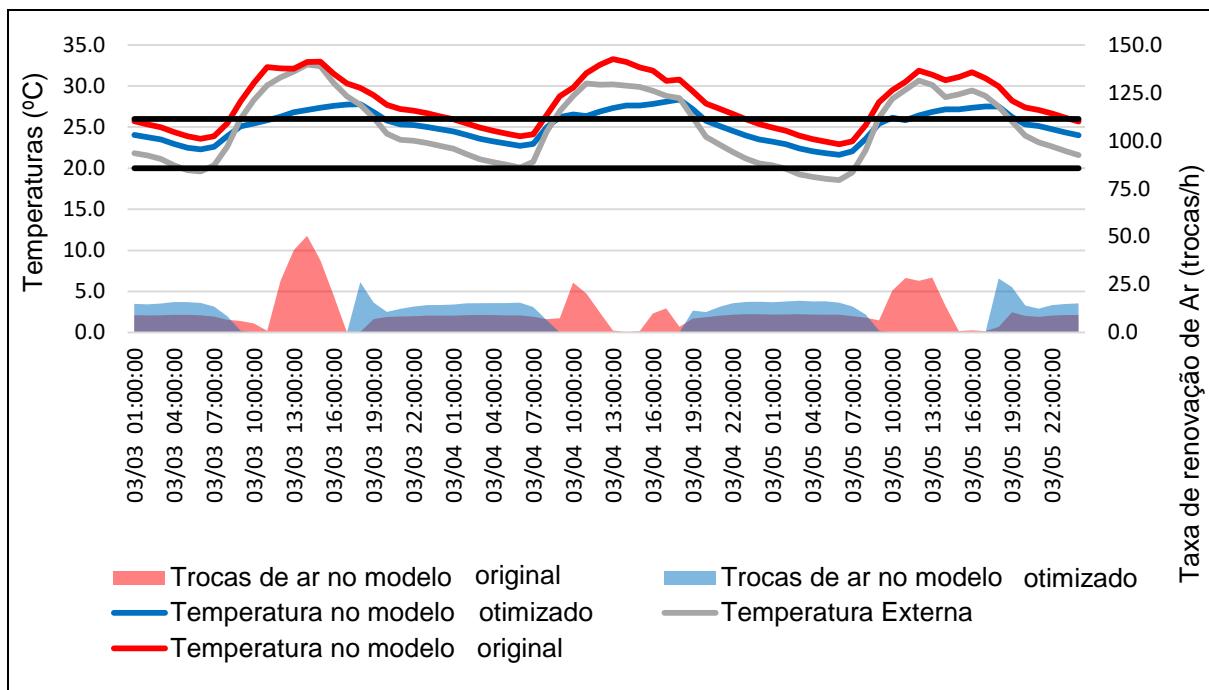
Para cada um desses períodos e em cada uma das zonas da edificação, é possível identificar a oscilação das temperaturas e das taxas de renovação de ar nas Figuras 57, 59, 60 e 60 para o modelo original (com maior quantidade de GHR) e para o modelo otimizado (que proporciona redução dos GHR).

No monitoramento das oscilações do modelo, durante dias de calor, na zona da Sala/Cozinha/Área de serviço, observa-se que a temperatura é mantida durante um período maior de tempo na faixa de conforto que o modelo original (Figura 57). Já nos dias de frio, o modelo otimizado mantém a temperatura mais constante, diferentemente do original que possui maior picos para calor e frio (Figura 58). A mesma condição também é observada quando se considera a zona do dormitório 2 (Figuras 59 e 60).

Quando comparadas as temperaturas do modelo otimizado e do original com a temperatura externa (ou do ambiente), observa-se que o original se apresenta sempre

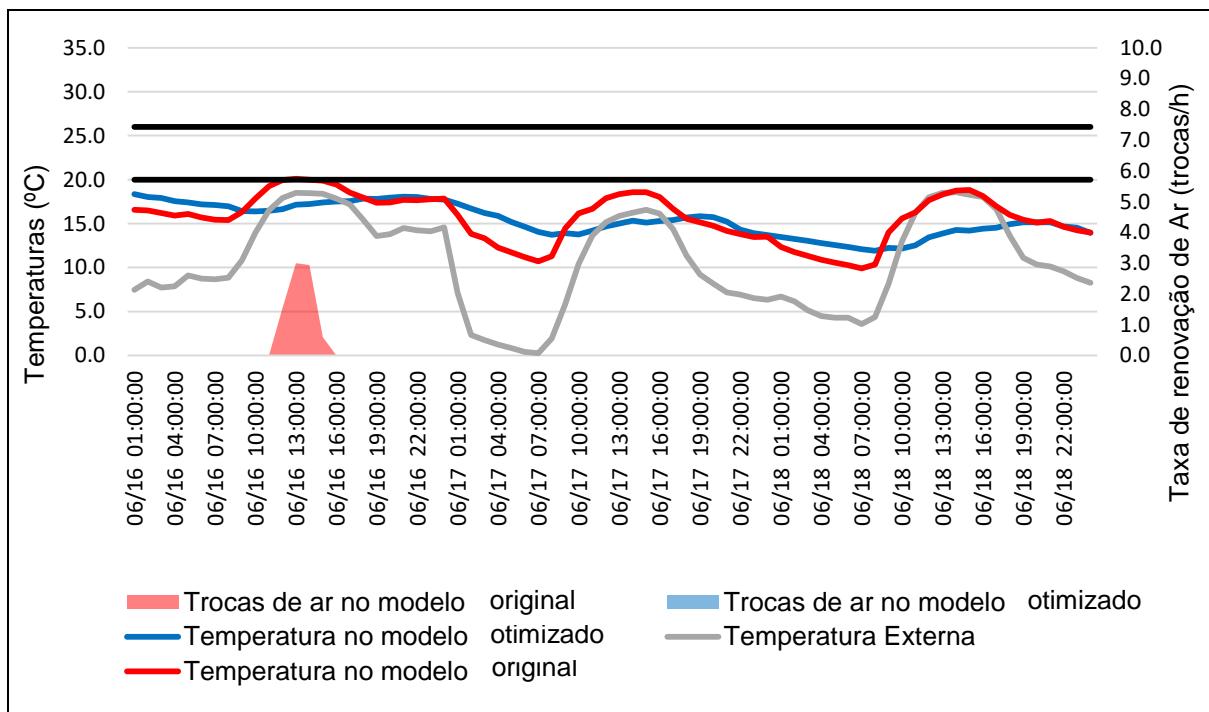
acima dessa condicionante (em dias de calor e de frio), o que prejudica na sensação de calor (por uma temperatura interna maior que a externa), mas que ajuda em dias de frio. O modelo otimizado apresenta sinergia com a temperatura ambiental, atenuando os picos de calor e de frio.

Figura 57 - Oscilação das temperaturas e taxas de infiltração de ar na zona da Sala / Cozinha / Área de serviço em dias de calor



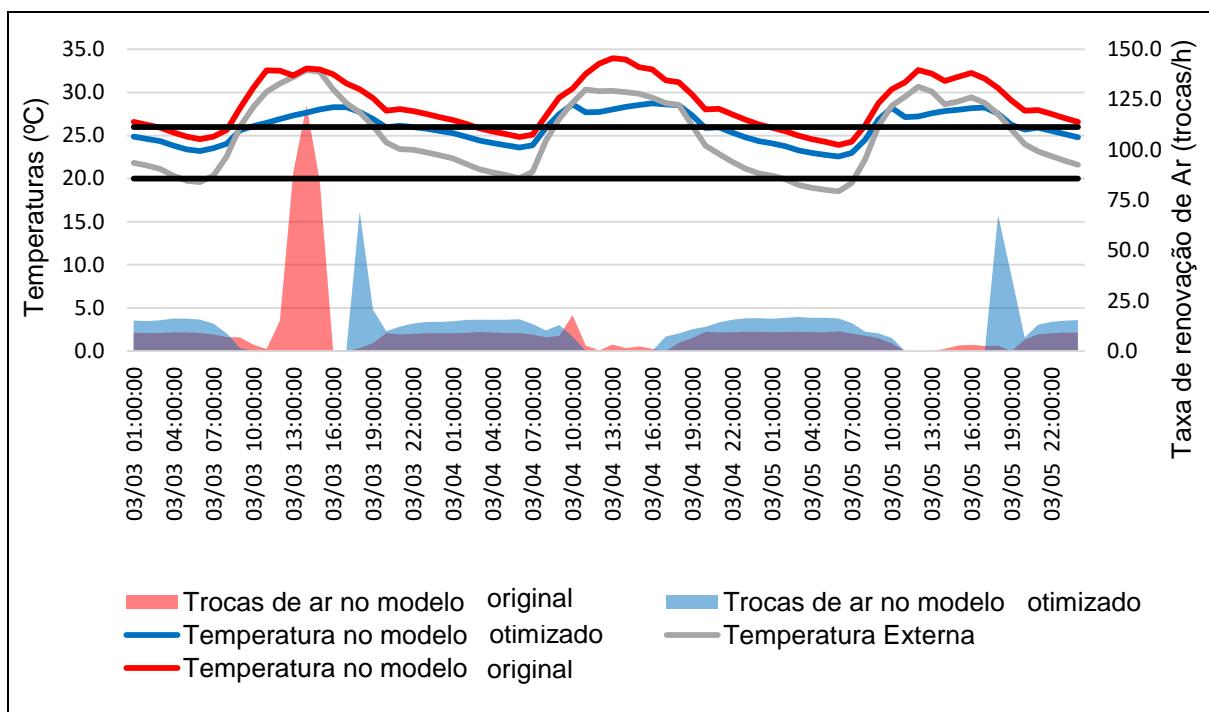
Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Figura 58 - Oscilação das temperaturas e taxas de infiltração de ar na zona da Sala/Cozinha/Área de serviço em dias de frio



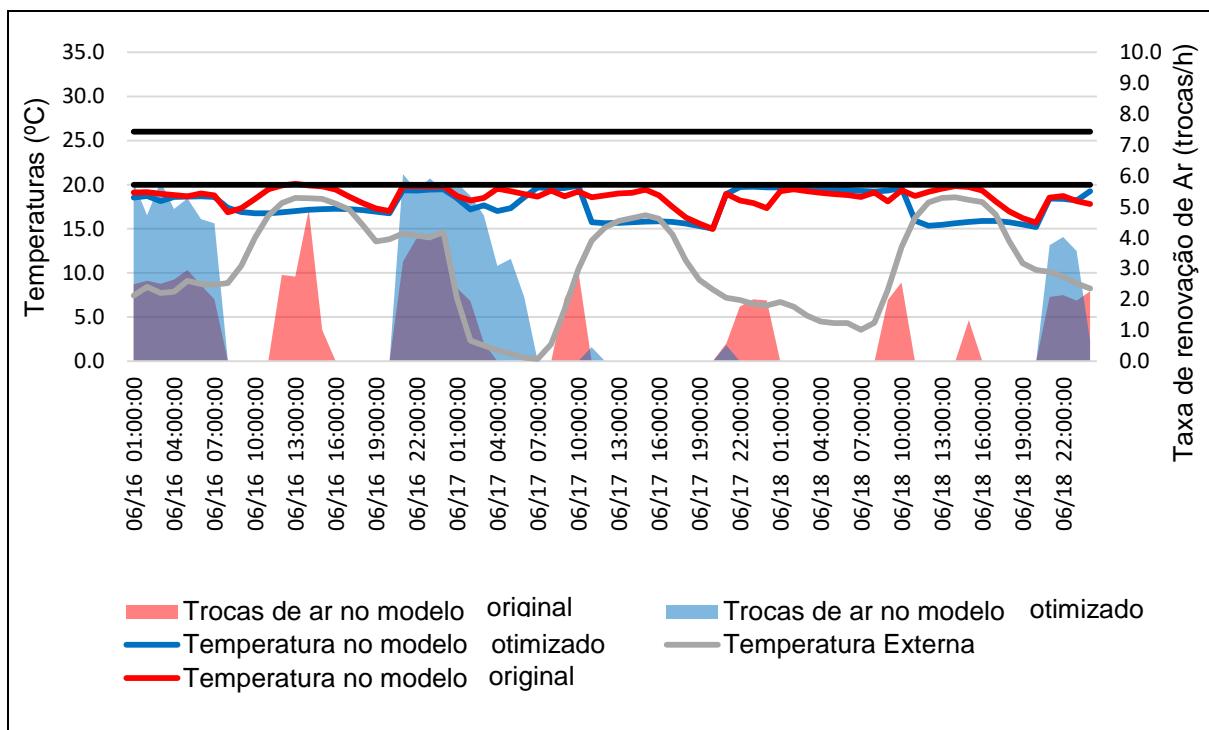
Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Figura 59 - Oscilação das temperaturas e taxas de infiltração de ar na zona dormitório 2 em dias de calor



Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

Figura 60 - Oscilação das temperaturas e taxas de infiltração de ar na zona dormitório 2 em dias de frio



Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

5 CONCLUSÃO

Para uso em simulação, a ausência do arquivo climático de Joinville pode ser suprida pela utilização do arquivo de Itapoá. As séries possuem distribuição mensal semelhantes, máximas, mínimas e médias muito próximas.

Em uma análise inicial da eficiência energética dos condomínios residenciais do MCMV implantados em Joinville, destaca-se as baixas pontuações obtidas junto ao método prescritivo do RTQ-R, indicando que nas diversas orientações, os componentes construtivos e as geometrias que vem sendo adotadas possuem classe "D". Há potencial para melhorias da eficiência e esses potenciais devem ser estudados e pontuados mediante simulação de desempenho térmico.

Mudança na cor da cobertura, alteração da abertura da janela para ventilação, mudança na cor das paredes externas e presença de brises possuem impacto significativo para mudanças dos GHR e em magnitude semelhante para as zonas estudadas.

A substituição do material das paredes externas de alvenaria para concreto gerou redução do GHR, contrariando a expectativa, uma vez que o concreto possui especificações para transmitância (U) e capacidade térmica (C_t) acima dos limitados pela norma de desempenho.

A orientação da UH obteve médias maiores de GHR na orientação SW (Sudoeste), seguido pelas orientações NW (Noroeste) e NE (Nordeste) e menores na orientação SE (Sudeste), em ambas as zonas.

O material de paredes e cobertura se mostrou pouco eficiente em causar mudanças expressivas e a orientação varia conforme a direção da fachada (irradiação solar) e a aberturas (incidência de ventos).

5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho apresenta algumas limitações, conforme segue:

- a) Ausência de um arquivo climático de Joinville;
- b) Uso dos parâmetros indicados apenas para Zonas bioclimáticas ZB5;
- c) Analisados apenas edifícios multifamiliares do MCMV faixa 1 construídos e em uso em Joinville;

- d) O intervalo de temperaturas para conforto térmico não considerou outros métodos como, por exemplo, o da temperatura adaptativa;
- e) Faz uma análise apenas da envoltória das edificações;
- f) Utiliza apenas a tipologia Rubia-Irmã nos estudos e desconsidera as demais;
- g) Desconsidera o impacto de edificações vizinhas sobre o desempenho da edificação;
- h) Não considera variações de parâmetros de envoltória, tais como tipos de vidros, tipos de esquadrias, mudanças no tamanho da abertura da esquadria, alterações do pé-direito das edificações;
- i) Foram ponderados exclusivamente materiais aprovados pelo SINAT (DATECs) como inovadores e que estão autorizados para uso em edificações multifamiliares do MCMV;
- j) Não foram simulados outros materiais aprovados pelo SINAT (DATECs);
- k) Não houve simulação de aparelhos de ar condicionado, nem ventilação híbrida;
- l) Os consumos de eletricidade não estão indicados;
- m) Não houve monitoramento das edificações para identificar a precisão dos resultados simulados;
- n) Considera apenas os graus hora de resfriamento (GHR);
- o) Não quantifica a quantidade de graus hora de aquecimento (GHA);
- p) Utiliza unicamente o método de planejamento de experimentos para análise de sensibilidade.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como complementação deste trabalho recomenda-se:

- a) A elaboração de um arquivo climático para uso nas simulações de edificações contidas na cidade de Joinville;
- b) Pesquisas para detalhamento dos padrões de uso e ocupação dessas edificações;
- c) Monitoramento das temperaturas das edificações construídas para validação do modelo de simulação;

- d) Identificar e analisar tipologias de edificações unifamiliares localizadas em Joinville;
- e) Quantificar os Graus Hora de Resfriamento em kWh para identificar potencial de redução do consumo de energia elétrica no caso do uso de ar condicionado.
- f) Quantificar os Graus Hora de Aquecimento e identificar potencialidade para sua adoção em Joinville.

REFERÊNCIAS

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

_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Informações Gerenciais**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/informacoes-gerenciais>>. Acesso em: 5 ago. 2017.

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Edgard Blucher, 2ª Edição 2014.

AMORIN, Silvia; VIEIRA, Roberta. Estudo comparativo da eficiência energética de uma habitação popular em alvenaria e em madeira no município de Ribeirão das Neves – MG . In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

BARBIERI, José C. **Desenvolvimento e meio ambiente**: as estratégias da agenda 21. Petrópolis: Vozes, 1997.

BENETTI, Willians. **Projeto do condomínio João Balício e Procurador Luiz Bernardo Wust**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <macrorodrigo@gmail.com> em 8 ago. 2016.

BRASIL. Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão (e-SIC). **Dados MCMV até 30 abr. 2017**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <macrorodrigo@gmail.com> em 16 jun. 2017.

_____. **Lei nº 11.977, de 7 de julho de 2009:** Dispõe sobre o Programa Minha Casa Minha Vida e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l11977.htm>. Acesso em: 15 jun. 2017.

BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Nosso Futuro Comum:** Comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2ª Edição 1991.

CECHINEL, Rodrigo J.; HENNING, Elisa; HACKENBERG, Ana Mirthes. **Uso do R para comparação de arquivos climáticos:** uma análise da aplicação do arquivo climático de Itapoá na cidade de Joinville. II Seminário Internacional de Estatística com R The World of Big Data Analysis. Niterói-RJ-Brasil (2017).

DEVORE, Jay L. **Probabilidade e estatística:** para engenharia e ciências. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 6ª Edição 2006.

DOE. **Programa Energyplus versão 8.4.0.** 2015. Disponível em: <<https://energyplus.net/>>. Acesso em: 11 nov. 2015.

ELETROBRAS. **PROCEL.** 2010. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/elb/data/Pages/LUMIS0389BBA8PTBRIE.htm>>. Acesso em: 7 out. 2015.

FAGUNDES, Renata M. **Aplicação do RTQ-R na avaliação da eficiência energética de edificações multifamiliares de interesse social para as zonas bioclimáticas brasileiras.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

FOSSATI, Michele; SCALCO, Veridiana Atanasio; LINCZUK, Vinícius Cesar Cadena; LAMBERTS, Roberto. **Building energy efficiency:** An overview of the Brazilian residential labeling scheme. Renewable and Sustainable Energy Reviews 65 (2016) 1216–1231

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Building**, vol.18, Amsterdan, 1992.

GOOGLE MAPS, 2016a. **Vista aérea da Rua Juliano Busarello - Boehmerwald, Joinville - SC**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

_____, 2016b. **Vista aérea da Rua Calisto - Jardim Paraíso, Joinville - SC**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

_____, 2016c. **Vista aérea da Rua Anita Maciel de Souza - Jardim Iririú, Joinville - SC**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

_____, 2016d. **Vista aérea da Rua Paranaguamirim - Paranaguamirim, Joinville - SC**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

_____, 2016e. **Vista aérea da Rua Areia Branca - Jardim Iririú, Joinville - SC**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

GRIGOLETTI, G. de C.; LINCK, G. I. **Análise de comportamento térmico de HIS téreos unifamiliares em Santa Maria, RS**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 109-123, abr./jun. 2014. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

GRUNBERG, Paula 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**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

HENNING, Elisa.; CECHINEL, Rodrigo .J.; TONDO, Gabriela. H.; HACKENBERG, Ana .M.; OLIVEIRA, T.A.C. **Aplicação do DOE no conforto térmico em edificações**. Revista TMQ Techniques, Methodologies and Quality. Vol. 7. 2016. No prelo.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades, Santa Catarina, Joinville**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=420910>>. Acesso em: 30 ago. 2016.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012**. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Brasília, DF, 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001627.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2015.

_____. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. 2013. Disponível em: <<http://pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/regulamentos>>. Acesso em 09 set. 2016.

ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**: Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva, 2005.

ISOPPO, Guilherme. **Dados climatológicos da estação da EPAGRI em Joinville entre 2013 a 2015**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <macrorodrigo@gmail.com> em 23 maio 2016.

IRENA. INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Renewable Capacity Statistics 2016**. Disponível em: <http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Capacity_Status_2016.pdf>. Acesso em: 7 set. 2017.

KELLY, S. **Do Homes that Are More Energy Efficient Consume Less Energy?** A structural equations model of the English residential sector. Energy, v. 36, n. 9, p. 5610-5620, 2011.

LABEEE. LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Universidade Federal de Santa Catarina. **Arquivo climático INMET de Itapoá**. Florianópolis, SC, 2016. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>>. Acesso em: 11 nov. 2016.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW, 3ª Edição 2014.

LAMBERTS, R.; MACIEL, A. A; ONO; E. T. **Programa Analysis Sol-Ar versão 6.2**. UFSC. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-solar>>. Acesso em: 11 nov. 2015.

LARSEN, Peter Z. **Projeto dos condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <macrorodrigo@gmail.com> em 27 maio 2016.

LOGSDON, Louise et al. **O morador e a moradia: um estudo de caso no PMCMV em Cuiabá-MT**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

MARIN, Héctor F.; CASATEJADA, M. Pilar; CHVATAL, Karin M. S.. **Impacto da temperatura de controle na operação das janelas e no conforto térmico para uma habitação de interesse social naturalmente ventilada em São Carlos – SP**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

MATOS, Michele. **Simulação Computacional do Desempenho Térmico de Residências em Florianópolis Utilizando a Ventilação Natural**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). UFSC, Florianópolis, 2007.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. C. **Uso de Instrumentos Computacionais Para Análise do Desempenho Térmico e Energético de Edificações no Brasil**: V.5. Ambiente Construído. Porto Alegre, v.5, n.4, p.47-68, out./dez. 2005.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Portaria nº 267, de 22 de março de 2017.** Dispõe sobre as condições gerais para aquisição de imóveis do PMCMV. Brasília, DF, 2017b. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/diarios/141089621/dou-secao-1-24-03-2017-pg-111?ref=next_button>. Acesso em: 16 jun. 2017.

_____. **Programa Minha Casa, Minha Vida.** Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www.cidados.gov.br/habitacao-cidades/programa-minha-casa-minha-vida-pmcmv>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

_____. Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H). Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT). **Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos.** Brasília, DF, 2011. Disponível em: <http://pbqp-h.cidados.gov.br/projetos_sinat.php>. Acesso em: 13 jul. 2017.

MME. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Avaliação da eficiência energética e geração distribuída.** Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2012-16%20-%20Ef%20energetica%202015-2024.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2017.

_____. **Boletins de Energia.** Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

_____. **Plano Nacional de Eficiência Energética.** Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1432134/Plano+Nacional+Efici%C3%AAncia+Energ%C3%A9tica+%28PDF%29/74cc9843-cda5-4427-b623-b8d094ebf863?version=1.1>>. Acesso em: 12 maio 2017.

MIRANDA, S. A. ; APOLÔNIO, R ; OMAR, L. G. ; CARVALHO, B. C. Processamento de Arquivo Climático para Avaliações de Conforto Ambiental em Cuiabá - MT. **XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Canela, RS, 2010.

MORAES, A. F. S.; GRANJA, A. D.; Abordagens de custo e valor em projetos de habitação de interesse social, 09/2016, **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Vol., pp.3710-3721, Maceió, AL, Brasil, 2016.

NATURESA, Jim Silva. **Eficiência energética, política industrial e inovação tecnológica.** Tese (Doutorado). UNICAMP, Campinas, SP, 2011.

OLIVEIRA, Raquel D.; SOUZA, Roberta V.; MAIRINK, Ana J.; RIZZI, Magno T.; DA SILVA, Roberto M. **Thermal Comfort for users according to the Brazilian Housing Buildings Performance Standards.** Energy Procedia, v. 78, p 2923-2928, nov. 2015.

PELLEGRINO, Margot. SIMONETTI, Marco, CHIESA, Giacomo. Reducing thermal discomfort and energy consumption of Indian residential buildings: Model validation by in-field measurements and simulation of low-cost interventions. **Energy and Buildings**, 2015, p. 145–158.

PEREIRA, Cláudia D.; GHISI, Enedir; GÜTHS, Saulo. **Comparação do desempenho térmico de revestimentos brancos.** Paranoá, Brasília, no 12, p. 65-72, 2013.

PORTAL ACTION. **Teste Kruskal Wallis.** Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/9764testedekruskalwallis>>. Acesso em 05 maio 2017.

REIS, Edson. **Projeto dos condomínios Trentino 1 e 2.** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <macrorodrigo@gmail.com> em 15 ago. 2016.

R Core Team (2016). **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 30 jul. 2017.

RORIZ, Maurício. **ZZBR versão 1.1:** Programa Zoneamento Bioclimático Brasileiro. UFSCAR, 2004. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/softwares/ZBBR.zip>>. Acesso em: 30 nov. 2016.

RUPP, Ricardo F. **Dimensionamento de área de janela em edificações comerciais**: integração da iluminação natural com a artificial e utilização da ventilação híbrida. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SEHAB. SECRETARIA DA HABITAÇÃO – PREFEITURA DE JOINVILLE. **Pretendentes inscritos para habitação popular em Joinville até 12/12/2016**. Disponível em: < <https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2016/06/Lista-de-pretendentes-inscritos-para-programas-habitacionais-no-Munic%C3%ADpio-de-Joinville-atualizada-at%C3%A9-12-12-2016.pdf> >. Acesso em: 15 jun. 2017.

SILVA, Arthur Santos. **Desenvolvimento de um método para avaliação do desempenho térmico e energético de edificações aplicando análise de incertezas e sensibilidade**. Tese (Doutorado). UFSC, Florianópolis, SC, 2016.

SILVA, A. S.; GHISI, E. **Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 213-230, jan./mar. 2014.

_____. **Análise de sensibilidade global dos parâmetros termofísicos de uma edificação residencial de acordo com o método de simulação do RTQ-R**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 135-148, jul./set. 2013.

SORGATO, Marcio José. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. Dissertação (Mestrado). UFSC, Florianópolis, SC, 2009.

TIAN, Wei. **A review of sensitivity analysis methods in building energy analysis**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 20 (2013) 411–419.

VERSAGE, Rogério. **Ventilação natural e desempenho térmico em edifícios verticais multifamiliares em Campo Grande, MS**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

ANEXOS

Anexo 1 – RTQ-R: Análise da envoltória e dos pré-requisitos dos ambientes

Zona Bioclimática	ZB	DETALHE IMPORTANTE: após os cálculos não modificar a zona bioclimática da célula E10	
Ambiente	Identificação	adimensional	
	Área útil do APP	m ²	
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	
	Contato com solo	adimensional	
	Sobre Pilóis	adimensional	
Cobertura	Ucob	W/m ² K	
	CTcob	kJ/m ² K	
	ocob	adimensional	
Paredes Externas	Upar	W/m ² K	
	CTpar	kJ/m ² K	
	opar	adimensional	
Característica construtiva	CTbaixa	brâncio	
	CTalta	branô	
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m ²	
	SUL	m ²	
	LESTE	m ²	
	OESTE	m ²	
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m ²	
	SUL	m ²	
	LESTE	m ²	
	OESTE	m ²	
Características das Aberturas	Fevent	adimensional	
	Somb	adimensional	
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m ²	
	Pé Direito	m	
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	C altura	adimensional	
	isol	brâncio	
	vid	branô	
	Uvid	W/m ² K	
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	#
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m ² .ano	#
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m ² .ano	#

Pré-requisitos por ambiente			
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	Upar, CTpar e opar atendem?	Sim
	Cobertura	Ucob, CTcob e ocob atendem?	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório? Há corredor no Ambiente? Se sim, qual é a ALamb sem contar a área deste corredor?	
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação (m ²) Av/Auamb (%) Atende 12,5%?	
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação Av/Auamb (%) Atende % mínima? Tipo de abertura Abertura passível de fechamento? ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C? Atende?	Não

Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Ponderação da nota pela área útil do ambiente	
	Envoltória para Verão	#
	Envoltória para Inverno	#
	Envoltória se Refrigerada Artificialmente	Não se aplica

A PONTUAÇÃO ACIMA NÃO É A NOTA FINAL DA ENVOLTÓRIA. AINDA É NECESSÁRIO PREENCHER ALGUNS PRÉ-REQUISITOS NA ABA "Pré-requisitos da UH".

Fonte: INMETRO (2012).

Anexo 2 - RTQ-R: Análise dos pesos sobre a pontuação final da envoltória

Célula explicativa	Variável	Variação (%)	Porcentagem 0			
			Recomendada	Avaliada	Graus-hora para Refrigeração (GHR)	Consumo para Aquecimento (CA)
Ambiente	Altamb	3,00	3,00	Escolha uma: 2B	Escolha uma: 2B	
	Ukob	0,50	0,50	Escolha uma: 2B	Escolha uma: 2B	
Cobertura	CTcab	2,00	2,00	Escolha uma: 2B	Escolha uma: 2B	
	ecob	0,50	0,40	Escolha uma: 2B	Escolha uma: 2B	
Paredes Externas	Upar	0,50	0,50	- Escolha uma: 2B	- Escolha uma: 2B	
	CTpar	2,00	50,00	Escolha uma: 2B	Escolha uma: 2B	
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	upar	0,10	0,10	- Escolha uma: 2B	- Escolha uma: 2B	
	APambN	2,00	2,00	Escolha uma: 2B	Escolha uma: 2B	
Áreas de Aberturas Externas	APambS	2,00	2,00	Escolha uma: 2B	Escolha uma: 2B	
	APambL	2,00	2,00	Escolha uma: 2B	Escolha uma: 2B	
Características das Aberturas	APambO	2,00	2,00	Escolha uma: 2B	Escolha uma: 2B	
	AAabN	0,50	0,50	- Escolha uma: 2B	- Escolha uma: 2B	
Características Gerais	AAabS	0,50	0,50	Escolha uma: 2B	Escolha uma: 2B	
	AAabL	0,50	0,50	Escolha uma: 2B	Escolha uma: 2B	
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	Event	0,25	0,25	Escolha uma: 2B	Escolha uma: 2B	
	Pd	0,20	0,20	Escolha uma: 2B	Escolha uma: 2B	
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2		0,50	0,50	Escolha uma: 2B	Escolha uma: 2B	
Valor sem variar		-	-	Escolha uma: 2B	Escolha uma: 2B	#

Fonte: INMETRO (2012).

Anexo 3 - RTQ-R: Análise dos pré-requisitos da envoltória e equivalente numérico

Pré Requisitos da Envoltória	Medição individual de água?	
	Medição individual de energia?	
	Área Aberturas orientação Norte	
	Área Aberturas orientação Sul	
	Área Aberturas orientação Leste	
	Área Aberturas orientação Oeste	
	A2/A1	
	Atende A2/A1 maior ou igual a 0,25?	
	Nº BWC	
	Nº Banheiros com ventilação natural	
Banheiros com Ventilação Natural		Atende 50% ou mais dos banheiros com ventilação natural?

Pontuação após avaliar os pré-requisitos gerais da UH		Nota anterior aos pré-requisitos	Nota posterior ao pré-requisito de ventilação cruzada
	Envoltória para Verão		
	Envoltória para Inverno		
	Envoltória se Refrigerada Artificialmente		
Equivalente numérico da envoltória da UH		Nota anterior aos pré-requisitos restantes	Nota final da envoltória da UH
		Não preenchido	Não preenchido
		Não preenchido	Não preenchido

Fonte: INMETRO (2012).

Anexo 4 - RTQ-R: Análise das bonificações

Bonificações		
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m ²)
		0
		AATVS (m ²)
		0
		AATVL (m ²)
		0
		AATVO (m ²)
		0
		ATFN (m ²)
		ATFS (m ²)
		ATFL (m ²)
		ATFNO (m ²)
		Pavimento da UH
		Porosidade a Atender
		20.0%
		Porosidade Norte
		0.0%
		Porosidade Sul
		0.0%
		Porosidade Leste
		0.0%
		Porosidade Oeste
		0.0%
		Atende pelo menos 2 fachadas?
		Não
		Bonificação
		0
Bonificação Iluminação Natural	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?
		Quais dispositivos?
		Bonificação
	Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?
		Bonificação
	Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre \geq 30% da área da abertura?
		Bonificação
Outras Bonificações	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_s$?
		Bonificação
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?
		Bonificação
	Iluminação Artificial	Bonificação de uso racional de água
		Bonificação de condicionamento artificial de ar
		Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)
		Bonificação
	Ventiladores de Teto	Ventiladores de teto com Selo Procel em 2/3 dos ambientes de permanência prolongada?
		Bonificação
	Refrigeradores	Apresenta refrigerador(es) com ENCE nível A ou Selo Procel?
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?
		Bonificação
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?
		Bonificação

Fonte: INMETRO (2012).

Anexo 5 - RTQ-R: Análise do aquecimento de água

Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução e que se desbriam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	
	O sistema apresenta aquecimento solar?	
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m ² K)/W?	
	Além?	Sim
	As tubulações para água quente são metálicas?	
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	
	Espessura do isolamento (cm)	
Sistema de aquecimento Solar	Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	
	Além?	
	A maior classificação que a IAH pode atingir em aquecimento de água é:	
	Os coletores solares possuem ENCE A, ou B ou Selb Procel e os reservatórios apresentam Selb Procel?	
Sistema de aquecimento a Gás	Qual é o volume de armazenamento real do reservatório (litros)?	
	Qual é a área de coletores solares existente? (m ²)	
	Volume de reservatório por área de coletor (l/m ²)	
	Sistemas de aquecimento solar com backup por resistência elétrica. Equivalente à fração solar anual	
	Demandas	
	Classificação	
Bombas de Calor	Pré-requisito: os aquecedores a gás do tipo instantâneo e de acumulação possuem ENCE A, ou B?	
	Potência do sistema de aquecimento e volume de armazenamento dentro da variação de + ou - 20%?	
	Demandas	
Classificação		
Sistema de Aquecimento Elétrico	Insira o COP do Equipamento (W/W)	
	Demandas	
	Classificação	
Aquecedores elétricos de passagem, chuveiros elétricos e torneiras elétricas	Insira a Potência Máxima do Equipamento (W)	
	Demandas	
	Classificação	
Aquecedor elétrico de Hidromassagem	Insira a Potência Máxima do Equipamento (W)	
	Demandas	
	Classificação	
Aquecedores elétricos por acumulação (Boiler)	Escolha uma opção ao lado:	
	Demandas	
	Classificação	
Caldeiras a óleo	Apresenta Caldeira a óleo?	
	Demandas	
	Classificação	
Nota final para o aquecimento de água		

Fonte: INMETRO (2012).

Anexo 6 - RTQ-R: Pontuação total

Pontuação Total	Identificação	
	Envoltória para Verão	
	Envoltória para Inverno	
	Aquecimento de Água	E
		0.00
	Equivalente numérico da envoltória	A
		Não preenchido
	Envoltória se refrigerada artificialmente	
	Bonificações	0.00
	Região	Sul
	Coeficiente a	0.65
Classificação final da UH		
Pontuação Total		

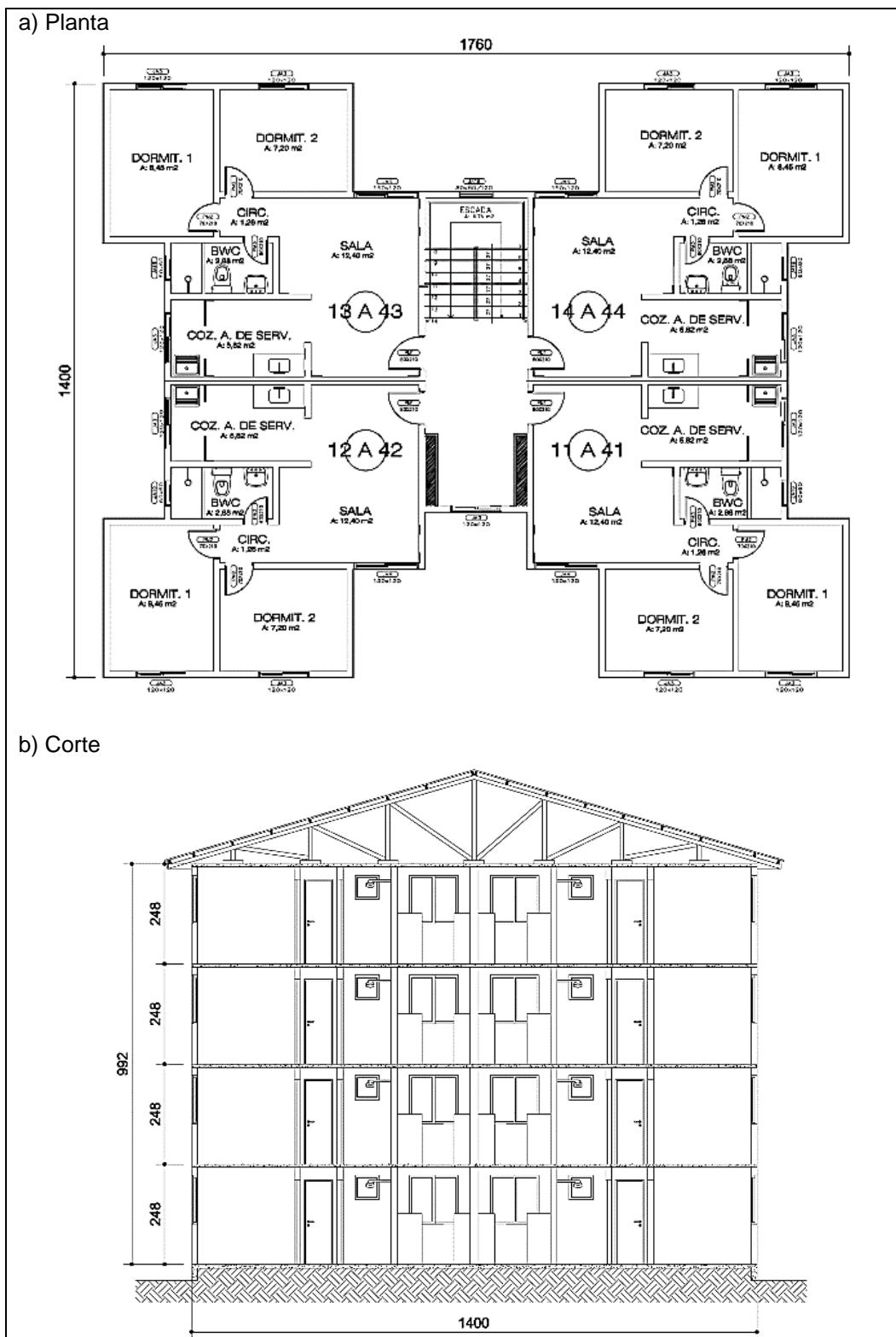
Fonte: INMETRO (2012).

Anexo 7 - Tipos de tintas, cores e absorções

Tipo	Número	Cor	Nome	α	Tipo	Número	Cor	Nome	α
Acrílica Fosca	01	Amarelo Antigo	Amarelo Antigo	51,4	Látex PVA Fosca	40	Branco Gelo	Branco Gelo	34,0
	02	Amarelo Terra	Amarelo Terra	64,3		41	Erva doce	Erva doce	21,9
	03	Areia	Areia	44,9		42	Flamingo	Flamingo	46,8
	04	Azul	Azul	73,3		43	Laranja	Laranja	39,9
	05	Azul Imperial	Azul Imperial	66,9		44	Marfim	Marfim	29,7
	06	Branco	Branco	15,8		45	Palha	Palha	28,5
	07	Branco Gelo	Branco Gelo	37,2		46	Pérola	Pérola	25,7
	08	Camurça	Camurça	57,4		47	Pêssego	Pêssego	39,5
	09	Concreto	Concreto	74,5		48	Alecrim	Alecrim	64,0
	10	Flamingo	Flamingo	49,5		49	Azul bali	Azul bali	48,9
	11	Jade	Jade	52,3		50	Branco Neve	Branco Neve	10,2
	12	Marfim	Marfim	33,6		51	Branco Gelo	Branco Gelo	29,7
	13	Palha	Palha	36,7		52	Camurça	Camurça	55,8
	14	Pérola	Pérola	33,0		53	Concreto	Concreto	71,5
	15	Pêssego	Pêssego	42,8		54	Marfim	Marfim	26,7
Acrílica Semi-brilho	16	Tabaco	Tabaco	78,1		55	Marrocos	Marrocos	54,7
	17	Terracota	Terracota	64,6		56	Mel	Mel	41,8
	18	Amarelo Antigo	Amarelo Antigo	49,7		57	Palha	Palha	27,2
	19	Amarelo Terra	Amarelo Terra	68,6		58	Pérola	Pérola	22,1
	20	Azul	Azul	79,9		59	Pêssego	Pêssego	35,0
	21	Branco Gelo	Branco Gelo	36,2		60	Telha	Telha	70,8
	22	Cinza	Cinza	86,4		61	Vanila	Vanila	23,9
	23	Cinza BR	Cinza BR	61,1	Látex PVA Fosca	62	Amarelo Canário	Amarelo Canário	25,2
	24	Crepúsculo	Crepúsculo	66,0		63	Areia	Areia	35,7
	25	Flamingo	Flamingo	47,3		64	Azul Profundo	Azul Profundo	78,0
	26	Marfim	Marfim	33,9		65	Branco Neve	Branco Neve	18,2
	27	Palha	Palha	39,6		66	Branco Gelo	Branco Gelo	28,1
	28	Pérola	Pérola	33,9		67	Camurça	Camurça	53,2
	29	Preto	Preto	97,1		68	Cerâmica	Cerâmica	65,3
	30	Telha	Telha	69,6		69	Concreto	Concreto	71,6
	31	Terracota	Terracota	68,4		70	Flamingo	Flamingo	44,4
	32	Verde Quadra	Verde Quadra	75,5		71	Marfim	Marfim	24,5
	33	Vermelho	Vermelho	64,2		72	Palha	Palha	26,4
Látex PVA Fosca	34	Amarelo Canário	Amarelo Canário	29,3		73	Pérola	Pérola	22,9
	35	Amarelo Terra	Amarelo Terra	61,4		74	Pêssego	Pêssego	29,8
	36	Areia	Areia	39,0		75	Preto	Preto	97,4
	37	Azul angra	Azul angra	32,3		76	Vanila	Vanila	27,7
	38	Branco Sereno	Branco Sereno	26,6		77	Verde Musgo	Verde Musgo	79,8
	39	Branco	Branco	11,1		78	Vermelho Cardinal	Vermelho Cardinal	63,3

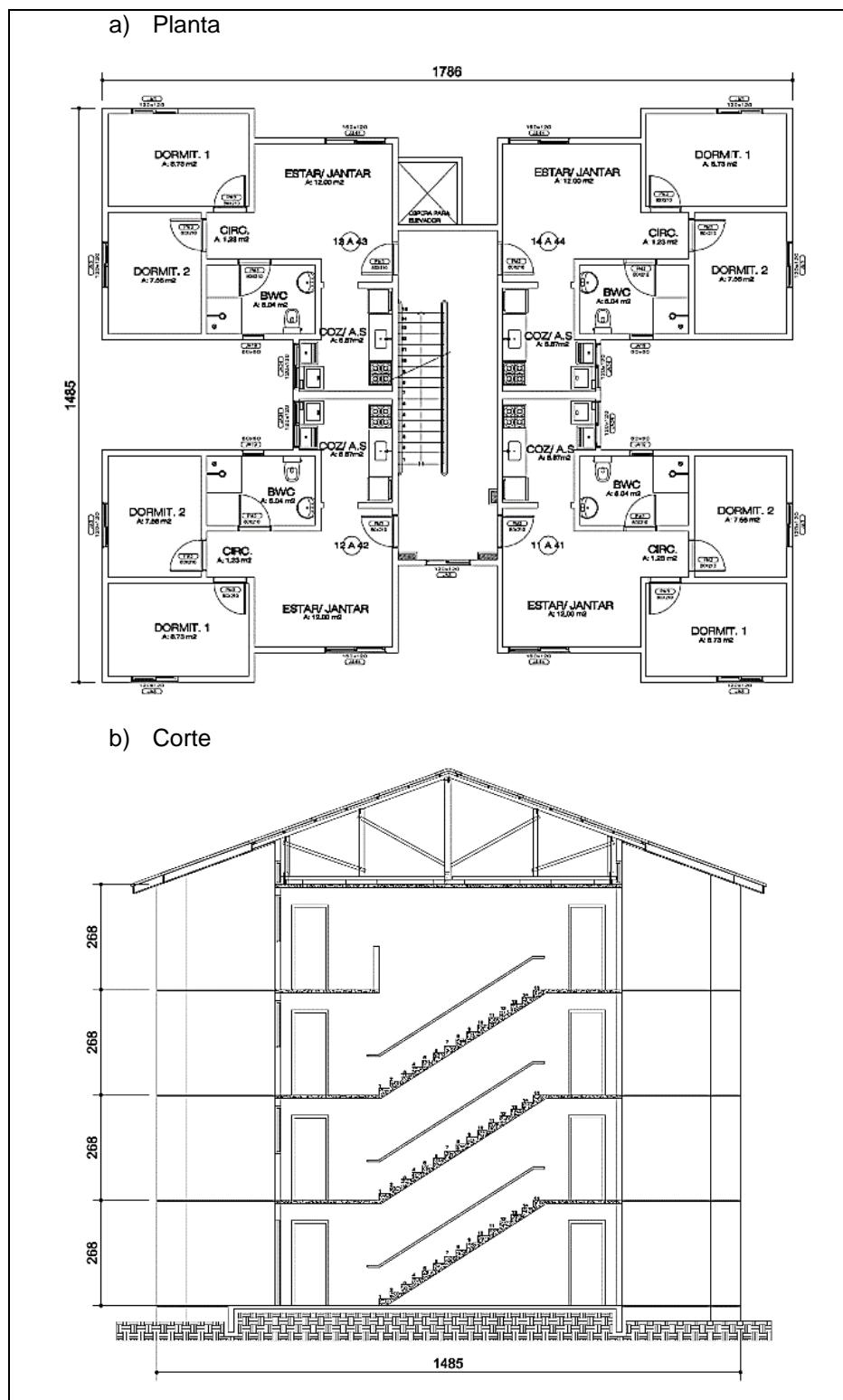
Fonte: Dornelles (2008) apud INMETRO (2013).

Anexo 8 – Projeto típico ampliado dos Condomínios Trentino 1 e 2



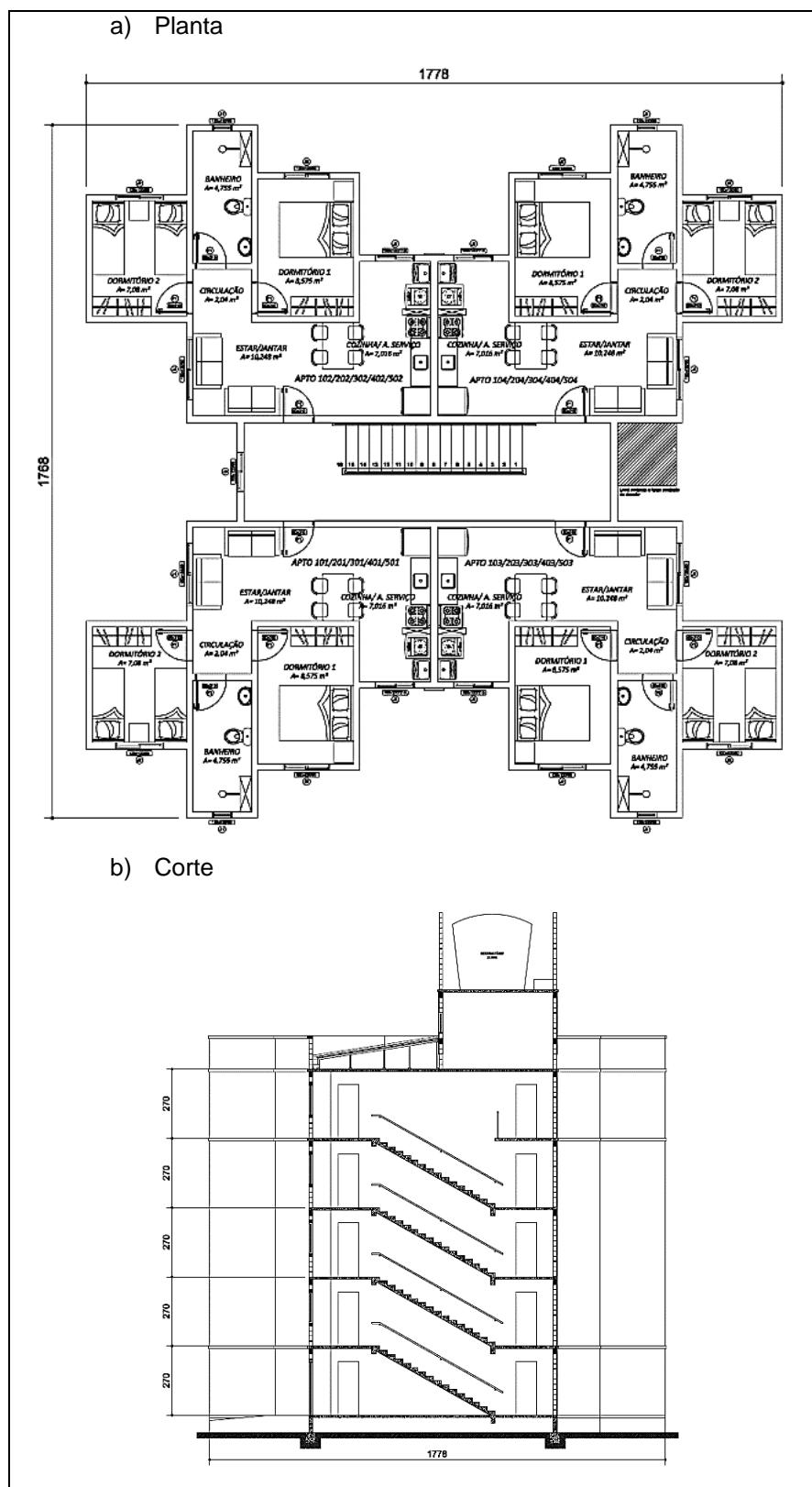
Fonte: Reis (2016).

Anexo 9 - Projeto típico ampliado dos Condomínios Engenheira Rúbia Kaiser A e B e Irmã Maria da Graça



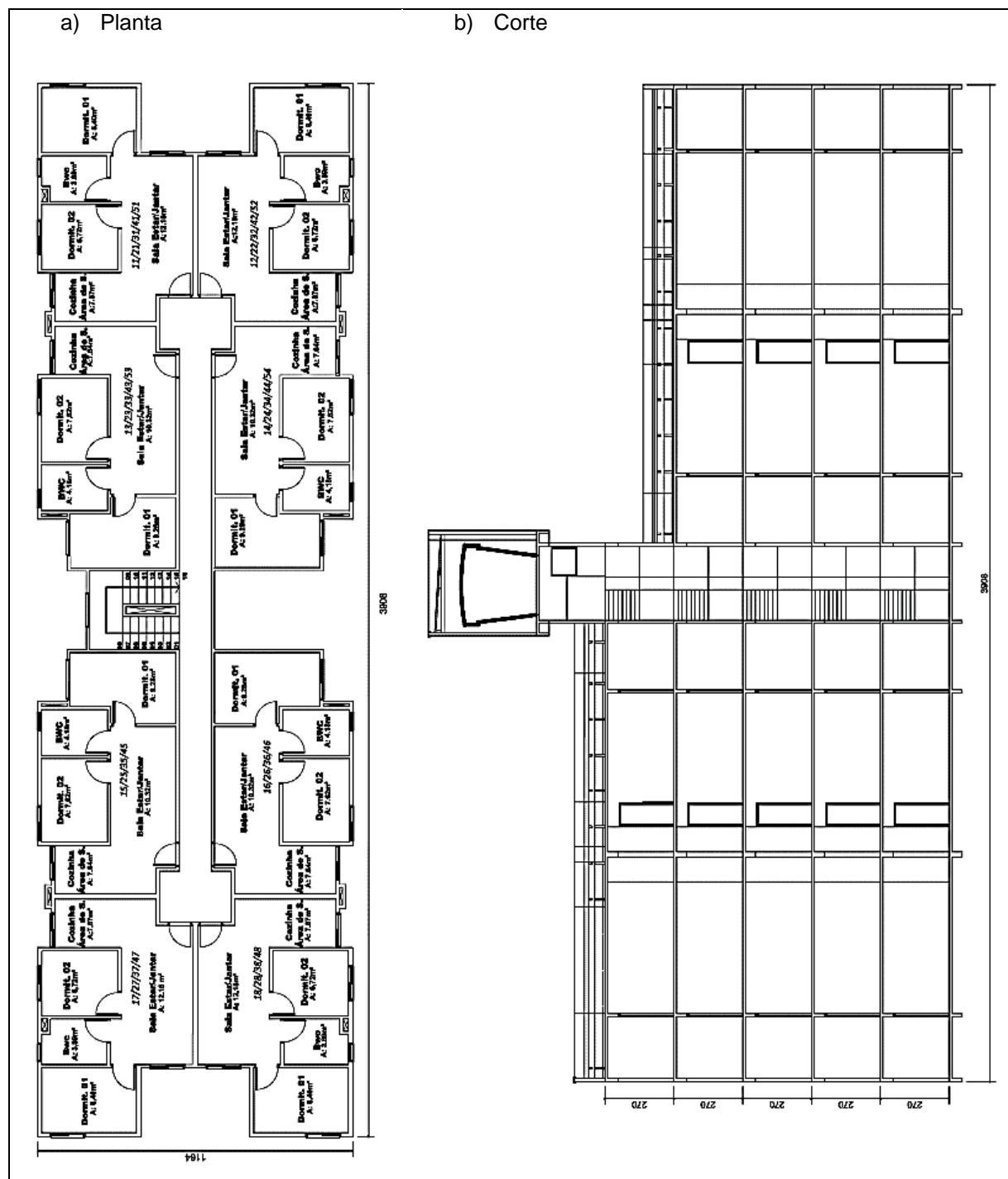
Fonte: Larsen (2016).

Anexo 10 - Projeto típico ampliado do Condomínio Procurador Luiz Bernardo Wust



Fonte: Benetti (2016).

Anexo 11 - Projeto típico ampliado do Condomínio João Balício Bernardes



Fonte: Benetti (2016).