CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

FERNANDA MOURÃO DUTRA DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE ESTRATÉGIAS ARQUITETÔNICAS DE BAIXO CUSTO SOBRE O DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO EM EDIFICAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL NO RIO DE JANEIRO

BELO HORIZONTE
2020

FERNANDA MOURÃO DUTRA DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE ESTRATÉGIAS ARQUITETÔNICAS DE BAIXO CUSTO SOBRE O DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO EM EDIFICAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL NO RIO DE JANEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Cabral de Azevedo
Coorientadora: Profa. Dra. Raquel Diniz Oliveira

BELO HORIZONTE
2020

Oliveira, Fernanda Mourão Dutra de
O48a Avaliação do impacto de estratégias arquitetônicas de baixo custo sobre o desempenho termoenergético em edificações de interesse social no Rio de Janeiro / Fernanda Mourão Dutra de Oliveira. – 2020.
135 f. : il., gráfs, tabs., fotos.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Civil.
Orientador: Rogério Cabral de Azevedo.
Coorientadora: Raquel Diniz Oliveira.
Bibliografia: f. 121-135.
Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil

1. Edifícios residenciais – Projetos e construções – Rio de Janeiro – Teses. 2. Edifício – Conservação de energia – Teses. 3. Energia – Fontes alternativas – Teses. 4. Simulação computacional – Teses. I. Azevedo, Rogério Cabral de. II. Oliveira, Raquel Diniz. III. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD 621.3108153

Elaboração da ficha catalográfica pela bibliotecária Jane Marangon Duarte, CRB 6º 1592 / Cefet/MG

DEDICATÓRIA

À minha Xaxá,
sem você, Estherzinha e Díbotas eu não estaria aqui.

Vó Nahylda, sua luz me guia mesmo quando penso não enxergar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu orientador, Prof. Dr. Rogério Cabral de Azevedo, pela extrema dedicação, paciência, incentivo e apoio, fundamentais para a conclusão deste trabalho.

À minha orientadora, Profa. Dra. Raquel Diniz Oliveira, pelos ensinamentos compartilhados e pela constante assistência e disponibilidade em me auxiliar nos momentos de dúvida e apreensão.

Ao meu querido irmão Henrique, pelo grande apoio, ensinamentos e colaboração. Sem você a discussão dos resultados da pesquisa não seriam tão interessantes, sem você a minha vida não teria graça.

À minha Mãe, que me recebeu, apoiou e deu suporte durante todo esse processo, contando os minutos para cada entrega, sofrendo a cada noite mal dormida e comemorando cada uma das minhas conquistas como se fossem suas.

Aos meus Padrinhos, Júnia e Antônio Carlos, as pessoas que mais acreditam na minha capacidade. Obrigada por cada sorriso, abraço e tarde de Domingo no sofá. Por todo o apoio, suporte e amor.

Ao meu Pai, por ser o meu grande “porto seguro”. Ao meu Vô Oto por ter sido o primeiro a me mostrar a beleza da pesquisa.

Ao Professores Pedro Granata e Lucas Gonçalves que tornaram esse processo muito mais leve com sua energia positiva, sorrisos e ensinamentos de todas as manhãs.

Aos amigos pelos sorrisos largos, descontrações e momentos de alegria.

À Karen, por ser a grande amiga que é, acompanhando cada passo e torcendo, mesmo sem saber pelo que.

À Evelyse, por me ouvir, me entender e não me deixar na solidão.

Ao Francisco, simplesmente por ser Francisco e saber exatamente como agir e a hora de agir.

Ao meu amado amigo Matteo, um grande pilar da minha história.

Aos colegas de PPGEC, pelas risadas, pipocas e muito pagode japonês, em especial às minhas queridas amigas Maíra, Marília e Tathiana.

Ao meu querido Brunelesco, o meu grande companheiro dessa caminhada, pelas conversas, pelos lanches, pelas formatações, pelas brigas, pelos choros, pelo apoio,

pelos sorrisos, por ter estado ao meu lado em todos os momentos. MUITO OBRIGADA!

A Lena Nabuco de Abreu, que sempre acreditou.

À ARES arquitetura pelo empréstimo de equipamentos pertinentes à pesquisa.

Ao CEFET-MG e ao PPGEG, assim como todos os seus funcionários e professores.

À CAPES, FAPEMIG, CNPQ e FINEP pelo apoio à pesquisa.

EPÍGRAFE

- É pecado sonhar?

- Não, Capitu. Nunca foi.

- Então por que essa divindade nos dá golpes tão fortes de realidade e parte nossos sonhos?

- Divindade não destrói sonhos, Capitu. Somos nós que ficamos esperando ao invés de fazer acontecer.

(Machado de Assis)

RESUMO

O consumo energético pelo parque edificado mundial corresponde a quase 50% de toda a energia consumida mundialmente. No Brasil esse valor supera a média mundial sendo metade desta demanda destinada às construções residenciais. Nesse contexto existe, ainda, previsão de aumento da demanda energética para os próximos anos, assim como o crescimento contínuo do déficit habitacional nacional. Soma-se a isso o crescimento do consumo de equipamentos de arrefecimento de ar para suprir o aumento do desconforto causado pelas mudanças climáticas e fenômenos das ilhas de calor. Em vista disso, o objetivo dessa pesquisa foi identificar e analisar estratégias construtivas aplicáveis a edifícios residenciais existentes, que possam aprimorar sua eficiência energética, ou seja, manter o mesmo funcionamento da edificação mas com menor consumo de energia, no que tange aos sistemas de climatização dos ambientes. Para tanto utilizou-se um modelo numérico com o objetivo de averiguar o desempenho energético tendo por referência um conjunto habitacional localizado na cidade do Rio de Janeiro. Como resultado, identificou-se que a combinação das estratégias: dispositivos de sombreamento, instalação de venezianas nas aberturas e alteração da cor da fachada para tons mais claros foi a solução que apresentou maior redução na temperatura operativa dos ambientes internos das edificações. A redução na temperatura operativa está diretamente ligada à redução do desconforto térmico vivenciado por usuários de edificações e da necessidade de climatização dos ambientes. Desse modo, o uso de estratégias bioclimáticas pode reduzir o uso de climatizadores de ambientes e o consequente consumo energético. A presente pesquisa contribuiu para identificar estratégias passíveis de serem aplicadas em edificações MCMV e reduzir o impacto ambiental dessas construções.

Palavras-chave:Edificações residenciais; Retrofit energético; Estratégias bioclimáticas passivas; Simulação computacional.

ABSTRACT

The energy consumption by the world built park corresponds to almost 50% of all the energy demanded. In Brazil, this value exceeds the world average. Half of this demand is consumed by residential buildings. Likewise, a forecast of electricity increasing demand and supply for the coming years as well as the continuous growth of the national housing deficit are expected. Additionally, the growth of the energy consumption produced by air conditioning devices to amend the increased discomfort caused by climate change and heat island phenomena is also observed. In view of this, the present research objective was to identify and analyze constructive strategies applied to existing residential buildings, which can improve their energy efficiency considering the room air conditioning systems. For this purpose, a numerical model of air circulation in residential buildings was carried out to ascertain the energy performance considering a housing complex located in the city of Rio de Janeiro, in Brazil. Thereafter, the results of passive strategies adoption related to the bioclimatic architecture in those buildings were evaluated, in a complementary character. As a result, identified that the combination of shading strategies and shutter as well as lighten the facade color was the solution that showed the greatest reduction in the room operative temperature of the buildings, reaching reductions of up to 2,94°C.The reduction in operating temperature is directly linked to the reduction of thermal discomfort experienced by building users and the need for air conditioning in the environments. Thus, the use of bioclimatic strategies can reduce the use of air conditioners and the consequent energy consumption. This research contributed to identify strategies that can be applied in MCMV buildings and reduce the environmental impact of these constructions.

Key words: *Residential building; Energy retrofit; Bioclimatic passive strategies; building simulation.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vértices da tríade vitruviana....24
Figura 2 - Exemplos de cargas internas de uma edificação residencial....29
Figura 3 - Parâmetros projetuais da envoltória de um edifício....40
Figura 4 - Mapa do zoneamento bioclimático brasileiro....45
Figura 5 - Carta solar da cidade do Rio de Janeiro....63
Figura 6 - Rosa dos ventos da cidade do Rio de Janeiro....64
Figura 7 - Imagem micro de situação Parque Carioca....66
Figura 8 - Implantação Parque carioca....66
Figura 9 - Planta apartamento tipo 2 quartos....67
Figura 10 - Fluxograma do método de procedimentos....69
Figura 11 - Espectrômetro portátil Alta II....71
Figura 12 – Consumo de energia elétrica por meses (Kwh x meses)....80
Figura 13 - Zonas individuais pav. Térreo e cobertura....83
Figura 14 - Siglas zonas pavimento térreo....84
Figura 15 - Siglas zonas pavimento cobertura....84
Figura 16 – Zonas Unitárias pav. Intermediários....85
Figura 17 - Dimensões estratégia Sombreamento....91
Figura 18 - Modelo Termoenergético com estratégia de sombreamento....92
Figura 19 - Boxplot média temperatura operativa cobertura e térreo (Temperatura antes da aplicação das estratégias)....100
Figura 20 - Boxplot média temperatura operativa cobertura e térreo (Temperatura após a aplicação das estratégias)....101
Figura 21 - Planta de situação Lote 2....136
Figura 22 - Planta de edificações Lote 2....137
Figura 23 - Corte de edificações Lote 2....138
Figura 24 – Planta de projeto elétrico e luminotécnico lote 2....139

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro entre 2004 e 2030 (TWh) 35
Tabela 2 - Termos de busca utilizados no método de revisão sistemática 47
Tabela 3 - Etapas de eliminação da metodologia ProKnow-C 48
Tabela 4 - Lista de artigos do portfólioAutores 48
Tabela 5 - Bibliometria e relevância do portfólio.....49
Tabela 6 - Lente de pesquisa: Clima.....50
Tabela 7 - Lente de pesquisa: Tipologia de uso.....51
Tabela 8 - Lente de pesquisa: Estratégia.....51
Tabela 9 - Classificação estratégias portfólio.....53
Tabela 10 - Lente de pesquisa: Método de análise dos resultados.....56
Tabela 11 - Lentes de pesquisa: Software 57
Tabela 12 - Listagem dados coletados.....75
Tabela 13 - ANOVA com interação dos dados coletados 76
Tabela 14 – Teste de Tukey para a direção.....78
Tabela 15 - Teste de Tukey para o bloco.....78
Tabela 16 - Teste de Tukey para os meses 79
Tabela 17 - Lista de equipamentos 86
Tabela 18 - *Simulation Control Input*.....87
Tabela 19 - *Building Input* 87
Tabela 20- *Shadow Calculation Input*.....87
Tabela 21 - *Heat Balance Algorithm*.....88
Tabela 22 - *Material Input* 88
Tabela 23 - *Window Material Glazing Input*.....88
Tabela 24 - *Construction Input* 89
Tabela 25 - *SLAB Input* 89
Tabela 26 - Características de absortância da pintura da parede.....90
Tabela 27 - Características estratégia vidro.....92
Tabela 28 - Estratégia 4 / *Window Property Shadow Control Input*.....93
Tabela 29 - Estratégia 4 / *Window Material Blind*.....94
Tabela 30 - Estratégia 4 / *Window Material Shade Input* 94
Tabela 31 – Combinação de estratégias.....95

Tabela 32 - Redução TO - Pintura + Sombreamento + Veneziana 96
Tabela 33 - ANOVA dados combinação de estratégias Pintura + Sombreamento + Veneziana 98
Tabela 34 – Teste de Tukey simulação com estratégias (TOest) 99
Tabela 35 - Resultado da aplicação das estratégias restantes 105
Tabela 36 - ANOVA com interação dos dados obtidos (estratégias individuais) 108
Tabela 37 - Teste de Tukey para a estratégias individuais 108
Tabela 38 - ANOVA com interação dos dados obtidos (estratégias combinadas) 113
Tabela 39 - Teste de Tukey para a estratégias individuais 113
Tabela 40 - Dados de consumo equipamentos mês de JANEIRO 144
Tabela 41 - Dados de consumo equipamentos mês de FEVEREIRO 144
Tabela 42 - Dados de consumo equipamentos mês de MARÇO 144
Tabela 43 - Dados de consumo equipamentos mês de ABRIL 145
Tabela 44 - Dados de consumo equipamentos mês de MAIO 145
Tabela 45 - Dados de consumo equipamentos mês de JUNHO 145
Tabela 46 - Dados de consumo equipamentos mês de JULHO 146
Tabela 47 - Dados de consumo equipamentos mês de AGOSTO 146
Tabela 48 - Dados de consumo equipamentos mês de SETEMBRO 146
Tabela 49 - Dados de consumo equipamentos mês de OUTUBRO 147
Tabela 50 - Dados de consumo equipamentos mês de NOVEMBRO 147
Tabela 51 - Dados de consumo equipamentos mês de DEZEMBRO 147
Tabela 52 - Redução TO - Pintura 149
Tabela 53 - Redução TO - Sombreamento 150
Tabela 54 - Redução TO - Vidro 151
Tabela 55 - Redução TO - Veneziana 152
Tabela 56 - Redução TO - Pintura + Sombreamento 153
Tabela 57 - Redução TO - Pintura + Sombreamento + Vidro 155
Tabela 58 - Redução TO - Pintura + Sombreamento + Vidro + Veneziana 156
Tabela 59 - Redução TO - Pintura + Vidro 157
Tabela 60 - Redução TO - Pintura + Veneziana 158
Tabela 61 - Redução TO - Pintura + Vidro + Veneziana 159
Tabela 62 - Redução TO - Sombreamento + Veneziana 162
Tabela 63 - Redução TO - Vidro + Veneziana 163

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Participação dos equipamentos no consumo final de energia elétrica no Brasil e regiões.....30
Gráfico 2 - Distribuição do consumo energético brasileiro por setor 32
Gráfico 3 - Oferta interna brasileira de energia por fonte em 2017 33
Gráfico 4 - Demanda energética brasileira.....34
Gráfico 5 - Consumo energético brasileiro entre 2008 e 2018, no qual SIN corresponde ao Sistema Interligado Nacional.....42
Gráfico 6 - Consumo energético do subsistema sudeste/centro-oeste entre 2008 e 2018 42
Gráfico 7 - Temperatura Operativa modelo calibrado x modelo estratégias 102
Gráfico 8 - Temperatura Operativa modelo calibrado x modelo estratégias 103
Gráfico 9 - Temperatura Operativa modelo calibrado x modelo estratégias 103
Gráfico 10 - Temperatura Operativa modelo calibrado x modelo estratégias 104
Gráfico 11 - Temperatura Operativa modelo calibrado x modelo estratégias 104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers

CGIEE - Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência

CEFET- MG - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

EUA - Estados Unidos da América

GEE - Gases de Efeito Estufa

HIS - Habitação de Interesse Social

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IPCC - *International Panel of Climate Change*

ISO - *International Organization for Standardization*

ONU - Organização das Nações Unidas

OPEP - Organização dos Países Exportadores de Petróleo

PIB - Produto Interno Bruto

PPGEC - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RTQ-C - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais

SWERA - *Solar and Wind Energy Resource Assessment*

TMY - Typical Meteorological Year

TRY - *Test Reference Year*

UE - União Europeia

UTCI - *Universal Thermal Climate Index*

ZB - Zoneamento Bioclimático

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 17
1.1 PERGUNTA DE PESQUISA 18
1.2 OBJETIVOS 18
1.2.1 Objetivo geral 19
1.2.2 Objetivos específicos 19
1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA 20
1.4 RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA 20
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO 21

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 23
2.1 HISTÓRICO DAS EDIFICAÇÕES 23
2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO 25
2.3 CONSUMO DE ENERGIA PELO SETOR RESIDENCIAL 30
2.4 CONFORTO TÉRMICO 36
2.5 DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES 37
2.6 NORMATIZAÇÃO 43
2.6.1 NORMA NBR 15220 44
2.6.2 NORMA NBR 15575 46
2.7 AVALIAÇÃO DOS SOFTWARES, ESTRATÉGIAS PARA MELHORIA DE DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO E MÉTODO DE ANÁLISE DE RESULTADOS 46
2.8 CALIBRAÇÃO 57
2.9 MEIO URBANO 59

3 MATERIAIS E MÉTODOS 61
3.1 MÉTODOS 61
3.1.1 Método de Abordagem 61
3.1.2 Método de Procedimentos 62
CARTA SOLAR E ROSA DOS VENTOS 63
PARQUE CARIOCA 64
3.2 MATERIAIS 71
ESTAÇÃO DE TRABALHO 71

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 75
4.1 ANÁLISE DADOS COLETADOS 75
4.2 DEFINIÇÃO DAS ESTRATÉGIAS CONSTRUTIVAS 80
4.3 MODELO TERMOENERGÉTICO 82
4.4 MÉTODO DE CALIBRAÇÃO 85
4.5 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL 86
4.5.1 Dados de *Input* 86
4.5.2 Slab 89
4.6 ESTRATÉGIAS CONSTRUTIVAS 89
4.6.1 Alteração da cor da fachada (PINTURA) 90
4.6.2 Dispositivo de sombreamento (SOMBREAMENTO) 90
4.6.3 Substituição tipo de vidro (VIDRO) 92
4.6.4 Instalação de venezianas (VENEZIANA) 92
4.6.5 Combinação de estratégias 95
4.7 RESULTADOS SIMULAÇÃO 95
4.8 DISCUSSÃO 106

5 CONCLUSÕES 118
5.1 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS 119
REFERÊNCIAS 121
ANEXO A – PROJETOS TÉCNICOS 136
ANEXO B – MEMORIAL DESCRITIVO 140
APÊNDICE A - CALIBRAÇÃO 144
APÊNDICE B - TEMPERATURA OPERATIVA ESTRATÉGIAS 149

1 INTRODUÇÃO

Na década de 1970 uma crise de energia mundial se instaurou devido à redução do fornecimento de petróleo. Desde então, o progressivo aumento do consumo energético tem causado apreensão em muitas nações, desde as desenvolvidas até aquelas em desenvolvimento, uma vez que grande parte da geração de energia de vários países tem origem em fontes não-renováveis e sua utilização causa impactos ambientais (CARLO, 2008).

O setor residencial é responsável por grande parte desse consumo. Desse modo, ações para a otimização e aprimoramento do consumo de energia de edificações caracterizam-se como uma estratégia importante na redução das taxas de emissões de CO_2 devido ao consumo de energia (DE BOECK *et al.*, 2015). No Brasil, 50% da demanda energética do parque edificado destina-se ao setor residencial. (EPE; MME,2018).

Destaca-se ainda o continuo crescimento da população mundial e a crescente demanda por novas habitações, especialmente nos grandes centros urbanos (EPE, 2015). No Brasil, o programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) foi instituído, no ano de 2009, com o objetivo de reduzir o déficit habitacional, em complemento a políticas de financiamento anteriores. Porém, as construções ligadas ao programa foram, assim como muitas outras edificações residenciais no país, e estão sendo executadas sem preocupação com o seu desempenho energético (TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015).

O aumento da concentração urbana e o consequente adensamento construtivo para abrigar a população agravam o fenômeno das Ilhas de Calor, responsáveis por aumentar a temperatura de ambientes urbanos (PORANGABA; TEIXEIRA e AMORIM, 2017).

Nos centros urbanos brasileiros, o fenômeno das Ilhas de Calor associado às altas temperaturas do clima tropical geram ambientes com altas taxas de desconforto devido às altas temperaturas, fazendo com que o usuário passe a utilizar aparelhos de arrefecimento em busca de conforto, o que acarreta em um aumento nos valores de consumo de energia.

A arquitetura bioclimática prioriza o uso de de recursos naturais com o objetivo de reduzir os impactos causados pelas edificações, vertente divergente da atual adotada pela construção civil no cenário brasileiro (BOGO et al., 1994).

O objetivo do estudo é identificar e analisar os dados de consumo de energia de unidades habitacionais de um conjunto residencial do programa MCMV. Partiu-se da hipótese que a adoção dessas estratégias reduzirá o consumo energético das edificações estudadas. Modelos numéricos realizados a partir das informações levantadas permitiram a avaliação de estratégias construtivas da arquitetura bioclimática. Tais estratégias, aplicadas às porções exteriores de uma edificação (sua envoltória), têm o intuito de reduzir as temperaturas operativas internas e o consequente uso de aparelhos de arrefecimento de ar e o consumo de energia.

1.1 PERGUNTA DE PESQUISA

Frente à ampla colaboração do setor residencial no gasto energético brasileiro e diante do escasso número de estudos considerando construções existentes, esse estudo tem o intuito de responder a seguinte pergunta de pesquisa:

O desempenho termonenergético de um edifício residencial existente, no qual os usuários fazem o uso de sistemas de climatização de ar, é aprimorado por meio do emprego de estratégias aplicadas à envoltória que não afetam a infraestrutura da construção?

1.2 OBJETIVOS

Este capítulo apresenta os objetivos da presente pesquisa.

1.2.1 Objetivo geral

A presente pesquisa teve como objetivo geral avaliar, por meio de modelo numérico, os efeitos da adoção de estratégias da arquitetura bioclimática na envoltória de uma edificação, no seu desempenho termonenergético, tendo por referência um conjunto habitacional do programa MCMV localizado na cidade do Rio de Janeiro, cujas taxas indicam expressivo desconforto por calor e, consequentemente, há maior demanda potencial de climatização artificial.

1.2.2 Objetivos específicos

Visando a alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

i. Identificar as cidades, considerando as oito zonas bioclimáticas brasileiras, que apresentam índices mais elevados de desconforto térmico e, dentre estas, escolher a mais adequada a esta pesquisa;
ii. Identificar, a partir da aplicação de método de revisão sistemática da literatura, as estratégias construtivas passíveis de aplicação em construções residenciais existentes, que podem contribuir para o aprimoramento da eficiência energética da edificação;
iii. Caracterizar os parâmetros representativos de edificio residencial a ser selecionado na cidade escolhida (objetivo específico i) bem como as rotinas de uso e ocupação correlacionadas;
iv. Elaborar modelo computacional representativo de edificio residencial existente selecionado;
v. Identificar e aplicar, a partir do emprego de método de revisão sistemática da literatura, um método de calibração para simulação computacional passível de ser aplicado no cenário proposto;
vi. Comparar diferentes resultados termoenérgicos obtidos em modelos numéricos a partir do emprego individual de estratégias da arquitetura bioclimática junto à edificação escolhida;
vii. Comparar diferentes resultados termoenérgicos obtidos em modelos numéricos a partir do emprego da combinação de estratégias da arquitetura bioclimática junto à edificação escolhida;

viii. Avaliar estatisticamente a melhoria no desempenho energético alcançada.

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

A partir de 1970 houve um aumento crescente na emissão de gases de efeito estufa (GEE). Além disso, nota-se um contínuo aumento das médias das temperaturas mundiais (DE BOECK *et al*., 2015).

A Organização das Nações Unidas (ONU) caracteriza o setor da construção civil como grande responsável pelas emissões mundiais e, também, como aquele que apresenta expressivo potencial de reversão (IPCC, 2007).

Soma-se a isso o previsto crescimento habitacional e o consequente aumento das construções para abrigar a nova população (TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015).

Diversas pesquisas recentes concentram-se na averiguação de possibilidades para a redução do consumo energético do parque edificado, uma vez que sua aplicação pode reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar as mudanças climáticas. (MUTANI *et al.*, 2016; HARISH; KUMAR, 2016; NAIR; GUSTAVSSON; MAHAPATRA, 2010).

No cenário brasileiro, o vasto número de construções MCMV, o grande déficit habitacional somados à alta taxa de adensamento no setor utbano, caracteriza essas edificações como objetos pertinentes de estudo.

Assim, fica evidenciada a pertinência da escolha do direcionamento desse estudo, que visa a verificar o comportamento térmico de um edifício do programa MCMV existente no Brasil e identificar estratégias que aplicadas à construção podem reduzir seu consumo de energia sem afetar suas funções, ou seja, aprimorar a eficiência energética do objeto estudado.

1.4 RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA

O trabalho proposto utilizarou o método de simulação computacional para verificar a eficiência energética de uma edificação existente. Desta forma algumas limitações foram consideradas:

- Os valores dos dados de um arquivo climático podem variar de acordo com a localização da estação meteorológica de origem. Assim, é possível que, de acordo

com essa localização, os efeitos das ilhas de calor nos centros urbanos não sejam considerados e, dessa forma, seus valores podem divergir da realidade;

- Não foi possível obter dados calibrados para todas as cidades analisadas a partir do índice UTCI pelo curto prazo da pesquisa. Por este não ser o objetivo principal da pesquisa, optou-se por realizar a análise da escolha das cidades a partir de arquivos climáticos TMY obtidos a partir da base de dados do *software EnergyPlus;*
- Não foi possível obter os dados de consumo energético de todas as unidades habitacionais do objeto de estudo. Assim, para a calibração do modelo, foi considerada uma média mensal dos dados de consumo coletados;
- Não foi possível acessar todas as unidades habitacionais para conferir hábitos de uso e equipamentos. Assim, considerou-se um cronograma comum de ocupação e uso de equipamentos padrão para todas as unidades habitacionais.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi organizado em 5 capítulos, dos quais se dividem em:

- Capítulo 1 - Introdução: Neste capítulo apresenta-se uma breve contextualização do tema da pesquisa. Além disso, foram descritos os objetivos (geral e específicos) propostos, além da justificativa da realização do estudo proposto e as limitações do trabalho;
- Capítulo 2 - Fundamentação Teórica: Neste capítulo apresenta-se a revisão teórica sobre as partes componentes do tema escolhido, abordando o histórico das edificações, contextualização, a relação da construção civil com o consumo de energia, as definições de conforto térmico, a relação entre o conceito de eficiência energética e o desempenho térmico das edificações, além da apresentação do estado da arte, o fenômeno das ilhas de calor, os arquivos climáticos e a normatização local vigente;
- Capítulo 3 - Materiais e métodos: Neste capítulo foi descrito o método empregado para o desenvolvimento da presente pesquisa, além da especificação dos materiais e equipamentos que foram utilizados;

- Capítulo 4 - Resultados e discussão : Neste capítulo apresenta-se a localidade do objeto de estudo e o objeto de estudo em si, além dos resultados obtidos nas simulações realizadas ;
- Capítulo 5 - Conclusões: Neste capítulo foram apresentadas as conclusões do trabalho realizado;

Após a apresentação dos cinco capítulos apresenta-se a lista de referências bibliográficas utilizadas para fundamentar a pesquisa, os anexos e apêndices.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os principais conceitos e definições relacionados ao tema da presente pesquisa. Para tanto foi abordado um breve histórico da elaboração de projetos técnicos, o conceito de conforto térmico, o conceito de eficiência energética e sua relação com o desempenho térmico de edificações.

Ademais, foram identificadas as estratégias construtivas e tipos de simulação computacional utilizadas por outros estudos, além da descrição do fenômeno das ilhas de calor e das variedades de arquivos climáticos, sua pertinência e utilidade, assim como a descrição das normas brasileiras vigentes correlacionadas ao tema.

2.1 HISTÓRICO DAS EDIFICAÇÕES

O primeiro texto teórico sobre arquitetura, soluções técnicas construtivas e a relação da construção com o usuário, pertence ao arquiteto romano Marco Vitruvio Polión. Em seu trabalho o arquiteto define o tripé determinante de uma construção pertinente. Em síntese, baseado nos princípios de *utilitas* (utilidade), *venutas* (beleza) e *firmitas* (solidez), os vértices da tríade vitruviana podem ser traduzidos da seguinte forma (Figura 1):

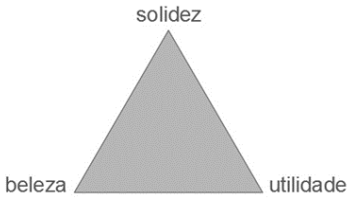
- Solidez – Este vértice aborda as soluções e técnicas construtivas adotadas em um projeto construtivo, se enquadram nesse item os materiais escolhidos e as técnicas construtivas utilizadas para a execução da edificação;
- Utilidade – Este vértice é dedicado à funcionalidade da construção e à consequente relação com o usuário. Nesse item se enquadram o conforto e as características culturais do usuário;
- Beleza – Este vértice destaca o trabalho do projetista com a forma da construção e seus elementos estéticos (POLIÓN, 1995).

Em vista disso, é possível afirmar que desde o início do pensamento arquitetônico foram verificados direcionamentos no sentido de considerar a construção como uma peça complexa e que envolve vários fatores além da implantação da edificação.

O estudo de Rudofsky (1964) destaca que, previamente às estratégias projetuais ortodoxas e à arquitetura como ciência, as construções populares levavam em consideração fatores climáticos em suas concepções. As soluções construtivas da arquitetura vernacular eram baseadas em conhecimentos hereditários e

consideravam a topografia, o clima e os ventos locais. Materiais abundantes na região também eram selecionados para compor os acabamentos e auxiliar na relação com o entorno.

Figura 1 - Vértices da tríade vitruviana



Fonte: o autor

A partir do avanço tecnológico, porém, houve a modificação do setor da construção civil e surgiram novas formas de pensar a edificação. Entre as décadas de 1920 e 1930 o estilo arquitetônico do modernismo, juntamente com novas técnicas construtivas e usos passaram a ser adotados. Esse movimento arquitetônico dava prioridade às novas descobertas tecnológicas e desaprovava o uso de dois métodos para solucionar o mesmo problema. O posicionamento do arquiteto modernista Frank Lloyd Wright exemplifica a visão projetista da época, de acordo com o arquiteto, o isolamento das paredes havia se tornado menos importante uma vez que modernos sistemas de aquecimento e arrefecimento de ar poderiam gerenciar qualquer condição climática (FORD, 2011)

Já na década de 1960 foi estabelecido o conceito de projeto bioclimático, e a partir dele a adoção da arquitetura bioclimática. Criado por Olgyay (1968), esse tipo de trabalho consiste na utilização de teorias da bioclimatologia[1] no projeto arquitetônico. Dessa forma, é possível afirmar que a arquitetura bioclimática dedica-se à correta utilização de tecnologias e artifícios construtivos com o intuito de fornecer altos índices de conforto ao usuário com baixo consumo energético (BOGO *et al.*, 1994).

Em última análise, é possível afirmar que as construções oriundas do conceito de projeto bioclimático, por meio de seus próprios elementos construtivos, visam a manipular características climáticas favoráveis para garantir condições de conforto ao usuário.

[1] A bioclimatologia é o estudo dos efeitos do clima e dos fatores ambientais sobre os organismos vivos.

Esse conceito, porém, diverge do cenário atual da indústria da construção civil, oriundo da vertente modernista, que não considera as características climáticas, geográficas e os materiais naturais da região de inserção da edificação. As novas possibilidades tecnológicas foram priorizadas em detrimento ao processo projetual trabalhado em conjunto com a realidade climática.Assim, sistemas de aquecimento e arrefecimento de ar foram adotados em detrimento ao uso de ventilação natural, a luz natural foi substituída por mecanismos de iluminação, além da notável supervalorização da estética em relação a outros parâmetros construtivos nas edificações recentes (GONÇALVES; BODE, 2015).

A partir das informações elencadas, destaca-se a relação do método construtivo vernacular e o conseguinte modelo bioclimático oriundo da tríade vitruviana e dos atuais conceitos de arquitetura sustentável.

Além disso, é necessário evidenciar os benefícios dessas informações para esta pesquisa, uma vez que o objeto de estudo será uma construção que foi pensada e construída de acordo com métodos atuais, necessitando da aplicação de estratégias utilizadas nos modelos expostos para aprimorar a sua eficiência energética.

Dessa forma, é possível enumerar algumas soluções da arquitetura vernacular e bioclimática que poderiam ser empregadas em construções existentes em locais de clima quente, a saber (RUDOFSKY 1964):

- A valorização da ventilação natural;
- A aplicação de acabamentos em cores claras;
- A criação de áreas sombreadas;
- A utilização de espelhos d`água;
- A utilização de vegetação no entorno da edificação.

2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO

As consequências do crescimento exacerbado da população mundial têm se tornado motivo de preocupação de pesquisadores e governos mundiais. O aumento das emissões de CO_2 e dos gases que compõem o efeito estufa, o acúmulo de lixo, a poluição dos mares e o aumento da temperatura média global têm ameaçado a relação entre os contínuos avanços econômicos e tecnológicos dos países além de agravar a questão ambiental (CARLO, 2008).

O aumento considerável da demanda por energia se deu após a Segunda Guerra Mundial, e, em 1971 houve a crise das reservas de produção de petróleo dos EUA (Estados Unidos da América). A partir desse momento a OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), cujo integrante dominante era a Arábia Saudita, passou a definir os valores do barril de petróleo na conjuntura mundial. No ano de 1973, a Guerra Árabe-Israelense, conhecida também por Yom Kippur, desencadeou uma mudança na postura dos países frente ao gasto energético. Durante o conflito entre Israel e os países árabes: Egito e Síria, diversos países ocidentais, entre eles os EUA, se posicionaram a favor de Israel. Em retaliação, os países árabes e o Irã impuseram um embargo na produção e fornecimento de petróleo para o mundo, o que aumentou o valor do preço do barril em quatro vezes e fez com que as nações dependentes do recurso passassem a ponderar sobre o fato da energia não ser renovável e procurar alternativas para seu uso e formas de reduzir o alto gasto energético (PEDROSA; CORRÊA, 2016).

As demandas por ações alternativas para a questão ambiental deram origem a encontros, conferências e tratados visando a reprimir o avanço dos impactos no ecossistema. Em 1972 a ONU (Organização das Nações Unidas) promoveu a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, realizada em Estocolmo. Essa conferência propôs a consideração da questão ambiental em âmbito global e a busca por princípios para nortear os países na melhoria das suas práticas de impacto. Nesse momento iniciou-se um movimento embrionário no caminho para definição do conceito de sustentabilidade. Esse movimento foi consolidado em 1983 pela primeira Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, cujas discussões trabalhos e definições decorreram no Relatório Brundtland (MOTA *et al.*, 2008). Nomeado *Our Common Future,* o relatório apresentou a ideia de desenvolvimento sustentável, reconheceu a urgência da busca de soluções, admitiu a relação inerente entre questões sociais e ambientais além de reconhecer que ações locais trazem consequências mundiais (WCED, 1987).

Em seguida, no ano de 1992, o crescimento sustentável e as mudanças climáticas foram objeto de uma conferência organizada pela ONU no Rio de Janeiro, a chamada ECO 92. Seu objetivo era discutir como o crescimento constante da população e as ações humanas frente ao desenvolvimento podem transcorrer de forma a garantir as

necessidades do tempo presente sem prejudicar as gerações futuras (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Além do evento ocorrido no Rio de Janeiro vários outros momentos reuniram líderes mundiais com o intuito de discutir a sustentabilidade e o futuro do planeta. Neste contexto, destaca-se o Protocolo de Montreal (1985), o Protocolo de Kyoto (1997), o Pacote 2020 (2007), o Pacote 2030 (2014) e mais recentemente o Acordo de Paris (2015), o que evidencia uma preocupação recorrente com a sustentabilidade do planeta e inúmeras tentativas de reduzir o problema decorrente da ausência efetiva de tais práticas (SZUCKO, 2018; MURPHY; MCDONNELL, 2017). Porém, apesar dos esforços de diversos países, de acordo com Chua; Chou (2010), a previsão da Organização das Nações Unidas é que a temperatura média global terá aumentado 4 ^{o}C por volta do ano 2100.

O progressivo aumento do consumo energético também tem sido causa de apreensão de muitas nações, uma vez que grande parte da geração de energia de vários países tem origem em fontes não-renováveis e sua utilização causa impactos ambientais (CARLO, 2008).

Diante da constatação mundial de que a geração de energia e o seu consequente consumo são causadores de impactos no meio-ambiente, algumas iniciativas foram adotadas para tentar frear o avanço do desgaste ambiental referente a esta atividade. Destaca-se, portanto, como exemplo de iniciativa, o aumento da eficiência do uso da energia, redução das demandas de energia e tentativas de dissociar a energia do crescimento econômico dos países (POEL *et al.*, 2007).

No Brasil a preocupação com o consumo energético surgiu apenas no século 21, uma vez que a crise petrolífera de 1970 atingiu o setor de transportes nacional mas não o de fornecimento de energia elétrica, já que a matriz de energia elétrica brasileira é composta principalmente por hidroelétricas (EPE; MME, 2018).

O sistema elétrico brasileiro era público até a década de 1990, quando foi feita a sua privatização. Ao passar para o setor privado os agentes geradores de energia passaram a sofrer ações diversas, uma vez que cada um era regido por uma empresa e, consequentemente, administração específica. Essas divergências fizeram com que o aumento da produção energética brasileira não crescesse o esperado nos dez anos seguintes. Soma-se a isto a escassez de recursos hídricos nos reservatórios dada a

condições ambientais e o crescimento da população, bem como do PIB (Produto Interno Bruto) nacional. Assim, foi verificado o aumento da demanda sem que a produção fosse ampliada, fato que desencadeou na crise de abastecimento elétrico nacional de 2001 (FUNDAÇÃO JOÃO MANGABEIRA, 2015).

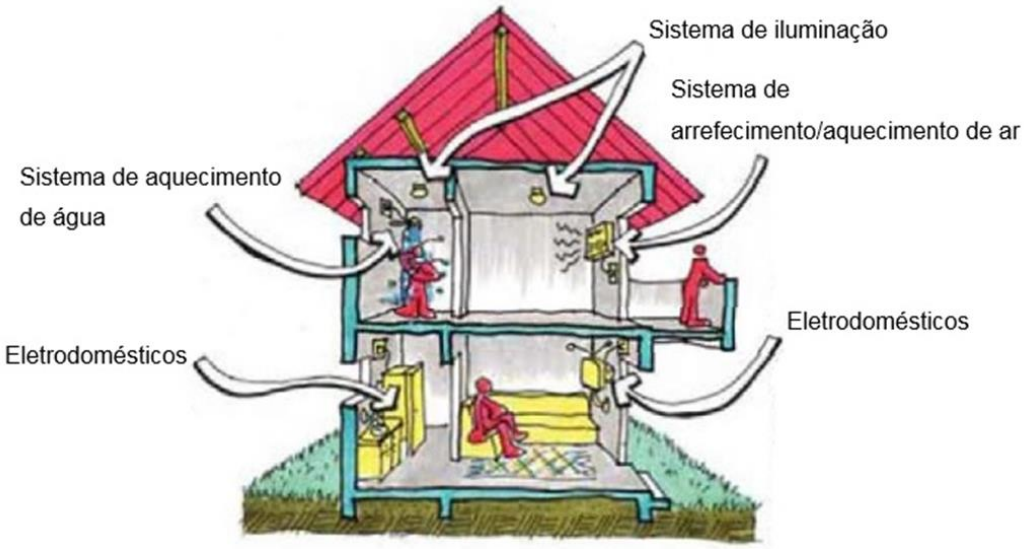
Para conter o consumo energético e evitar a cessão total de energia (“apagões”), o governo do Brasil iniciou uma série de medidas que visavam ao uso final da energia. Foi criado o CGIEE (Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência) pela Lei nº 10.295 de 19 de Dezembro de 2001. Por meio deste instrumento, foram estabelecidos níveis máximos de consumo e mínimos de eficiência energética a serem aplicados às edificações e sobre aparelhos e equipamentos fabricados no país, verificados pelo selo PROCEL do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (BRASIL, 2001).

O selo PROCEL possui a vertente destinada às edificações, o selo PROCEL-EDIFICA que foi responsável por elaborar as regras que regulamentam o processo de certificação energética das edificações comerciais e residenciais (PROCEL EDIFICA *et al.*, 2012, 2013). De acordo com Gonçalves e Bode (2015) e o *Intergovernmental Panel on Climate Change* IPCC (2007), apesar da indústria da construção civil mundial consumir de 14% a 50% dos recursos naturais do planeta, este setor figura como aquele mais passível de mitigar seus impactos à natureza.

No que tange ao consumo de energia, em Singapura as edificações consomem um terço (aproximadamente 33%) do total demandado da cidade-Estado. Já na UE (União Europeia) aproximadamente 40% de toda a energia produzida anualmente é destinada às edificações (CHUA; CHOU, 2010). No caso do Brasil, no ano de 2017, o parque edificado foi responsável pelo consumo de 267,31 TWh de energia, o que corresponde a aproximadamente 50% da energia produzida (EPE; MME, 2018).

O controle das taxas de consumo energético de uma edificação está ligado aos sistemas e equipamentos existentes na construção, seu uso e à perda ou ganho de calor pela sua envoltória. As cargas internas geradas pela iluminação artificial, equipamentos, sistemas de condicionamento de ar são determinantes nesses valores, uma vez que a edificação trabalha com trocas térmicas (Figura 2). Em climas quentes os sistemas de condionamento de ar são utilizados para gerar conforto ao usuário da construção (VELOSO, 2017).

Figura 2 - Exemplos de cargas internas de uma edificação residencial

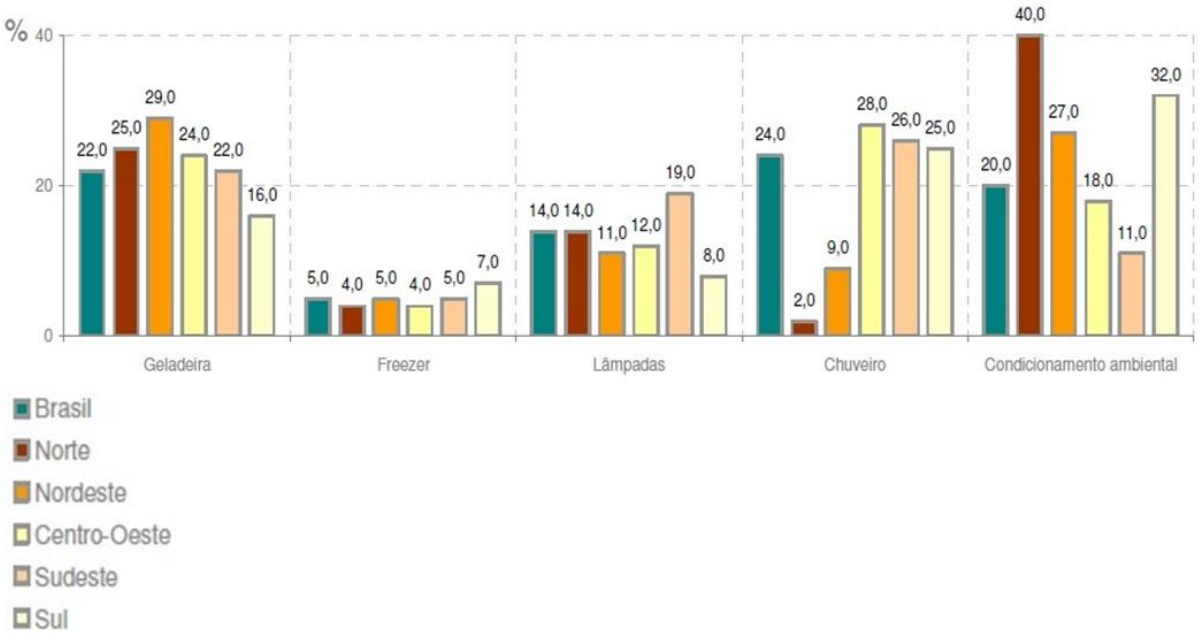


Fonte: Lamberts; Dutra e Pereira (2014)

Os sistemas de condicionamento e a envoltória têm papel significativo na avaliação da eficiência energética de uma edificação. Além disso, a demanda por equipamentos de ventilação, arrefecimento e aquecimento de ar têm aumentado em virtude da busca por melhores sensações de conforto térmico pelos usuários (KOROLIJA *et al.*, 2011).

A previsão de crescimento anual do consumo energético do setor residencial brasileiro varia entre 4% e 5%. Valendo destacar que o Brasil é um país em crescimento populacional e alto déficit habitacional, sendo que a maioria do seu território está localizado em zonas tropicais. Assim, considerando os efeitos das mudanças climáticas no aumento da temperatura global, é possível afirmar que grande parte desse aumento no gasto energético se dará pelo aumento do poder aquisitivo e posse de equipamentos, além do crescimento do uso de sistemas de climatização (EPE, 2018; MME, 2006). O Procel edifica, a Eletrobras (2008) e a EPE (2018) apontam um aumento no consumo de sistemas de condicionamento de ar no Brasil bem como os equipamentos responsáveis pelo maior gasto energético em cada região como mostrado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Participação dos equipamentos no consumo final de energia elétrica no Brasil e regiões



Fonte: Procel edifica e Eletrobras (2008)

Como apresentado, verifica-se elevado consumo energético por parte do setor residencial. Assim, juntamente com as previsões de aumento desse consumo, o aprimoramento do desempenho termoenergético de edificações tem sido objeto de diversos estudos em escala global. Entretanto, o grande foco das estratégias propostas são os novos edifícios a serem construídos, ficando para segundo plano as observações e estudos a serem feitos visando às construções residenciais existentes (DE BOECK *et al.*, 2015)

2.3 CONSUMO DE ENERGIA PELO SETOR RESIDENCIAL

O esgotamento dos recursos fósseis mundiais é uma realidade frente ao enorme uso de recursos energéticos nas últimas décadas. Somam-se a isso outros consequentes impactos ambientais como as mudanças climáticas e o aumento da emissão de gases de efeito estufa (SHAIKH *et al.*, 2014).

Entre os anos de 1970 e 2004 as emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) aumentaram 70%, implicando no crescimento das médias mundiais de temperatura. De acordo com De Boeck *et al.* (2015) e IPCC (2007) a média de temperatura no

hemisfério norte na segunda metade do século 20, foi superior à média de outros períodos nos últimos 500 anos, considerando o mesmo intervalo de tempo. Além disso, a tendência de aumento é latente frente à previsão de aumento de 52% na emissão de GEE entre os anos de 2005 e 2050. (SZUCKO, 2018). A preocupação com o aumento continuado repercurtiu no estabelecimento de acordos internacionais que buscaram definir objetivos para minimizar ou frear o avanço dessas emissões. Em 1997, foram determinadas metas de redução de emissões de GEE, e, em 2015, o Acordo de Paris que fixou a elevação da temperatura média global neste século a um valor abaixo dos 2˚C (UNFCCC, 2015).

Com o intuito de tentar garantir que as metas dos acordos assinados fossem atingidas, a ONU reconheceu algumas zonas de ação como áreas com alto potencial de retorno de intervenções e, consequente redução nas emissões dos gases de efeito estufa. Neste contexto, destaca-se o aumento do compromisso mundial com a redução da emissão em edificações, transporte de massa e infraestrutura urbana (ONU, 2018).

Tal determinação da ONU baseia-se no relatório *Climate Change 2007 do International Panel of Climate Change* (IPCC) que identificou o setor da construção civil como o maior emissor de CO_2 [2] mundial. Este setor é responsável por aproximadamente 15% das emissões globais e cerca de 25% da energia primária consumida vincula-se à construção, uso e ocupação do parque edificado mundial. Por outro lado, tal relatório indicou o setor da construção civil como aquele que possui maior potencial para reverter as taxas de emissões vinculadas a ele. Assim, a partir de novos conceitos e aplicações de projetos, mudanças no comportamento do usuário e o uso de novas tecnologias é possível minimizar tais efeitos (BAUMERT *et al.*, 2005; IPCC, 2007;GONÇALVES; BODE, 2015).

Agregam-se a isso o contínuo aumento da população mundial e o consequente aumento da demanda por habitações. A agência internacional de energia prevê um crescimento populacional mundial de 3,5% entre 2010 e 2035 e um total de 9,3 bilhões de habitantes no planeta até o ano de 2050 (EPE, 2015).

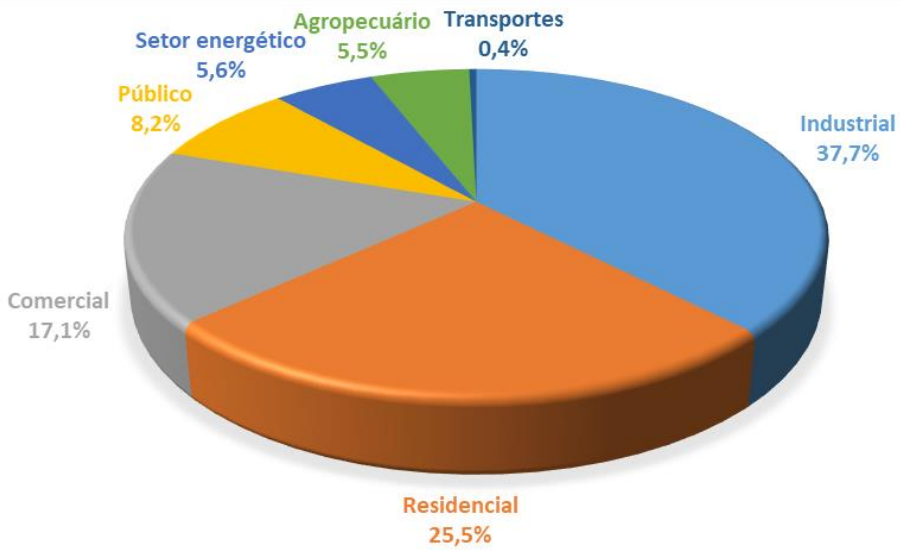
[2] O Protocolo de Kyoto regula quatro principais gases de efeito estufa: CO_2, CH_4, N_2O e SF_6.

A geração de energia provoca impactos ambientais e a sua magnitude varia de acordo com a fonte utilizada, que podem ser não renováveis, como petróleo, carvão mineral e gás natural, ou renováveis, como sol, água, vento e biomassa. As fontes não renováveis caracterizam-se como a maior base de produção de energia mundial e por altos índices de emissão de gases de efeito estufa. Dito isso, deve ser elucidada a contribuição que o consumo de energia tem nas taxas de emissões de GEE mundiais e como ações no sentido de reduzir esse consumo podem trazer benefícios na redução desses valores (MMA, 2005).

A conjuntura do consumo energético do setor da construção civil europeia no ano de 2012 foi significativa. Verificou-se, neste contexto, que 39,3% de toda a demanda de energia foi destinada às edificações, sendo o setor residencial responsável por 26,2% de toda a demanda (GONÇALVES; BODE, 2015).

Dentro do cenário brasileiro os valores são ainda mais relevantes, o parque edificado brasileiro, que corresponde aos setores comercial, público e residencial, é responsável por 50,8% do total de energia consumida no país, desse total, 25,5% é destinada somente ao setor residencial, como evidenciado no Gráfico 2 (EPE; MME, 2018).

Gráfico 2 - Distribuição do consumo energético brasileiro por setor

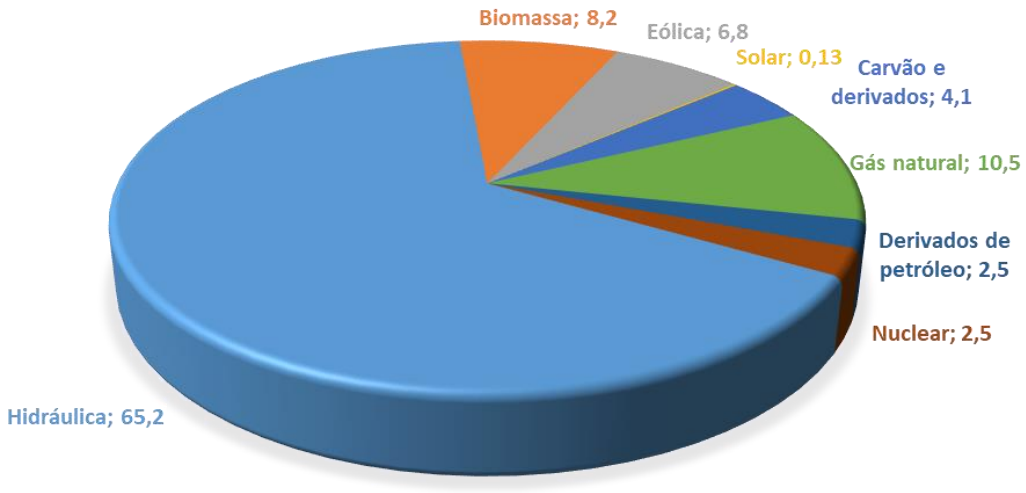


Fonte: BEN (2018) adaptado pelo autor

Destaca-se neste cenário que a matriz de energia elétrica brasileira é composta pela produção de usinas hidroelétricas, fonte de 65,2% da oferta nacional (Gráfico 3).

Apesar da predominância do sistema renovável, as mudanças nos regimes pluviais, em conjunto com o contínuo aumento da demanda, têm gerado o crescimento da energia proveniente das termoelétricas (FOSSATI et al., 2016). O Brasil apresenta grande potencial para a utilização de energia eólica e solar, porém, apesar de ter apresentado crescimento nos últimos anos, esses setores ainda representam uma parcela pequena frente à oferta total do país (EPE; MME, 2018; FOSSATI et al., 2016).

Gráfico 3 - Oferta interna brasileira de energia por fonte em 2017



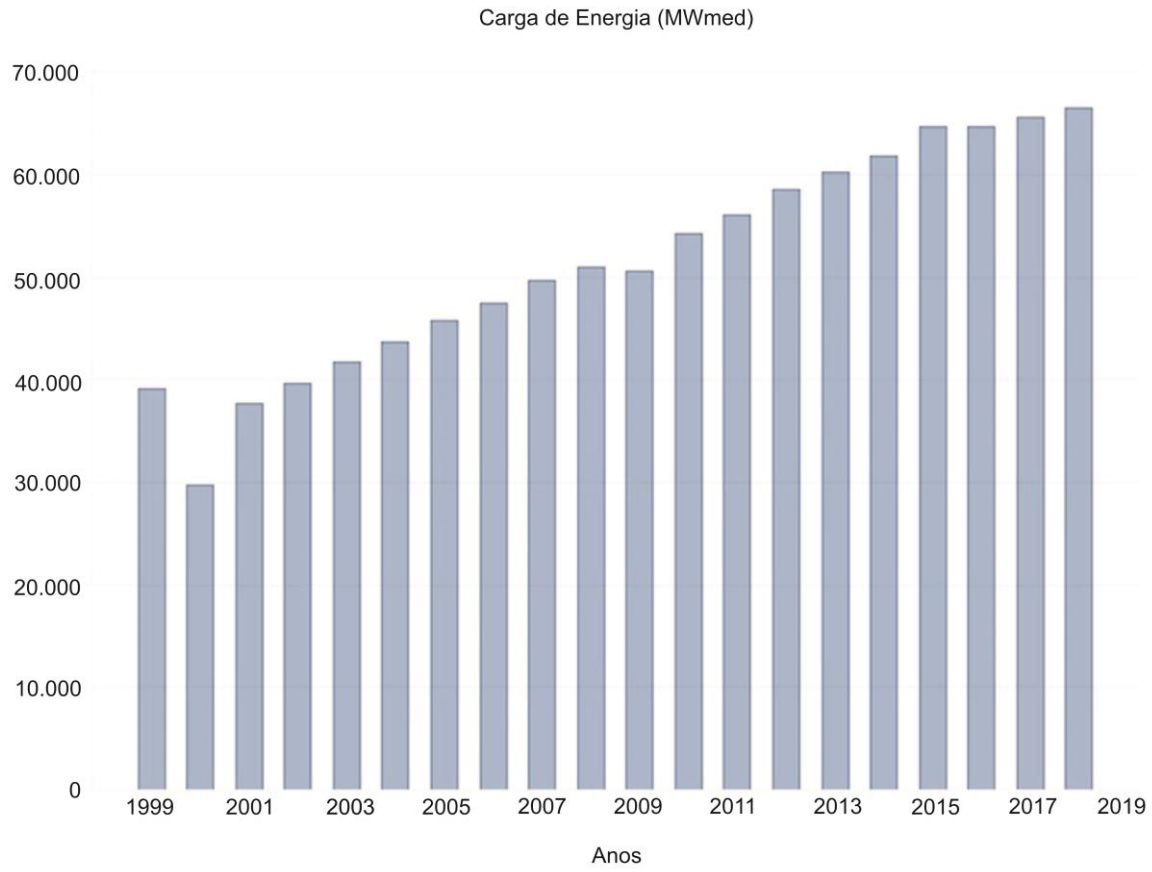
Fonte: BEN (2018) adaptado pelo autor

Dessa forma, é possível notar que dentre as tipologias de uso, as edificações residenciais representam grande parte do gasto energético predial nacional brasileiro. Assim, a partir da premissa de um menor consumo energético, pode-se garantir uma construção energeticamente mais eficiente, afetando diretamente a taxa geral de consumo energético do país e, por conseguinte, os valores totais de emissão de GEE (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

O parque edificado residencial existente não foi pensado considerando estratégias de aprimoramento da eficiência energética. Por outro lado, de acordo com a Comissão Europeia, o parque edificado possui alto potencial de poupança energética. Assim, se mostra necessário o desenvolvimento de pesquisas que possam auxiliar na redução do consumo energético de uma edificação já construída e, muitas vezes, já ocupada (ABREU; OLIVEIRA; LOPES, 2012).

Além disso, considerando a transição entre os anos de 1999 e 2000 é possível afirmar que a demanda energética brasileira teve uma redução devido ao cenário da crise energética vigente. Passado esse momento, o crescimento da demanda por energia do país foi constante como evidenciado no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Demanda energética brasileira



Fonte: Gerado pelo autor no site ons.org.br

Além disso, existe uma previsão do aumento da demanda nos próximos anos. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2006), foram considerados quatro cenários de previsão dos avanços nos valores de consumo energético até 2030, dos quais:

- Cenário A - Esse cenário considera uma conjuntura na qual a participação dos setores agropecuário, industrial e de serviços frente ao PIB corresponde a 9,8%, 29,4% e 60,8% respectivamente;

- Cenário B - Esse cenário considera uma conjuntura na qual a participação dos setores agropecuário, industrial e de serviços frente ao PIB corresponde a 9,5%, 33% e 57,5% respectivamente;
- Cenário C - Esse cenário considera uma conjuntura na qual a participação dos setores agropecuário, industrial e de serviços frente ao PIB corresponde a 9,8%, 35% e 55,2% respectivamente;
- Cenário D - Esse cenário considera uma conjuntura na qual a participação dos setores agropecuário, industrial e de serviços frente ao PIB corresponde a 9,9%, 36,2% e 53,9% respectivamente;

Os dados referentes ao aumento da demanda energética do setor residencial brasileiro estão evidenciados na Tabela 1. É importante notar que em qualquer dos cenários considerados haverá um aumento significativo na demanda do setor.

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro entre 2004 e 2030 (TWh)

Cenário	2004	2010	2020	2030	Taxa média de crescimento (%aa)
A	78,5	107,5	176,8	302,6	5,3
B	78,5	105,3	169,6	285,5	5,1
C	78,5	104,3	164,7	270,3	4,9
D	78,5	98,8	146,3	240,3	4,4

Fonte: MME 2016

Ademais, destaca-se que o déficit habitacional brasileiro foi estimado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015) em aproximadamente, 5,5 milhões de residências, das quais em torno de 84% seriam destinadas ao ambiente urbano. Em vista do quadro descrito, o governo brasileiro instituiu em 2003 o programa de habitação de interesse social (HIS) Minha Casa Minha Vida (MCMV). A proposta do MCMV é subsidiar parte do valor da aquisição de residência pela população de baixa renda, e a divisão dos beneficiários do programa são determinadas por faixa, em que os habitantes de renda mais baixa concentram-se na faixa 1 (MC, 2018).

A criação do programa MCMV deu-se em função da grande demanda habitacional. Dessa forma, sua prioridade é regularizar o maior número de famílias com o menor tempo. Assim, na maioria das vezes, os benefícios a longo prazo e o desempenho

energético dessas construções não são levados em consideração. As medidas sustentáveis exigidas pelo programa para as edificações da faixa 1 resumem-se à obrigatoriedade da adoção de medidores individuais de gás e água e a instalação de aquecedores de água à base de energia solar (TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015).

Além disso, o orçamento restrito é outro fator limitante que resulta em um número significativo de edificações com baixa qualidade construtiva e a ausência de medidas de eficiência energética (ALMEIDA *et al*., 2013).

O déficit habitacional brasileiro é considerável, especialmente nas áreas urbanas. Associa-se a isso o previsto crescimento da adoção de sistemas de arrefecimento de ar no país e o consequente aumento do consumo de energia. Desse modo, mostram-se necessárias soluções que contraponham o cenário de emissões e impacto ambiental apresentados (TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015; FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2018).

2.4 CONFORTO TÉRMICO

De acordo com a *American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE), conforto térmico é a condição da mente humana que expressa satisfação com as condições térmicas do ambiente. Trata-se, portanto, de uma sensação de bem-estar subjetiva já que a percepção de comodidade é individual (ANSI/ASHRAE, 2017; DE VECCHI, 2011).

O corpo humano possui um aparelho termorregulador responsável por controlar os ganhos e perdas de calor por mecanismos específicos como a sudorese. À medida que o aparelho termorregulador não é acionado para controlar as trocas térmicas com o ambiente em questão, significa que o usuário se encontra em situação de conforto térmico. Porém, uma vez acionado, verifica-se uma queda na produção do indivíduo, visto que a sua utilização implica em gasto metabólico. Dessa forma, é possível afirmar que ambientes desconfortáveis acarretam em valores inferiores de produção humana em comparação com os confortáveis (FROTA; SCHIFFER, 2001)

Quando o usuário vivencia a sensação de desconforto por calor ou por frio, é possível trabalhar o isolamento térmico da pele por meio da variação de vestimentas. Contudo, quando essa opção não é suficiente o usuário pode fazer uso de tecnologia que esteja ao seu alcance para minimizar tal condição ambiental. Sistemas de

arrefecimento ou aquecimento de ar, assim como ventiladores e aquecedores portáteis são amplamente utilizados pela população para atingir patamares de conforto dentro de uma edificação e, portanto, configuram-se como grandes responsáveis pelo gasto energético da construção (OZARISOY; ALTAN 2018).

Dessa maneira, a interrelação entre usuário, condições climáticas e edificações é determinante para as taxas de consumo de energia, e o conforto térmico do indivíduo. Tal interrelação caracteriza-se como ponto fundamental na aplicação de estratégias de aprimoramento no desempenho energético e ambiental de uma edificação.

Assim, para atingir a meta de um recinto confortável é fundamental adaptar o edifício às condições do microclima local (GONÇALVES; BODE, 2015; IPCC, 2007).

Para analisar as características térmicas de áreas externas a partir das respostas comportamentais do corpo humano, a Sociedade Internacional de Biometeorologia (ISB) desenvolveu o índice UTCI (*Universal Thermal Climate Index*), aplicável a todos os tipos climáticos (ISB, 2001). Além disso, o índice foi desenvolvido a partir do modelo termorregulatório multimodal que considera (ROSSI; KRÜGER; BRÖDE, 2012) :

- o comportamento adaptativo em relação ao isolamento térmico a partir de estudos de campo desenvolvidos na Europa;
- a distribuição da roupa em diferentes partes do corpo; e
- a redução da resistência térmica e evaporativa da roupa causada pelo vento e pelo movimento.

Desse modo, foi proposta pela presente pesquisa a identificação de estratégias construtivas que, aplicadas a uma construção existente, possam adequá-la, de forma mais acertada, ao microclima local, gerando assim menos horas de desconforto ao usuário e reduzindo consequentemente o uso da tecnologia para sua mitigação.

2.5 DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES

O avanço e a manutenção da sociedade moderna respaldam-se em diversas variáveis, salientando-se, fundamentalmente, a evolução tecnológica. Porém, simultaneamente ao aumento da oferta e adoção da tecnologia verifica-se o crescimento do consumo energético. O fornecimento de energia é essencial para a realização de tarefas ordinárias, como o suprimento de iluminação, o funcionamento de equipamentos e o transporte de pessoas (MMA, 2005).

Entretanto, a geração de energia global baseia-se em recursos finitos. Dessa modo, é essencial verificar meios de aprimorar o fornecimento de energia e garantir a sua manutenção para as gerações futuras (VELOSO, 2017). Para tanto, são necessárias ações com o intuito de reduzir o consumo energético de produtos, indústrias, edificações, entre outros.

O termo eficiência energética é genérico e caracteriza-se pelo uso de uma quantidade menor de energia para produzir a mesma quantidade de serviços com a consequente redução dos impactos envolvidos (PATTERSON, 1996).

O consumo energético do parque edificado global é responsável por aproximadamente 30% das emissões de CO_2. Mundialmente, comunidades científicas e instituições governamentais identificaram a necessidade da aplicação do conceito de eficiência energética nas edificações, assim como o seu grande potencial de retorno. Dessa forma, esforços têm sido feitos para ampliar e incentivar a descarbonização de edificações novas e existentes, assim como o design eficiente em termos energéticos e ambientais (PAONE; BACHER, 2018; SHUKLA *et al.*, 2015; SHAIKH *et al.*, 2014).

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014), para que uma edificação se torne mais eficiente energeticamente ela deve demandar menos energia para manter as mesmas condições pré-existentes de conforto para o usuário. Um fator determinante no desempenho energético de uma edificação são as decisões de projeto, que atuam diretamente nos desempenhos térmico e lumínico. O formato do edifício influencia as suas trocas térmicas, uma vez que quanto maior a superfície da construção maior a troca de calor entre a sua envoltória e o entorno.

Dessa forma, grande parte do impacto na avaliação da eficiência energética de uma edificação deve-se à envoltória, cujos papéis envolvem controlar as trocas térmicas do edifício de forma a garantir mais tempo de conforto térmico do usuário e consequentemente menos horas de uso de sistemas de aquecimento e arrefecimento de ar. Assim, é evidenciada a importância da envoltória, seus materiais componentes e acabamentos na estratégia de redução do consumo energético de uma edificação (GONÇALVES; BODE, 2015).

O conceito de edifício sustentável abrange, além do baixo consumo energético, a gestão de água, terra e materiais, da mesma forma que a qualidade dos ambientes

construídos. As estratégias de aprimoramento do consumo energético de uma edificação podem ser ativas, como melhorias nos sistemas de arrefecimento e aquecimento de ar e a instalação de painéis fotovoltaicos, ou passivas, que podem envolver a envoltória da edificação (SADINENI; MADALA; BOEHM, 2011).

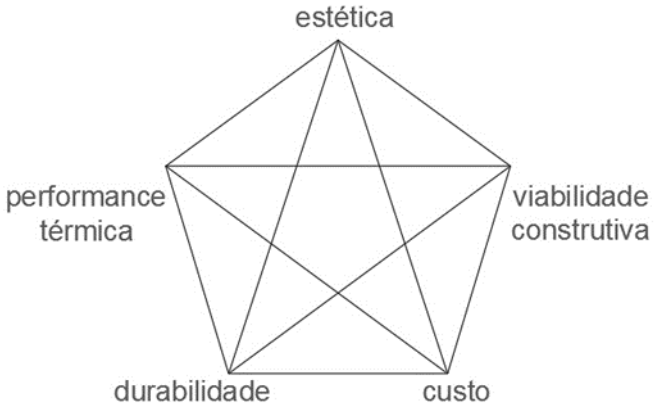
A ASHRAE 90.1 (2013) classifica a envoltória de um edifício como as porções exteriores e semi-exteriores de uma construção que são diferenciadas da seguinte forma:

- Envoltória exterior: Elementos de uma edificação que separam ambientes condicionados do exterior;
- Envoltória semi-exterior: Elementos de uma edificação que separam ambientes condicionados de uma edificação dos não condicionados. Sendo também espaços semi-aquecidos fechados pelos quais a energia térmica pode ser transferida das seguintes maneiras: para ou do exterior, para ou de espaços não condicionados, para ou de espaços condicionados.

Além disso, de acordo com PROCEL EDIFICA *et al.* (2012), tendo em vista a eficiência das edificações brasileiras, a envoltória possui três pré-requisitos que devem ser avaliados considerando cada ambiente da edificação separadamente, quais sejam: a transmitância térmica, absortância solar das superfícies e capacidade térmica. Seus valores são regulados pela zona bioclimática na qual a edificação a ser avaliada está situada. O zoneamento bioclimático brasileiro é definido pela NBR 15220-3/05 e será apresentado no subcapítulo 2.6.1.1.

No que tange à envoltória e sua importância, o trabalho de Passe e Nelson (2012) indica que 50% da energia consumida por uma edificação é destinado ao desempenho térmico do sistema da envoltória e elenca os cinco parâmetros utilizados no projeto desse sistema em um edifício. Na Figura 3 observa-se a interrelação entre os aspectos estéticos, a performace térmica, a visibilidade construtiva, a durabilidade e o custo como os principais parâmetros projetuais da edificação.

Figura 3 - Parâmetros projetuais da envoltória de um edifício



Fonte: Adaptado pelo autor

O estudo de Carlo (2008) indica que, em edificações comerciais, a adoção de aparelhos climatizadores de ar podem acarretar no aumento do consumo energético da edificação em 18 kWh/m². Além disso, a pesquisa aponta que o impacto da envoltória pode ser responsável por até 14 kWh/m² de consumo. No caso de torres naturalmente ventiladas, Veloso (2017) aponta que as taxas de consumo por área da envoltória das edificações são 70% menores se comparadas a construções completamente condicionadas. Considerando o cenário brasileiro, o PROCEL (2013) indica que alterações construtivas na envoltória de edificações existentes podem representar reduções de até 30% no consumo energético da mesma edificação.

Ademais, a pesquisa de Krüger e Mori (2012) considerou a adoção de estratégias bioclimáticas para o aprimoramento da eficiência energética de agências bancárias de acordo com a zona bioclimática brasileira de localização. Tais estratégias englobaram a alteração dos ângulos de sombreamento das aberturas envidraçadas, assim como mudanças das folhas de vidros empregadas. Os resultados apresentados indicam um aprimoramento das envoltórias analisadas de conceito A para B (Conforme o parâmetro estabelecido pelo RTQ-C), sendo elas, as edificações com a orientação solar da fachada principal voltada para Oeste nas zonas bioclimáticas 1, 4 e 5, além das voltadas para Norte, Leste e Sul na zona bioclimática 7.

Porém, de acordo com Pedrini (1997) as cargas do consumo energético de uma edificação podem depender ou não do clima. As dependentes estão relacionadas ao consumo de energia para o aquecimento ou arrefecimento de ambientes. Já as

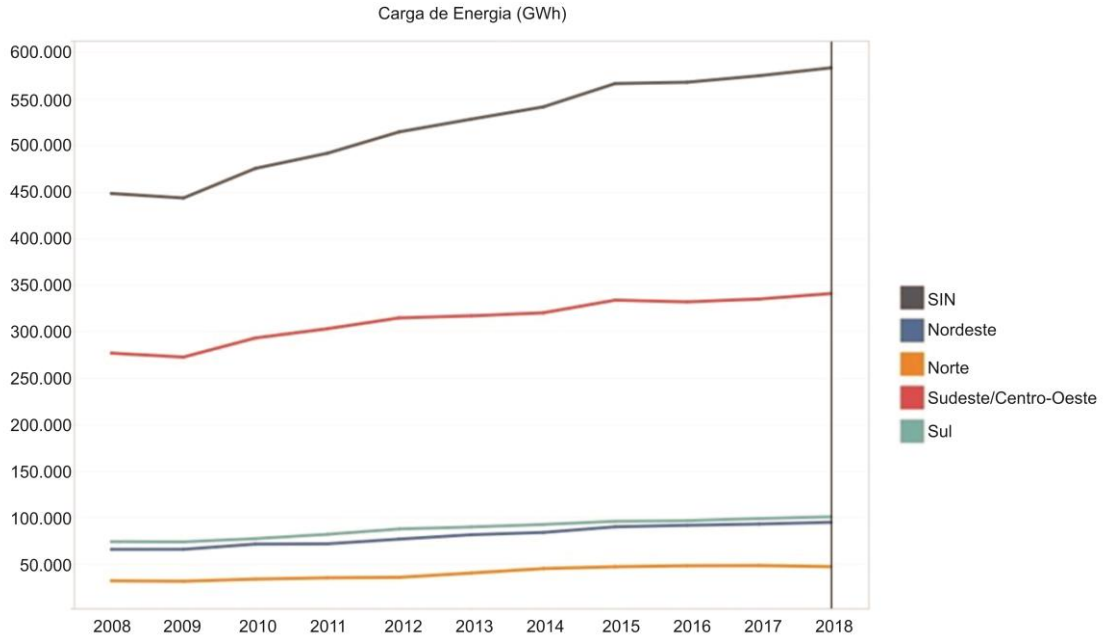
independentes referem-se à utilização da energia para iluminação e o funcionamento de equipamentos.

De acordo com EPE (2018) o consumo de aparelhos climatizadores de ar pelo setor residencial brasileiro triplicou em 12 anos, em decorrência das mudanças climáticas, da redução nos valores dos equipamentos e do aumento da renda da população.

O aprimoramento da eficiência energética dos aparelhos pela aplicação da etiquetagem PROCEL garantiu um ganho acumulado de eficiência térmica, entre os anos de 2005 e 2017, de 8%. No entanto, o uso desses sistemas ainda, é caracterizado como o terceiro maior responsável pelas taxas de consumo de energia do setor residencial brasileiro, e o maior nas regiões Norte e Sul do país (EPE, 2018)

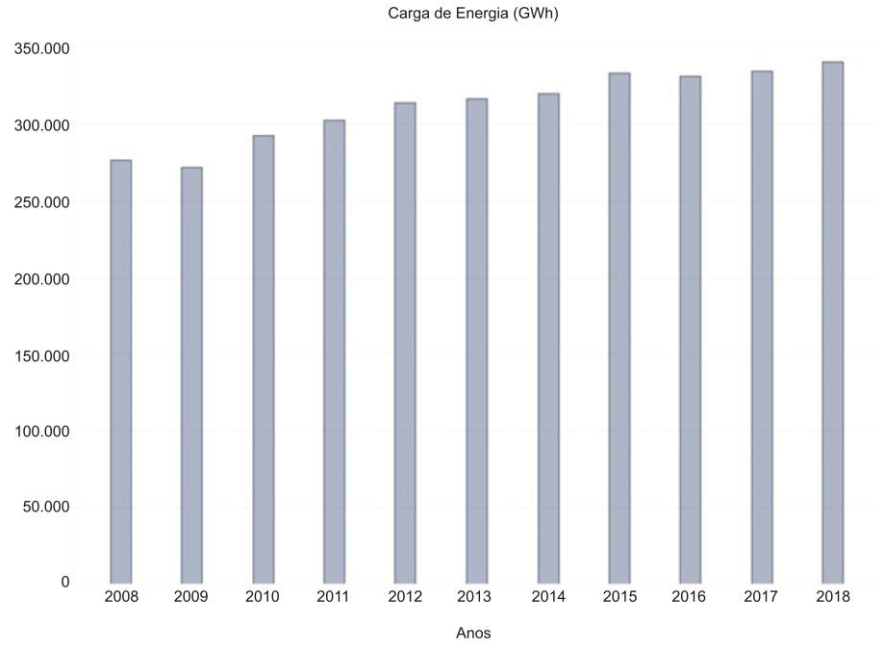
A região sudeste brasileira é responsável pelas maiores taxas de consumo energético do país nos últimos 10 anos (Gráfico 5). Além disso, o Gráfico 6 demonstra como, entre 2008 e 2018, esse consumo vem aumentando no subsistema sudeste/centro-oeste.

Gráfico 5 - Consumo energético brasileiro entre 2008 e 2018, no qual SIN corresponde ao Sistema Interligado Nacional



Fonte: gerado pelo autor no site www.ons.org.br

Gráfico 6 - Consumo energético do subsistema sudeste/centro-oeste entre 2008 e 2018



Fonte: gerado pelo autor no site www.ons.org.br

Além do exposto, as intervenções urbanísticas também são caracterizadas como soluções para o aprimoramento do gasto energético de um edifício, uma vez que

levam em consideração o cenário urbano de sua inserção. Estas intervenções podem, por exemplo, favorecer a ventilação da edificação ou aumentar a área vegetativa do entorno (VARTHOLOMAIOS, 2017).

2.6 NORMATIZAÇÃO

Modernizar o parque edificado existente e adotar medidas para assegurar também a eficiência energética das novas edificações e reduzir o consumo de energia é fundamental para que as cidades contenham o aumento das suas emissões de GEE e mitiguem as mudanças climáticas. Entretanto, além dos critérios ambientais, os parâmetros econômicos e sociais também devem ser levados em consideração na classificação de um edifício como sustentável (ANASTASELOS; GIAMA; PAPADOPOULOS, 2009).

Com o intuito de frear o constante aumento da demanda de energia mundial e suas consequências ao meio-ambiente, foram implementadas regulamentações e normatizações específicas para o setor, das quais podem ser destacadas as normas ASHRAE e ISO *(International Organization for Standardization)* (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Além disso, países europeus, assim como os Estados Unidos, Canadá, Japão e China estão investindo em políticas de redução dos impactos ambientais. Neste contexto, destaca-se ações diretamente ligadas à indústria da construção civil, sabidamente uma grande produtora de impactos, por meio da instituição da exigência das certificações “verdes” de edifícios para a sua legalização. Além disso, cidades como Nova Iorque e São Francisco, ambas nos EUA, estabeleceram metas próprias de redução nas emissões de GEE. Os governantes de Nova Iorque propuseram a redução nos seus níveis de emissões até o ano de 2050 a valores equivalentes a 80% dos que a região possuía no ano de 1990 (sendo que 50% dessa meta deve ser atingida até 2030). São Francisco, por sua vez determinou que até 2025 deve haver uma redução de 40% nas suas emissões e esse número deve se estender a 80% até o ano de 2050 (PICCOLI *et al.*, 2013; SAN FRANCISCO DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, 2010; URBAN GREEN COUNCIL, 2017).

No Brasil, visando a reduzir as taxas de consumo das construções nacionais, o governo instituiu em 2001, a partir da Lei da eficiência energética (Lei n° 10.295),

limites de consumo de energia para equipamentos e edificações. O PROCEL-EDIFICA foi criado para desenvolver estudos para validar as atribuições desta lei, das quais a instituição do selo PBE edifica, que determina os níveis de eficiência de uma edificação, assim como a elaboração do RTQ-C (Regulamento técnico da qualidade para eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos) e do RTQ-R (Regulamento técnico da qualidade para eficiência energética de edifícios residenciais), que criam condições para que ocorra a aplicação de etiquetas de nível de eficiência energética das construções (PROCEL, 2013; TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015). Além da Lei nº 10.295 também é possível contar com as normas reguladoras brasileiras regimentadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas.

A seguir serão apresentadas as normas de desempenho brasileiras vigentes que regem a questão projetual de edificações, uma vez que decisões de projeto podem afetar diretamente a eficiência energética de uma construção.

2.6.1 NORMA NBR 15220

No ano de 2005 o governo brasileiro estabeleceu, em caráter recomendativo, uma norma referente ao desempenho térmico de edificações, dividida em cinco partes apresentadas a seguir:

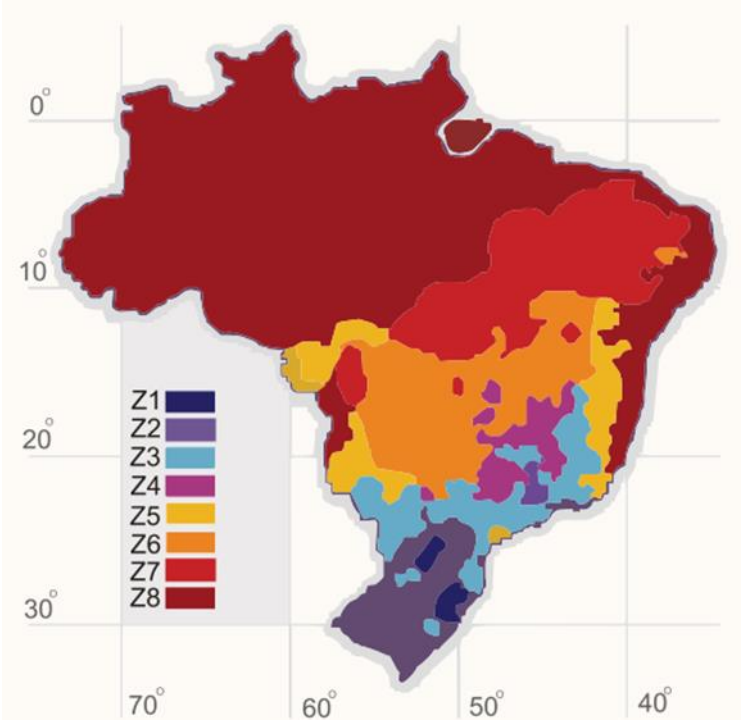
- NBR 15220-1: A parte 1 da norma NBR 15220 possui 12 páginas e determina as definições de termos relacionados ao desempenho energético de edificações, além dos símbolos e unidades correspondentes a cada um;
- NBR 15220-2: A parte 2 da norma NBR 15220 possui 40 páginas e determina métodos de cálculo das propriedades térmicas dos componentes de uma edificação. Essas propriedades são definidas como: fator de calor solar, atraso térmico, resistência, capacidade e transmitância térmica;
- NBR 15220-3: A parte 3 da norma NBR 15220 possui 36 páginas e delimita o zoneamento bioclimático brasileiro, assim como diretrizes construtivas para construções localizadas em cada região determinada. A norma classificou 330 cidades brasileiras;
- NBR 15220-4: A parte 4 da norma NBR 15220 possui 16 páginas e determina a medição da resistência e condutividade térmica de materiais sólidos pela metodologia da placa quente protegida;

- NBR 15220-5: A parte 5 da norma NBR 15220 possui 16 páginas e determina a medição da resistência e condutividade térmica de materiais sólidos pela metodologia fluximétrica (ABNT, 2008).

2.6.1.1 Zoneamento Bioclimátio Brasileiro

A NBR 15220-3/05 apresenta classificação para o Brasil distribuída em oito zonas bioclimáticas (ZB) distintas conforme se obseva na Figura 4.

Figura 4 - Mapa do zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: (ABNT, 2008) adaptado pelo autor

Porém, em vista das diversas mudanças climáticas e avanços ocorridos ao longos anos, em 2012, um grupo de pesquisadores reuniu-se com o intuito de revisar e ampliar o Zoneamento Biclimático Brasileiro. A partir destas reuniões duas propostas foram apresentadas ((RORIZ, 2012a; RORIZ, 2012b):

- Zoneamento composto por 20 zonas, cada um com uma média de 282 cidades cada, Um total de 5630 cidades;
- Zoneamento composto por 16 zonas de acordo com um intervalo definido a partir da aplicação de equações propostas para a definição de cada ponto.

2.6.2 NORMA NBR 15575

A norma NBR 15575 do ano de 2013 regulamenta critérios de desempenho aplicáveis a edificações habitacionais e avalia sistemas específicos em cada uma de suas partes. É importante destacar a importância dessa regulamentação para os estudos de desempenho de edificações, porém, ela não se aplica ao presente estudo, uma vez que a norma não abrange construções existentes, caso da presente pesquisa (ABNT, 2013).

2.7 AVALIAÇÃO DOS SOFTWARES, ESTRATÉGIAS PARA MELHORIA DE DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO E MÉTODO DE ANÁLISE DE RESULTADOS

Com o intuito de selecionar um portfólio de artigos científicos relacionados com o tema da presente pesquisa e que representem o seu estado da arte, utilizou-se o método ProKnow-C como método de revisão sistemática de literatura.

Desenvolvido pelo Laboratório de Metodologias Multicritério de Apoio á Decisão (LabMCDA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), sua escolha se deu pela alta aceitação junto ao mundo acadêmico, e, por possibilitar a seleção de artigos e a análise dos mesmos a partir da visão do pesquisador (MEDEIROS *et al.*, 2015; DUTRA et al., 2015; AZEVEDO; ENSSLIN; JUNGLES, 2014; GOMES; POGGIALI; AZEVEDO, 2019; FRANCA *et al.,* 2019).

O processo de seleção prescrito pelo ProKnow-C iniciou-se com a definição dos termos de busca a serem aplicados nas bases de dados de publicações científicas disponibilizadas pela CAPES, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Termos de busca utilizados no método de revisão sistemática

Conjuntos de termos de busca			
-Residential buildings -HVAC -Performance evaluation -Envelope -Retrofit	-Residential buildings -Air conditioner -Performance evaluation -Envelope -Retrofit	-Residential buildings -Air conditioning -Performance evaluation -Envelope -Retrofit	-Residential buildings -Cooling systems -Performance evaluation -Envelope -Retrofit
-Residential buildings -HVAC -Thermal performance -Envelope -Retrofit	-Residential buildings -Air conditioner -Thermal performance -Envelope -Retrofit	-Residential buildings -Air conditioning -Thermal performance -Envelope -Retrofit	-Residential buildings -Cooling systems -Thermal performance -Envelope -Retrofit

Fonte: O autor

A partir da aplicação dos termos de busca junto às bases de publicações científicas houve o retorno de 1746 artigos. Em seguida foram aplicadas as etapas de seleção de artigos conforme prescrito pelo método ProKnowC. As etapas do método e o número de artigos selecionado em cada uma delas é apresentado na Tabela 3.

1. Eliminação de redundância: Foram identificadas e eliminadas as duplicatas de artigos;
2. Análise dos títulos dos artigos selecionados: Os artigos selecionados tiveram os seus títulos analisados e aqueles cujos títulos não estavam alinhados com o tema da pesquisa proposta foram excluídos;
3. Reconhecimento científico do material adquirido: Foi avaliada a quantidade de citações de cada um dos artigos selecionados. Foi definido que seriam mantidos os artigos cujo somatório da quantidade de citações fosse equivalente ou superior a 80% do número total de citações encontradas;
4. Retorno de artigos recentes: Os artigos publicados nos dois últimos anos considerados na revisão foram adicionados à lista de artigos selecionados após a aplicação da etapa 2, uma vez que, tratam-se de publicações recentes e como tal não estão disponíveis a tempo suficiente para terem sido citadas por outros pesquisadores;
5. Análise dos resumos dos trabalhos: Os resumos dos artigos selecionados foram lidos e os artigos cujo resumo não estava alinhado ao tema de pesquisa foram excluídos; e,

6. Análise do artigo: Leitura completa do texto do artigo para a verificação de seu total alinhamento com o tema de pesquisa.

Tabela 3 - Etapas de eliminação da metodologia ProKnow-C

1. Eliminação de redundância	1746	———	608
2. Análise dos títulos dos artigos selecionados	608	———	29
3. Reconhecimento científico do material adquirido	29	———	13
4. Retorno de artigos recentes	13	———	19
5. Análise dos resumos dos trabalhos	19	———	11
6. Análise do artigo	11	———	9

Fonte: O autor

Ao fim da aplicação das 6 etapas o portfólio obtido é composto por 9 artigos, os quais estão apresentados na Tabela 4, juntamente com os seus respectivos anos de publicação e número de citações.

A Tabela 5 apresenta a próxima etapa do método ProKnow-C, na qual é demonstrada a relevância do portfólio de artigos selecionados. A relevância é demonstrada por meio da classificação Qualis dos periódicos, a classificação H5 dada pelo Google Acadêmico e pelo índice JCR (journal citations reports).

Tabela 4 - Lista de artigos do portfólioAutores	Título	Periódico	Ano	Citações
Taleb	Using passive cooling strategies to improve thermal performance and reduce energy consumption of residential buildings in U.A.E. Buildings	Frontiers of Architectural Research	2014	75
E. Giancola *et al.*	Evaluating rehabilitation of the social housing envelope: Experimental assessment of thermal indoor improvements during actual operating conditions in dry hot climate, a case study	Energy and Buildings	2014	25
A. Nguyen, S. Reiter	An investigation on thermal performance of a low cost apartment in hot humid climate of Danang	Energy and Buildings	2012	20
Li *et al.*	The Existing Building Sustainable Retrofit in China-A Review and Case Study	Procedia Engineering	2017	0
A. Fotopoulou *et al.*	Deep renovation in existing residential buildings through façade additions: A case study in a typical residential building of the 70s	Energy and Buildings	2018	9

K. Bataineh, A. Alrabee	Improving the Energy Efficiency of the Residential Buildings in Jordan	Buildings	2018	3
B. Ozarisoy, H. Altan	Low-energy design strategies for retrofitting existing residential buildings in Cyprus	Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability	2018	1
Gui *et al.*	The methodology of standard building selection for residential buildings in hot summer and cold winter zone of China based on architectural typology	Journal of Building Engineering	2018	1
N. Casquero-Modrego, M. Goñi-Modrego	Energy retrofit of an existing affordable building envelope in Spain, case study	Sustainable Cities and Society	2019	1

Fonte:O autor (2019)

Tabela 5 - Bibliometria e relevância do portfólio

Periódico	Qualis	H5	JCR
Frontiers of Architectural Research	B3	19	-
Energy and Buildings	A1	88	4,495
Procedia Engineering	-	51	-
Buildings	-	45	-
Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability	B1	22	1,302
Journal of Building Engineering	B2	27	2,378
Sustainable Cities and Society	-	13	4,264

A última etapa do método ProKnow-C é composta pela análise sistêmica dos artigos do portfolio. Ela consiste na investigação das informações presentes nos artigos do portfólio com foco em tópicos (lentes de pesquisa) que representam os pontos de vista que o pesquisador deseja investigar e que irão contribuir para a pesquisa.

Tal etapa consiste na investigação de informações presentes nos artigos do portfólio bibliográfico a partir das lentes de pesquisa, que representam a perspectiva desejada pelo pesquisador para a contribuição para a pesquisa. As lentes de pesquisa adotas durante a análise deste portfólio foram:

- Clima: Verificação do clima predominante na região onde a pesquisa foi executada, já que a variação das condições climáticas podem afetar a metodologia adotada. O clima tem um efeito importante no desempenho dos edifícios e no seu consumo de energia. As particularidades climáticas de uma região influenciam no desempenho da envoltória de uma edificação e definem o tipo de estratégia a ser utilizada para aprimorar a eficiência energética da construção (ABDALLAH, 2015).

- Tipologia de uso: Verificação da tipologia de uso da edificação avaliada em cada artigo. Edificações com uso residencial possuem uma rotina de uso pelo usuário diferente das edificações comerciais, o que afeta diretamente o seu consumo energético;
- Estratégias: Identificação de quais soluções foram adotadas em cada artigo com o intuito de aprimorar a eficiência energéticas das edificações estudadas a partir da redução de sua temperatura interna;
- Método de análise de resultados: Verificação do método utilizado para realizar a análise dos resultados obtidos em cada trabalho. Sua pôde auxiliar na escolha do método utilizado na presente pesquisa;
- *Software*: Verificação do *software* utilizado em cada artigo. Existem diversos *softwares* disponíveis e sua adoção por outras pesquisas pôde auxiliar na escolha do *software* utilizado na presente pesquisa.

A seguir são apresentadas as informações obtidas em cada artigo selecionado a partir de cada lente de pesquisa apresentada.

A Tabela 6 apresenta a aplicação da lente de pesquisa Clima. Dos nove artigos do portfólio, seis abordaram locais de clima quente, dos quais: três em clima quente temperado, dois em clima quente seco e um em clima quente úmido. Além dessas abordagens, um artigo foi desenvolvido em clima mediterrâneo, um em clima desértico e, para o último, o clima não foi informado.

Tabela 6 - Lente de pesquisa: Clima

Artigo	Clima
(GIANCOLA et al., 2014)	Clima quente seco
(NGUYEN e REITER, 2012)	Clima quente úmido
(FOTOPOULOU et al., 2018)	Não foi informado
(BATAINEH e ALRABEE, 2018)	Clima quente seco
(OZARISOY e ALTAN, 2018)	Clima quente e temperado
(CASQUERO-MODREGO e GOÑI-MODREGO, 2019)	Clima mediterrâneo
(TALEB, 2014)	Clima desértico
(GUI et al., 2018a)	Clima quente e temperado
(LI et al., 2017)	Clima quente e temperado

Fonte: O autor (2019)

É possível notar que dos nove artigos que fazem parte do portfólio, oito realizaram estudos em locais cujo clima apresenta períodos de altas temperaturas. Tal característica assemelha-se ao comportamento do clima tropical encontrado no Brasil,

no qual altas temperaturas são experimentadas em alguns períodos. Desse modo, é possível que ações para esses climas possam ser utilizadas também no cenário brasileiro.

A aplicação da lente de pesquisa Tipologia de uso é apresentada na Tabela 7, na qual é indicado que, assim como a presente pesquisa, sete dos nove artigos componentes do portfólio bibliográfico abordaram edificações residenciais em seus estudos. Assim, condutas realizadas nesses estudos podem ser utilizadas também na presente pesquisa, uma vez que que a tipologia de uso é a mesma.

Tabela 7 - Lente de pesquisa: Tipologia de uso

Artigo	Tipologia de uso
(GIANCOLA et al., 2014)	Residencial
(NGUYEN e REITER, 2012)	Residencial
(FOTOPOULOU et al., 2018)	Residencial
(BATAINEH e ALRABEE, 2018)	Residencial
(OZARISOY e ALTAN, 2018)	Residencial
(CASQUERO-MODREGO e GOÑI-MODREGO, 2019)	Residencial
(TALEB, 2014)	Residencial
(GUI et al., 2018a)	Não se aplica
(LI et al., 2017)	Comercial

Fonte: O autor (2019)

A Tabela 8 apresenta a aplicação da lente de pesquisa Estratégias ao portfólio. Nela estão apresentadas quais estratégias foram usadas por cada pesquisa componente do portfólio. A presente pesquisa fez uso das informações obtidas nesta seção para definir as estratégias que foram usadas no estudo.

Tabela 8 - Lente de pesquisa: Estratégia

Artigo	Estratégia
(GIANCOLA et al., 2014)	-Fachada ventilada -Vidro duplo
(NGUYEN e REITER, 2012)	-Isolamento de vedações -Aumento da espessura das vedações -Pintura da fachada na cor branca com menor valor de absortância -Vidros de alta performance -Elementos de sombreamento -Aumento da área envidraçada
(FOTOPOULOU et al., 2018)	-Vidros duplos -Elementos de sombreamento -Isolamento de vedações
(BATAINEH e ALRABEE, 2018)	-Vidros de alta performance -Elementos de sombreamento -Isolamento de vedações -Isolamento de telhado
(OZARISOY e ALTAN, 2018)	-Isolamento de vedações

	-Isolamento de piso -Isolamento de telhado -Fachada ventilada -Acabamento de fachada com alta inércia térmica -Sistema de iluminação de LED -Vidro triplo
(CASQUERO-MODREGO e GOÑI-MODREGO, 2019)	-Isolamento de telhado -Aumento da espessura das vedações
(TALEB, 2014)	-Elementos de sombreamento -Vidros duplos -Isolamento de vedações -Telhado verde -Reflexão solar -Torre de vento -Resfriamento indireto por radiação
(GUI et al., 2018a)	Não se aplica
(LI et al., 2017)	-Telhado verde -Parede verde -Vidros de alta performance -Aquecimento de água por meio de radiação solar -Placas fotovoltaicas

Fonte: O autor (2019)

Destaca-se que a pesquisa de Gui *et al.* (2018) divergiu das demais pois propôs a introdução de um sistema de índice de desempenho baseado nas decisões de projeto arquitetônico, tipologia construtiva e o impacto do consumo de energia. Uma vez catalogadas as edificações a serem estudadas o estudo desenvolveu um índice de classificação de cada tipologia na região estudada tomando como base o desempenho térmico e identificou, a partir de uma análise estatística, a região da cidade na qual cada tipologia teria um desempenho mais adequado.

Foram considerados para realizar a classificação, a forma da planta, a área de piso, a orientação da edificação de acordo com o sol, o número de pavimentos de cada construção, tipo de estrutura e de revestimento adotados, tipos de fonte de calor e de frio. Como resultado foi possível determinar as regiões da cidade estudada em que cada tipologia alcançaria melhor desempenho térmico.

A aplicação de estratégias construtivas envolvem fatores como custo de execução, custo de manutenção e tipo de intervenção. A presente pesquisa aborda uma construção existente do programa MCMV, desse modo, estratégias que envolvem altos custos, de execução ou manutenção, além de intervenções drásticas, como grandes refromas, não são pertinentes, uma vez que não passíveis de serem aplicadas pelo usuário de uma edificação MCMV faixa 1.

Assim, as estratégias levantadas pela aplicação da lente de pesquisa Estratégias serão classificadas na Tabela 9 considerando custos e intervenções. Para a presente

pesquisa, serão passíveis de aplicação aquelas estratégias que envolvam custos baixos e intervenções inexistentes ou leves. Para tanto a Tabela 10 segue a seguinte classificação:

- **Custos**

Baixo = B

Alto = A

- **Intervenção**

Inexistente = I

Leve = L

Drástica = D

Tabela 9 - Classificação estratégias portfólio

Estratégias	N° vezes utilizadas	Aplicável ao clima tropical	Custo de execução	Custo de manutenção	Tipo de Intervenção
Fachada ventilada	2	sim	A	B	D
Vidro duplo	2	sim	A	B	L
Isolamento de vedações	5	sim	A	A	D
Aumento da espessura das vedações	2	sim	A	B	D
Pintura da fachada na cor branca, menor valor de absortância	1	sim	B	B	L
Vidros de alta performance	3	sim	A	B	L
Elementos de sombreamento	3	sim	B	B	L
Isolamento de telhado	4	sim	A	A	D
Isolamento de piso	1	sim	A	A	D
Acabamento de fachada com alta inércia térmica	1	sim	A	A	D
Sistema de iluminação de LED	1	sim	A	B	L
Vidro triplo	1	sim	A	B	L
Telhado verde	2	sim	A	A	D
Reflexão solar	1	sim	A	A	D
Torre de vento	1	sim	A	A	D
Resfriamento indireto por radiação	1	sim	A	A	D
Parede verde	1	sim	A	A	D
Aquecimento de água por meio de radiação solar	1	sim	A	B	D
Placas fotovoltaicas	1	sim	A	B	L

Fonte: O autor (2020)

Pela Tabela 9 é possível notar que a estratégia mais utilizada no portfólio é o “Isolamento de vedações” citada por cinco artigos, porém, trata-se de uma estratégia com alto custo de execução e manutenção, além de necessitar de intervenções

drásticas para a sua instalação, desse modo, essa estratágia não é passível de ser aplicada ao objeto de estudo da presente pesquisa.

A estratégia “Isolamento de telhado” foi utilizada por quatro artigos do portfólio mas, assim como o isolamento de vedações, trata-se de uma estratégia que envolve custos elevados de execução e manutenção, assim como intervenções drásticas para a sua instauração. Assim, essa estratégia também não é indicada para aplicação na presente pesquisa.

Três pesquisas, respectivamente, fizeram uso das estratégias “Vidros de alta performance” e “Elementos de sombreamento”. A primeira não é indicada à presente pesquisa pois, apesar da leve intervenção para a sua instalação e o baixo custo de manutenção, o custo de execução dessa estratégia é elevado. Já a segunda estratégia é de simples execução, com baixo custo, assim como baixo custo de manutenção e leve intervenção, uma vez sua execução ocorre sem precisar derrubar alvenaria, sendo indicada para a presente pesquisa.

As estratégias “Telhado verde”, “Aumento da espessura das vedações”, “Vidro duplo” e “Fachada ventilada” foram citadas por dois artigos do portfólio cada uma. As estratégias caracterizam-se pelo alto custo e por necessitarem de intervenções drásticas para a sua instalação. No caso da estratégia “Telhado verde” há ainda o elevado custo de manutenção, uma vez que é preciso realizar a irrigação e a poda das plantas com frequência.

As demais estratégias foram citadas apenas uma vez por artigos do portfólio. São elas: “Aquecimento de água por meio de radiação solar”, “Parede verde”, “Resfriamento indireto por radiação”, “Torre de vento”, “Reflexão solar”, “Vidro triplo”, “Isolamento de piso”, “Pintura da fachada na cor branca, menor valor de absortância”, “Placas fotovoltaicas”, “Sistema de iluminação de LED” e “Acabamento de fachada com alta inércia térmica”. Excluíndo-se a estratégia de “Pintura da fachada na cor branca, menor valor de absortância”, todas elas caracterizam-se pelo alto custo de execução, desse modo trata-se da única aplicável à presente pesquisa.

As estratégias que envolvem mudanças de tipos de vidro possuem baixo custo de manutenção e tipo de intervenção leve. Assim, estratégias que envolvam mudanças de tipo vidro mas com custo menor de execução vão de acordo com as informações

encontradas no portfólio e podem se encaixar no padrão sócio-econômico do usuário do programa MCMV.

Considerando estratégias que envolvam custos baixos e intervenções inexistentes ou leves, as estratégias encontradas a partir da aplicação da lente de pesquisa Estratégias ao portfólio e passíveis de serem aplicadas na presente pesquisa são:

- Elementos de sombreamento: caracterizado pela instalação de elementos externos criando sombra nas aberturas. Tais elementos podem ser brises, marquises, prateleiras de luz ou venezianas. Cada elemento atua de uma maneira, utilizando a sombra como artifício, mas envolvendo custos e tipos de intervenções diversos.
- Pintura da fachada na cor branca com menor valor de absortância: caracterizado por reduzir a taxa de radiação absorvida pela superfície e consequentemente reduzir as temperaturas dos ambientes internos.
- Mudança do tipo de vidro: Caracterizado pela susbtituição dos vidros originais da edificação por vidros com características diversas que possam proporcionar a redução da temperatura interna da edificação. Existem vários tipos de estratégias que envolvem a mudança de tipo de vidro, em geral com alto custo agregado. A substituição de vidros com espessura menor por vidros de espessura maior caracteriza-se por ser uma estratégia de mudança de tipo de vidro com baixo custo.

A aplicação da lente de pesquisa Método de análise dos resultados é apresentada na Tabela 10. O método “comparação gráfica de resultados” foi utilizado por cinco dos nove artigos do portfólio, no qual os autores compararam os resultados obtidos por eles previamente à aplicação das estratégias e após a aplicação por meio de gráficos.

Ademais, três outros artigos utilizaram os seguintes métodos: “apresentação gráfica de resultados”, no qual os resultados obtidos pelos autores foram apresentados em forma de gráfico; “regressão linear e comparação gráfica de resultados”, no qual foi feita uma regressão linear dos resultados obtidos e os mesmos foram comparados com valores prévios à aplicação dos resultados obtidos em forma de gráfico e, “análise estatística com gráficos boxplot”, no qual foi feita uma análise estatística dos dados obtidos e seus resultados apresentados por meio de gráficos boxplot.

Tabela 10 - Lente de pesquisa: Método de análise dos resultados

Artigo	Método de análise dos resultados
(GIANCOLA et al., 2014)	Apresentação gráfica de resultados
(NGUYEN e REITER, 2012)	Regressão linear e comparação gráfica de resultados
(FOTOPOULOU et al., 2018)	Comparação gráfica de resultados
(BATAINEH e ALRABEE, 2018)	Comparação gráfica de resultados
(OZARISOY e ALTAN, 2018)	Comparação gráfica de resultados
(CASQUERO-MODREGO e GOÑI-MODREGO, 2019)	Análise estatística com gráficos boxplot
(TALEB, 2014)	Comparação gráfica de resultados
(GUI et al., 2018a)	Apresentação de resultados
(LI et al., 2017)	Comparação gráfica de resultados

Fonte: O autor (2019)

A análise da lente de pesquisa Método de análise de resultados do portfólio mostrou métodos que podem ser utilizados pela presente pesquisa para analisar os resultados obtidos.

A Tabela 11 apresenta a aplicação da lente de pesquisa *Software* na qual é possível notar que apenas quatro artigos dos portfólios especificaram os softwares com os quais trabalharam em suas pesquisas.

Dois artigos não utilizaram softwares e três não informaram o *Software* utilizado para o desenvolvimento do trabalho. Daqueles artigos que informaram, 50% trabalharam com os *softwares DesignBuilder* e *EnergyPlus* em conjunto. Os outros 50% trabalharam com os *softwares* PLEIADES-COMFIE e IES individualmente.

A experiência de outros pesquisadores do portfólio com o uso de *softwares* pode auxiliar na escolha do *software* empregado na presente pesquisa.

A simulação computacional de energia é uma ferramenta importante na busca pela redução do consumo de energia em edificações. Assim, os *softwares* de simulação de energética permitem aos projetistas prever cenários previamente à construção do edifício bem como propor medidas e soluções que possam aprimorar os resultados encontrados. Por meio da simulação computacional energética é possível a determinação do tamanho apropriado de sistemas de HVAC, análises de consumo de energia e cálculo de custos energéticos (SOUSA, 2012, HEO; CHOUDHARY; AUGENBROE, 2012).

Tabela 11 - Lentes de pesquisa: Software

Artigo	Software
(GIANCOLA et al., 2014)	Não se aplica
(NGUYEN e REITER, 2012)	PLEIADES-COMFIE
(FOTOPOULOU et al., 2018)	DesignBuilder + EnergyPlus
(BATAINEH e ALRABEE, 2018)	DesignBuilder+EnergyPlus
(OZARISOY e ALTAN, 2018)	Não foi informado
(CASQUERO-MODREGO e GOÑI-MODREGO, 2019)	Não foi informado
(TALEB, 2014)	IES
(GUI et al., 2018a)	Não se aplica
(LI et al., 2017)	Não foi informado

Fonte: O autor (2019)

De acordo com Mendes *et al.* (2005), em 2005, o número de *softwares* disponíveis para a realização de simulação energética listados no *Building Energy Tools Directory* passava de 290 *softwares*.

De forma complementar aos artigos do portfólio, destacam-se os estudos de Chen; Hong e Piette (2017), Neto e Fiorelli (2008) Westphal e Lamberts (2005), Mustafaraj *et al.* (2014) e Garcia (2017) que fizeram uso do *software EnergyPlus* para obterem os resultados de suas pesquisas.

Elaborado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, o *EnergyPlus* foi criado em 1996 e desde então consagrou-se como uma das ferramentas mais populares, especialmente pela interface simples, a fácil interação com *softwares* de projetos técnicos como o *AutoCad* e o *SkecthUp* e, também, pela gratuidade (SOUSA, 2012).

A presente pesquisa fez uso do *Software EnergyPlus* em conjunto com o *SketchUp*, e seu *Plug-in Euclid*. A escolha do EnergyPlus foi feita a partir da aplicação da lente pesquisa *Software*, uma vez que esse demonstrou maior incidência no portfólio além de ter livre acesso, por ser gratuito. Ao invés do DesignBuilder, como apresentado na lente de pesquisa *Software*, na presente pesquisa utilizou-se o *SketchUp* pois trata-se de uma opção gratuita, diferentemente daquele selecionado pela lente.

2.8 CALIBRAÇÃO

Conforme apresentado por Pedrini (1997), o princípio básico de uma simulação computacional é a reprodução das particularidades de uma edificação em um formato compreensível ao *software* utilizado. Tais informações são repassadas ao programa

por meio dos dados de *Input,* que uma vez fornecidos, simula-se o funcionamento da edificação.

Divergências entre os resultados do modelo computacional e os dados checados na edificação real existente, porém, são comuns. Essas diferenças podem ocorrer pela incerteza dos dados obtidos ou pela imprecisão na forma de obtenção dos mesmos. Dessa forma, a calibração de modelos consiste na comparação dos dados aferidos frente ao desempenho real da edificação e os colhidos pela modelagem computacional. Posteriormente, deve-se corrigir as variáveis de *Input* para aprimorar os resultados alcançados (MANFREN; ASTE; MOSHKSAR, 2013).

O ASHRAE Guideline 14-2002 é uma diretriz que define calibração como o processo de comparação dos resultados de um modelo com um padrão pré-determinado e, também, como a forma de remediação e ajustes das incertezas deste modelo frente à realidade. Além disso, a diretriz indica como calibrações de modelos de simulação energética predial devem ser conduzidas (ASHRAE, 2002).

A aplicação da calibração envolve etapas que são definidas pelo método adotado pelo pesquisador. Tais métodos podem ser manuais, dependentes de pré-conhecimento e ponderações do usuário, ou automáticos, nos quais algoritmos computadorizados são empregados (YUAN et al., 2017).

Assim, diversos pesquisadores utilizaram métodos de calibração em seus respectivos estudos. Yoon, Lee e Claridge (2003) aplicaram um método de calibração manual baseado em medições *in loco* e entrevistas para a verificação dos dados de *Input*. Já a abordagem de Westphal e Lamberts (2005) fez uso das informações de projeto e dos dados de consumo de carga elétrica da edificação em um método de calibração separado em *seis* etapas.

O trabalho de Garrett, New e Chandler (2013) fez uso do sistema de calibração *Autotune* para calibrar seu modelo energético de edificação levando em consideração os valores de medição de carga de consumo mensal. Do mesmo modo, Garrett e New (2016) também trabalharam com um método automático. Seu estudo verificou a aplicação do sistema *Trinity-test* para a calibração de simulações do programa *EnergyPlus*

Pode ser destacado, portanto, que a aplicação de métodos de calibração se tornou uma etapa fundamental e indispensável na execução de uma simulação computacional de uma edificação (FABRIZIO *et al*., 2015).

2.9 MEIO URBANO

Como previamente exposto, o conceito de eficiência energética predial está ligado ao consumo de energia de uma edificação. Seus valores variam de acordo com ações do usuário em busca de melhores condições de conforto, seja ele térmico ou lumínico. No caso de climas extremos os valores de consumo são elevados, uma vez que torna-se comum a adoção de sistemas de arrefecimento e/ou condicionamento. Estes sistemas compõem a maior parte da demanda energética desse edifício, na tentativa de alcançar ambientes confortáveis para o usuário (GYAMFI; KRUMDIECK; URMEE, 2013).

Os sistemas de climatização das edificações residenciais europeias foram responsáveis por 68,4% de todo o seu consumo (DE BOECK *et al.*, 2015). Países como China e Estados Unidos possuem uma média de 2 unidades de climatizadores por unidade habitacional, no caso brasileiro essa média é mais baixa, 0,4 unidades por residência, porém o seu aumento tem sido significativo. Entre 2005 e 2017 o consumo de sistemas de climatização pelos brasileiros duplicou. Além disso, o aumento da adoção de climatizadores nas residências brasileiras tende a continuar, levando-se em conta as constantes mudanças climáticas e o fato de que o Brasil é um país em crescimento econômico cuja maior parte do território localiza-se em zonas tropicais (EPE, 2018).

Assim, é possível concluir que o clima é um fator determinante no desempenho térmico de uma construção, já que as variações de temperatura e umidade afetam diretamente as condições de conforto térmico de um ambiente, o que leva o usuário a optar por soluções para reduzir o desconforto (OZARISOY; ALTAN 2018).

No que tange aos ambientes urbanos, nota-se que a dissipação de calor no meio urbano é menos eficiente do que nas áreas rurais, devido ao alto adensamento, à grande aglomeração populacional e à consequente redução do resfriamento evaporativo.

Consequentemente, verifica-se o aquecimento dos espaços urbanos em questão. Além disso, as construções e outros elementos urbanos que utilizam materiais antinaturais, caracterizam-se por absorver mais radiação. Esta radiação é emitida posteriormente para o meio urbano causando, como consequência, o aumento das temperaturas noturnas (ZHAO *et al.*, 2014).

Dessa forma, Adunola (2014) constata que as variações do conforto térmico podem ser consideradas como índices do impacto do microclima urbano no parque edificado da área, sendo mais acentuado em cidades mais populosas, adensadas e urbanizadas que outras.

No caso do Brasil a urbanização se deu tardiamente, a partir da década de 1950, de forma caótica e desestruturada assim como em outros países da América Latina. Essa circunstância ocasionou diversos problemas ambientais, econômicos e sociais que ainda podem ser encontrados nos dias de hoje.

A urbanização tardia e inadequada se deu em todo o território do país, com maiores aglomerações em casos específicos, potencializando os impactos gerados nesses locais. É importante destacar que o processo de urbanização brasileiro ainda não foi finalizado e que o déficit habitacional do país ainda é motivo de preocupação dos governantes (IBGE, 2015; BARBOSA; AMORIM, 2012).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo descreve os materiais que serão utilizados para realização dessa pesquisa e o método que será empregado para a obtenção dos resultados. Visando ao melhor entendimento da pesquisa, primeiramente descreveu-se o método de abordagem e de procedimento seguido dos materiais.

3.1 MÉTODOS

A utilização do uso de metodologias de pesquisa não é exclusiva do meio científico, porém, no cenário das ciências o método caracteriza-se por um conjunto de passos da pesquisa que auxiliam no alcance dos objetivos traçados (LAKATOS; MARCONI, 2003).

A seguir são descriminados o método de abordagem e de procedimentos da presente pesquisa.

3.1.1 Método de Abordagem

A presente pesquisa, pela classificação apresentada por Lakatos e Marconi (2003), utiliza, quanto ao método de abordagem, o método **Hipotético-dedutivo** visto que caracteriza-se por uma proposta baseada em lacunas de pesquisa detectadas sobre as quais hipóteses foram formuladas e testadas.

Além dessa definição, Silva e Menezes (2005) indicam que uma pesquisa pode ser classificada de formas variadas. A seguir classificaremos a presente pesquisa conforme as formas indicadas:

- Pela natureza a presente pesquisa pode ser classificada como **Básica** uma vez que visou à geração de novos conhecimentos que deverão ser úteis à ciência, porém, sem aplicação prática dos resultados obtidos;
- Pela forma de abordagem do problema a presente pesquisa pode ser classificada como **Quali-quantitativa,** uma vez que considerou a subjetividade do sujeito em seu estudo, e, para a análise dos resultados fará o uso de técnicas estatísticas;
- Pelos seus objetivos a presente pesquisa pode ser classificada como **Exploratória** dado que envolveu a análise de um objeto de estudo existente com o intuito de formular hipóteses a partir dessa avaliação;

- Pelos procedimentos técnicos a presente pesquisa pode ser classificada como **Experimental** visto que foi determinado um objeto de estudo e condicionantes que puderam atuar de forma significativa no seu comportamento, além disso foram feitas propostas de mudanças e os resultados obtidos foram observados.

3.1.2 Método de Procedimentos

O método de procedimentos é caracterizado pela apresentação e descrição das etapas que irão compor a pesquisa. Esse método é utilizado para que o pesquisador trace um caminho claro de todo o seu trabalho e visualize nitidamente os objetivos a serem alcançados e os passos para atingí-los (LAKATOS; MARCONI, 2003).

Desse modo, foi elaborado um planejamento para a presente pesquisa com o intuito de indicar as etapas pelas quais o estudo passará para atingir os objetivos propostos. Esse planejamento abrange desde a fase da coleta de dados até a análise de resultados obtidos com a simulação computacional, conforme pode ser verificado pelo fluxograma exposto na Figura 10.

A seguir, as etapas apresentadas no fluxograma da Figura 5 são descritas de forma detalhada:

1. **Definir a cidade de localização do objeto de estudo: Definir a cidade a ser estudada considerando sua localização na Zona 08 do zoneamento bioclimático brasileiro, caracterizada por elevadas taxas de temperatura (subcapítulo 2.6.1). Além disso, deve-se tratar de um local com urbanização elevada, como descrito no subcapítulo 2.9;**

RIO DE JANEIRO

O Rio de Janeiro é a segunda cidade em área urbanizada e população do país (IBGE, 2015). Por esta razão, foi contemplada com diversas construções do programa MCMV, caracterizadas, como exposto no subcapítulo 2.3, pela não observância de princípios de eficiencia energética, alto consumo energético e a desconsideração dos consequentes impactos ambientais correlacionados.

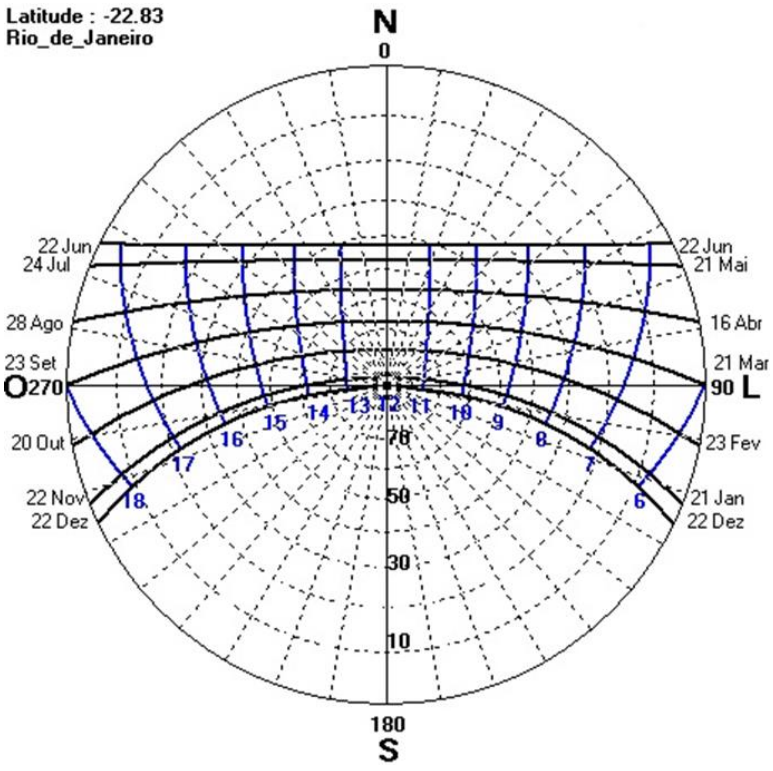
A cidade do Rio de Janeiro é caracterizada por apresentar longos períodos de desconforto devido ao calor, o que demonstra uma grande tendência na adoção de sistemas de arrefecimento de ar.

CARTA SOLAR E ROSA DOS VENTOS

No subcapítulo 2.7 foram apresentadas as estratégias selecionadas para serem aplicadas ao modelo de simulação computacional proposto. Uma vez definida a cidade do Rio de Janeiro como a localidade do objeto de estudo, é importante apresentar os dados de ventos e da trajetória solar na localidade, uma vez que tais informações são determinantes na aplicação das estratégias junto às fachadas da edificação.

Primeiramente, na Figura 5, apresenta-se a carta solar da cidade do Rio de Janeiro. A carta solar é uma representação gráfica do percurso do sol na abóboda celeste ao longo do dia durante todo o ano. Desse modo é possível identificar a incidência solar em cada fachada da edificação e a melhor maneira de aplicar as estratégias propostas.

Figura 5 - Carta solar da cidade do Rio de Janeiro

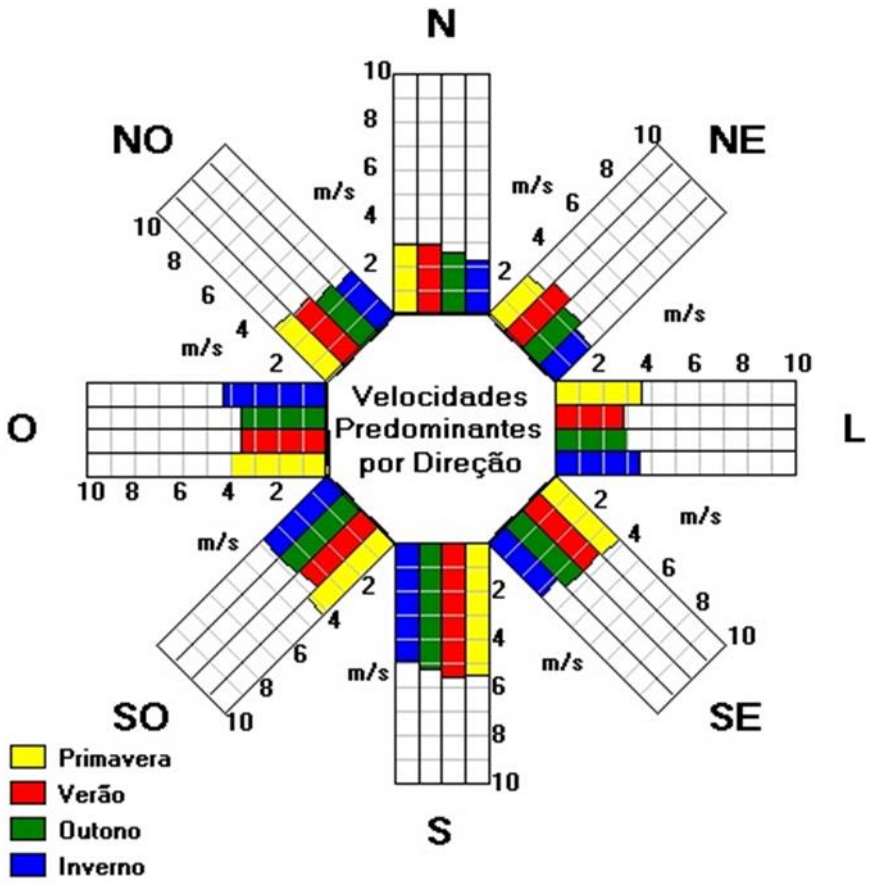


Fonte: gerado pelo autor por meio do *software* Sol-Ar

Em seguida, na Figura 6, apresenta-se a rosa dos ventos da cidade carioca. A rosa dos ventos indica os ventos predominantes para a localidade estudada de acordo

com a direção e estação do ano. Desse modo é possível identificar os momentos nos quais a ventilação pode favorecer a aplicação das estratégias e quais fachadas serão mais beneficiadas em determinados períodos.

Figura 6 - Rosa dos ventos da cidade do Rio de Janeiro



Fonte: gerado pelo autor no *software* Sol-Ar

2. **Definir o conjunto habitacional a ser estudado: Identificar uma construção localizada na cidade definida na etapa 1 que atenda aos objetivos propostos;**

PARQUE CARIOCA

O Parque Carioca, parte do programa MCMV, foi construído em 2013 em conjunto com a Prefeitura do Rio de Janeiro; Em virtude da facilidade de acesso aos dados de

projeto, bem como por se tratar de um exemplar que atende aos objetivos propostos desta pesquisa, selecionou-se, portanto, o Parque Carioca, para ser o objeto deste estudo.

Localizado no bairro de Jacarepaguá, na região Oeste da cidade (Figura 7) o Parque Carioca é constituído de 900 unidades habitacionais, dispostas em 4 condomínios, como indicado na Figura 8, distribuídas da seguinte maneira:

- Condomínio 1 – 260 unidades
- Condomínio 2 – 200 unidades
- Condomínio 3 – 200 unidades
- Condomínio 4 – 240 unidades

Figura 7 - Imagem micro de situação Parque Carioca

Fonte: PRJ (2013)

Figura 8 - Implantação Parque carioca

Fonte: PRJ (2013)

O conjunto apresenta duas tipologias de habitação. A primeira, com apartamentos de 2 quartos, possui 700 unidades. A segunda, com apartamentos de 3 quartos, possui 200 unidades. Além disso, 45 são adaptadas para o uso de portadores de necessidades especiais (35 de 2 quartos e 10 de 3 quartos).

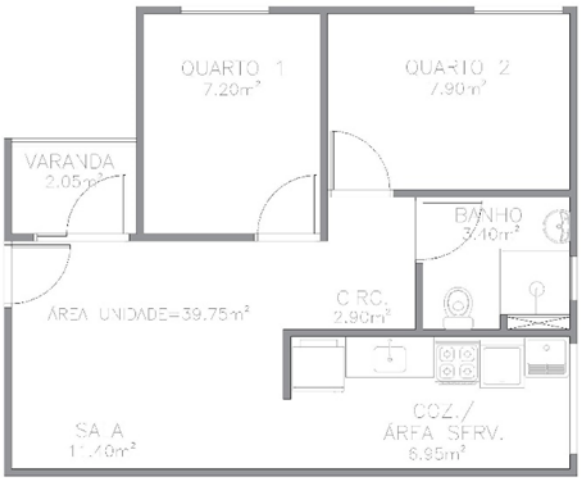
Ademais, o espaço comum é constituído pelas seguintes áreas:

- Praças
- Espaço comercial
- Escola

- Piscina com estrutura recreativa e quiosque
- Espaço recreativo infantil
- Quadras esportivas
- Academia descoberta
- Salão de festas e copa
- Churrasqueiras

Nesse estudo, em virtude do maior número de dados fornecidos, considerou-se o Condomínio 2, que possui 200 unidades habitacionais de 2 quartos com área útil de 39,75 m^2 (Figura 9).

Figura 9 - Planta apartamento tipo 2 quartos



Fonte: O autor (2019)

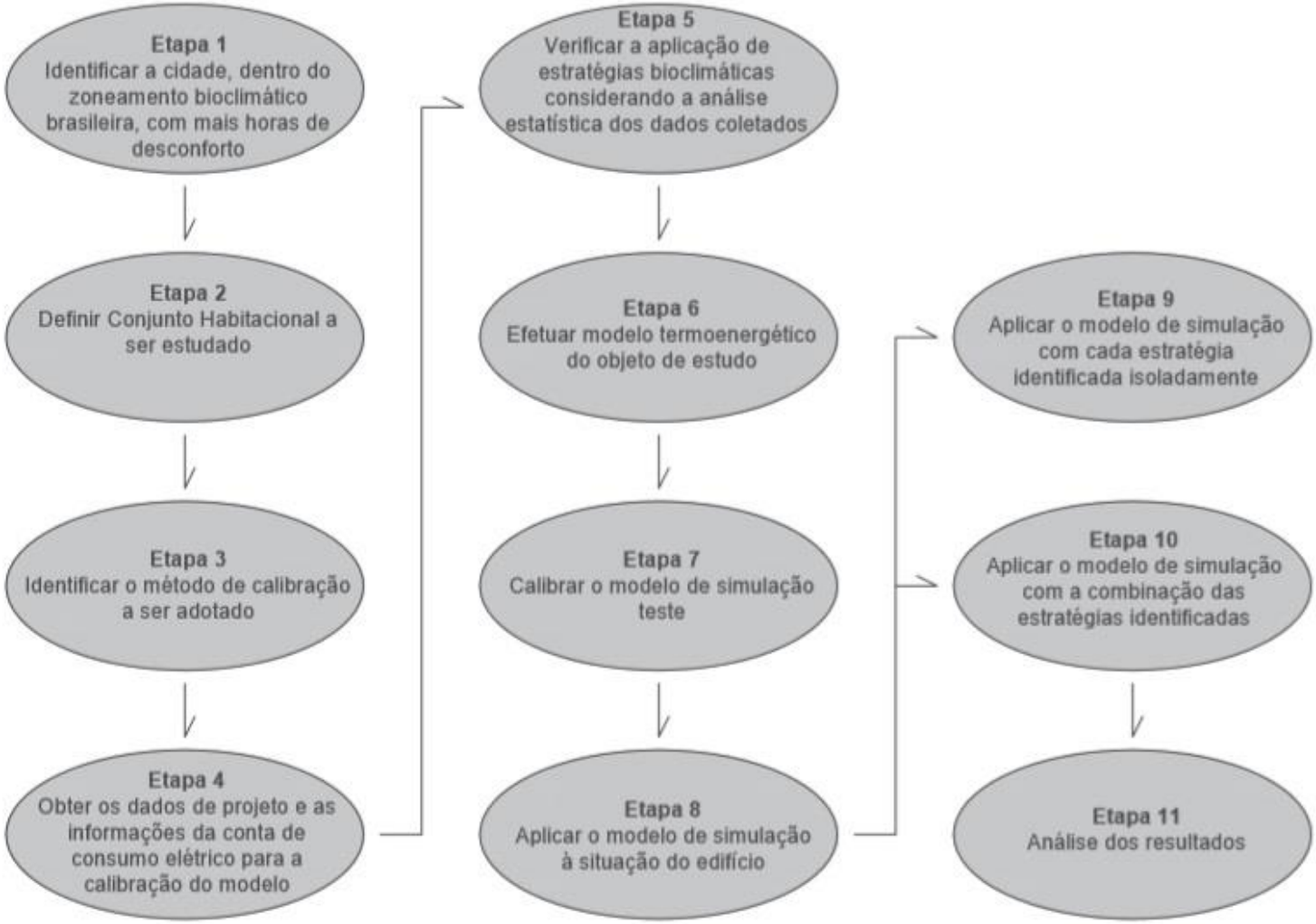
Nos anexos A e B são apresentados o projeto técnico e o memorial descritivo das unidades habitacionais.

Destaca-se que todos os dormitórios possuem infraestrutura, prevista em projeto técnico e proveniente da obra, para a instalação de aparelhos de condicionamento de ar de janela.

A escolha pela instalação ou não do equipamento cabe ao proprietário de cada habitação. Contudo, para a presente pesquisa, considerou-se o pior cenário, no qual todas as habitações possuem aparelhos de arrefecimento de ar em funcionamento, conforme previsão do projeto elétrico.

3. **Identificar o método de calibração a ser adotado: A partir da análise da literatura identificar tipos de métodos de calibração aplicáveis**;

Figura 10 - Fluxograma do método de procedimentos



Fonte: O autor

4. **Obter os dados de projeto e as informações da conta de consumo elétrico para a calibração do modelo: Coletar os projetos técnicos do objeto de estudo junto à construtora. Levantar os índices de refletância das paredes externas existentes utilizando espectrômetro portátil Alta II. Coletar as contas de consumo de energia elétrica das unidades habitacionais junto aos moradores. Realizar análise estatística dos dados coletados para identificar os níveis de significância dos fatores envolvidos;**
5. **Identificar as estratégias a serem aplicadas: A partir da aplicação do método de revisão sistemática ProKnowC e da análise estatísticas dos dados coletados, identificar quais estratégias construtivas bioclimáticas se mostram mais significativas quando aplicadas à construção;**
6. **Efetuar o modelo termoenergético da edificação: Criar o modelo 3D com dados termoenergéticos da edificação por meio do *software SketchUp* e seu respectivo *plug-in Euclid*;**
7. **Calibrar o modelo de simulação teste: Calibrar o modelo por meio dos dados obtidos a partir da aplicação do método identificado na etapa 4 e gerar uma simulação teste para verificar sua eficácia e a partir daí dar sequência na pesquisa;**
8. **Aplicar o modelo de simulação carcaterizado para o edifício: Gerar, por meio da emulação de uma edificação existente, um arquivo de simulação computacional térmica do objeto de estudo escolhido, de modo a recriar o seu comportamento térmico por meio do *software EnergyPlus;***
9. **Aplicar o modelo de simulação com cada estratégia identificada isoladamente: Realizar, por meio do *software EnergyPlus*, novas simulações térmicas complementares aplicando isoladamente as estratégias bioclimáticas definidas na etapa 5;**
10. **Aplicar o modelo de simulação com a combinação das estratégias identificadas: Realizar, por meio do *software EnergyPlus,* novas simulações térmicas complementares aplicando a combinação das estratégias bioclimáticas identificadas na etapa 5;**

11. **Análise dos resultados: Analisar os resultados obtidos a partir das simulações térmicas realizadas com base nas respostas geradas por meio de métodos estatísticos e comparações gráficas e apresentar as conclusões.**

3.2 MATERIAIS

A presente pesquisa visa a aplicar estratégias construtivas em uma edificação residencial existente e verificar qual o percentual de redução do consumo energético da edificação. Para alcançar os objetivos propostos foram utilizados os seguintes materiais:

ESTAÇÃO DE TRABALHO

A estação de trabalho caracteriza-se pelo equipamento computacional empregado para inserção de dados obtidos nos softwares que foram utilizados para a realização da simulação computacional.

ESPECTÔMETRO PORTÁTIL ALTA II

Para obter as informações referentes aos índices de refletância das paredes externas existentes, utilizou-se o espectrômetro portátil Alta II (Figura 11), da marca Vernier, que mede a radiação de 11 comprimentos de onda diferentes (de 470 a 940 nm), desses, 7 estão na zona visível e 4 na zona infra-vermelha. A verificação da refletância à radiação solar das superfícies externas da edificação, objeto deste estudo, ocorreu no mês de Julho de 2019 e seguiu os procedimentos descritos por Sagoi; Ramos; Lamberts (2010).

Figura 11 - Espectrômetro portátil Alta II

Fonte: O autor

SOFTWARE SKETCHUP

O *SketchUp* é um *software* pertencente à empresa Trimble. Tal ferramenta foi utilizada, em conjunto com o *Plug-in Euclid*, para a realização de modelos 3D de edificações. Nesta pesquisa utilizou-se a versão *make* 2017 (TRIMBLE,2020), gratuita, em conjunto com o *Plug-in Euclid* (NREL, 2020), versão 0.9.3, também gratuito, para gerar o modelo 3D termoenergético da edificação a ser estudada.

SOFTWARE ENERGYPLUS

O software *EnergyPlus* trata-se de um programa computacional distribuído gratuitamente pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos destinado à realização de modelos de simulações térmicas prediais. Nesta pesquisa utilizou-se a versão 8.6 desta ferramenta (DOE; BTO; NFL, [201-]).

SOFTWARE R

O software *R* é um programa computacional de linguagem livre destinado à realização de tratamentos estatísticos de dados numéricos. Para esta pesquisa foi utilizada a versão R - Studio desta ferramenta (R Development Core Team, 2020).

ARQUIVO CLIMÁTICO

O arquivo climático trata-se de um arquivo computacional de entrada (input) da simulação computracional que contém dados climáticos referentes a uma determinada região de uma localidade. Estes arquivos são disponibilizados gratuitamente por diversas fontes e podem conter diversos formatos de extensão. Para esta pesquisa utilizou-se o arquivo Rio de Janeiro - Jacarepaguá extensão TMY (LABEEE, 2019).

O conhecimento e compreensão do clima de uma região são essenciais para o desenvolvimento de um projeto considerando orientações da arquitetura bioclimática. Para a obtenção dessas informações existem as estações meteorológicas que agregam uma quantidade considerável de registros climáticos. As informações coletadas pelas estações meteorológicas fornecem

material para a geração de diversos tipos de arquivos climáticos (GRIGOLETTI; FLORES; SANTOS, 2016).

Porém, esses dados por vezes são aleatórios e divergentes, já que em uma mesma data em anos diferentes podemos ter condições climáticas distintas. Em vista de contornar essa situação e tornar as informações climáticas mais confiáveis foram criados os arquivos climáticos.

O arquivo climático TMY (*Typical Meteorological Year*) considera um ano estatístico com 12 meses típicos. Sua geração consiste em métodos matemáticos complexos baseados em pesquisas de campo de aproximadamente 30 anos (SUN; LI; XIAO, 2017).

O arquivo climático TRY (*Test Reference Year*) considera um ano climático referencial sem extremos de temperatura. Sua formação é feita considerando dados médios obtidos a partir da exclusão de anos com médias de temperatura mensais extremas (GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998).

O arquivo climático do projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*) tem como objetivo o fornecimento de dados de recursos energéticos renováveis para várias regiões do mundo. Sua geração consiste na reunião de dados de meses, que não apresentaram extremos de temperatura, em anos diversos. Seus dados são posteriormente convertidos em formato *epw*, o mesmo utilizado pelo *software EnergyPlus* (LABEEE, 2005).

No Brasil, outro método utilizado para a obtenção de informações climáticas são as normais climatológicas. Desta forma, os arquivos climáticos fornecidos pelo instituto nacional de meteorologia (INMET), foram formados pela média das condições climáticas de um local, coletadas durante 30 anos. Contudo os dados do INMET, para algumas cidades, possuem lacunas e intervalos nas medições que foram preenchidas e substituídas. Neste caso, evidencia-se, portanto, que este arquivo pode não ser a melhor opção de escolha. Porém, muitos municípios brasileiros não possuem, ainda, outro tipo de arquivo climático (SCHELLER *et al.*, 2015).

Casagrande e Alvarez (2014) apontam a necessidade da utilização de métodos de transformação de arquivos climáticos, considerando eventos futuros em sua geração. Dessa forma as informações apresentadas pelos arquivos climáticos estarão mais próximas do cenário real.

O estudo de Ciancio *et al.* (2018) constatou que o consumo energético devido ao uso de climatizadores de ar pode ser subestimado em 35% a 50% caso o calor urbano e as ilhas de calor sejam desconsideradas em uma simulação energética, uma vez que o desconforto do usuário pode ser mais elevado do que aquele considerado. Dessa forma, ao avaliar as condições de conforto externo de ambientes urbanos é necessário levar em consideração, em uma segunda análise, a taxa de urbanização do local.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados e discussões da presente pesquisa.

4.1 ANÁLISE DADOS COLETADOS

Neste capítulo apresenta os dados levantados em visita ao objeto de estudo, realizada no mês de Julho de 2019.

O levantamento de dados foi realizado por meio de visita *in loco* no qual verificou-se, de maneira voluntária e consensual, os valores de consumo de energia mensais, durante um ano (Julho de 2018 a Julho de 2019), de cada unidade habitacional.

Destaca-se que só foi possível coletar os dados de consumo referente às contas de energia elétrica, o pesquisador não conseguiu acesso a informações sobre o número de moradores por habitação assim como a real distribuição de equipamentos elétricos e seus hábitos de uso.

Os parâmetros de uso e ocupação foram, posteriormente, elaborados com base na rotina comum levantada na ocasião da visita às unidades habitacionais. Tal informação foi utilizada como *input* da simulação computacional descrita no subcapítulo 4.7. O uso da iluminação, chuveiro e equipamentos tais como ferro elétrico, lavadora de roupas, TV e microondas foram considerados constantes ao longo do ano. Somente o uso de ar condicionado variou ao longo do ano. A Tabela 13 apresenta a quantidade de dados obtidos.

Tabela 12 - Listagem dados coletados

LOTE 2		
Prédio (IDENTIFICAÇÃO)	Número de aptos por prédio (UNIDADE)	Número de aptos que forneceram dados (UNIDADE)
1	20	4
2	20	10
3	20	9
4	20	7
5	20	4
6	20	6
7	20	5
8	20	9
9	20	8
10	20	5
TOTAL	**200 (100%)**	**67 (33,5%)**

Fonte: O autor (2020)

Uma vez obtidos os dados de consumo das unidades habitacionais, foi realizada uma análise estatística com o intuito de identificar quais fatores seriam mais significativos nos valores de consumo de energia obtidos.

Primeiramente foi verificado se os dados coletados seguiam uma distribuição normal, sendo que os dados considerados como “outliers” foram descartados. A seguir, foi realizada a análise de variância (ANOVA), na qual o consumo de energia elétrica foi relacionado com os seguintes fatores:

- Direção: Corresponde à coordenada para a qual o bloco está voltado;
- Andar: Corresponde ao andar no qual a unidade habitacional está localizada;
- Bloco: Corresponde ao bloco ao qual a unidade habitacional faz parte;
- Mês: Corresponde aos meses do ano.

A Tabela 13 apresenta os resultados da análise de variância ANOVA realizada.

Tabela 13 - ANOVA com interação dos dados coletados

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
direção	1	28977	28977	4.404	0.0363*
andar	1	5257	5257	0.799	0.3718
bloco	1	19509	19509	2.965	0.0856
mês	11	543149	49377	7.505	3.82e-12***
direção:andar	1	566	566	0.086	0.7694
direção:bloco	1	973	973	0.148	0.7006
andar:bloco	1	36682	36682	5.575	0.0185*
direção:mês	11	40029	3639	0.553	0.8667
andar:mês	11	42210	3837	0.583	0.8432
bloco:mês	11	14153	1287	0.196	0.9978
direção:andar:bloco	1	5442	5442	0.827	0.3635
direção:andar:mês	11	69458	6314	0.960	0.4823
direção:bloco:mês	11	65330	5939	0.903	0.5374
andar:bloco:mês	11	42160	3833	0.583	0.8438
direção:andar:bloco:mês	11	59179	5380	0.818	0.6224
Residuals	592	3894970	6579		

Fonte: Gerado pelo autor no Software R (2019)

A partir da Figura 14 é possível perceber que o mês (meses do ano) e a direção são significativos para os valores de consumo de energia elétrica encontrados, uma vez que o p-valor encontrado é inferior a 0,05.

O andar, representando a posição da unidade habitacional junto à edificação, não é significativo, já que o p-valor está acima de 0,05, o que indica que a

localização no andar térreo ou na cobertura não é significativo no consumo de energia elétrica das residências.

O bloco, representando o posicionamento do mesmo junto a áreas vegetadas ou asfaltadas, possui um valor próximo de 0,05. Dessa forma, não é possível determinar sua real significância.

É importante destacar que o valor residual é elevado, o que pode comprometer a significância das variáveis consideradas. Para reduzir o valor residual seria necessário obter informações detalhadas acerca dos hábitos de uso de equipamentos, ocupação dos usuários bem como o inventário dos equipamentos de cada habitação. Porém, como descrito, a falta destas informações caracteriza-se como um das restrições e limitações desta pesquisa.

Na sequência, foi realizado o Teste de Tukey para determinar, no caso da direção cardeal, qual a significância de cada umadelas. No caso dos blocos, o teste foi feito para averiguar a real significância dos blocos frente ao consumo de energia elétrica

A seguir, foi realizado o Teste de Tukey para determinar, no caso da direção, qual a significância de cada uma das direções cardeais. No caso dos blocos, o teste foi feito para averiguar a real significância dos blocos frente o consumo de energia.

A Tabela 14 apresenta o resultado obtido no Teste de Tukey para a direção, no qual lista-se 4 direções principais, sendo:

1 = Voltado para Oeste

2 = Voltado para Norte

3 = Voltado para Sul

4 = Voltado para Leste

O resultado indicou que a média do consumo de eletricidade das habitações voltadas para as direções 2, 3 e 4 são as mesmas (b), havendo diferença estatística significativa apenas na média das habitações voltadas para Oeste (a). Neste contexto, verificou-se, portanto, que as habitações voltadas pra Oeste possuem médias de consumo de energia elétrica mais altas que aquelas voltadas para as outras direções.

Tabela 14 – Teste de Tukey para a direção

	Consumo groups	
1	203.3869	a
4	180.1745	b
2	171.6534	b
3	167.8589	b

Fonte: Gerado pelo autor no Software R (2019)

Na Tabela 15 apresenta-se o resultado obtido no Teste de Tukey realizado para averiguar a real significância dos blocos frente ao consumo de energia elétrica, uma vez que na análise variância seus valores foram incertos. É possível perceber que não há diferença estatística significativa entre as médias de consumo de energia elétrica dos blocos, ou seja, de acordo com os dados obtidos nesta pesquisa, a posição dos blocos no terreno não é significativa para o consumo de energia elétrica.

Tabela 15 - Teste de Tukey para o bloco

	Consumo groups	
7	203.9811	a
10	194.3559	a
3	191.7143	a
6	187.5694	a
8	184.9643	a
1	178.0769	a
4	174.5125	a
5	165.6585	a
9	163.3731	a
2	162.9914	a

Fonte: Gerado pelo autor no Software R (2019)

Na Tabela 16 é evidenciado o Teste de Tukey que foi realizado para identificar a significância de cada mês do ano frente ao consumo de energia. Não há diferença estatística significativa entre as médias dos meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Abril, Maio, Outubro e Dezembro. Assim como também não há diferença estatística significativa entre as médias dos meses de Março, Abril, Maio, Junho, Outubro, Novembro e Dezembro. Os meses de Abril, Maio, Junho, Julho, Agosto, Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro também não

apresentam diferença estatística significativa entre suas médias. A influência dos meses no consumo de energia das habitações segue a ordem com que eles aparecem no Teste de Tukey, assim, fica evidente que os meses de Janeiro, Fevereiro, Março e Dezembro, nessa ordem, os quais apresentam os registros de temperaturas mais elevadas, são aqueles mais significativos no consumo de energia.

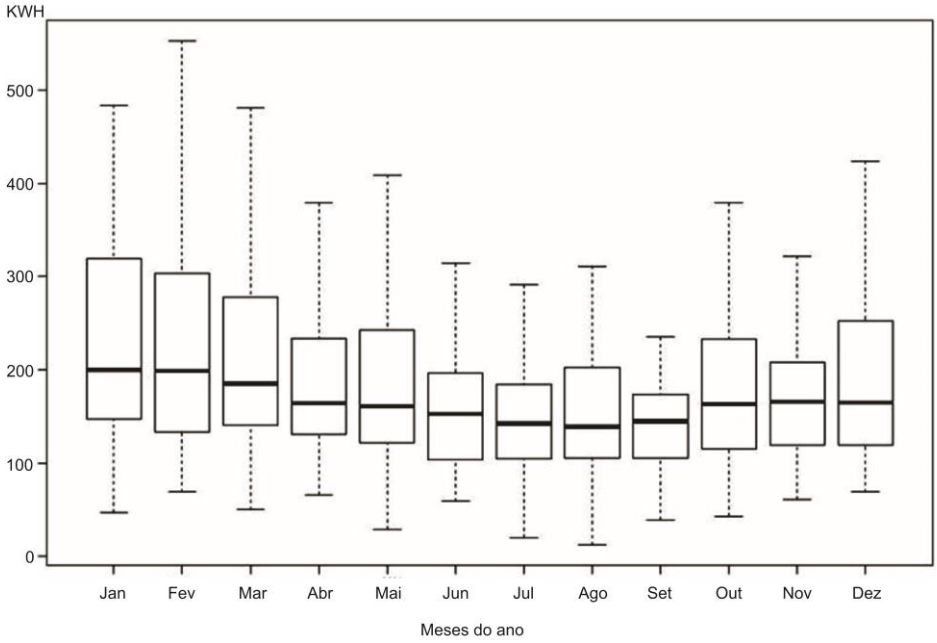
Tabela 16 - Teste de Tukey para os meses

	Consumo groups	
Janeiro	226.6441	a
Fevereiro	223.6167	a
Março	205.2567	ab
Dezembro	187.0500	abc
Abril	184.2857	abc
Maio	183.2373	abc
Outubro	177.2143	abc
Novembro	168.1964	bc
Junho	158.9655	bc
Agosto	149.1250	c
Julho	145.2500	c
Setembro	137.0385	c

Fonte: Gerado pelo autor no *Software* R (2019)

Os gráficos Boxplot apresentados na Figura 12 indicam o comportamento do consumo de energia elétrica das unidades habitacionais frente os 12 meses do ano.

Figura 12 – Consumo de energia elétrica por meses (Kwh x meses)



Fonte: Gerado pelo autor no Software R (2019)

De acordo com a Figura 12, durante os meses de Dezembro a Março, verifica-se maior variação entre as taxas de consumo de energia elétrica das unidades. Possivelmente isso se deve ao fato desses meses caracterizam-se por altas temperaturas e, consequentemente, pelo uso de aparelhos de arrefecimento de ar pelos usuários, uma vez que as horas de sensação de desconforto devido ao calor são mais frequentes.

Tal suposição pode ser confirmada pelas medianas de consumo de energia elétrica observadas no gráfico apresentado na Figura 12. Nos meses de temperaturas mais altas as medianas indicaram valores de consumo de eletricidademais elevados do que naqueles caracterizados por temperaturas mais baixas.

Vale ressaltar que os meses que apresentam maior variação de consumo nos gráficos boxplot sãos os mesmos que foram classificados como mais significativos nas taxas de consumo de energia na aplicação do Teste de Tukey.

4.2 DEFINIÇÃO DAS ESTRATÉGIAS CONSTRUTIVAS

Este capítulo apresenta as estratégias da arquitetura bioclimática que foram adotadas na simulação computacional realizada com o intuito de reduzir a temperatura operativa dos ambientes da construção.

A análise do subcapítulo 4.3 indicou que ações para evitar/barrar a radiação solar nas fachadas voltadas para a direção Oeste, assim como para evitar a radiação solar na edificação nos meses de Dezembro a Março são aplicáveis para o estudo. Tal informação foi somada à revisão sistemática de literatura apresentada no subcapítulo 2.7 para a definição das estratégias bioclimáticas a serem adotadase, como descrito, levando em consideração o baixo custo para a instalação e manutenção, além da requisição de intervenções leves ou inexistentes para a sua aplicação, uma vez que a edificação faz parte do programa MCMV faixa 1.

Agrega-se às informações obtidas nos capítulos anteriores, que a adoção de dispositivos de sombreamento evita a entrada de radiação solar na edificação quando indesejada e podem ser benéficas ao estudo proposto (CANAS e MARTÍN, 2004).

Além disso, a questão da radiação solar também pode ser minimizada substituindo os vidros das janelas existentes por outros com menores valores de transmitância térmica e/ou fator solar**.** A aplicação de vidros triplos, com menores valores de transmitância térmica, proporcionou uma redução de 6% no consumo energético da edificação estudada por Ozarisoy; Altan (2018).

A alteração da cor da pintura aplicada nas fachadas, dando preferência para tons mais claros, caracteriza-se ,também, como uma estratégia para refletir parte da radiação solar incidente e minimizar a parcela absorvida. A altas taxas de reflexão solar dessas cores limitam o aumento da temperatura superficial na presença de altas cargas solares (KARAKOUNOS; DIMOUDI; ZORAS, 2018).

Desse modo, para a presente pesquisa foram selecionadas as seguintes estratégias construtivas aplicáveies a uma unidade residencial existente, considerando também o fator custo e nível de intervenção da aplicação, pertinente ao cenário estudado, MCMV faixa 1.

1. Pintura: Mudança da cor da pintura da fachada das edificações para um tom claro (menor valor de absortância);
2. Sombreamento: Estratégia de sombreamento instalada sobre as aberturas, funcionando como marquises;
3. Vidro: Substituição de vidro temperado transparente incolor de 4mm transparente por vidro temperado transparente incolor de 6mm;
4. Veneziana: Veneziana em alumínio instalada junto às aberturas.

4.3 MODELO TERMOENERGÉTICO

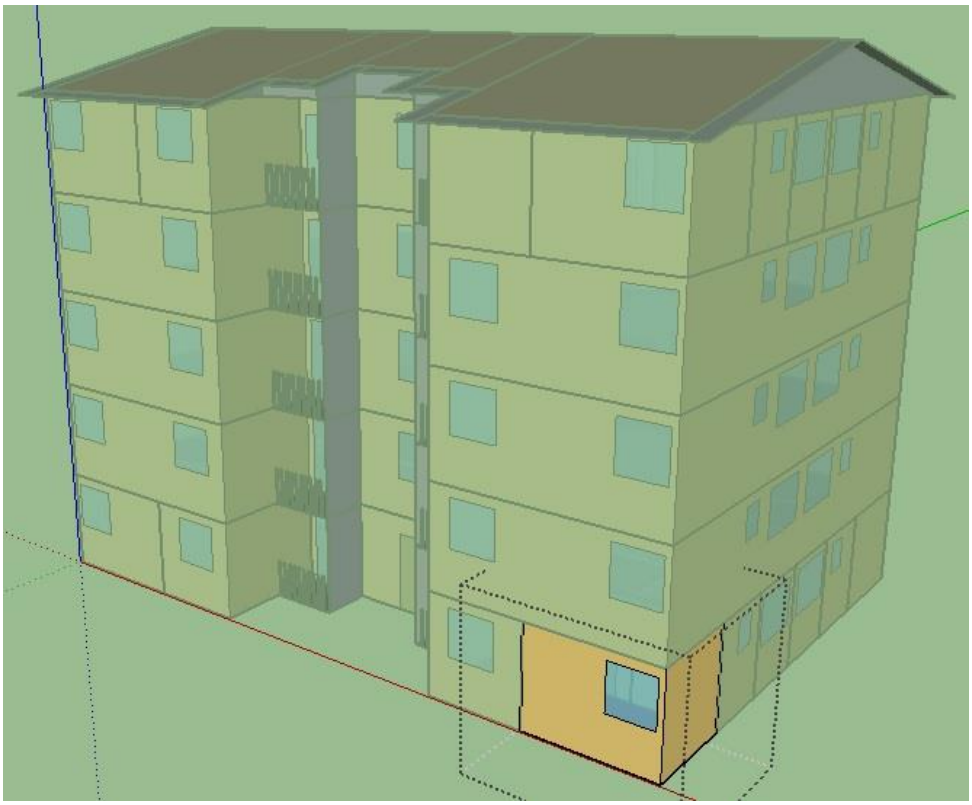
Este capítulo apresenta o modelo termoenergético construído com o auxílio do *software SketchUp* e o *plug-in Euclid.*

Uma vez que a análise dos dados coletados nesta pesquisa indicou que o entorno não influencia no consumo de energético das unidades, realizou-se, apenas, o modelo de uma edificação representativa do conjunto estudado.

Apesar da análise dos dados levantados não indicar diferença significativa entre o consumo de eletricidade entre as unidades térreas e de cobertura, a literatura indica que ambientes localizados nos pavimentos superior e térreo apresentam temperaturas mais elevadas ou mais baixas, por estarem em contato com a cobertura ou com o solo, respectivamente.

Desse modo, considerou-se os resultados obtidos paraas unidades habitacionais dos pavimentos térreo e cobertura, a partir do modelo termoenergético realizado. Assim, foram criadas zonas individuais para cada ambiente das unidades habitacionais desses pavimentos, como pode ser visto na Figura 13.

Figura 13 - Zonas individuais pav. Térreo e cobertura



Fonte: Gerado pelo autor no *Software SketchUp* (2019)

Uma vez separados por zonas individuais, os ambientes do andar térreo e da cobertura, foram identificados por siglas indicadas nas Figuras 14 e 15, das quais:

Q = qualifica o ambiente como Quarto

S = qualifica o ambiente como sala

C = qualifica o ambiente como cozinha ou corredor

B = qualifica o ambiente como banheiro

T = indica ambiente do pavimento térreo;

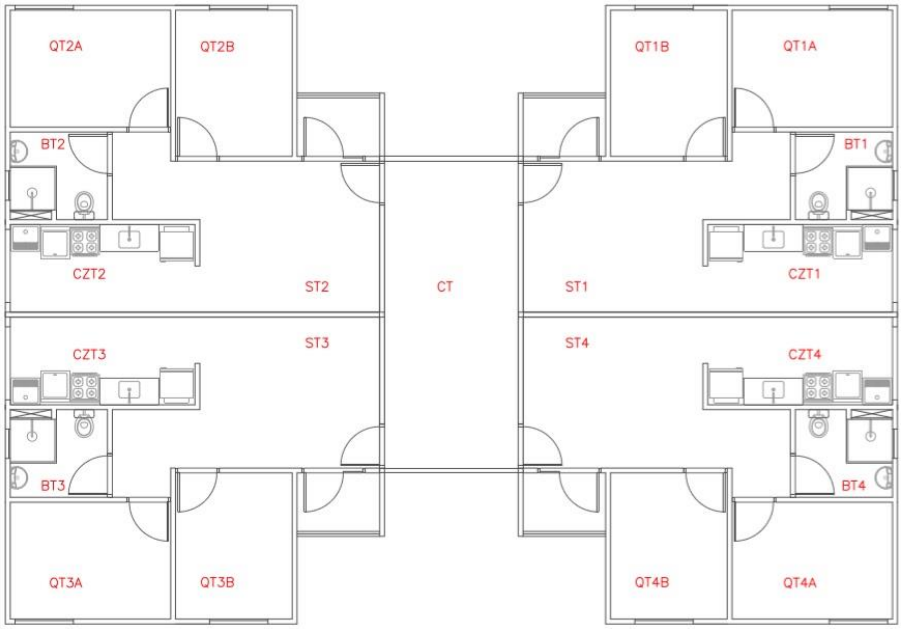
C = indica ambiente do pavimento da cobertura;

Numerais de 1 a 4 = indica a habitação a qual o ambiente faz parte naquele pavimento;

A = indica quarto tipo 1

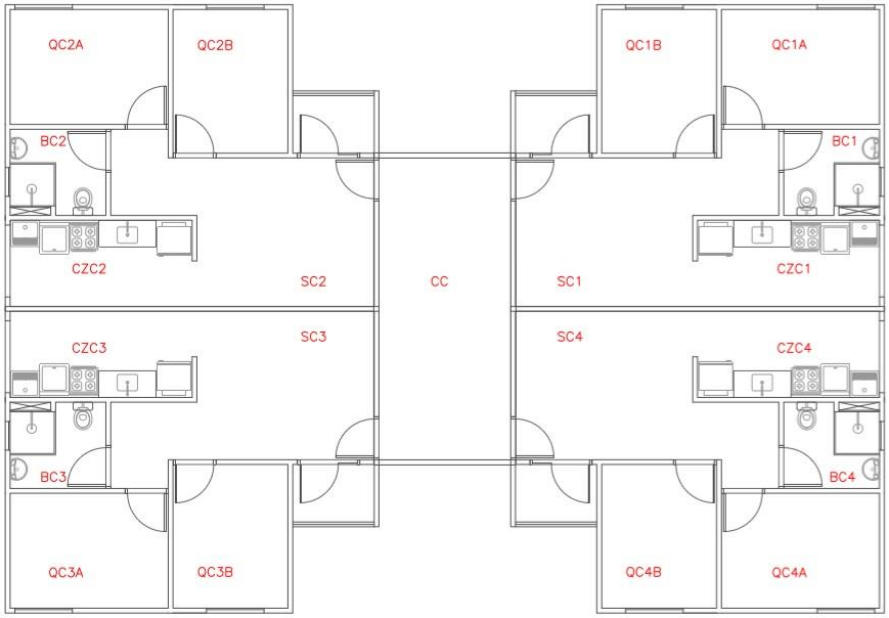
B = indica quarto tipo 2

Figura 14 - Siglas zonas pavimento térreo



Fonte: O autor (2020)

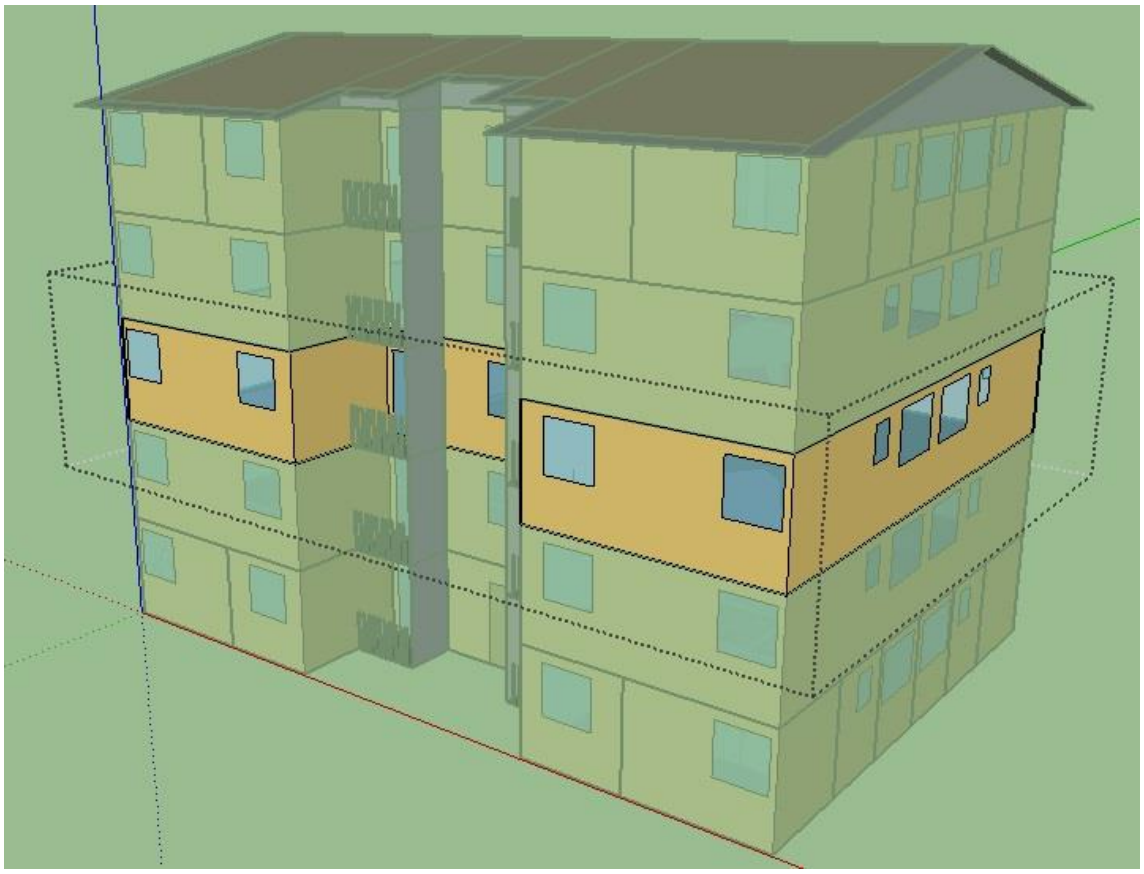
Figura 15 - Siglas zonas pavimento cobertura



Fonte:O autor (2020)

Os pavimentos restantes, 2, 3 e 4 foram modelados considerando uma zona única para cada, uma vez que seus resultados não foram considerados, como apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Zonas Unitárias pav. Intermediários



Fonte: Gerado pelo autor no *Software SkecthUp* (2019)

4.4 MÉTODO DE CALIBRAÇÃO

Este capítulo apresenta o método de calibração utilizado na simulação computacional por meio do *software EnergyPlus.*

Para tanto os seguintes passos foram seguidos:

1. Obtenção média de consumo mensal das unidades habitacionais em Kwh
2. Obtenção da lista de equipamentos das unidades habitacionais
3. Obtenção do consumo médio de cada equipamento
4. Ajustes dos valores de *Input* no EnergyPlus com o intuito de alcançar os dados de consumo obtidos para cada mês
5. Simulação considerando o ano inteiro

Em relação aos 5 passos descritos os seguintes procedimentos foram realizados para cada um deles:

- Os dados relativos a média de consumo mensal das unidades habitacionais em Kwh foram obtidos por visita *in-loco* como descrito no subcapítulo 4.3;

- Para obtenção da lista de equipamentos das unidades habitacionais foram utilizados os projetos técnicos arquitetônicos, luminotécnicos e elétricos, além do memorial descritivo, apresentados nos Anexos A e B. A Tabela 17 apresenta a lista de equipamentos considerados;

Tabela 17 - Lista de equipamentos

Equipamento	Quantidade por unidade habitacional	Cômodo
TV de LED	1	Sala de Estar
Microondas	1	Cozinha
Refrigerador	1	Cozinha
Ferro Elétrico	1	Área de Serviço
Máquina de Lavar Roupa	1	Área de Serviço
Chuveiro Elétrico	1	Banheiro
Ar Condicionado de Janela	2	Quartos
Lâmpade de 15W	7	Todos os cômodos

Fonte: O autor (2020)

- O consumo de cada equipamento foi obtido junto à tabela de consumo da concessionária de energia do Estado do Rio de Janeiro (LIGHT, 2012);
- O padrão de consumo de cada equipamento junto ao programa *EnergyPlus* foram ajustados mensalmente até que o valor de consumo de eletricidade obtido na simulação estivesse de acordo com aquele obtido nos dados coletados. No APÊNDICE A são apresentados os valores de Kwh utilizados na calibração;
- A Simulação computacional, a título de teste, foi realizada considerando toda a edificação para o ano inteiro. No subcapítulo 4.7 foram detalhados os dados de *Input* da simulação computacional.

O procedimento de calibração foi executado, conforme relatado no Apendice A, e foi completado com sucesso.

4.5 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Este capítulo apresentará as informações que foram adicionadas ao *software EnergyPlus,* adotado na presente pesquisa como explicitado no subcapítulo 2.7, para gerar a simulação computacional.

4.5.1 Dados de *Input*

Para a simulação computacional foram utilizados os dados de um arquivo climático TMY da cidade do Rio de Janeiro.

Foi utilizado o *PlugIn Euclid* versão 9.3 o *EnergyPlus* versão 8.6.

Os cronogramas seguidos foram os determinados no modelo calibrado no subcapítulo 4.6.

A Tabela 18 mostra os dados de *Input* do item *simulation control*

Tabela 18 - *Simulation Control Input*

FIELD	UNITS	OBJECT
Do Zone Sizing Calculation	-	No
Do System Sizing Calculation	-	Yes
Do Plant Sizing Calculation	-	No
Run Simulation for Sizing Periods	-	Yes
Run Simulation for Weather File Run Periods	-	Yes
Do HVAC Sizing Simulation for Sizing Periods	-	No
Maximum Number of HVAC Sizing Simulation Passes	-	1

Fonte: Software EnergyPlus (2019)

A Tabela 19 mostra os dados de *Input* do item *Building.*

Tabela 19 - *Building Input*

FIELD	UNITS	OBJECT
Name	-	TESTE 1
North Axis	deg	0
Terrain	-	City
Loads Convergence Tolerance Value	-	0.04
Temperature Convergence Tolerance Value	deltaC	0.4
Solar Distribution	-	Full Exterior
Maximum Number of Warmup Days	-	25
Minimum Number of Warmup Days	-	6

Fonte:Software EnergyPlus (2019)

A Tabela 20 mostra os dados de *Input* do item *Shadow Calculation.*

Tabela 20- *Shadow Calculation Input*

FIELD	UNITS	OBJECT
Calculation Method	-	AverageOverDaysInFrequency
Calculation Frequency	-	20
Maximum Figures in Shadow Overlap Calculations	-	1500
Polygon Clipping Algorithm	-	SutherlandHodgman
Sky Diffuse Modeling Algorithm	-	SimpleSkyDiffuseModeling

Fonte: Software EnergyPlus (2019)

A Tabela 21 mostra os dados de *Input* do item *Heat Balance Algorithm.*

Tabela 21 - *Heat Balance Algorithm*

FIELD	UNITS	OBJECT
Algorithm	-	ConductionTransferFunction
Surface Temperature Upper Limit	C	200
Minimum Surface Convection Heat Transfer Coefficient	W/m2-K	0.1
Maximum Surface Convection Heat Transfer Coefficient	W/m2-K	1000

Fonte: Software EnergyPlus (2019)

A Tabela 22 mostra os dados de *Input* do item *Material.*

Tabela 22 - *Material Input*

FIELD	UNITS	OBJ 1	OBJ 2	OBJ 3	OBJ 4
Name	-	Concreto 10cm	Fibrocimento	Ceramica	Madeira
Roughness	-	MediumRough	MediumRough	MediumRough	MediumSmooth
Thickness	m	0.1	0.006	0.008	0.03
Conductivity	W/m-K	1.75	0.95	0.9	0.12
Density	Kg/m3	2400	1800	1300	400
Specific Heat	J/Kg-K	1000	840	920	1340
Thermal Absorptance	-	0.9	0.9	0.9	0.9
Solar Absorptance	-	0.9	1	0.7	0.7
Visible Absorptance	-	0.9	0.7	0.7	0.7

Fonte: Software EnergyPlus (2019)

A Tabela 23 mostra os dados de *Input* do item *Window Material Glazing.*

Tabela 23 - *Window Material Glazing Input*

FIELD	UNITS	OBJECT
Name	-	Vidro Comum
Optical Data Type	-	SpectrumAverage
Window Glass Spectral Data Set Name	-	-
Thickness	m	0.004
Solar Transmitance at Normal Incidence	-	0.837
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence	-	0.075
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence	-	0.075
Visible Transmitance at Normal Incidence	-	0.898
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence	-	0.081
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence	-	0.081
Infrared Transmitance at Normal Incidence	-	0
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity	-	0.84
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity	-	0.84
Conductivity	W/m-K	0.9
Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmitance	-	1
Solar Difusing	-	No
Young´s Modulus	Pa	72000000000
Possion´s Ratio	-	0.22

Fonte:Software EnergyPlus (2019)

A Tabela 24 mostra os dados de *Input* do item *Window Material Glazing.*

Tabela 24 - *Construction Input*

FIELD	UNITS	OBJ 1	OBJ 2	OBJ 3	OBJ 4	OBJ 5
Name	-	Exterior floor	Interior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof
Outside Layer	-	Ceramica	Ceramica	Concreto 10cm	Concreto 10cm	Fibrocimento
Layer 2	-	Concreto 10cm	Concreto 10cm	-	-	Câmara de ar não ventilada
Layer 3	-	-	-	-	-	Concreto 10cm

FIELD	UNITS	OBJ 6	OBJ 7	OBJ 8	OBJ 9
Name	-	Interior Ceiling	Exterior window	Exterior Door	Interior Door
Outside Layer	-	Concreto 10cm	Vidro Comum	Madeira	Madeira
Layer 2	-	Ceramica	-	-	-
Layer 3	-	-	-	-	-

Fonte: Software EnergyPlus (2019)

4.5.2 Slab

A temperatura do solo afeta diretamente a temperatura da edificação, especialmente dos andares térreos. Para determinar, com maior precisão, a temperatura do solo referenciada na simulação foi utilizada a ferramenta *SLAB* acoplada ao *EnergyPlus* e os dados de *Input* gerados e utilizados na simulação foram apressentados na Tabela 25.

Tabela 25 - *SLAB Input*

FIELD	UNITS	OBJECT
January Ground Temperature	C	22.37
February Ground Temperature	C	22.41
March Ground Temperature	C	22.36
April Ground Temperature	C	22.26
May Ground Temperature	C	22.09
June Ground Temperature	C	22
July Ground Temperature	C	21.94
August Ground Temperature	C	21.95
September Ground Temperature	C	22.04
October Ground Temperature	C	22.06
November Ground Temperature	C	22.17
December Ground Temperature	C	22.27

Fonte: Software EnergyPlus (2019)

4.6 ESTRATÉGIAS CONSTRUTIVAS

Este capítulo apresenta as estratégias da arquitetura bioclimática que foram adotadas na simulação computacional com seus respectivos dados de *Input*. Além disso, os subitens apresentam, também, as combinações feitas entre as estratégias com o intuito de atingir uma maior redução na temperatura operativa dos ambientes internos das unidas habitacionais.

4.6.1 Alteração da cor da fachada (PINTURA)

Este subcapítulo apresenta os dados de *Input* utilizados junto ao programa *EnergyPlus* considerando a utilização da estratégia Pintura. Essa estratégia caracteriza-se por utilizar uma tinta para pintura da fachada com valores da absortância menores do que os originais. Ou seja, a fachada ao receber a pintura com a nova tinta absorverá menor quantidade de radiação solar. Os dados da absortância da pintura original da edificação, medidos *in-loco* por meio do equipamento espectômetro portátil Alta II, conforme método sugerido por SAGOI; RAMOS; LAMBERTS (2010), e os adotados na estratégia Pintura estão apresentados na Tabela 26. Tais dados foram inseridos no *software EnergyPlus* na aba de *Input Material*.

Tabela 26 - Características de absortância da pintura da parede

Estratégia	Tom	Input:Solar absorptance	Input:Solar absorptance
Original	Verde	0,9	0,9
Original	Marrom	0,9	0,9
Pintura	Branco	0,3	0,3

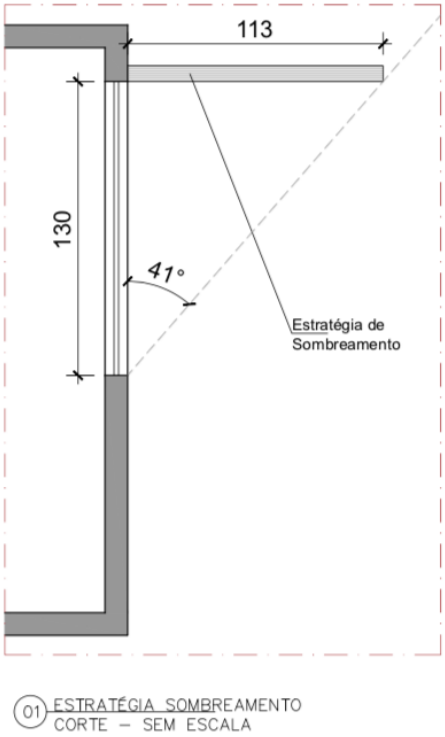
Fonte: O autor (2019)

4.6.2 Dispositivo de sombreamento (SOMBREAMENTO)

Este subcapítulo apresenta a implementação de dispositivos de sombreamento junto ao modelo termoenergético da edificação elaborado no *software SketchUp*.

Tais dispositivos foram adicionados a todas as janelas da edificação e suas dimensões seguiram o método de cálculo estabelecido no (RTQ-R, 2012) para a abertura de maior dimensão. Tal cálculo pode ser verificado na Figura 17.

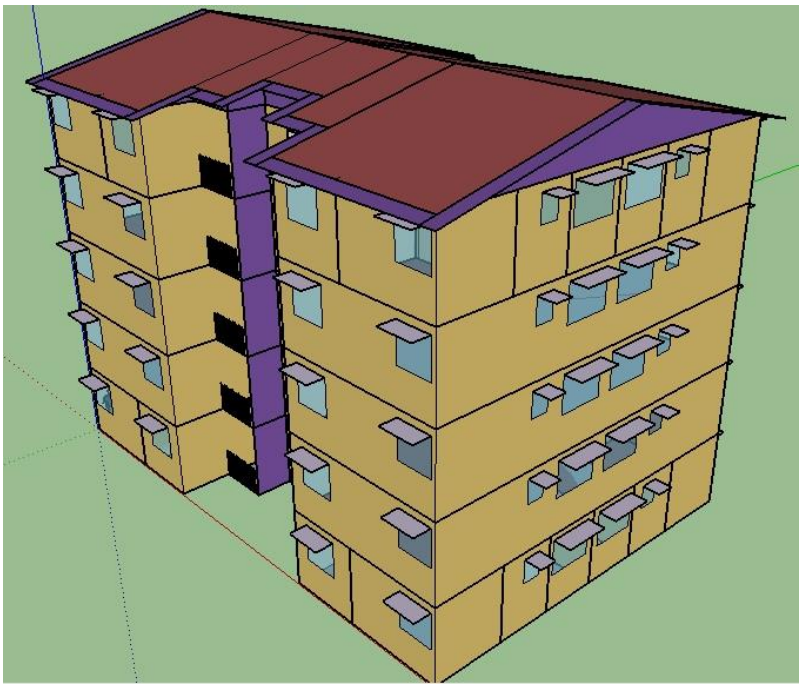
Figura 17 - Dimensões estratégia Sombreamento



Fonte: Gerado pelo autor (2019)

Como demonstrado na Figura 17, os elementos de sombreamento adicionados consistem em marquises horizontais de 113 centímetros de profundidade, que é a medida calculada para a maior abertura de janela da edificação, e a largura se adequa à medida de cada janela da edificação como é possível observar na Figura 18, na qual é apresentada uma imagem da edificação com o dispositivo de sombreamento acoplado às aberturas no modelo termoenergético.

Figura 18 - Modelo Termoenergético com estratégia de sombreamento



Fonte: Gerado pelo autor no *Software EnergyPlus* (2019)

4.6.3 Substituição tipo de vidro (VIDRO)

Este subcapítulo apresenta os dados de Input utilizados junto ao programa *EnergyPlus* considerando a utilização da estratégia Vidro. Essa estratégia caracteriza-se por utilizar um tipo de vidro diferente do original nas aberturas da edificação. Os dados do vidro original da edificação, obtidos por meio do memorial descritivo, e os adotados na estratégia Vidro estão apresentados na Tabela 27. Tais dados foram inseridos no *software EnergyPlus* na aba de *Input Window Material Glazing*.

Tabela 27 - Características estratégia vidro

Estratégia	Material	Espessura
Original	Vidro temperado incolor	4 mm
Vidro	Vidro temperado incolor	6 mm

Fonte: Software EnergyPlus (2019)

4.6.4 Instalação de venezianas (VENEZIANA)

Este subcapítulo apresentara os dados de Input utilizados junto ao programa EnergyPlus considerando a utilização de venezianas com o intuito de reduzir o efeito da radiação solar na edificação estudada. A edificação original não possui esse elemento. A estratégia Veneziana permite acrescentar as folhas externas extras ao conjunto da janela. Nos dados de Input do software *EnergyPlus* deve-

se criar as seguintes opções para inclusão do elemento veneziana: *Window Property Shadow Control, Window Material Blind e Window Material Shade.*

As Figuras 33, 34 e 35 indicam os dados de *Input* utilizados nas áreas do *software EnergyPlus* utilizadas ao criar venezianas. Assim, a simulação contendo a veneziana difere da original por conter as três áreas apresentadas nas figuras.

As Figuras 28, 29 e 30 indicam os dados de Input utilizados no software EnergyPlus para a criação das venezianas. Assim, a simulação contendo a veneziana difere da original por conter as três camadas extras de informação apresentadas nas figuras.

A primeira refere-se à rotina de funcionamento que seja controlada por temperatura. Assim, após 26ºC a veneziana seria aberta. A segunda camada de informação refere-se às propriedades da peça, como por exemplo o ângulo e tamanho das aletas da veneziana. do material de composição do elemento veneziana. A terceira camada de informação refere-se às propriedades térmicas do material componente da veneziana. Considerou-se como referência o alumínio.

Tabela 28 - Estratégia 4 / *Window Property Shadow Control Input*

FIELD	UNITS	OBJECT
Name	-	Veneziana
Shading Type	-	ExteriorBlind
Construction with Shading Name	-	-
Shading Control Type	-	AlwaysOn
Schedule Name	-	-
Setpoint	W/m2, W or deg	26
Shading Control Is Scheduled	-	No
Glare Control Is Active	-	No
Shading Device Material Name	-	Veneziana_quarto
Type of Slat Angle Control for Blinds	-	FixedSlatAngle

Fonte: Software EnergyPlus (2019)

Tabela 29 - Estratégia 4 / *Window Material Blind*

FIELD	UNITS	OBJECT
Name	-	Veneziana_quarto
Slat Orientation	-	Horizontal
Slat Width	m	0.025
Slat Separation	m	0.01875
Slat Tickness	m	0.005
Slat Angle	deg	45
Slat Conductivity	W/m-K	0.23
Slat Beam Solar Transmitance	-	0
Front Side Slat Beam Solar Reflectance	-	0.5
Back Side Slat Beam Solar Reflectance	-	0.5
Slat Diffuse Solar Transmitance	-	0
Front Side Slat Diffuse Solar Reflectance	-	0.5
Back Side Slat Diffuse Solar Reflectance	-	0.5
Slat Beam Visible Transmitance	-	0
Front Side Slat Beam Visible Reflectance	-	0.5
Back Side Slat Beam Visible Reflectance	-	0.5
Slat Diffuse Visible Transmitance	-	0
Front Side Slat Diffuse Visible Reflectance	-	0.5
Back Side Slat Diffuse Visible Refectance	-	0.5
Slat Infrared Hemispherical Transmitance	-	0
Front Side Slat Infrared Hemispherical Emissivity	-	0.9
Back Side Slat Infrared Hemispherical Emissivity	-	0.9
Blind to Glass Distance	m	0.1

Fonte: Software EnergyPlus (2019)

Tabela 30 - Estratégia 4 / *Window Material Shade Input*

FIELD	UNITS	OBJECT
Name	-	MaterialVeneziana
Solar Transmitance	dimensionless	0
Solar Reflectance	dimensionless	0.5
Visible Transmitance	dimensionless	0
Visible Reflectance	dimensionless	0.5
Infrared Hemispherical Emissivity	dimensionless	0.5
Infrared Transmitance	dimensionless	0
Thickness	m	0.02
Conductivity	W/m-K	0.23
Shade to Glass Distance	m	0.05
Top Opening Multiplier	-	0.5
Bottom Opening Multiplier	-	0.5
Left-Side Opening Multiplier	-	0.5
Right-Side Opening Multiplier	-	0.5
Airflow Permeability	dimensionless	0.8

Fonte:Software EnergyPlus (2019)

4.6.5 Combinação de estratégias

Este tópico apresenta as combinações de estratégias que foram utilizadas durante este estudo. As estratégias previamente apresentadas nos tópicos anteriores foram:

1) Pintura;

2) Sombreamento;

3) Vidro e;

4) Veneziana,

Neste contexto, foram realizadas simulações computacionais considerando as estratégias individualmente bem comom a combinação entre elas. O arranjo de combinações considerado no presente estudo pode ser observado na Tabela 31.

Tabela 31 – Combinação de estratégias

COMBINAÇÃO DE ESTRATÉGIAS	
1	PINTURA
2	SOMBREAMENTO
3	VIDRO
4	VENEZIANA
5	PINTURA + SOMBREAMENTO
6	PINTURA + VIDRO
7	PINTURA + VENEZIANA
8	SOMBREAMENTO + VIDRO
9	SOMBREAMENTO + VENEZIANA
10	VIDRO + VENEZIANA
11	PINTURA + SOMBREAMENTO + VIDRO
12	PINTURA + SOMBREAMENTO + VENEZIANA
13	PINTURA + VIDRO + VENEZIANA
14	PINTURA + SOMBREAMENTO + VIDRO + VENEZIANA

Fonte:O autor (2020)

4.7 RESULTADOS SIMULAÇÃO

Este capítulo apresenta e analisa os resultados encontrados na aplicação das estratégias e de suas combinações descritas no subcapítulo 4.8.

A análise dos dados obtidos, a partir das simulações computacionais utilizando o *software EnergyPlus,* para aplicação de estratégias construtivas individuais e sua combinação foi feita por meio de métodos estatísticos.

Dados de simulação são provenientes de representações do universo em modelos matemáticos paramétricos, nos quais são aplicados valores da realidade conhecida para se obter respostas relativas a variáveis de valores desconhecidos (LAVENBERG, 1983).

Estas simulações funcionam como processos estocásticos gerando valores que quando levados ao infinito representam de forma verossímel a realidade modelada (ALEXOPOULOS e KIM, 2002).

No entanto, estes dados, por se tratarem de um processo aleatório, apresentam variações (ruídos e outliers) e, portanto, para interpretá-los de forma confiável são necessários métodos estatísticos (LAVENBERG, 1983).

Vale ressaltar que as respostas vindas da simulação apresentam uma incerteza, inerente ao processo. Comum a todas as simulações, o erro dessa incerteza pode ser metrificado por meio de técnicas de análise de dados, pelo teorema central do limite, quando o espaço amostral for maior do que 50 (caso da presente pesquisa). Portanto, mesmo que as simulações apresentem erros nos resultados, a replicabilidade permite a aplicação de métodos estatísticos em seus outputs, garantindo a viabilidade da interpretação dos resultados (LAVENBERG, 1983).

Os resultados obtidos foram apresentados considerando as médias dos valores das temperaturas operativas horárias registradas em cada ambiente de permanência prolongada (APP) durante o ano. Esses valores foram obtidos como um resultado de saída nas simulações, realizadas no *EnergyPlus*. Desta forma, obteve-se a temperatura operativa dos APPs na simulação sem estratégias (TO ini) e temperatura operativa dos APPs na simulação com estratégias (TO est), sendo esse segundo variando de acordo com a estratégia ou combinação utilizada.

A apresentação dos resultados iniciou-se pela combinação de estratégias que apresentaram os melhores resultados, considerando a redução da temperatura operativa.

Na Tabela 32 observa-se uma síntese destes valores a partir da combinação das estratégias Pintura + Sombreamento + Veneziana.

Tabela 32 - Redução TO - Pintura + Sombreamento + Veneziana

Ambientes	TO ini (°C)	TO est / Pintura + Sombreamento + Veneziana (°C)	Redução TO (%)
QT1A	26,49	24,29	8,33
QT2A	26,50	24,29	8,33
QT3A	27,37	24,55	10,28
QT4A	27,61	24,60	10,92
QT1B	28,55	24,86	12,94
QT2B	27,29	24,47	10,34
QT3B	28,18	24,75	12,16

QT4B	27,18	24,43	10,12
QC1A	28,54	25,47	10,76
QC2A	27,67	25,18	8,99
QC3A	28,08	25,36	9,72
QC4A	28,27	25,36	10,29
QC1B	28,17	25,28	10,26
QC2B	28,25	25,29	10,47
QC3B	29,02	25,55	11,98
QC4B	28,88	25,48	11,76
CT	25,64	23,52	8,27
CC	27,37	24,68	9,84
ST1	25,92	23,83	8,06
ST2	26,04	23,85	8,42
ST3	25,90	23,82	8,01
ST4	26,00	23,85	8,27
SC1	27,93	25,17	9,86
SC2	28,00	25,20	10,00
SC3	27,87	25,17	9,69
SC4	27,88	25,16	9,76
BT1	27,42	24,17	11,87
BT2	27,39	24,22	11,58
BT3	27,18	24,15	11,16
BT4	27,27	24,18	11,35
BC1	28,82	25,26	12,36
BC2	28,68	25,22	12,09
BC3	28,78	25,24	12,31
BC4	28,94	25,30	12,59
CZT1	27,08	24,17	10,75
CZT2	27,00	24,15	10,54
CZT3	26,96	24,14	10,46
CZT4	27,05	24,17	10,66
CZC1	28,98	25,45	12,18
CZC2	29,12	25,48	12,49
CZC3	29,10	25,47	12,46
CZC4	29,00	25,46	12,23

Fonte: O autor (2020)

A média de redução da temperatura operativa da edificação foi de 10,59%, com desvio padrão de 1,42% (valores calculados a partir dos dados da tabela 18). Considerando cada ambiente individualmente, a maior média de redução de temperatura foi de 12,94% no quarto do andar térreo QT1B. Já a menor média de redução de temperatura encontrada foi de 8,01% na sala do andar térreo ST3.

Ao analisarmos as médias das temperaturas operativas dos ambientes das habitações considerando separadamente os andares de cobertura e térreo temos que, nas habitações da cobertura da edificação a média de redução da temperatura foi de 11,05% (valor calculado a partir dos dados da tabela 18), valor próximo da média de redução da edificação, porém, o valor do desvio padrão reduziu para 1,19%.

No caso das habitações do andar térreo, a média de redução de temperatura operativa foi menor que aquela encontrada para a unidade de cobertura e para o edifício, 10,13% (valor calculado a partir dos dados da tabela 18). Contudo, o

valor do desvio padrão encontrado para as unidades térreas ficou bem próximo daquele obtido para a edificação, 1,49%.

A partir dos resultados obtidos, foi realizada uma análise de variância ANOVA nos dados obtidos na simulação da combinação das estratégias Pintura + Sombreamento + Veneziana para verificar a significância da Cobertura (C) e do Térreo (T) na temperatura operativa dos ambientes. A Cobertura (C) e o Térreo (T) foram denominados fator Tipo.

A Tabela 33 apresenta os resultados encontrados na ANOVA executada considerando os valores de temperatura operativa dos ambientes após a aplicação das estratégias Pintura + Sombreamento + Veneziana (TOest). Os resultados apontam que o Tipo é significativo para os valores de temperatura operativa dos ambientes, uma vez que o p-valor encontrado é inferior a 0,05.

Tais resultados estão de acordo com a literatura, que aponta que construções próximas da cobertura possuem temperaturas internas mais elevadas devido à sua influência. E que o mesmo fenômeno ocorre com construções situadas no térreo, mas nesse caso as temperaturas são mais baixas pela influência do solo.

Tabela 33 - ANOVA dados combinação de estratégias Pintura + Sombreamento + Veneziana

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
tipo	1	20.892	20.892	141.3	1.05e-14***
Residuals	40	5.914	0.148		

Fonte: O autor via software R (2020)

Em função do resultado obtido, foi realizado o Teste de Tukey para confirmar a significância do fator Tipo na temperatura operativa dos ambientes. Para tanto o teste foi realizado considerando os valores de temperatura operativa da simulação com aplicação das estratégias Pintura + Sombreamento + Veneziana (TOest).

A Tabela 34 apresenta os resultados dos Testes de Tukey aplicados, os quais confirmaram os resultados obtidos na análise de variância. Seu resultados apontam que há diferença estatística significativa entre as médias de temperatura operativa dos ambientes, ou seja, a posição da habitação no edifício é significativa para os valores de temperatura operativa, exatamente como é relatado na literatura.

Tabela 34 – Teste de Tukey simulação com estratégias (TOest)

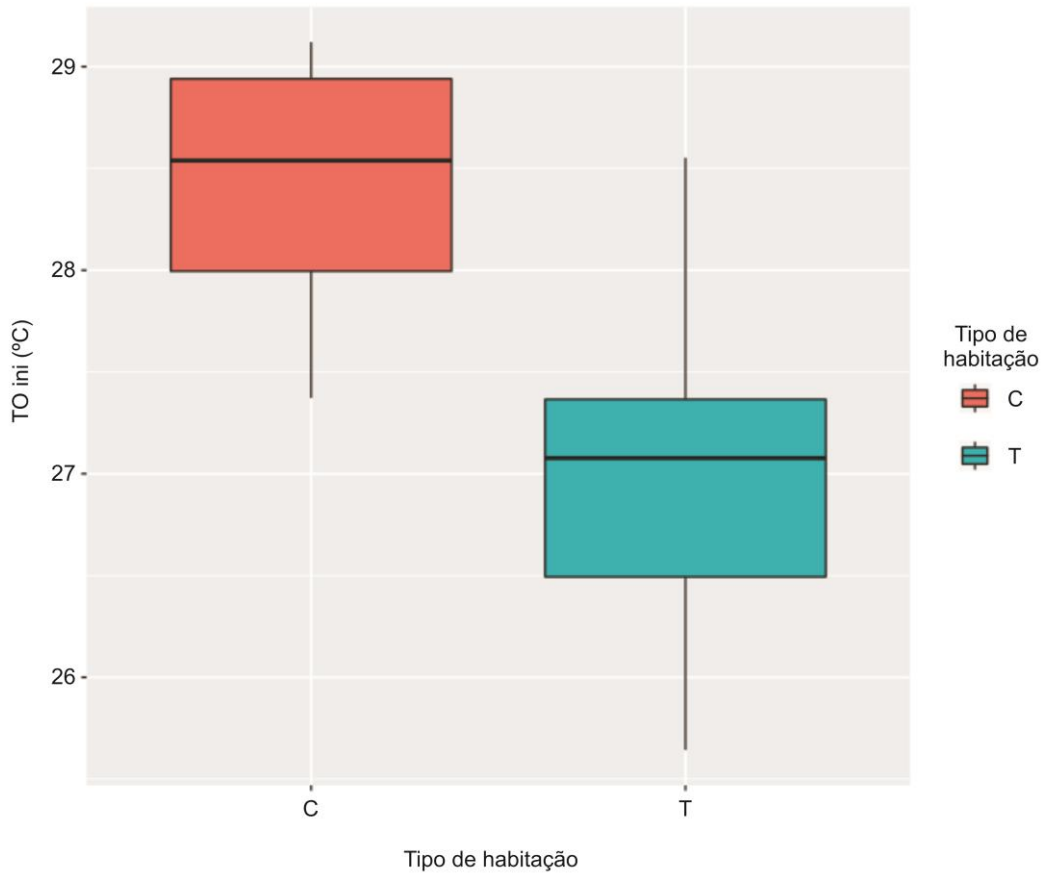
	TOest groups	
C	26.44987	a
T	25.03930	b

Fonte: O autor via Software R (2020)

Uma vez que a aplicação dos Testes de Tukey mostrou que a posição da habitação junto à edificação, térreo ou cobertura, é significativa, foram desenvolvidos gráficos boxplots comparando as temperaturas operativas da Cobertura (C) e do térreo (T), tanto no cenário prévio à aplicação das estratégias (TOini) quanto no cenário após a aplicação da estratégias Pintura + Sombreamento + Veneziana (TOest).

A Figura 19 apresenta o *boxplot* de comparação do cenário considerando as temperaturas operativas prévias às estratégias (TOini) e a Figura 39 apresenta os *boxplot* de comparação do cenário considerando as temperaturas operativas após a aplicação da combinação de estratégias Pintura + Sombreamento + Veneziana (TOest), nos quais estão representados, no eixo Y as temperaturas operativas em graus celsius (°C) e no eixo X os *boxplots* dos andares Térreo (T) - em azul, e Cobertura (C) - em laranja, assim como suas medianas.

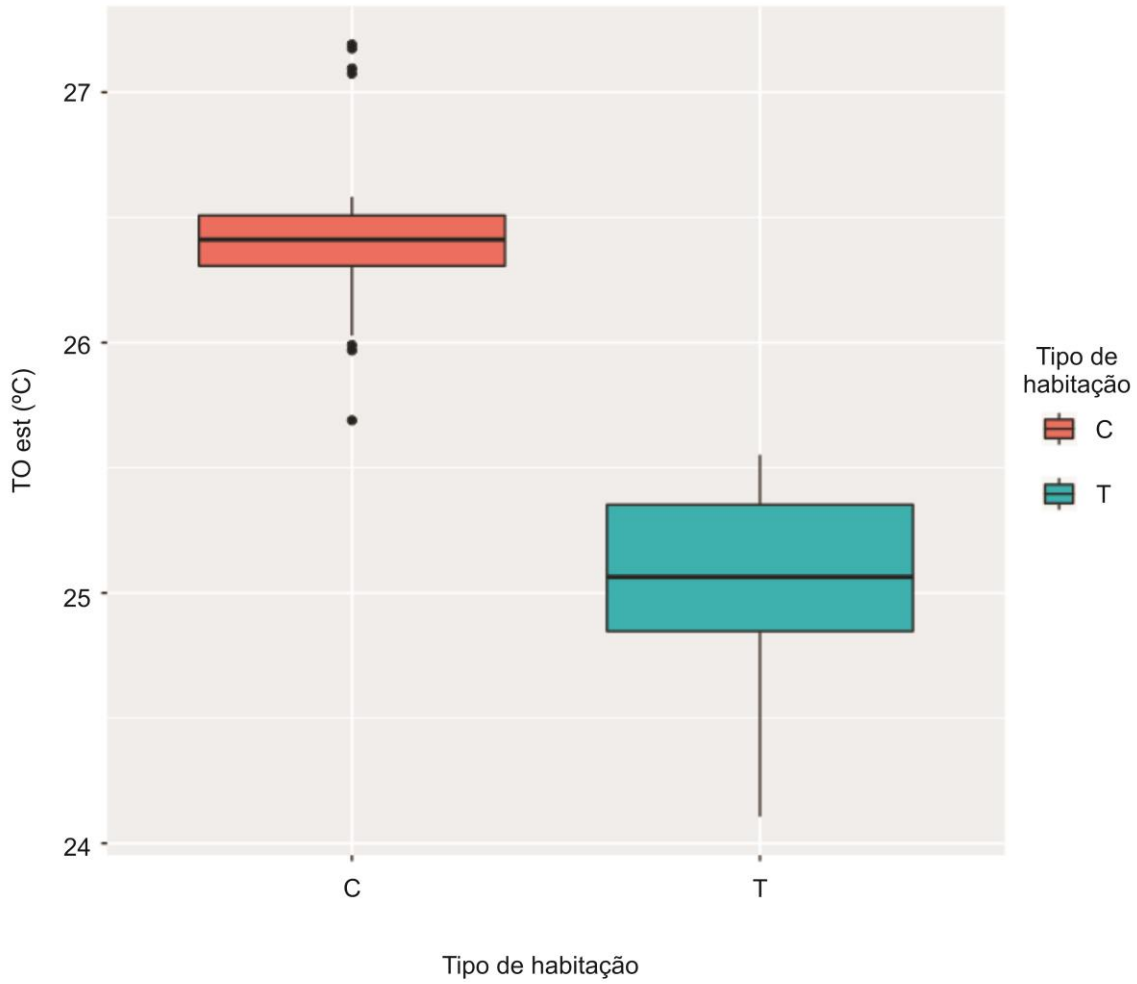
Figura 19 - Boxplot média temperatura operativa cobertura e térreo (Temperatura antes da aplicação das estratégias)



Fonte: O autor via Software R (2020)

Ao observar as Figuras 19 e 20 nota-se que as temperaturas operativas do Térreo (T) caracterizam-se por serem mais baixas do que as temperaturas da Cobertura (C) nos dois cenários. Destaca-se que a dispersão dos valores da temperatura operativa média dos ambientes foi reduzido após a aplicação da estratégia Pintura + Sombreamento + Veneziana (TOest). Além disso, destaca-se que a mediana de temperatura reduziu para os dois tipos de ambientes ao passarmos do cenário (TOini) para o cenário (TOest).

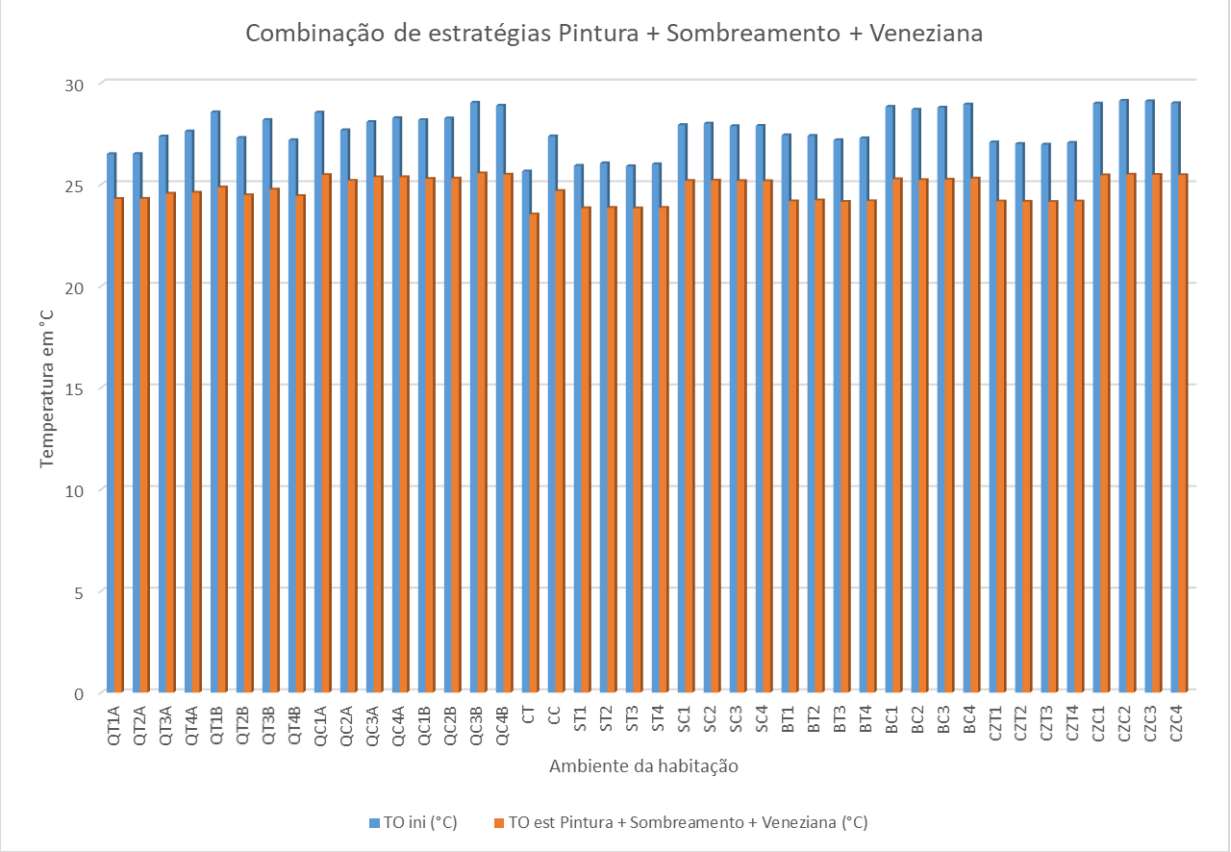
Figura 20 - Boxplot média temperatura operativa cobertura e térreo (Temperatura após a aplicação das estratégias)



Fonte: O autor via Software R (2020)

Uma vez apresentados os *boxplots* comparativos das temperaturas operativas do cenário prévio às estratégias (TOini) e do cenário após a aplicação das estratégias Pintura + Sombreamento + Veneziana (TOest), no Gráfico 7 apresenta-se a comparação das médias temperaturas operativas dos dois cenários para cada ambiente individualmente.

Gráfico 7 - Temperatura Operativa modelo calibrado x modelo estratégias

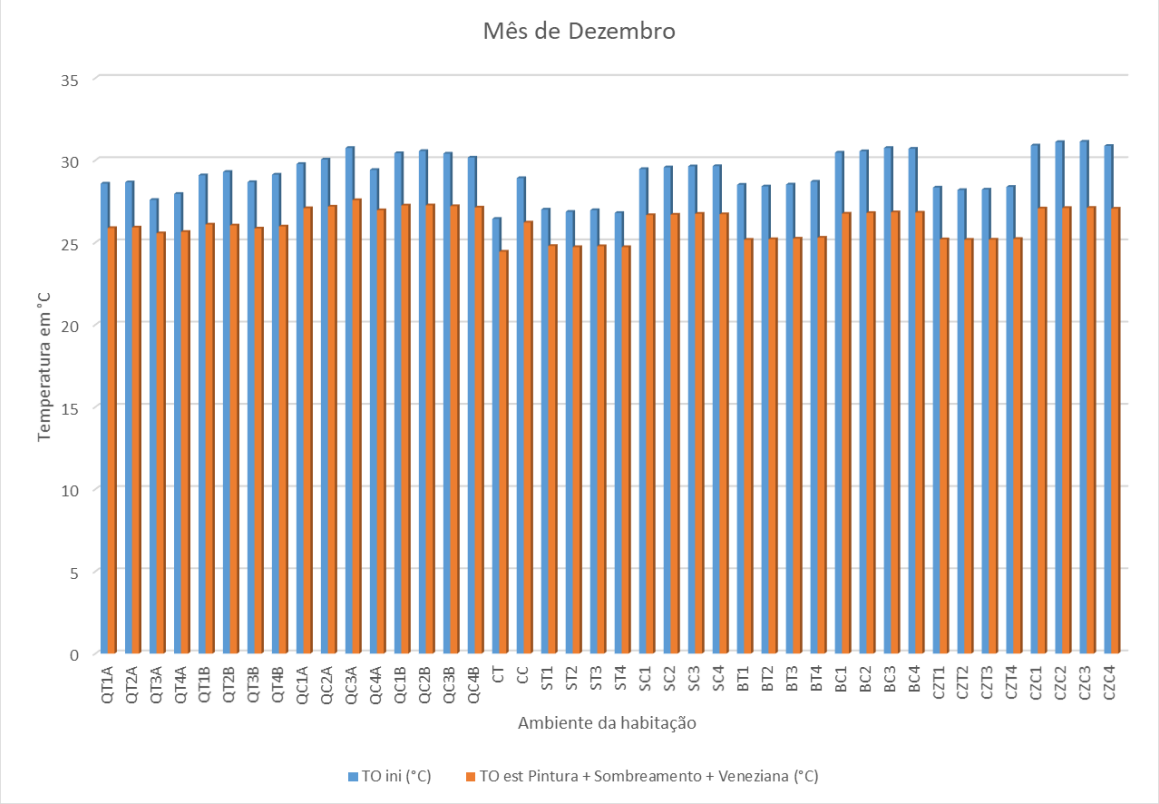


Fonte: O autor (2020)

Nos Gráficos 8, 9, 10 e 11 apresentam-se as comparações das médias das temperaturas operativas para cada ambiente individualmente, considerando os dois cenários tratados, nos meses apontados como aqueles com as maiores variações das taxas de consumo de energia pelos gráficos Boxplot apresentados no tópico 4.3. (Dezembro a Março).

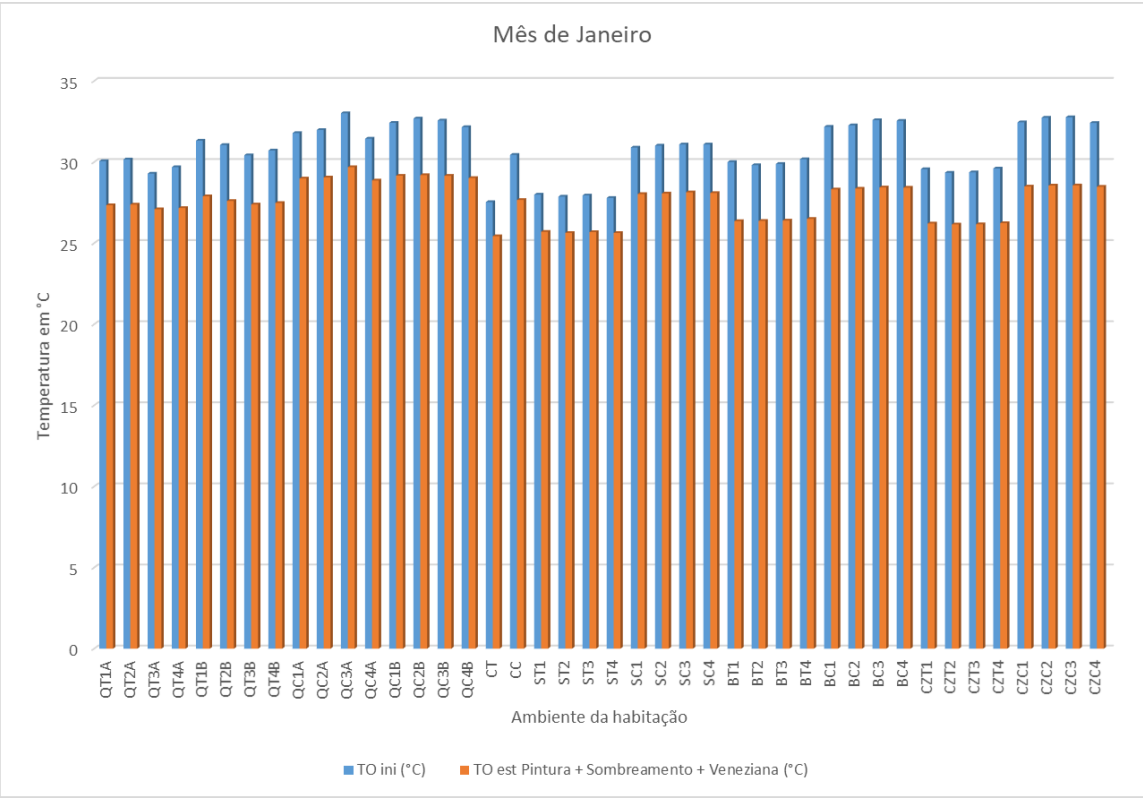
Destaca-se que a redução na temperatura operativa alcançada pela aplicação da combinação de estratégias Pintura + Sombreamento + Veneziana foi considerável inclusive nos meses de Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março, apontados pela análise estatística dos dados (subcapítulo 4.3) como aqueles com as médias de temperatura mais elevadas.

Gráfico 8 - Temperatura Operativa modelo calibrado x modelo estratégias



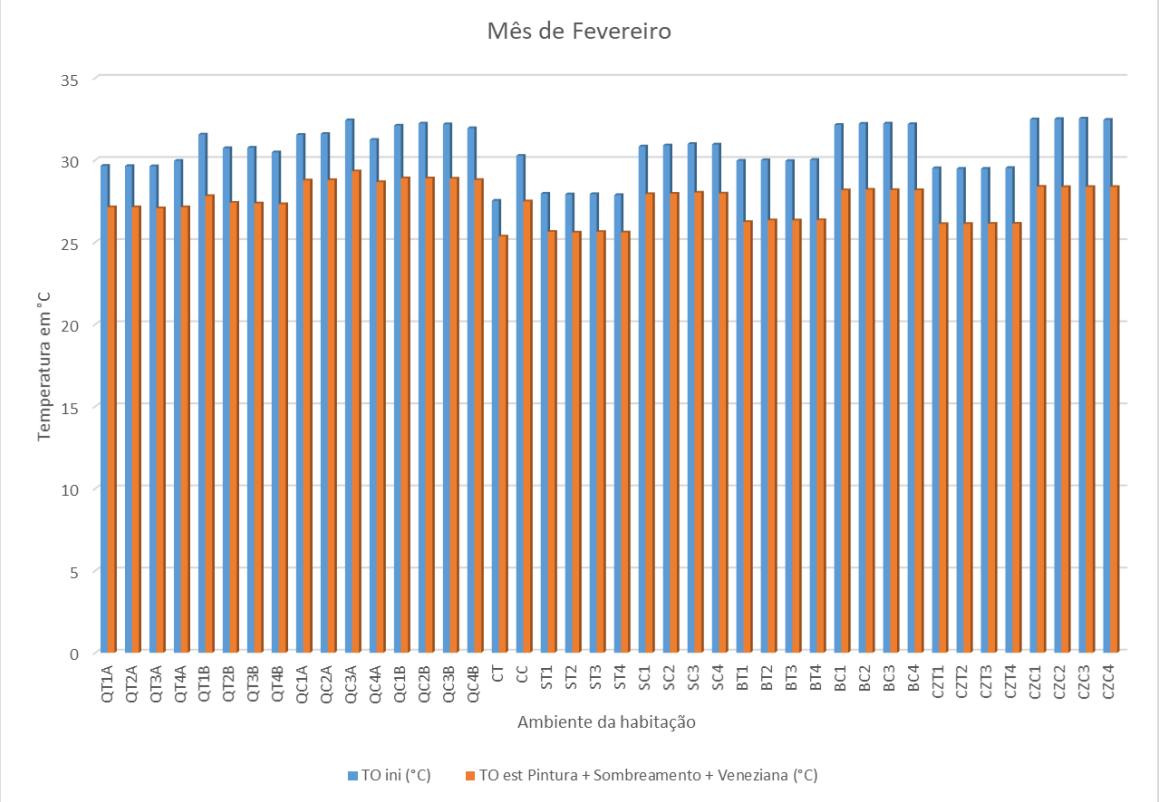
Fonte: O autor (2020)

Gráfico 9 - Temperatura Operativa modelo calibrado x modelo estratégias



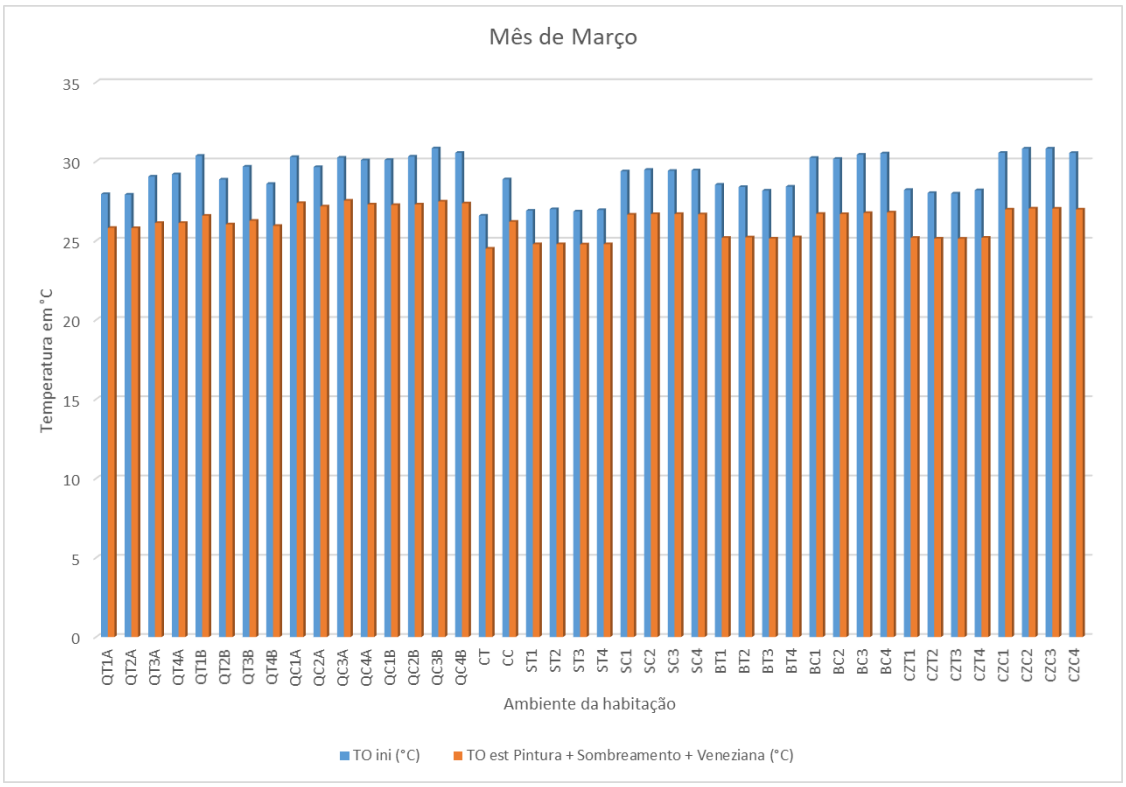
Fonte: O autor (2020)

Gráfico 10 - Temperatura Operativa modelo calibrado x modelo estratégias



Fonte: O autor (2020)

Gráfico 11 - Temperatura Operativa modelo calibrado x modelo estratégias



Fonte: O autor (2020)

A seguir são apresentados os resumos das análises das demais estratégias, com foco nos principais resultados obtidos (Tabela 35). O detalhamento completo de cada estratégia é apresentado no APÊNDICE B.

Tabela 35 - Resultado da aplicação das estratégias restantes

Simulação	Resultado	Ambiente	TO ini (°C)	TO est (°C)	Redução (%)	Redução (°C)
Estratégia Pintura	Maior	QT1B	28,55	25,47	10,79	3,08
	Menor	ST3	25,89	24,58	5,07	1,31
	Média		27,69	25,74	7,04	1,96
Estratégia Sombreamento	Maior	CZC3	29,09	28,53	1,95	0,56
	Menor	QC2B	28,25	28,00	0,26	0,24
	Média		27,69	27,37	1,17	0,32
Estratégia Vidro	Maior	CZC4	29,00	29,01	Aumento de 0,04	-0,01
	Menor	QT1A	26,49	26,497	Aumento de 0,01	-0,003
	Média		27,69	27,70	Aumento de 0,02	-0.01 (aumento)
Estratégia Veneziana	Maior	CZC2	29,12	27,67	4,98	1,44
	Menor	QC1A	28,53	27,65	1,76	0,86
	Média		27,69	26,84	3,08	0,86
Estratégia Pintura + Sombreamento	Maior	QT3A	27,36	25,21	11,67	2,14
	Menor	ST3	25,89	24,36	5,92	1,53
	Média		27,69	25,45	8,09	2,25
Estratégia Pintura + Vidro	Maior	QT3A	27,36	25,47	10,79	1,89
	Menor	ST3	25,89	24,58	5,06	1,31
	Média		27,69	25,74	7,02	1,95
Estratégia Pintura + Veneziana	Maior	QT3A	27,36	24,93	12,68	2,43
	Menor	ST1	25,92	23,93	7,65	1,98
	Média		27,69	24,82	10,34	2,88
Estratégia Sombreamento + Vidro	Maior	CZC3	29,09	28,54	1,92	0,55
	Menor	QC2B	28,25	28,00	0,24	0,24
	Média		27,69	27,38	1,15	0,31
Estratégia Sombreamento + Veneziana	Maior	CZC2	29,12	27,53	5,46	1,58
	Menor	QC2B	28,25	27,43	2,28	0,81
	Média		27,69	26,73	3,48	0,96
Estratégia Vidro + Veneziana	Maior	CZC2	29,12	27,67	4,96	1,44
	Menor	QC1A	28,53	27,67	1,75	0,86
	Média		27,69	26,84	3,07	0,85
Estratégia Pintura + Sombreamento + Vidro	Maior	QT3A	27,36	25,22	11,67	2,14
	Menor	ST3	25,89	24,36	5,91	1,53
	Média		27,69	25,45	8,08	2,24
Estratégia Pintura + Vidro + Veneziana	Maior	QT3A	27,36	24,93	12,68	2,43
	Menor	ST1	25,92	23,94	7,65	1,98
	Média		27,69	24,82	10,34	2,87

Estratégia Pintura + Sombreamento + Veneziana	Maior	QT1B	28,55	24,85	12,94	3,69
	Menor	ST3	25.99	23,84	8,27	2,14
	Média		27,69	24,75	10,59	2,95
Estratégia Pintura + Sombreamento + Vidro + Veneziana	Maior	QT3A	27,36	24,85	12,93	2,50
	Menor	ST3	25,89	23,83	7,98	2,06
	Média		27,69	24,76	10,56	2,93

Fonte: o autor (2020)

A partir dos dados apresentados na Tabela 35, nota-se que a estratégia individual responsável pela maior média de redução de temperatura operativa é a estratégia Pintura. A média de redução da temperatura operativa obtida pela estratégia Pintura foi de 7,04%, o que corresponde a 1,96 °C. O maior valor de redução obtido foi de 10,79% no ambiente QT1B. Enquanto que o menor valor de redução alcançado foi de 5,04% no ambiente ST3.

A estratégia individual que apresentou pior desempenho foi a estratégia Vidro, que proporcionou uma média de aumento da temperatura operativa da edificação de 0,02%. Para o ambiente CZC4 o aumento de temperatura registrado foi de 0,04%. Já para o ambiente QT1A o aumento de temperatura registrado foi menor, 0,01%.

A combinação de estratégias que apresentou melhor resultado de redução da temperatura operativa da edificação foi Pintura + Sombreamento + Veneziana, como apresentado na Tabela 35, com média de redução da temperatura operativa da edificação de 2,95 °C.

O subcapítulo 4.8 apresenta a discussão dos resultados obtidos na presente pesquisa e apresentados na Tabela 35.

4.8 DISCUSSÃO

As estratégias aplicadas foram escolhidas em função de seu baixo custo e facilidade de implantação (não envolver intervenções drásticas junto à edificação para a sua implantação, ou custos elevados que não possam ser atribuídos ao usuário da edificação padrão MCMV faixa 1), como descrito no subcapítulo 4.2.

A adoção das estratégias selecionadas enquanto de forma individual apresentou resultados diversos, como apresentado na Tabela 35 apresentada no subcapítulo 4.7. A adoção de três das estratégias proporcionou a redução da média da temperatura operativa da edificação, enquanto que uma gerou o aumento da média.

A estratégia Pintura apresentou o melhor resultado, com uma média de redução de temperatura operativa da edificação de 7,04% com desvio padrão de 1,28%. Este resultado corresponde a uma redução de temperatura de 1,96 °C. Além disso, trata-se de uma estratégia que envolve custo baixo e intervenção leve: execução da pintura da fachada exterior da edificação com uma tinta com o fator de absortância 0,3, como descrito no subcapítulo 4.6.1 e utilizado na simulação.

A instalação de venezianas nas aberturas das janelas da edificação (Estratégia Veneziana) caracterizou-se como a estratégia que apresentou o segundo melhor resultado individual, com redução de média da temperatura operativa da edificação de 3,08% e desvio padrão de 0,83%. A redução de temperatura correspondente é de 0,86°C e pode ser obtida a partir da instalação de venezianas nas aberturas, trata-se um processo de baixo custo e intervenção inexistente, uma vez que trata-se apenas da aplicação do dispositivo junto à abertura.

A média de redução de temperatura operativa da edificação pela utilização da estratégia Sombreamento foi de 1,17% com desvio padrão de 0,29%. Este valor corresponde a uma redução de temperatura de 0,32°C, que pode ser obtida por intervenções leves de baixo custo, a partir da construção de elementos em balanço (113 cm de balanço como evidenciado no subcapítulo 4.6.2 e utilizado na simulação) criando sombra em cada abertura de janela da edificação.

No caso da aplicação da estratégia Vidro, os resultados obtidos não foram satisfatórios, já que apresentaram ganho de temperatura operativa nos ambientes de 0,02% com desvio padrão de 0,01%. O aumento de temperatura correspondente é de 0,01°C. A aplicação desta estratégia consiste na instalação de vidros de 6mm ao invés dos vidros de 4mm como especificado no projeto original, o que envolve baixo custo e intervenção inexistente, uma vez que envolve apenas a troca do vidro da esquadria das aberturas.

Destaca-se que a estratégia Vidro caracterizou-se como insatisfatória, na presente pesquisa, no caso do aumento da espessura da peça, opção escolhida devido ao fator custo. Cabe investigar outros tipos de estratégias envolvendo o uso de vidros e identificar o benefício de sua aplicação, independente do custo da mesma. A análise de literatura apresentada no subcapítulo 2.7 demonstra

que diversos autores fizeram o uso de vidros triplos, duplos e até mesmo amostras com alta performance.

Com o intuito de verificar se a aplicação de cada estratégia individual é significativa para os valores de temperatura operativa obtidos, foi realizada uma análise de variância ANOVA.

A Tabela 36 mostra a ANOVA realizada. Os resultados encontrados apontam que a Estrategia é significativa para os valores de temperatura operativa da edificação, uma vez que o p-valor encontrado é inferior a 0,05.

Tabela 36 - ANOVA com interação dos dados obtidos (estratégias individuais)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
estrategia	4	113.5	28.376	32.06	<2e-16***
Residuals	205	181.5	0.885		

Fonte: Gerado pelo autor no *Software* R (2020)

A partir do resultado obtido, com o intuito de confirmar a significância do fator estrategia na temperatura operativa da edificação, foi realizado o Teste de Tukey. A Tabela 37 apresenta os valores encontrados na aplicação do Teste de Tukey, no qual foi considerado:

TOini - Temperatura operativa sem a aplicação de estratégias

TOest1 - Temperatura operativa com aplicação da estratégia Pintura

TOest2 - Temperatura operativa com aplicação da estratégia Sombreamento

TOest3 - Temperatura operativa com aplicação da estratégia Vidro

TOest4 - Temperatura operativa com aplicação da estratégia Veneziana

Tabela 37 - Teste de Tukey para a estratégias individuais

	TOest groups	
TOest3	27.70608	a
TOini	27.69987	a
TOest2	27.37577	ab
TOest4	26.84404	b
TOest1	25.74459	c

Fonte: Gerado pelo autor no *Software* R (2020)

A Tabela 37 apresenta os resultados do Teste de Tukey aplicado. Seus resultados apontam, primeiramente, que não há diferença estatística significativa

entre as médias de temperatura operativa da edificação entre TOini (Temperatura operativa sem a aplicação de estratégias), TOest3 (Temperatura operativa com aplicação da estratégia Vidro), TOest2 (Temperatura operativa com aplicação da estratégia Sombreamento).

Tal resultado indica que não há diferença estatística significativa entre as médias dos valores de temperatura da edificação sem a aplicação de estratégias (TOini) e com a aplicação individual da estratégia Vidro (TOest3) ou da estratégia Sombreamento (TOest2). Dessa forma, a aplicação dessas estratégias individualmente não traz mudança estatística nas médias dos valores das temperaturas registradas e sua aplicação não se faz viável.

Porém, no caso da estratégia Sombreamento, não há diferença estatística significativa também entre as médias de temperatura operativa da edificação entre TOest2 (Temperatura operativa com aplicação da estratégia Sombreamento) e TOest4 (Temperatura operativa com aplicação da estratégia Veneziana). E estas médias diferem estatísticamente de TOini (Temperatura operativa sem a aplicação de estratégias), o que indica que a aplicação destas estratégias pode trazer mudança nos valores das médias de temperatura registrados e sua aplicação é justificável.

Essa avaliação vai de encontro aos valores apresentados na Tabela 19, na qual é possível verificar, como evidenciado, que ambas as estratégias proporcionam redução na média da temperatura operativa da edificação.

Destaca-se que a Estratégia Sombreamento (TOest2) se encaixa nos dois cenários, isso se deve, possivelmente, pelo fato da aplicação dessa estratégia proporcionar uma redução na temperatura operativa da edificação, mas essa redução ser caracterizada por valores muito baixos, a média de redução na temperatura registrada para a edificação é menor que 0,5°C, como destacado na Tabela 35.

No caso de TOest1 (Temperatura operativa com aplicação da estratégia Pintura), há diferença estatística significativa entre suas médias de temperatura operativa da edificação e as médias de temperatura operativa de TOini (Temperatura operativa sem a aplicação de estratégias), TOest2 (Temperatura operativa com aplicação da estratégia Sombreamento), TOest3 (Temperatura operativa com aplicação da estratégia Vidro) e TOest4 (Temperatura operativa com aplicação da estratégia Veneziana. O que indica que a aplicação da

estratégia Pintura proporciona a maior redução significativa de temperatura entre todas as estratégias avaliadas pelo Teste de Tukey. Esta avaliação está alinhada com os valores apresentados na Tabela 35, na qual é indicado que das estratégias aplicadas individualmente, a estratégia Pintura é a que apresenta melhor resultado, com uma média de redução de temperatura de 1,96°C.

Vale ressaltar que além de apresentar o melhor resultado, a estratégia também apresenta custo e facilidade de aplicação, uma vez que, como descrito, sua intervenção é leve, tratando-se apenas da troca de acabamento exterior da edificação. Desse modo, além de proporcionar a redução da temperatura operativa da edificação, a estratégia se encaixa nos fatores limitadores de aplicação junto a edificações MCMV faixa 1.

Uma vez avaliados os resultados da adoção das estratégias construtivas selecionadas de forma individual, são avaliados os resultados da combinação das estratégias construtivas apresentados na Tabela 35.

A combinação de estratégias que apresentou o melhor resultado, ou seja, a maior média de redução de temperatura operativa, foi aquela que abrange Pintura + Sombreamento + Veneziana. A redução alcançada foi de 10,59%, proporcionada em aproximadamente 66,5% pela estratégia Pintura e os 33,5% pelas estratégias Sombreamento e Veneziana combinadas, uma vez que as duas utilizam do artifício sombra para atuarem sobre a edificação.

O resultado obtido pela aplicação da combinação de estratégias Pintura + Veneziana foi próximo do melhor resultado obtido, uma média de redução de temperatura operativa da edificação de 10,34%, o que corresponde a 2,88 °C. Esta redução foi proporcionada em aproximadamente 70% pela estratégia Pintura e 30% pela estratégia Veneziana.

No caso da combinação de estratégias Pintura + Sombreamento a média de redução da temperatura operativa da edificação foi de 8,09%, correspondendo a 2,25 °C. A contribuição de cada uma das estratégias para a redução da temperatura é de 86% e 14% da estratégia de Pintura e de Sombreamento respectivamente, considerando o valor total da média de redução.

A redução de temperatura operativa com a combinação de estratégias Sombreamento + Veneziana foi de 3,48%, o que corresponde a 0,96 °C. Vale destacar que neste caso trata-se da combinação de duas estratégias que fazem uso de elementos de sombra para reduzir a temperatura interna da edificação, e

a sua combinação reduziu menos que 1 °C, um valor baixo considerando-se o custo e a intervenção de duas estratégias.

Vale ressaltar que a estratégia Pintura, nas combinações em que foi utilizada, Pintura + Sombreamento, Pintura + Veneziana e Pintura + Sombreamento + Veneziana, contribuiu com mais de 60% do total dos valores de média de redução de temperatura alcançados em cada uma delas.

Recordando que, individualmente, a estratégia Pintura caracterizou-se como a estratégia construtiva que proporcionou maior média de redução de temperatura operativa da edificação.

No caso das combinações de estratégias que envolvem a estratégia Vidro, sua avaliação foi feita separadamente uma vez que a adoção da estratégia Vidro gerou o aumento da temperatura em todos os cenários nos quais foi adotada.

Assim, mesmo que outras estratégias construtivas (Pintura, Sombreamento ou Veneziana) façam parte da combinação de estratégias em questão e, tenham colaborado com resultados de redução de temperatura, o uso da estratégia Vidro, gerando aumento da temperatura, automaticamente descarta esta combinação de estratégias como passível de aplicação junto à edificação selecionada.

As combinações de estratégias construtivas que utilizam a estratégia Vidro e o valor de contribuição desta estratégia (Vidro) em relação ao aumento de temperatura são apresentados a seguir:

- Estratégia Pintura + Vidro: A aplicação dessa combinação de estratégia proporcionou uma média de redução de temperatura de 7,02%. A contribuição da estratégia Vidro corresponde a um aumento na média da temperatura operativa de aproximadamente 0,51% do valor total da redução de temperatura.
- Estratégia Sombreamento + Vidro: A aplicação dessa combinação de estratégia proporcionou uma média de redução de temperatura de 1,15%. A contribuição da estratégia Vidro corresponde a um aumento na média da temperatura operativa de aproximadamente 3,22% do valor total da redução de temperatura.
- Estratégia Vidro + Veneziana: A aplicação dessa combinação de estratégia proporcionou uma média de redução de temperatura de 3,07%. A contribuição da estratégia Vidro corresponde a um aumento na média da temperatura

operativa de aproximadamente 1,18% do valor total da redução de temperatura.

- Estratégia Pintura + Sombreamento + Vidro: A aplicação dessa combinação de estratégia proporcionou uma média de redução de temperatura de 8,08%. A contribuição da estratégia Vidro corresponde a um aumento na média da temperatura operativa de aproximadamente 0,25% do valor total da redução de temperatura.
- Estratégia Pintura + Vidro + Veneziana: A aplicação dessa combinação de estratégia proporcionou uma média de redução de temperatura de 10,34%. A contribuição da estratégia Vidro corresponde a um aumento na média da temperatura operativa de aproximadamente 0,19% do valor total da redução de temperatura.
- Estratégia Pintura + Sombreamento + Vidro + Veneziana: A aplicação dessa combinação de estratégia proporcionou uma média de redução de temperatura de 10,56%. A contribuição da estratégia Vidro corresponde a um aumento na média da temperatura operativa de aproximadamente 0,45% do valor total da redução de temperatura.

Destaca-se que, como mostrado ao avaliar a estratégia Vidro individualmente, o aumento da média de temperatura operativa na aplicação da estratégia Vidro, é uma característica encontrada neste trabalho, para o uso de vidro de 6mm em substituição ao vidro 4mm especificado em projeto. A aplicação de outros tipos de estratégias construtivas envolvendo o uso de vidros pode trazer resultados diferentes dos encontrados na presente pesquisa, como os encontrados na análise da literatura apresentada no subcapítulo 2.7.

A partir dos resultados apresentados, e com o intuito de verificar se a aplicação das combinações de estratégias são significativas para os valores de temperatura operativa obtidos, foi realizada uma análise de variância ANOVA.

Os resultados encontrados na ANOVA realizada estão apresentados na Tabela 38. Estes resultam apontam que a Estrategia é significativa para os valores de temperatura operativa da edificação, uma vez que o p-valor encontrado é inferior a 0,05. Ou seja, as combinações de estratégias construtivas são significativas para os valores de temperatura operativa obtidos.

Tabela 38 - ANOVA com interação dos dados obtidos (estratégias combinadas)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
estrategia	10	518.9	51.89	82.55	<2e-16***
Residuals	451	283.5	0.63		

Fonte: O autor via Software R (2020)

Para confirmar a significância do fator Estrategia nos valores de temperatura operativa, foi realizado o Teste de Tukey, no qual foram considerados os seguintes fatores:

TOini - Temperatura operativa sem a aplicação de estratégias

TOest12 - Temperatura operativa com aplicação da combinação de estratégias Pintura + Sombreamento

TOest13 - Temperatura operativa com aplicação da combinação de estratégias Pintura + Vidro

TOest14 - Temperatura operativa com aplicação da combinação de estratégias Pintura + Veneziana

TOest23 - Temperatura operativa com aplicação da combinação de estratégias Sombreamento + Vidro

TOest24 - Temperatura operativa com aplicação da combinação de estratégias Sombreamento + Veneziana

TOest34 - Temperatura operativa com aplicação da combinação de estratégias Vidro + Veneziana

TOest123 - Temperatura operativa com aplicação da combinação de estratégias Pintura + Sombreamento + Vidro

TOest124 - Temperatura operativa com aplicação da combinação de estratégias Pintura + Sombreamento + Veneziana

TOest134 - Temperatura operativa com aplicação da combinação de estratégias Pintura + Vidro + Veneziana

TOest1234 - Temperatura operativa com aplicação da combinação de estratégias Pintura + Sombreamento + Vidro + Veneziana

A Figura 39 apresenta os resultados obtidos da aplicação do Teste de Tukey.

Tabela 39 - Teste de Tukey para a estratégias individuais

	TOest groups	
TOini	27.69987	a

TOest23	27.38142	ab
TOest34	26.84632	bc
TOest24	26.73400	c
TOest13	25.74864	d
TOest123	25.45446	d
TOest12	25.45095	d
TOest134	24.82349	e
TOest14	24.82293	e
TOest1234	24.76419	e
TOest124	24.75416	e

Fonte: O autor via Software R (2020)

Os resultados obtidos a partir da aplicação do Teste de Tukey indicam que não há diferença estatística significativa entre as médias dos valores de temperatura da edificação sem a aplicação de estratégias (TOini) e as médias dos valores de temperatura da aplicação da combinação de estratégias Sombreamento + Vidro (TOest23).

Assim, a aplicação de TOest23 (Combinação de estratégias Sombreamento + Vidro) não é viável, uma vez que a redução de temperatura alcançada a partir de sua aplicação não justifica os custos e intervenções envolvidos com sua instalação, uma vez que a média estatística de temperatura do edifício com a aplicação das estratégias TOest23 (combinação de estratégias Sombreamento + Vidro) não se diferencia da média estatística de temperatura do edifício sem a aplicação de estratégias (TOini).

No caso da combinação de estratégias Sombreamento + Vidro (TOest23), não há diferença estatística significativa entre as médias de seus valores de temperatura e as médias dos valores de temperatura da combinação TOest34 (combinação de estratégia Vidro + Veneziana).

Estes resultados estão de acordo com as análises realizadas, uma vez a estratégia Vidro faz parte TOest23 (combinação de estratégias Sombreamento + Vidro) e TOest34 (combinação de estratégia Vidro + Veneziana) e, portanto, foram descartadas como passíveis de aplicação pelo aumento de temperatura causado pela estratégia Vidro.

As médias dos valores de temperatura da combinação de estratégias TOest34 (Combinação de estratégias Vidro + Veneziana) também não possui

diferença estatística significativa com as médias dos valores de temperatura da combinação de estratégias TOest24 (combinação de estratégias Sombreamento + Veneziana).

O resultado encontrado está alinhado com a análise realizada. Pela análise realizada, TOest34 (Combinação de estratégias Vidro + Veneziana) não é passível de aplicação, uma vez que utiliza a estratégia Vidro.

Além disso, como destacado, a análise aponta que o resultado obtido pela aplicação da combinação de estratégias Sombreamento + Veneziana (TOest24) não é satisfatório, pois envolve valores de redução de temperatura (menos que 1°C) que não justificam os custos e intervenções envolvidos.

O Teste de Tukey realizado indica que não há diferença estatística significativa entre as médias de temperatura de TOest13 (combinação de estratégias Pintura + Vidro), TOest12 (combinação de estratégias Pintura + Sombreamento) e TOest123 (combinação de estratégias Pintura + Sombreamento + Vidro).

Os últimos resultados obtidos pelo Teste de Tukey apontam que não há diferença estatística significativa entre as médias de temperatura de TOest134 (combinação de estratégias Pintura + Vidro + Veneziana), TOest14 (combinação de estratégias Pintura + Veneziana), TOest1234 (combinação de estratégias Pintura + Sombreamento + Vidro + Veneziana) e TOest124 (Pintura + Sombreamento + Veneziana).

Destaca-se que todas as combinações de estratégias cujos valores das médias de temperatura estão entre as duas classificações mais significativas do Teste de Tukey [resultados (d) e (e) do Teste de Tukey] possuem a estratégia Pintura. E, dentre as combinações de estratégias classificadas como as mais significaticas pelo Teste de Tukey (e), todas possuem as estratégias Pintura e Veneziana.

Dentre as combinações de estratégias, aquelas mais significativas para média dos valores de temperatura operativa, e que não abrangem a estratégia Vidro, são TOest14 (combinação de estratégia Pintura + Veneziana) e TOest124 (Pintura + Sombreamento + Veneziana).

A aplicação da combinação de estratégias Pintura + Sombreamento + Veneziana (TOest124) apresentou o melhor resultado de média de redução de temperatura, 10,59%, como apresentado no subcapítulo 4.9. Porém, uma vez

que não há diferença estatística significativa entre suas médias de temperatura e as médias de temperatura da aplicação da estratégia TOest14 (combinação de estratégia Pintura + Veneziana) e que, esta última envolve uma estratégia a menos que a primeira, ou seja, menor custo e intervenção, a presente pesquisa acredita que a combinação de estratégias Pintura + Veneziana seja a mais apropriada à aplicação ao objeto de estudo, vide sua redução de temperatura satisfatória, 10,34% (correspondente a 2,88°C) , e o baixo custo de aplicação e dificuldade de intervenção envolvidos, fator determinante para a edificação do programa MCMV faixa1.

Ao compararmos os valores obtidos pela presente pesquisa com outros trabalhos, alguns utilizaram estratégias ativas e que abrangeram mais do que apenas ações na construção, como, por exemplo, a troca da iluminação e instalação de sistemas fotovoltaicos.

Dentre os resultados de outras pesquisas temos o de Nguyen e Reiter (2011), que obtiveram uma redução de 20,63% na temperatura operativa de uma edificação residencial multifamiliar. Esta redução em edificação localizada em uma cidade de clima quente úmido foi alcançada por meio da adoção de mecanismos de isolamento de vedações, o uso de dispositivos de sombreamento nas aberturas, a aplicação de vidros de alta performance, o aumento da espessura das vedações assim como da área envidraçada, além da pintura da fachada de branco.

Este trabalho obteve resultados de redução da temperatura operativa dos ambientes em estudo relativamente maiores que a presente pesquisa mas aplicando um número muito maior de estratégias e que envolvem custos de instalação elevados e intervenções drásticas, opções que podem não ser viáveis quando confrontadas com os objetivos (especialmente os de custo reduzido) de habitações do programa MCMV.

Outro artigo (Taleb 2014) adotou a instalação de vidros duplos, a execução de revestimentos de cor clara com alta reflexão nas fachadas e a utilização de telhados verdes e uma edificação residencial unifamiliar no clima desértico, com os quais obteve uma redução de 9% nos valores da média da redução da temperatura operativa.

As estratégias adotadas nesta pesquisa (TALEB, 2014) envolvem custo elevado de instalação e manutenção, uma vez que a execução dos

revestimentos em cor clara de alta reflexão nas fachadas foi baseada em placas cerâmicas e não em pintura, como a adotada na presente pesquisa. Destaca-se que os resultados relativos à média de redução de temperatura obtidos por Tabeb (2014), de 9%, são inferiores aos obtidos na presente pesquisa (10,59%).

Outros pesquisadores obtiveram os seus resultados em função do consumo de energia e não da redução de temperatura.

Li *et al.* (2017) aplicaram diversas estratégias construtivas para o aperfeiçoamento do desempenho energético de um edifício comercial em um local de clima quente e temperado, como a instalação de cobertura retrátil para o aproveitamento da luz natural, o uso de paredes verdes e a utilização de sistemas de iluminação com LED, alcançando uma redução de 49,15% no consumo de energia da construção em comparação com outras edificações do entorno.

As estratégias adotadas por Li *et al.* (2017) são estratégias ativas, com alto custo de implantação e implicam em intervenção drástica na edificação. Estas estratégias podem não ser adequadas ao objeto de estudo desta pesquisa (edificações MCMV), devido ao fator custo.

O trabalho de Fotopoulou *et al*. (2018) utilizou vidros duplos, elementos de sombreamento e vedações com isolamento térmico e obteve um aprimoramento de 51% no gasto energético no período do Verão em uma edificação residencial multifamiliar.

Apesar de ter trabalhado com elementos de sombreamento, as outras estratégias utilizadas por Fotopoulou *et al*. (2018) envolveram custo elevado e intervenção drástica, limitações da adoção de estratégias pela presente pesquisa.

5 CONCLUSÕES

Pelas simulações realizadas na presente pesquisa, a adoção de estratégias bioclimáticas com o intuito de reduzir o impacto ambiental de habitações de interesse social (HIS), teve resultado positivo.

A presente pesquisa foi feita considerando uma edificação faixa 1 do programa MCMV. Estas construções seguem o mesmo padrão em todo o Brasil e ainda continuarão a ser construídas nos próximos anos. Assim, os resultados apresentados nesse trabalho apontam maneiras de aprimorar a eficiência energética dessas construções sem a necessidade de reformas drásticas, reduzindo o impacto ambiental dessas edificações.

Para a realização do trabalho, primeiramente foram identificadas as cidades brasileiras mais desconfortáveis termicamente, a partir da aplicação do índice UTCI nas cidades mais urbanizadas em cada uma das oitos zonas bioclimáticas brasileiras. O pior cenário encontrado foi da cidade do Rio de Janeiro, definida, portanto, como local do objeto de estudo.

A definição das estratégias construtivas que foram aplicadas nas simulações computacionais realizadas foi feita por meio da aplicação do método de revisão sistemática da literatura ProKnowC, no qual verificou-se estratégias construtivas utilizadas por outros pesquisadores selecionando aquelas que envolviam baixo custo e intervenções leves ou inexistentes para sua aplicação.

As estratégias definidas foram: 1) Pintura, 2) Sombreamento, 3) Vidro e 4) Veneziana.

O objeto de estudo selecionado foi um conjunto habitacional MCMV, faixa 1, localizado na cidade do Rio de Janeiro (Parque Carioca). Por meio de visita *in loco*, foram coletados os dados de consumo de energia do usuário.

Os dados obtidos foram analisados e os resultados obtidos indicam que as habitações voltadas para a direção Oeste são mais significativas nos valores de consumo de energia do que aquelas voltadas para as outras direções.

Além disso, os meses de Dezembro a Março caracterizam-se como meses mais significativos no consumo de energia do que o restante dos meses do ano.

Ademais, os dados de consumo de energia foram utilizados para realizar a calibração da simulação computacional proposta.

As estratégias construtivas selecionadas foram aplicadas em simulações computacionais, de forma individual ou combinada. Estas simulações computacionais, realizadas a partir do arquivo calibrado.

Os dados obtidos das simulações computacionais geradas da aplicação das estratégias foram analisados por meio da aplicação de métodos estatísticos. A partir da análise dos dados a presente pesquisa concluiu que a melhor combinação de estratégias para ser aplicada nas edificações do conjunto habitacional do Lote 2 do Parque Carioca é Pintura + Veneziana, a qual obteve uma média redução de temperatura operativa de 2,88 °C.

A estratégia Pintura mostrou contribuição eficaz em todas as combinações das quais fez parte, sendo responsável por mais de 60% do total dos valores de redução de temperatura obtidos. Desse modo, uma vez que o fator custo é considerável no cenário estudado, a aplicação apenas da estratégia Pintura é uma opção viável, uma vez que gera resultados significativos, com médias de redução de temperatura de 7,04%, o equivalente a 1,96 °C.

O uso da estratégia Vidro, no cenário utilizado na presente pesquisa (aumento de espessura) é prejudicial, uma vez que acarreta o aumento da temperatura operativa. Outras esratégias utilizando vidros devem ser testadas, levando em consideração o fator custo, para averiguar o benefício de sua aplicação.

As estratégias Sombreamento e Veneziana utilizam a sombra como artifício para reduzir a temperatura interna da edificação. Apesar de partirem do mesmo princípio, a estratégia Sombreamento exige maiores custos iniciais e intervenção de instalação mais complexa que a estratégia Veneziana. Além disso, seus resultados de média de redução de temperatura são inferiores aos obtidos pela estratégia Veneziana. A primeira tem uma média de redução de temperatura de 1,17%, ao passo que a média de redução da segunda é de 3,08%.

5.1 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Este tópico apresenta sugestões de trabalhos futuros baseados no trabalho apresentado. Desta forma, sugere-se os seguintes temas:

- Testar os resultados das simulações realizadas em casos reais.
- Verificar os custos da aplicação do conjunto de estratégias selecionado no conjunto habitacional tratado.

- Simular outros tipos de estratégias que utilizam vidro e cujo custo seja aplicável ao programa MCMV.
- Identificar outros fatores significativos no consumo de energia elétrica, uma vez que na análise de variância ANOVA o resíduo indicou a existência de fatores que não foram tratados.
- Verificar estratégias alternativas para o arrefecimento de ar.

REFERÊNCIAS

ABDALLAH, Amr Sayed Hassan. The Influence of Urban Geometry on Thermal Comfort and Energy Consumption in Residential Building of Hot Arid Climate, Assiut, Egypt. **Procedia Engineering**, [s. l.], v. 121, p. 158–166, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.1043>

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR15220. Desempenho Térmico de Edificações, parte 1: Definições, símbolos e unidadesBrasil, 2008.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 Edificações Habitacionais — DesempenhoBrasil, 2013.

ABREU, Maria Isabel et al. O contexto atual da reabilitação energética do parque edificado em portugal. In: CONGRESSO CONSTRUÇÃO 2012 2012, Coimbra. **Anais**... Coimbra

ADUNOLA, Adewale Oluseyi. Evaluation of urban residential thermal comfort in relation to indoor and outdoor air temperatures in Ibadan, Nigeria. **Building and Environment**, [s. l.], v. 75, p. 190–205, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.02.007>

ALEXOPOULOS, Christos; e KIM, Seong-Hee. Statistical analysis of simulation output data analysis for simulations. **Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference**, [s. l.], 2002.

ALMEIDA, Laiane et al. Acordo Com O Método Prescritivo Do Rtq-R. **In XII ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído/VIII ELACAC-Encontro Latino americano de Conforto no Ambiente Construído**, Brasília, 2013.

ANASTASELOS, Dimitris et al. An assessment tool for the energy, economic and environmental evaluation of thermal insulation solutions. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 41, n. 11, p. 1165–1171, 2009.

ANSI/ASHRAE/IES. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential BuildingsEstados Unidos, 2013. p. 278.

ANSI/ASHRAE. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE STANDARDS. Estados Unidos, 2017.

ASHRAE. **ASHRAE Guideline 14-2002**. Atlanta.

BARBOSA, Hiago Pereira; e AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Clima urbano em presidente prudente/sp: diferenças térmicas e higrométricas urbano/rural em episódios de outono. **Revista Geonorte**, [s. l.], v. 2, n. 5, p. 220–232, 2012.

BATAINEH, Khaled; e ALRABEE, Ayham. Improving the Energy Efficiency of the Residential Buildings in Jordan. **Buildings**, Basel, v. 8, n. 7, 2018. Disponível em: <https://search.proquest.com/docview/2125297236?accountid=26629>

BAUMERT, Kevin A. et al. **Navigating the Numbers: Greenhouse gases and international climate change agreements**. [s.l.] : World Resources Institute, 2005. Disponível em: <http://pdf.wri.org/navigating_numbers.pdf>

BOGO, Amilcar et al. **Bioclimática aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. Florianópolis.

BRASIL. LEI No 10.2952001.

CANAS, Ignacio; e MARTÍN, Silvia. Recovery of Spanish vernacular construction as a model of bioclimatic architecture. **Building and Environment**, [s. l.], v. 39, n. 12, p. 1477–1495, 2004.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-residenciais**. 2008. Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 2008.

CASAGRANDE, Bruna Gomes; e ALVAREZ, Cristina Engel De. Preparação de arquivos climáticos futuros para avaliação dos impactos das mudanças climáticas no desempenho termoenergético de edificações. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 173–187, 2014.

CASQUERO-MODREGO, Núria; e GOÑI-MODREGO, Marta. Energy retrofit of an existing affordable building envelope in Spain, case study. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 44, p. 395–405, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2210670717314853>. Acesso em: 23 maio. 2019.

CHEN, Yixing et al. Automatic generation and simulation of urban building energy models based on city datasets for city-scale building retrofit analysis. **Applied Energy**, [s. l.], v. 205, n. August, p. 323–335, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.128>

CHUA, K. J.; e CHOU, S. K. Energy performance of residential buildings in Singapore. **Energy**, [s. l.], v. 35, n. 2, p. 667–678, 2010.

CIANCIO, Virgilio et al. Influence of Input Climatic Data on Simulations of Annual Energy Needs of a Building: EnergyPlus and WRF Modeling for a Case Study in Rome (Italy). **Energies**, [s. l.], v. 11, p. 17, 2018.

DE BOECK, L. et al. Improving the energy performance of residential buildings: A literature review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 52, p. 960–975, 2015.

DE VECCHI, Renata. **Condições de conforto térmico e aceitabilidade da velocidade do ar em salas de aula com ventiladores de teto para o clima**

de Florianópolis/SC. 2011. Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 2011. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Renata_De_Vecchi.pdf>

DOE - United States Department of Energy; BTO - Building Technologies Office; NREL -National Renewable Energy Laboratory. Building Design - Energy Simulation Software. Washington, DC [200-]. Disponível em: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/. Acesso em: 18 jan. 2019.

EPE. **Nota técnica DEA XX/15: Cenário econômico 2050**. [s.l: s.n.].

EPE. **Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro : Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética**. [s.l: s.n.].

EPE; e MME. **Balanço Energético Nacional 2018**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.dgeg.pt>.

FABRIZIO, Enrico et al. **Calibration of Building Energy Simulation Models Based on Optimization: A Case StudyEnergy Procedia**, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.693>

FORD, Edward R. **The architectural detail**. Nova Iorque.

FOSSATI, Michele et al. Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 65, p. 1216–1231, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.048>

FOTOPOULOU, Anastasia et al. Deep renovation in existing residential buildings through façade additions: A case study in a typical residential building of the 70s. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 166, p. 258–270, 2018. Disponível

em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778818303931>. Acesso em: 23 maio. 2019.

FRANCA, S. ; SCHUAB, M. R. ; SPERANDIO, K. P. ; AZEVEDO, R. C. ; CARVALHO, M. C. R. ; BEZERRA, A. C. S. . PROKNOW-C: DA SELEÇÃO DE UM PORTFÓLIO DE ARTIGOS À ANÁLISE SISTÊMICA SOBRE BLOCOS DE TERRA COMPRIMIDA. Pensar Acadêmico, v. 17, p. 291-308, 2019

FROTA, Anésia Barros; e SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico: Arquitetura e Urbanismo**. 5 edição ed. [s.l: s.n.].
FUNDAÇÃO JOÃO MANGABEIRA. A crise do setor elétrico brasileiro. **Boletim Conjuntura Brasil**, Brasília, p. 16, 2015.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil 2013-2014Fundação João Pinheiro. Centro de Estatística e Informações**. Belo Horizonte.

GARCIA, Marina da Silva. **Eficiência energética em edifícios: investigação do S3E como interface de simulação simplificada**. 2017. Universidade Federal de Minas Gerais, [s. l.], 2017.

GARRETT, Aaron et al. Evolutionary tuning of building models to monthly electrical consumption. **ASHRAE Transactions**, [s. l.], v. 119, n. PART 2, p. 89–99, 2013.

GARRETT, Aaron; e NEW, Joshua R. Suitability of ASHRAE Guideline 14 Metrics for Calibration.pdf. **ASHRAE Transactions**, [s. l.], 2016.

GIANCOLA, E. et al. Evaluating rehabilitation of the social housing envelope: Experimental assessment of thermal indoor improvements during actual operating conditions in dry hot climate, a case study. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 75, p. 264–271, 2014. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778814001212>. Acesso em: 8 jan. 2019.

GOMES, C. L. ; POGGIALI, F. S. J. ; AZEVEDO, R. C. . Concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição e adições minerais: uma análise bibliográfica. Materia-Rio de Janeiro, v. 24, p. 1-12, 2019.

GONÇALVES, Joana Carla Soares; e BODE, Klaus. **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

GOULART, S. V. G. et al. **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras**. 2. ed. Florianópolis: ELETROBRAS/PROCEL, 1998.

GRIGOLETTI, Giane de Campos et al. Tratamento de dados climáticos de Santa Maria, RS, para análise de desempenho térmico de edificações. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 123–141, 2016.

GUI, Xue-chen et al. The methodology of standard building selection for residential buildings in hot summer and cold winter zone of China based on architectural typology. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 18, p. 352–359, 2018. a. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352710217306290>. Acesso em: 23 maio. 2019.

GUI, Xue-chen et al. The methodology of standard building selection for residential buildings in hot summer and cold winter zone of China based on architectural typology. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 18, p. 352–359, 2018. b.

GYAMFI, Samuel et al. Residential peak electricity demand response - Highlights of some behavioural issues. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 25, p. 71–77, 2013.

HARISH, V. S. K. V.; e KUMAR, Arun. A review on modeling and simulation of building energy systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.],

v. 56, p. 1272–1292, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.040>

HEO, Y. et al. Calibration of building energy models for retrofit analysis under uncertainty. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 47, n. 2012, p. 550–560, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.029>

IBGE. **Áreas urbanizadas do Brasil**. Brasília.

INMETRO. Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciaisBrasil, 2012. p. 138.

INMETRO. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e PúblicasBrasil, 2013. p. 96.

IPCC. **Climate change 2007: Synthesis Report**. Geneva.

ISB. **ISB Commission 6 for the development of a Universal Thermal Climate Index (UTCI)**. Freiburg.

KARAKOUNOS, I. et al. The influence of bioclimatic urban redevelopment on outdoor thermal comfort. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 158, p. 1266–1274, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.035>

KOROLIJA, Ivan et al. Influence of building parameters and HVAC systems coupling on building energy performance. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 43, n. 6, p. 1247–1253, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.01.003>

KRÜGER, Eduardo Leite; e MORI, Fabiano. Análise da eficiência energética da envoltória de um projeto padrão de uma agência bancária em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 89–106, 2012.

LABEE. **AET N ° 02 / 04 - ELABORAÇÃO DE REGULAMENTAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE EDIFICAÇÕES EFICIENTESELETROBRÁS/PROCEL**. Florianópolis.

LABEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin. Acesso em: jan. 2019.

LAKATOS, Eva; e MARCONI, Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo.

LAMBERTS, Roberto et al. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. [s.l.] : ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LAVENBERG, Stephen S. **Computer Performance Modeling Handbook**. Nova Iorque.

LI, Yutong et al. The Existing Building Sustainable Retrofit in China-A Review and Case Study. **Procedia Engineering**, [s. l.], v. 205, p. 3638–3645, 2017.

LIGHT. Simulador de Consumo da Light. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: http://www.light.com.br/para-residencias/Simuladores/consumo.aspx. Acesso em: ago. 2019.

MANFREN, Massimiliano et al. Calibration and uncertainty analysis for computer models - A meta-model based approach for integrated building energy simulation. **Applied Energy**, [s. l.], v. 103, p. 627–641, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.031>

MC. Instrução normativa n 4.375, de 9 de Novembro de 2018Brasil, 2018.

MEDEIROS, Ivan L. De et al. Revisão Sistemática e Bibliometria facilitadas por um Canvas para visualização de informação. **Revista Brasileira de Design da Informação**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 93–110, 2015.

MENDES, Nathan et al. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 47–68, 2005. Disponível em: <http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3657>

MMA. **Manual de Educação para o consumo sustentável**. [s.l: s.n.].

MME. **Plano Nacional de Energia 2030**. [s.l: s.n.].

MOTA, Jose Aroudo et al. Trajetória Da Governança Ambiental. **Ipea**, [s. l.], v. 01, n. Regional e Urbano, p. 11–20, 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11058/5523>

MURPHY, Fionnuala; e MCDONNELL, Kevin. Investigation of the potential impact of the Paris Agreement on national mitigation policies and the risk of carbon leakage; an analysis of the Irish bioenergy industry. **Energy Policy**, [s. l.], v. 104, n. January, p. 80–88, 2017.

MUSTAFARAJ, Giorgio et al. Model calibration for building energy efficiency simulation. **Applied Energy**, [s. l.], v. 130, p. 72–85, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.05.019>

MUTANI, Guglielmina et al. Characterization of Building Thermal Energy Consumption at the Urban Scale. **Energy Procedia**, [s. l.], v. 101, n. September, p. 384–391, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.049>

NREL - National Renewable Energy Laboratory. Bigladder software – Downloads - Latest Version – Euclid. Golden, 2020. Disponível em: https://bigladdersoftware.com/projects/euclid/. Acesso em: 18 jan. 2019

NAIR, Gireesh et al. Factors influencing energy efficiency investments in existing Swedish residential buildings. **Energy Policy**, [s. l.], v. 38, n. 6, p.

2956–2963, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2010.01.033>

NETO, Alberto Hernandez; e FIORELLI, Flávio Augusto Sanzovo. Comparison between detailed model simulation and artificial neural network for forecasting building energy consumption. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 40, n. 12, p. 2169–2176, 2008.

NGUYEN, Anh Tuan; e REITER, Sigrid. An investigation on thermal performance of a low cost apartment in hot humid climate of Danang. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 47, p. 237–246, 2012. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778811005937>. Acesso em: 8 jan. 2019.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. Londres.

OLGYAY, V. **Clima y arquitectura en Colombia**. 1968. Universidad del Valle, Cali, 1968.

ONU. **Information Note | 4 December 2018**. [s.l: s.n.].

OZARISOY, Bertug; e ALTAN, Hasim. Low-energy design strategies for retrofitting existing residential buildings in Cyprus. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability**, [s. l.], p. 1–15, 2018.

PAONE, Antonio; e BACHER, Jean Philippe. The impact of building occupant behavior on energy efficiency and methods to influence it: A review of the state of the art. **Energies**, [s. l.], v. 11, n. 4, 2018.

PASSE, Ulrike; e NELSON, Ron. Constructing Energy Efficiency: Rethinking and Redesigning the Architectural Detail. **Journal of Architectural Engineering**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 193–203, 2012.

PATTERSON, Murray G. What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. **Energy Policy**, [s. l.], v. 24, n. 5, p. 377–390, 1996.

PEDRINI, Aldomar. **Desenvolvimento de Metodologia de Calibração de Modelos para Simulações Térmica e Energética de Edificações**. 1997. Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 1997.

PEDROSA, Oswaldo; e CORRÊA, Antônio. A crise do petróleo e os desafios do pré sal. **FGV - Caderno De Opinião**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 14, 2016.

PICCOLI, Rossana et al. A certificação de desempenho ambiental de prédios: exigências usuais e novas atividades na gestão da construção. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 69–79, 2013.

POEL, Bart et al. Energy performance assessment of existing dwellings. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 39, n. 4, p. 393–403, 2007. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037877880600212X>. Acesso em: 8 jan. 2019.

POLIÓN, Marco Vitruvio. **Los diez libros de arquitectura**. Madrid. Disponível em: <http://aparejadoresacc.com/wp-content/uploads/Vitruvio_Polion_Marco.pdf>

PORANGABA, Gislene Figueiredo Ortiz et al. Procedimentos metodológicos para análise das ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], v. 21, p. 225–247, 2017.

PROCEL. **Lei de Eficiência Energética**. [s.l: s.n.].

PROCEL EDIFICA; e ELETROBRAS. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso - ano base 2005**. [s.l: s.n.].

R Development Core Team (2009). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL http://www.R-project.org. Acesso em: 10 ago. 2019.

RORIZ, M. Uma Proposta de Revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro. 2012a. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>. Acesso em: 15 janeiro 2020.

RORIZ, M. Segunda Proposta de Revisão do Zoneamento Bioclimático do Brasil. 2012b. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>. Acesso em: 15 janeiro 2020.

ROSSI, Francine Aidie et al. Definition of thermal comfort and discomfort ranges for open spaces in Curitiba, PR, with the UCTI index. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 41–59, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212012000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>

RTQ-R. Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciaisBrasil, 2012. p. 138.

RUDOFSKY, Bernard. **Architecture without architects**. Nova Iorque.

SADINENI, Suresh B. et al. Passive building energy savings: A review of building envelope components. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 15, n. 8, p. 3617–3631, 2011. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032111002504>. Acesso em: 8 jan. 2019.

SAGOI, J. M.; RAMOS, G.; LAMBERTS, R. Análise das medições de absortância através do Espectrômetro alta II. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC), 2010, Canela. **Anais...** Canela: ANTAC, 2010.

SAN FRANCISCO DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT. San Francisco Climate Action Strategy. [s. l.], p. 73, 2010.

SCHELLER, Camila et al. **ANÁLISE DE ARQUIVOS CLIMÁTICOS PARA A SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES**. Florianópolis.

SHAIKH, Pervez Hameed et al. A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 34, p. 409–429, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.027>

SHUKLA, Yash et al. Field studies of thermal comfort across multiple climate zones for the subcontinent: India Model for Adaptive Comfort (IMAC). **Building and Environment**, [s. l.], v. 98, p. 55–70, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.12.019>

SILVA, Edna Lúcia; e MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4. ed. Florianópolis.

SOUSA, Joana. Energy simulation software for buildings: Review and comparison. **CEUR Workshop Proceedings**, [s. l.], v. 923, p. 57–68, 2012.

SUN, Jingting et al. Analysis of Typical Meteorological Year selection for energy simulation of building with daylight utilization. **Procedia Engineering**, [s. l.], v. 205, p. 3080–3087, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.303>

SZUCKO, ANGÉLICA SARAIVA. Governança Climática Europeia : Pacotes 2020 E 2030 E O Acordo De Paris. [s. l.], v. 5, n. 2018, p. 150–169, 2018.

TALEB, Hanan M. Using passive cooling strategies to improve thermal performance and reduce energy consumption of residential buildings in U.A.E.

buildings. **Frontiers of Architectural Research**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 154–165, 2014.

TRIANA, Maria Andrea et al. Characterization of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, [s. l.], v. 87, n. December 2014, p. 524–541, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.041>

TRIMBLE. SketchUp - Help Center - Downloading older versions. Sunnyvale, 2020. Disponível em: https://help.sketchup.com/pt-BR/downloading-older-versions. Acesso em: 18 jan. 2019

UNFCCC. **Paris Agreement**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>.

URBAN GREEN COUNCIL. New York City's Energy and Water Use 2014 & 2015 Report. [s. l.], n. August, p. 39, 2017. Disponível em: <http://urbangreencouncil.org/sites/default/files/energy_and_water_use_report_spreads.pdf?_ga=2.148337456.603292082.1542235096-851168177.1542235096>

VARTHOLOMAIOS, Aristotelis. A parametric sensitivity analysis of the influence of urban form on domestic energy consumption for heating and cooling in a Mediterranean city. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 28, p. 135–145, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2016.09.006>

VELOSO, Ana Carolina de Oliveira. **Avaliação do consumo de energia elétrica de edificações de escritórios e sua correlação com as decisões de projeto**. 2017. Universidade Federal de Minas Gerais, [s. l.], 2017.

WCED. **Our Common Future**. [s.l: s.n.].

WESTPHAL, Fernando Simon; e LAMBERTS, Roberto. Building Simulation Calibration Using Sensitivity Analysis. **Ninth International IBPSA Conference**,

[s. l.], p. 1331–1338, 2005. Disponível em: <http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2005/BS05_1331_1338.pdf>

YOON, Jongho et al. Calibration Procedure for Energy performance simulation of a commercial building.pdf. **Journal of Solar Energy Engineering**, [s. l.], v. 125, p. 7, 2003.

YUAN, Jun et al. A simultaneous calibration and parameter ranking method for building energy models. **Applied Energy**, [s. l.], v. 206, n. August, p. 657–666, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.220>

ZHAO, Lei et al. Strong contributions of local background climate to urban heat islands. **Nature**, [s. l.], v. 511, n. 7508, p. 216–219, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/nature13462>

ANEXO A – PROJETOS TÉCNICOS

Figura 21 - Planta de situação Lote 2

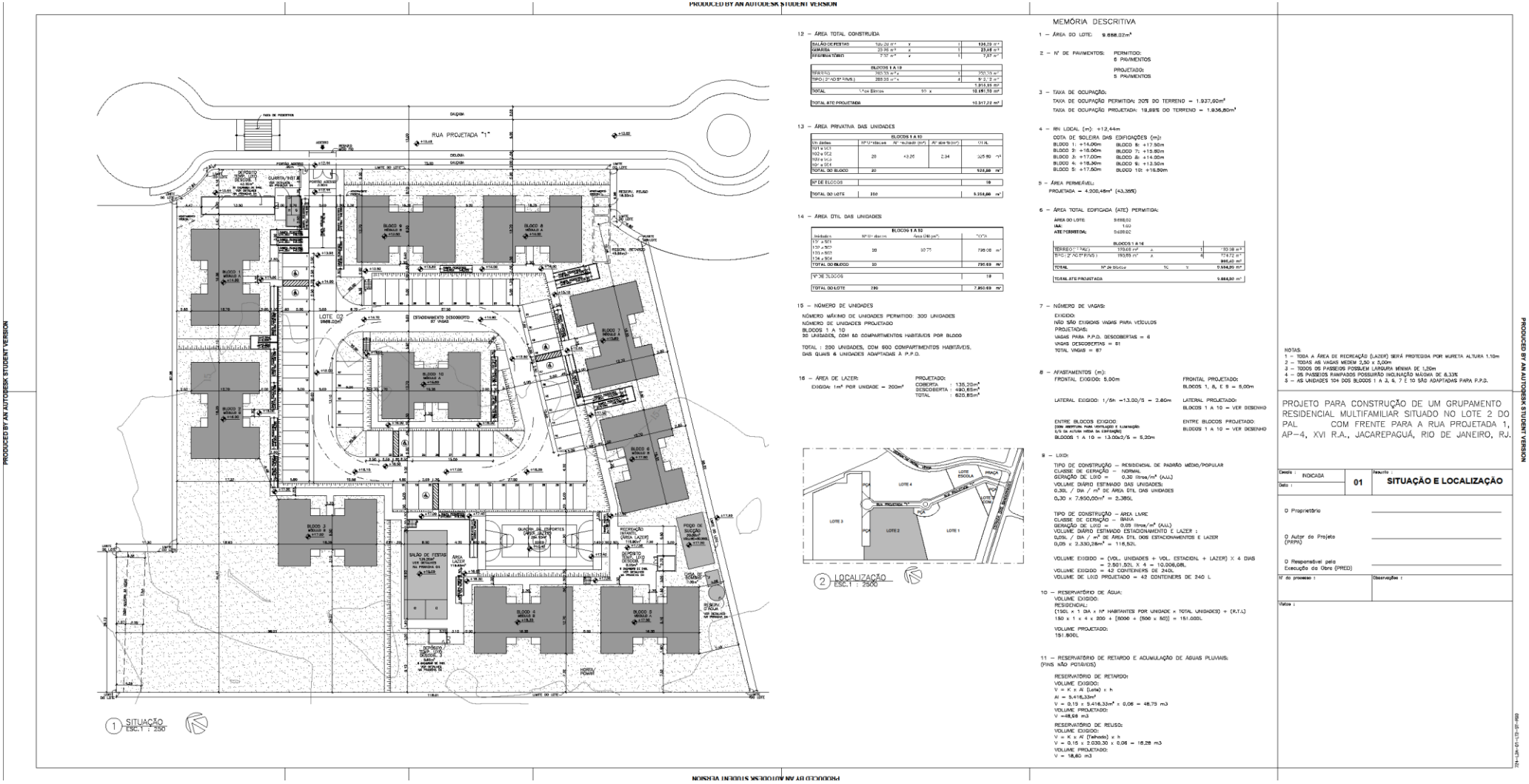


Figura 22 - Planta de edificações Lote 2

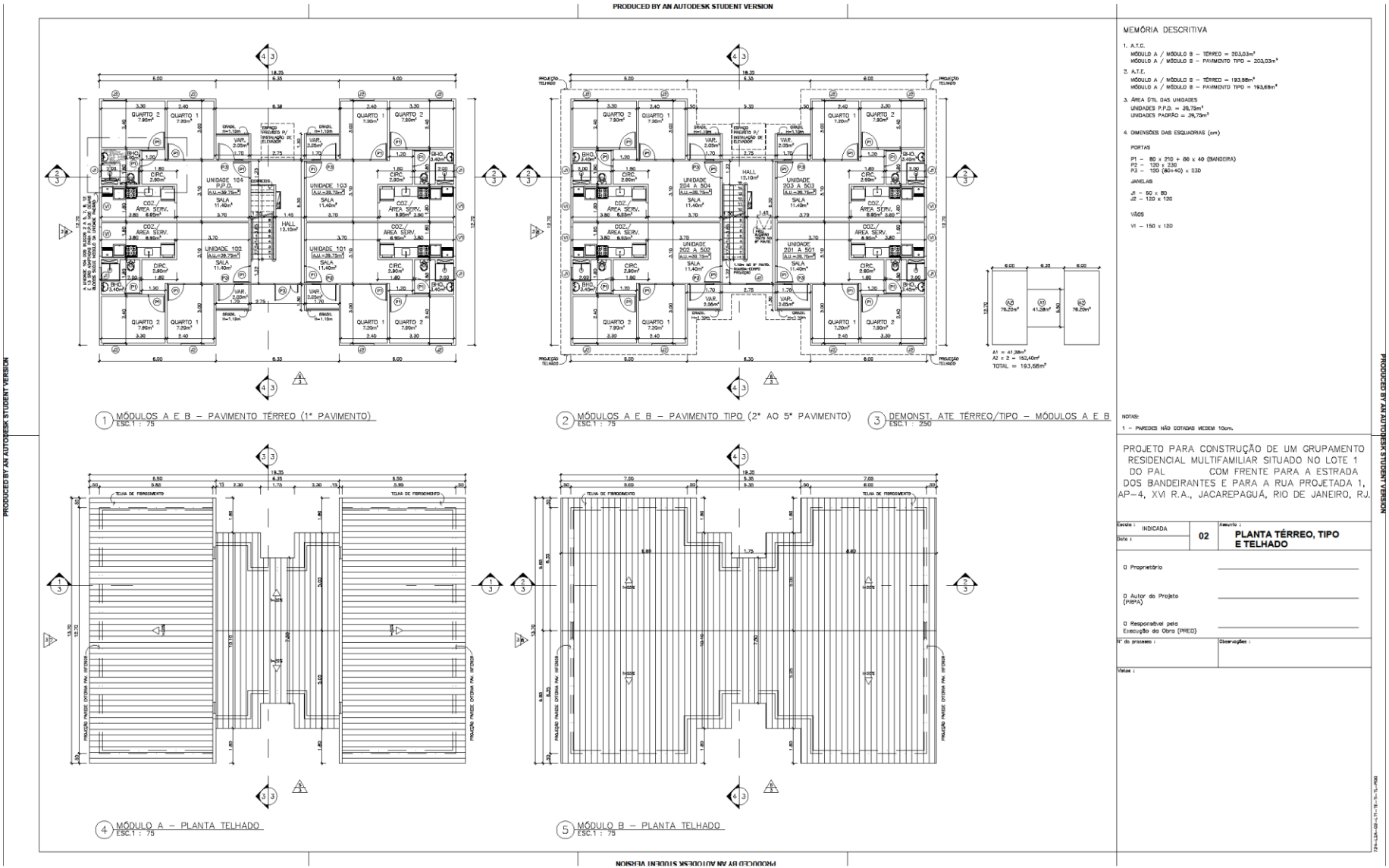


Figura 23 - Corte de edificações Lote 2

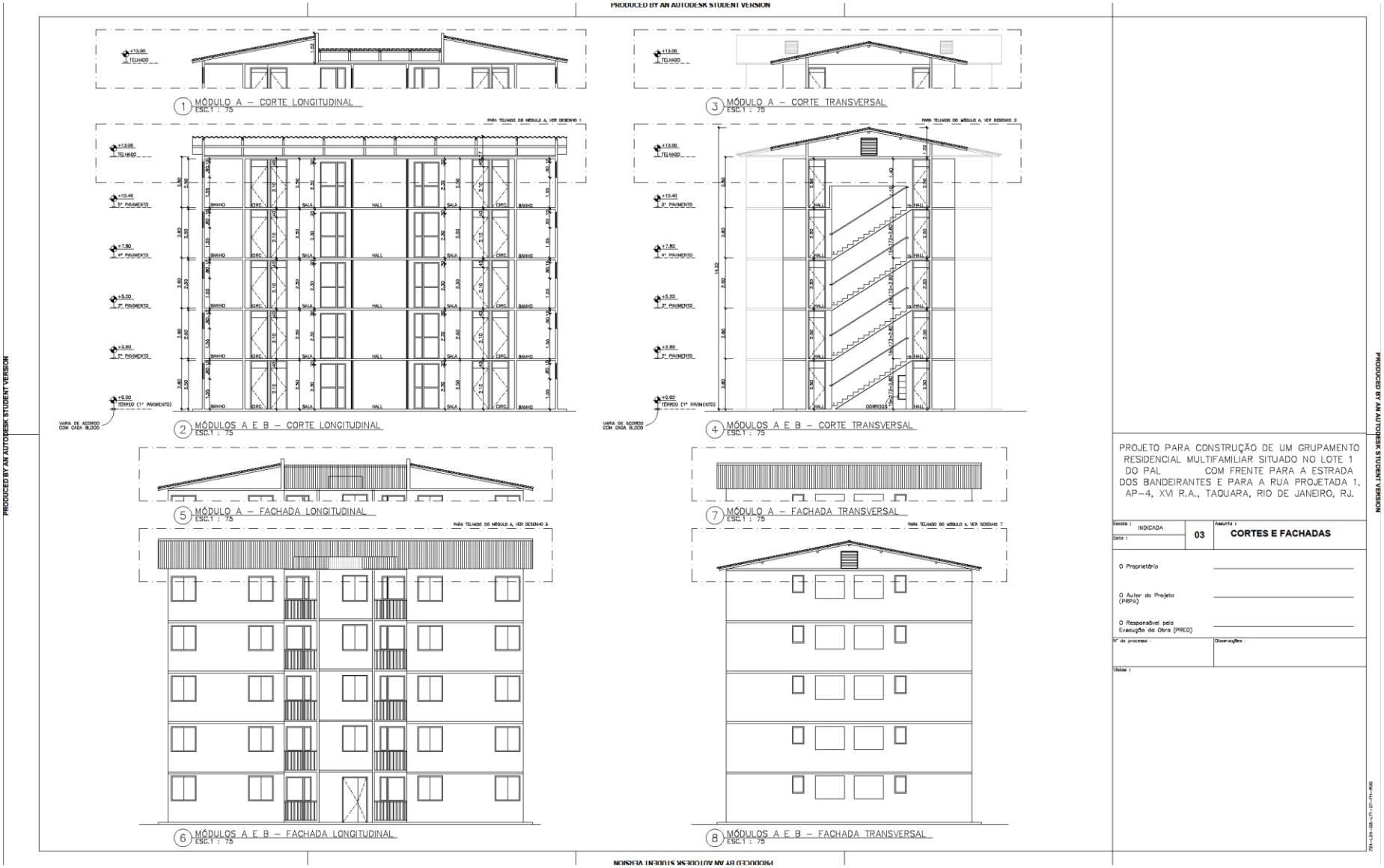
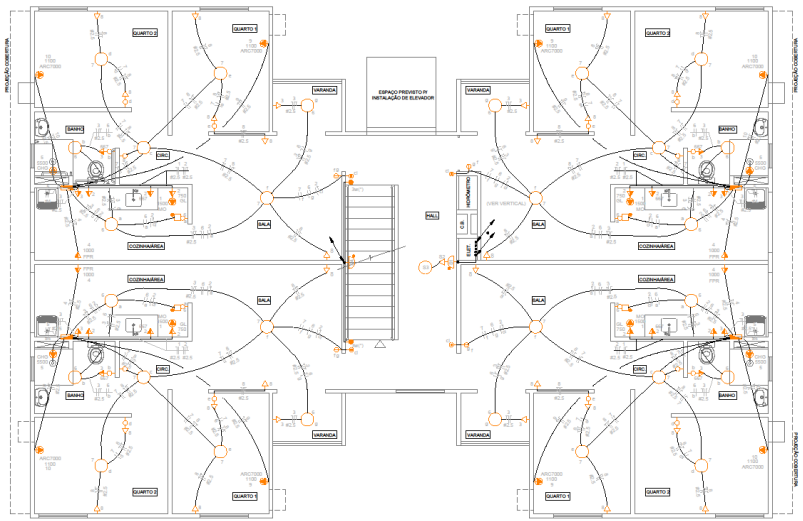


Figura 24 – Planta de projeto elétrico e luminotécnico lote 2

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



PLANTA BAIXA
ESC.: 1 : 50

CARACTERÍSTICAS DOS QUADROS ELÉTRICOS
TENSÃO DE UTILIZAÇÃO:
380 / 220 VOLTS
NORMA A SER SEGUIDA:
NBR 60439–1 (ITA / PITTA)
NBR 60439–3 (ITA / PITTA)
GRAU DE PROTEÇÃO / ISOLAÇÃO:
IP40 / CLASSE II
TIPO DE MONTAGEM: MATERIAL DO QUADRO:
SOBREPOR TERMOPLÁSTICO
OUTRAS CARACTERÍSTICAS:
PORTA COM FECHADURA
PORTA MAPA NA PARTE INTERNA
NOTA DE ADVERTÊNCIA FIXADA NA PORTA (NBR5410/B.5.4.10..e. I.1)
DISJUNTORES – IEC – CURVA C
MINI BOBINA
FABRICANTES RECOMENDADOS:
SCHNEIDER ELETRIC
SIEMENS
SEMELHE OS FABRICANTES ABAIXO P/ DISJUNTORES:
SCHNEIDER ELETRIC
SIEMENS
ELETROMAR (HAGER)
PIAL–LEGRAND

Lista de Materiais

Acessórios p/ eletrodutos	
Caixa PVC 4x2"	25 pç
Caixa PVC octogonal 4x2"	7 pç
Cabo Unipolar (cobre)	
Isol.PVC - 450/750V (ref. Pirasil Piracable Ecoplus BWF Flexível)	
1,5 mm² - Azul claro	25,20 m
1,5 mm² - Outro	24,40 m
1,5 mm² - Vermelho	43,90 m
10 mm² - Azul claro	0,50 m
10 mm² - Branco	0,50 m
10 mm² - Preto	0,50 m
10 mm² - Verde-amarelo	0,50 m
10 mm² - Vermelho	0,50 m
2,5 mm² - Azul claro	80,30 m
2,5 mm² - Branco	23,90 m
2,5 mm² - Preto	4,50 m
2,5 mm² - Verde-amarelo	75,60 m
2,5 mm² - Vermelho	51,60 m
4 mm² - Branco	2,40 m
4 mm² - Preto	2,40 m
4 mm² - Verde-amarelo	2,40 m
Dispositivo Elétrico - embutido	
Sirgania - 127V	
Placa 4x2" - branca	1 pç
Placa 2x4"	
Interruptor simples - 1 tecla	5 pç
Interruptor simples - 2 teclas	1 pç
Placa cega	1 pç
Placa p/ 1 função	16 pç
Pulsador campainha - 1 tecla	1 pç
3" placa	
Tomada hexagonal (NBR 14136) 2P+T 10A	14 pç
Tomada hexagonal (NBR 14136) 2P+T 20A	2 pç
Dispositivo de Proteção	
Disjuntor bipolar termomagnético (220 V/127 V) - DIN	
25 A - 5 kA	1 pç
Disjuntor tripolar termomagnético (220 V/127 V) - DIN	
32 A - 5 kA	1 pç
Disjuntor unipolar termomagnético (220 V/127 V) - DIN	
10 A - 5 kA	2 pç
16 A - 5 kA	3 pç
20 A - 5 kA	4 pç
Interruptor tetrapolar DR (3 fases/neutro - In 30mA) - DIN	1 pç
Eletroduto PVC flexível	
Eletroduto leve 3/4"	51,60 m
Eletroduto PVC rosca	
Eletroduto, vara 3,0m 1"	0,50 m
Luminária e acessórios	
Luminária embutir p/ incandescente 100 W	7 pç
Plafonier 4"	7 pç
Soquete Tipo E 27	7 pç
Luminária incandescente	
Uso geral 100 W	7 pç
Quadro distrib. plástico - embutir	
Barr. 3/8" – DIN (Ref. Hager)	
Cap. 12 disj. unip. – In Parcial 63A	2 pç

LEGENDA

- PONTO DE LUZ NO TETO 100VA
- PONTO DE LUZ NA PAREDE (ARANDELA) EM CX. 3"X3"
- TOMADA BAIXA 100VA
- TOMADA MÉDIA 100VA
- TOMADA ALTA 100VA
- TOMADA ALTA, POTÊNCIA INDICADA
- INTERRUPTOR SIMPLES
- INTERRUPTOR DE 2 SEÇÕES
- INTERRUPTOR PARALELO (3-THREE-WAY).
- INTERRUPTOR DE CAMPAINHA
- CAMPAINHA/CIGARRA
- QUADRO GERAL DE DISTRIBUIÇÃO
- ELETRODUTO NO TETO OU PAREDE
- CONDUTOR FASE, NEUTRO, RETORNO E TERRA

NOTAS

a) CABOS E ELETRODUTOS NÃO INDICADOS SERÃO #1,5mm2 E #2,5" RESPECTIVAMENTE.

b) " INDICA EQUIPAMENTO EM CX. 3"x3", ■ INDICA EQUIPAMENTO EM CX. 4"x4" E QUANDO NÃO INDICADO, EQUIPAMENTO EM CX. 4"x2".

c) TOMADAS AS TOMADAS SÃO DE ACORDO A NBR 14136: "PLUGUES E TOMADAS PARA USO DOMÉSTICO E ANÁLOGO ATÉ 20A, 250V ca."

d) TODOS OS FIOS UTILIZADOS DEVERÃO SER DO TIPO ANTI-CHAMA, CLASSE DE ISOLAÇÃO 0,7kV.

e) A IDENTIFICAÇÃO DE CORES PARA OS FIOS E CABOS DEVERÁ SEGUIR O PADRÃO UTILIZADO, PELA ABNT (NBR-5410) A SABER:
FASE A – PRETA
B – BRANCA
C – VERMELHA
NEUTRO – AZUL CLARO
TERRA – VERDE OU VERDE-AMARELO.

f) TODOS OS CONDUTORES INSTALADOS EM ÁREAS EXTERNAS, LETOS OU ELETRODUTOS PERFURADOS OU SEM TAMPAS, E EM ESPAÇO DE CONSTRUÇÃO (SHAFTS), DEVERÃO TER ISOLAMENTO #/ 1kV.

g) PARA POSIÇÃO EXATA DAS LUMINÁRIAS, TOMADAS E INTERRUPTORES COTAS CONFORME PROJETO DE ARQUITETURA.

h) TODAS AS LUMINÁRIAS, QUADROS ELÉTRICOS E PARTES METÁLICAS DA VENTILAÇÃO INSTALAÇÃO SERÃO ATERRADOS.

i) OS CIRCUITOS DOS QUADROS ELÉTRICOS E CIRCUITOS PARCIAIS DE DISTRIBUIÇÃO SERÃO IDENTIFICADOS NOS QUADROS, CAIXAS DE PASSAGEM E DERIVAÇÕES, NAS ELETROCALHAS E PERFILADOS, EM ARMAIS ALFA–NUMÉRICAS, FIXADAS COM ABRAÇADEIRA DE NYLON.

j) PARA AS CONEXÕES DAS FIAÇÕES DOS CIRCUITOS PARCIAIS COM OS DISJUNTORES DOS QUADROS ELÉTRICOS, SERÃO UTILIZADOS CONECTORES DO TIPO PRÉ–ISOLADO TIPO GARFO OU PINO.

l) ELETRODUTOS EXTERNOS OBRIGATORIAMENTE SERÃO CORRUGADOS, RESISTÊNCIA MÍNIMA/EV. "PRETA".

m) APÓS A EXECUÇÃO DA INSTALAÇÃO DEVERÁ SER FEITO OBRIGATORIAMENTE A VERIFICAÇÃO FINAL CONFORME ITEM 37 DA NBR 5410

Legenda das indicações

CHG	Tomada - uso específico - Chuveiro grande
ARC7000	Tomada - uso específico - Condicionador de ar 7000BTU
FPR	Tomada - uso específico - Ferro de passar roupa-1KVA
MO	Tomada - uso específico - Forno microondas
GL	Tomada - uso específico - Geladeira 600VA
LRG	Tomada - uso específico - Lava roupa grande-1

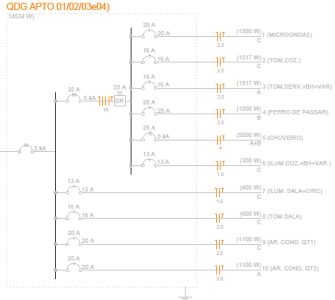
Quadro de Cargas (APTO 01/02/03e04)

Circuito	Descrição	Esquema	Método de inst.	V (V)	Distribuição (W)	Tomadas (W)						Pot. Inst. (VA)	Pot. Inst. (W)	Fase	Pot. A (W)	Pot. B (W)	Pot. C (W)	IB – A (A)	IB – B (A)	IB – C (A)	FP	FCT	FCA	W (A)	W (A)	Disjuntor (amps)	In (A)	Dtq (A)
					100	500	700	1000	1100	1500	1600																	
1	MICROONDAS	F+N+T	B1	127 V						1		1573	1500	C			1500			14.8	0.95	1.00	1.00	14.8	14.8	2.5	34.0	20.0
2	TOM.COZ.	F+N+T	B1	127 V		1	1	1				1696	1617	C			1617			14.8	0.95	1.00	0.80	14.8	14.8	2.5	34.0	16.0
3	TOM.SERV.+BHVAR	F+N+T	B1	127 V		1	1	1				1790	1517	A	1517			7.9			0.95	1.00	0.80	9.6	14.1	2.5	34.0	16.0
4	FERRO DE PASSAR	F+N+T	B1	127 V				1				1250	1000	B		1000		6.6			0.95	1.00	1.00	9.6	9.6	2.5	34.0	20.0
5	CHUVEIRO	F+F+T	B1	220 V							1	5500	5500	A+B	2750	2750		25.0	25.0		1.00	1.00	0.80	25.0	25.0	4	34.0	20.0
6	ILUM.COZ.+BHVAR	F+N+T	B1	127 V	3							300	300	C			300			2.4	1.00	1.00	0.80	3.0	2.4	1.0	17.5	13.0
7	ILUM. SALA+CIRC	F+N+T	B1	127 V	3							400	400	C			400			3.2	1.00	1.00	0.80	4.0	3.2	1.0	17.5	13.0
8	TOM SALA	F+N+T	B1	127 V		6						937	900	C			900			7.1	1.00	1.00	0.95	9.6	7.1	2.5	34.0	16.0
9	AR_COND. GT1	F+N+T	B1	127 V						1		1222	1100	C			1100			9.6	0.90	1.00	1.00	9.6	9.6	2.5	34.0	20.0
10	AR_COND. GT2	F+N+T	B1	127 V						1		1222	1100	A	1100				9.6		0.90	1.00	1.00	9.6	9.6	2.5	34.0	20.0
TOTAL					7	8	5	3	1	3	1	16116	14434	A+B+C	5367	3750	5417											

Quadro de Demanda (APTO 01/02/03e04)

Tipo de carga	Potência instalada (kVA)	Fator de demanda (%)	Demanda (kVA)
Iluminação e TUG s (Casas e Apartamentos)	7,49	30	2,63
Uso específico	1,89	100	1,89
Chuveiros, fornos elétricos, aquecedores de água (não residencial)	5,78	50	2,83
		TOTAL	19,71

QDG APTO 01/02/03e04)



REVISÃO	DESCRIÇÃO	DATA	VISTO
	EMISSÃO INICIAL		

NOME DO EMPREENDIMENTO
PARQUE CARIOCA - TORRE 2Q

ENDEREÇO DA OBRA

PROPRIETÁRIO — CNPJ:

RESPONSÁVEL TÉCNICO — CREA: ART:

DISCIPLINA DE PROJETO: ELÉTRICA — FOLHA: 001

FASE PROJETO: ANTE PROJETO — DATA:

CONTEÚDO: INSTALAÇÕES ELÉTRICAS - TORRE 2Q - PAV.TIPO

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

ANEXO B – MEMORIAL DESCRITIVO

1 PAREDES E PAINÉIS

1.1 ALVENARIA

As paredes serão maciças de concreto, moldadas em loco, com utilização de formas de alumínio.

As cotas constantes no projeto referem-se à espessura das paredes sem acabamento.

1.2 ESQUADRIAS

Apartamentos de 2 quartos

PORTAS			
AMBIENTE	**MATERIAL**	**TIPO E MODELO**	**DIMENSÃO**
Sala	Madeira c/ marco metálico	01 folha de abrir lisa, mais bandeira fixa lisa, tipo Duraplac.	0,80 X 2,10 m+ 0,80 X 0,40 m (bandeira)
Quartos	Madeira c/ marco metálico	01 folha de abrir lisa, mais bandeira fixa lisa, tipo Duraplac.	0,80 X 2,10 m + 0,80 X 0,40 m (bandeira)
Banheiro	Madeira c/ marco metálico	01 folha de abrir lisa, mais bandeira fixa lisa, tipo Duraplac.	0,80 X 2,10 m + 0,80 X 0,40 m (bandeira)
Varanda	Aluminio	02 folhas de abrir, para vidro	(0,80 + 0,40) X 2,30 m
Hall de escada – Térreo	Aluminio	02 folhas de abrir, para vidro	(0,80 + 0,40) X 2,30 m

JANELAS E BASCULANTES			
AMBIENTE	**MATERIAL**	**TIPO E MODELO**	**DIMENSÃO**
Quartos	Alumínio	02 folhas (01 fixa e 01 móvel) para vidro, de correr	1,20 x 1,20 m
Banheiro	Alumínio	01 folha (Maxim-ar) para vidro	0,60 x 0,80 m
Cozinha / Área Serviço	-	Vão aberto	1,50 x 1,20 m
Hall de escada	Alumínio	02 folhas (01 fixa e 01 móvel) para vidro, de correr	1,20 x 1,20 m

1.2.1 ESQUADRIAS ESPECIAIS, PORTÕES, GRADES, BOX, CORRIMÃOS, ETC.

ESQUADRIAS ESPECIAIS, PORTÕES, GRADES, BOX, CORRIMÃOS				
AMBIENTE	**MATERIAL**	**TIPO E MODELO**	**DIMENSÃO**	**MARCA**
Hall de escada – 5º pavto	Metálico	Alçapão com caixilho e trinco acoplados	0,70 x 0,70 m	Feito em serralheria
Telhado	Pré-moldado de concreto	Veneziana fixa	0,80 x 0,80 m	-

2 COBERTURA E PROTEÇÕES

2.1 TELHADO

A cobertura terá engradamento metálico ou em madeira ou pré-moldado de concreto. O telhado será em telhas de fibrocimento com espessura de 6mm. A inclinação dos telhados será conforme projeto.

O telhado será aparente, com beiral. A fixação dos rufos e chapins será feita com parafusos e vedados com material selante apropriado.

Caso haja caixa d'água superior nos prédios, a cobertura do cômodo de confinamento desta terá espaço mínimo livre de 0,50m entre a tampa e a cobertura, permitindo a fácil remoção da tampa e acesso às suas laterais de modo a permitir sua manutenção.

As paredes expostas serão protegidas por chapins com pingadeiras para os dois lados.

Evita-se a fixação de antenas sobre telhado e abertura em talhes para passagem de tubulação.

2.2 IMPERMEABILIZAÇÃO

O piso e a parede (h=20cm) do box do banheiro serão impermeabilizados com argamassa polimérica ou impermeabilizante a base de cimento sobre a laje/contrapiso.

Caixas de passagem, inspeção e gordura serão pré-moldadas. Caso feitas in loco, serão impermeabilizadas com aplicação de reboco aditivado com sistema de cristalização.

3 REVESTIMENTOS, ACABAMENTOS E PINTURA

3.1 INTERIORES

AMBIENTE		**REVESTIMENTOS, ACABAMENTOS E PINTURA**		
		PISO	**PAREDE**	**TETO**
ÁREA PRIVAT	Sala e quartos	Revestido em cerâmica PI IV	Massa rolada ou pintura látex PVA sobre selante e concreto estucado. Rodapé em cerâmica h=5cm.	Massa rolada ou pintura látex PVA sobre selante e concreto estucado.

	Cozinha / Área Serviço	Revestido em cerâmica PI IV	Revestida com cerâmica até h=150cm, em todas as paredes. Restante em massa rolada ou pintura látex PVA sobre selante e concreto estucado.	Massa rolada ou pintura acrílica sobre selante e concreto estucado; caixote em lambri de PVC ou placa de gesso liso com massa rolada ou pintura acrílica.
	Banheiro	Revestido em cerâmica PI IV	Revestida com cerâmica até h=150cm, em todas as paredes. Restante em massa rolada ou pintura látex PVA sobre selante e concreto estucado.	Forro em PVC ou placa de gesso liso com massa rolada ou pintura acrílica.
ÁREA COMUM	Hall de Escada / Escada	Hall: Revestido em cerâmica PI IV / Escada: Cimentado alisado ou concreto.	Massa rolada ou pintura látex PVA sobre selante e concreto estucado. Rodapé em cerâmica h=5cm no hall.	Massa rolada ou pintura látex PVA sobre selante e concreto estucado.

Nas escadas os degraus (piso e espelho) serão em concreto moldado in loco ou pré-moldado, com acabamento em concreto aparente ou cimentado alisado. Os espelhos terão altura máxima de 18 cm e o piso terá largura mínima de 25 cm.

As paredes serão pintadas em tantas demãos quanto necessárias, sendo no mínimo duas demãos, com intervalo de 16 horas. A segunda demão deverá ser dada após a conclusão das demais atividades para que não haja nenhuma interferência e sujeiras na pintura final.

Serão descartados azulejos e cerâmicas empenadas, com defeito de superfície ou diferença de tonalidade. Serão assentados com argamassa colante, abrindo “panos” com no máximo 1,00 m2. A colocação será realizada de forma a se obter juntas de espessura uniforme.

As paredes internas e externas, independente da metodologia construtiva, deverão apresentar regularidade mínima, sem emendas, ressaltos e desalinhos. Sendo esta a condição mínima para a aplicação de pintura texturizada ou não.

3.2 EXTERIORES E FACHADAS

As fachadas terão acabamento em tinta impermeável sobre selante e concreto estucado.

A pintura será executada em tantas demãos quanto necessárias, mínimo de duas.

Os pisos externos serão em cimentado com junta no mínimo a cada 1,50 m. A calçada perimétrica terá largura mínima de 50 cm, com caimento mínimo de 2% para o exterior.

3.3 PINTURA DE ESQUADRIAS

Serão pintados em tinta esmalte as esquadrias de ferro como alçapão, guarda-corpo, escada de marinheiro, etc. Será preparado a superfície com lixamento ou emassamento e, logo após, aplicado um fundo preparador anticorrosivo e como acabamento final no mínimo 2 demãos de esmalte.

4 INSTALAÇÕES E APARELHOS

4.1 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E TELEFÔNICAS

AMBIENTE	**INSTALAÇÕES ELÉTRICAS– NÚMERO DE PONTOS**						
	Luz	Interruptor	Tomada	Tomada Específicas	Telefone	Interfone	Campainha
Sala de Estar / Jantar	01	01	02	-	01	01	01

Quartos	01	01	02	-	-	-	-
Banheiro	01	01	01	01*	-	-	-
Cozinha/ Área de serviço	01	01	06	-	-	-	-
Hall (por pavimento)	02	01	-	01**	-	-	04***
Escada (por pavimento)	01	02	-	01**	-	-	-

*para Chuveiro
**para iluminação de emergência
***pulsador da campainha

APÊNDICE A - CALIBRAÇÃO

Tabela 40 - Dados de consumo equipamentos mês de JANEIRO

Equipamento	Qtd por unid.	Potência (W)	Voltagem	Consumo/mês (Kwh)
Lavadora de roupas	1	495	110	2,0592
refrigerador	1	160	110	36
microondas	1	620	110	9,3
TV de LED	1	20	110	3
Chuveiro elétrico	1	3500	110	0
Ferro elétrico	1	1200	110	9,6
Ar condicionado	2	748 (7500Btu/h)	110	149,6
Luminária 15W	7	15	110	15,75
TOTAL				225,3092

Fonte: O autor (2019)

Tabela 41 - Dados de consumo equipamentos mês de FEVEREIRO

Equipamento	Qtd por unid.	Potência (W)	Voltagem	Consumo/mês (Kwh)
Lavadora de roupas	1	495	110	2,0592
refrigerador	1	160	110	36
microondas	1	620	110	9,3
TV de LED	1	20	110	3
Chuveiro elétrico	1	3500	110	0
Ferro elétrico	1	1200	110	9,6
Ar condicionado	2	748 (7500Btu/h)	110	149,6
Luminária 15W	7	15	110	15,75
TOTAL				225,3092

Fonte: O autor (2019)

Tabela 42 - Dados de consumo equipamentos mês de MARÇO

Equipamento	Qtd por unid.	Potência (W)	Voltagem	Consumo/mês (Kwh)
Lavadora de roupas	1	495	110	2,0592
refrigerador	1	160	110	36
microondas	1	620	110	9,3
TV de LED	1	20	110	3
Chuveiro elétrico	1	3500	110	0
Ferro elétrico	1	1200	110	9,6
Ar condicionado	2	748 (7500Btu/h)	110	131,648

Luminária 15W	7	15	110	15,75
TOTAL				207,3572

Fonte: O autor (2019)

Tabela 43 - Dados de consumo equipamentos mês de ABRIL

Equipamento	Qtd por unid.	Potência (W)	Voltagem	Consumo/mês (Kwh)
Lavadora de roupas	1	495	110	2,0592
refrigerador	1	160	110	36
microondas	1	620	110	9,3
TV de LED	1	20	110	3
Chuveiro elétrico	1	3500	110	25,66
Ferro elétrico	1	1200	110	9,6
Ar condicionado	2	748 (7500Btu/h)	110	83,776
Luminária 15W	7	15	110	15,75
TOTAL				185,1452

Fonte: O autor (2019)

Tabela 44 - Dados de consumo equipamentos mês de MAIO

Equipamento	Qtd por unid.	Potência (W)	Voltagem	Consumo/mês (Kwh)
Lavadora de roupas	1	495	110	2,0592
refrigerador	1	160	110	36
microondas	1	620	110	9,3
TV de LED	1	20	110	3
Chuveiro elétrico	1	3500	110	56
Ferro elétrico	1	1200	110	9,6
Ar condicionado	2	748 (7500Btu/h)	110	52,36
Luminária 15W	7	15	110	15,75
TOTAL				184,0692

Fonte: O autor (2019)

Tabela 45 - Dados de consumo equipamentos mês de JUNHO

Equipamento	Qtd por unid.	Potência (W)	Voltagem	Consumo/mês (Kwh)
Lavadora de roupas	1	495	110	2,0592
refrigerador	1	160	110	36
microondas	1	620	110	9,3
TV de LED	1	20	110	3,6
Chuveiro elétrico	1	3500	110	60,66

Ferro elétrico	1	1200	110	9,6
Ar condicionado	2	748 (7500Btu/h)	110	20,944
Luminária 15W	7	15	110	15,75
TOTAL				157,9132

Fonte: O autor (2019)

Tabela 46 - Dados de consumo equipamentos mês de JULHO

Equipamento	Qtd por unid.	Potência (W)	Voltagem	Consumo/mês (Kwh)
Lavadora de roupas	1	495	110	2,0592
refrigerador	1	160	110	36
microondas	1	620	110	9,3
TV de LED	1	20	110	3
Chuveiro elétrico	1	3500	110	69,3
Ferro elétrico	1	1200	110	9,6
Ar condicionado	2	748 (7500Btu/h)	110	0
Luminária 15W	7	15	110	15,75
TOTAL				145,0092

Fonte: O autor (2019)

Tabela 47 - Dados de consumo equipamentos mês de AGOSTO

Equipamento	Qtd por unid.	Potência (W)	Voltagem	Consumo/mês (Kwh)
Lavadora de roupas	1	495	110	2,0592
refrigerador	1	160	110	36
microondas	1	620	110	9,3
TV de LED	1	20	110	3
Chuveiro elétrico	1	3500	110	71,86
Ferro elétrico	1	1200	110	9,6
Ar condicionado	2	748 (7500Btu/h)	110	0
Luminária 15W	7	15	110	15,75
TOTAL				147,5692

Fonte: O autor (2019)

Tabela 48 - Dados de consumo equipamentos mês de SETEMBRO

Equipamento	Qtd por unid.	Potência (W)	Voltagem	Consumo/mês (Kwh)
Lavadora de roupas	1	495	110	2,0592
refrigerador	1	160	110	36
microondas	1	620	110	9,3

TV de LED	1	20	110	3
Chuveiro elétrico	1	3500	110	63
Ferro elétrico	1	1200	110	9,6
Ar condicionado	2	748 (7500Btu/h)	110	0
Luminária 15W	7	15	110	15,75
TOTAL				138,7092

Fonte: O autor (2019)

Tabela 49 - Dados de consumo equipamentos mês de OUTUBRO

Equipamento	Qtd por unid.	Potência (W)	Voltagem	Consumo/mês (Kwh)
Lavadora de roupas	1	495	110	2,0592
refrigerador	1	160	110	36
microondas	1	620	110	9,3
TV de LED	1	20	110	3
Chuveiro elétrico	1	3500	110	0
Ferro elétrico	1	1200	110	9,6
Ar condicionado	2	748 (7500Btu/h)	110	149,6
Luminária 15W	7	15	110	15,75
TOTAL				225,3092

Fonte: O autor (2019)

Tabela 50 - Dados de consumo equipamentos mês de NOVEMBRO

Equipamento	Qtd por unid.	Potência (W)	Voltagem	Consumo/mês (Kwh)
Lavadora de roupas	1	495	110	2,0592
refrigerador	1	160	110	36
microondas	1	620	110	9,3
TV de LED	1	20	110	3
Chuveiro elétrico	1	3500	110	0
Ferro elétrico	1	1200	110	9,6
Ar condicionado	2	748 (7500Btu/h)	110	93,5
Luminária 15W	7	15	110	15,75
TOTAL				169,2092

Fonte: O autor (2019)

Tabela 51 - Dados de consumo equipamentos mês de DEZEMBRO

Equipamento	Qtd por unid.	Potência (W)	Voltagem	Consumo/mês (Kwh)
Lavadora de roupas	1	495	110	2,0592

refrigerador	1	160	110	36
microondas	1	620	110	9,3
TV de LED	1	20	110	3
Chuveiro elétrico	1	3500	110	0
Ferro elétrico	1	1200	110	9,6
Ar condicionado	2	748 (7500Btu/h)	110	112,2
Luminária 15W	7	15	110	15,75
TOTAL				187,9092

Fonte: O autor (2019)

APÊNDICE B - TEMPERATURA OPERATIVA ESTRATÉGIAS

Tabela 52 - Redução TO - Pintura

Ambientes	TO ini (°C)	TO est / Pintura (°C)	Redução TO (%)
QT1A	26,49	24,85	6,21%
QT2A	26,50	24,85	6,23%
QT3A	27,37	25,36	7,34%
QT4A	27,61	25,41	7,98%
QT1B	28,55	25,47	10,79%
QT2B	27,29	25,05	8,23%
QT3B	28,18	25,55	9,31%
QT4B	27,18	25,00	8,03%
QC1A	28,54	26,41	7,47%
QC2A	27,67	25,97	6,15%
QC3A	28,08	25,99	7,43%
QC4A	28,27	26,31	6,93%
QC1B	28,17	26,03	7,60%
QC2B	28,25	26,09	7,64%
QC3B	29,02	26,49	8,73%
QC4B	28,88	26,43	8,47%
CT	25,64	24,11	5,99%
CC	27,37	25,69	6,15%
ST1	25,92	24,60	5,08%
ST2	26,04	24,70	5,17%
ST3	25,90	24,58	5,07%
ST4	26,00	24,68	5,07%
SC1	27,93	26,40	5,47%
SC2	28,00	26,45	5,53%
SC3	27,87	26,31	5,58%
SC4	27,88	26,36	5,74%
BT1	27,42	25,12	8,41%
BT2	27,39	25,14	8,24%
BT3	27,18	25,00	8,01%
BT4	27,27	25,06	8,10%
BC1	28,82	26,51	8,03%
BC2	28,68	26,41	7,92%
BC3	28,78	26,49	7,97%
BC4	28,94	26,58	8,15%
CZT1	27,08	25,37	6,31%

CZT2	27,00	25,30	6,28%
CZT3	26,96	25,28	6,25%
CZT4	27,05	25,35	6,28%
CZC1	28,98	27,07	6,59%
CZC2	29,12	27,19	6,63%
CZC3	29,10	27,17	6,61%
CZC4	29,00	27,09	6,58%

Fonte: O autor (2020)

Tabela 53 - Redução TO - Sombreamento

Ambientes	TO ini (°C)	TO est / Sombreamento (°C)	Redução TO (%)
QT1A	26,49	26,28	0,81%
QT2A	26,50	27,26	1,27%
QT3A	27,37	28,23	1,13%
QT4A	27,61	27,01	1,29%
QT1B	28,55	27,83	1,24%
QT2B	27,29	26,29	0,81%
QT3B	28,18	26,95	0,85%
QT4B	27,18	27,06	0,85%
QC1A	28,54	28,02	0,54%
QC2A	27,67	28,05	0,70%
QC3A	28,08	27,49	0,65%
QC4A	28,27	28,85	0,59%
QC1B	28,17	28,04	0,81%
QC2B	28,25	28,00	0,26%
QC3B	29,02	28,64	0,83%
QC4B	28,88	28,38	0,55%
CT	25,64	25,42	0,86%
CC	27,37	27,14	0,83%
ST1	25,92	25,65	1,06%
ST2	26,04	25,75	1,14%
ST3	25,90	25,62	1,06%
ST4	26,00	25,70	1,12%
SC1	27,93	27,63	1,05%
SC2	28,00	27,71	1,03%
SC3	27,87	27,61	0,93%
SC4	27,88	27,59	1,05%
BT1	27,42	27,03	1,45%

BT2	27,39	27,00	1,42%
BT3	27,18	26,80	1,41%
BT4	27,27	26,88	1,44%
BC1	28,82	28,44	1,34%
BC2	28,68	28,30	1,34%
BC3	28,78	28,37	1,43%
BC4	28,94	28,56	1,31%
CZT1	27,08	26,59	1,79%
CZT2	27,00	26,53	1,74%
CZT3	26,96	26,49	1,74%
CZT4	27,05	26,57	1,79%
CZC1	28,98	28,45	1,85%
CZC2	29,12	28,56	1,92%
CZC3	29,10	28,53	1,95%
CZC4	29,00	28,46	1,85%

Fonte: O autor (2020)

Tabela 54 - Redução TO - Vidro

Ambientes	TO ini (°C)	TO est / Vidro (°C)	Redução TO (%)
QT1A	26,49	26,50	-0,01%
QT2A	26,50	27,62	-0,02%
QT3A	27,37	28,56	-0,01%
QT4A	27,61	27,37	-0,01%
QT1B	28,55	28,18	-0,01%
QT2B	27,29	26,50	-0,01%
QT3B	28,18	27,18	-0,01%
QT4B	27,18	27,30	-0,01%
QC1A	28,54	28,17	-0,02%
QC2A	27,67	28,26	-0,02%
QC3A	28,08	27,68	-0,02%
QC4A	28,27	29,03	-0,02%
QC1B	28,17	28,27	-0,02%
QC2B	28,25	28,08	-0,01%
QC3B	29,02	28,89	-0,02%
QC4B	28,88	28,55	-0,02%
CT	25,64	25,65	-0,01%
CC	27,37	27,38	-0,02%
ST1	25,92	25,93	-0,02%
ST2	26,04	26,05	-0,02%

ST3	25,90	25,90	-0,02%
ST4	26,00	26,00	-0,02%
SC1	27,93	27,94	-0,03%
SC2	28,00	28,00	-0,03%
SC3	27,87	27,88	-0,03%
SC4	27,88	27,89	-0,03%
BT1	27,42	27,43	-0,02%
BT2	27,39	27,40	-0,02%
BT3	27,18	27,18	-0,02%
BT4	27,27	27,28	-0,02%
BC1	28,82	28,83	-0,03%
BC2	28,68	28,69	-0,03%
BC3	28,78	28,79	-0,03%
BC4	28,94	28,95	-0,03%
CZT1	27,08	27,08	-0,02%
CZT2	27,00	27,00	-0,02%
CZT3	26,96	26,97	-0,02%
CZT4	27,05	27,06	-0,02%
CZC1	28,98	28,99	-0,04%
CZC2	29,12	29,13	-0,04%
CZC3	29,10	29,11	-0,04%
CZC4	29,00	29,01	-0,04%

Fonte: O autor (2020)

Tabela 55 - Redução TO - Veneziana

Ambientes	TO ini (°C)	TO est / Veneziana (°C)	Redução TO (%)
QT1A	26,49	25,94	2,10%
QT2A	26,50	26,91	2,56%
QT3A	27,37	28,03	1,83%
QT4A	27,61	26,64	2,64%
QT1B	28,55	27,46	2,55%
QT2B	27,29	25,93	2,14%
QT3B	28,18	26,61	2,11%
QT4B	27,18	26,72	2,09%
QC1A	28,54	27,67	1,76%
QC2A	27,67	27,61	2,27%
QC3A	28,08	27,04	2,28%
QC4A	28,27	28,25	2,67%

QC1B	28,17	27,49	2,73%
QC2B	28,25	27,56	1,84%
QC3B	29,02	28,11	2,67%
QC4B	28,88	27,76	2,71%
CT	25,64	25,04	2,33%
CC	27,37	26,58	2,91%
ST1	25,92	25,20	2,79%
ST2	26,04	25,29	2,90%
ST3	25,90	25,12	2,99%
ST4	26,00	25,18	3,14%
SC1	27,93	26,94	3,53%
SC2	28,00	26,98	3,61%
SC3	27,87	26,97	3,25%
SC4	27,88	26,92	3,45%
BT1	27,42	26,57	3,10%
BT2	27,39	26,53	3,14%
BT3	27,18	26,36	3,01%
BT4	27,27	26,46	2,98%
BC1	28,82	27,80	3,55%
BC2	28,68	27,76	3,22%
BC3	28,78	27,76	3,55%
BC4	28,94	27,88	3,66%
CZT1	27,08	25,99	4,00%
CZT2	27,00	25,92	4,01%
CZT3	26,96	25,89	3,98%
CZT4	27,05	25,97	3,98%
CZC1	28,98	27,63	4,68%
CZC2	29,12	27,67	4,98%
CZC3	29,10	27,66	4,96%
CZC4	29,00	27,63	4,75%

Fonte: O autor (2020)

Tabela 56 - Redução TO - Pintura + Sombreamento

Ambientes	TO ini (°C)	TO est / Pintura + Sombreamento (°C)	Redução TO (%)
QT1A	26,49	24,69	6,82%
QT2A	26,50	25,10	9,09%
QT3A	27,37	25,22	11,67%
QT4A	27,61	25,05	8,45%

QT1B	28,55	25,25	10,40%
QT2B	27,29	24,69	6,83%
QT3B	28,18	24,83	8,66%
QT4B	27,18	24,87	8,87%
QC1A	28,54	25,88	8,11%
QC2A	27,67	25,89	8,36%
QC3A	28,08	25,78	6,83%
QC4A	28,27	26,31	9,36%
QC1B	28,17	26,07	7,76%
QC2B	28,25	26,05	7,21%
QC3B	29,02	26,19	9,30%
QC4B	28,88	26,24	8,07%
CT	25,64	23,93	6,67%
CC	27,37	25,44	7,04%
ST1	25,92	24,38	5,95%
ST2	26,04	24,45	6,13%
ST3	25,90	24,36	5,92%
ST4	26,00	24,43	6,02%
SC1	27,93	26,09	6,56%
SC2	28,00	26,14	6,62%
SC3	27,87	26,06	6,52%
SC4	27,88	26,05	6,57%
BT1	27,42	24,77	9,66%
BT2	27,39	24,80	9,45%
BT3	27,18	24,70	9,14%
BT4	27,27	24,75	9,27%
BC1	28,82	26,13	9,35%
BC2	28,68	26,05	9,18%
BC3	28,78	26,09	9,34%
BC4	28,94	26,20	9,45%
CZT1	27,08	24,94	7,91%
CZT2	27,00	24,89	7,82%
CZT3	26,96	24,87	7,79%
CZT4	27,05	24,92	7,87%
CZC1	28,98	26,55	8,39%
CZC2	29,12	26,64	8,51%
CZC3	29,10	26,62	8,52%
CZC4	29,00	26,57	8,40%

Fonte: O autor (2020)

Tabela 57 - Redução TO - Pintura + Sombreamento + Vidro

Ambientes	TO ini (°C)	TO est / Pintura + Sombreamento + Vidro (°C)	Redução TO (%)
QT1A	26,49	24,69	6,81%
QT2A	26,50	25,11	9,08%
QT3A	27,37	25,22	11,67%
QT4A	27,61	25,06	8,44%
QT1B	28,55	25,25	10,39%
QT2B	27,29	24,69	6,83%
QT3B	28,18	24,83	8,65%
QT4B	27,18	24,87	8,86%
QC1A	28,54	25,89	8,10%
QC2A	27,67	25,89	8,34%
QC3A	28,08	25,79	6,82%
QC4A	28,27	26,31	9,35%
QC1B	28,17	26,08	7,74%
QC2B	28,25	26,06	7,20%
QC3B	29,02	26,20	9,29%
QC4B	28,88	26,24	8,06%
CT	25,64	23,93	6,66%
CC	27,37	25,45	7,03%
ST1	25,92	24,38	5,94%
ST2	26,04	24,45	6,12%
ST3	25,90	24,37	5,91%
ST4	26,00	24,43	6,01%
SC1	27,93	26,10	6,55%
SC2	28,00	26,15	6,60%
SC3	27,87	26,06	6,50%
SC4	27,88	26,06	6,56%
BT1	27,42	24,77	9,66%
BT2	27,39	24,81	9,44%
BT3	27,18	24,70	9,13%
BT4	27,27	24,75	9,26%
BC1	28,82	26,13	9,34%
BC2	28,68	26,05	9,17%
BC3	28,78	26,10	9,33%
BC4	28,94	26,21	9,44%

CZT1	27,08	24,94	7,90%
CZT2	27,00	24,89	7,81%
CZT3	26,96	24,87	7,77%
CZT4	27,05	24,93	7,85%
CZC1	28,98	26,56	8,37%
CZC2	29,12	26,65	8,49%
CZC3	29,10	26,63	8,50%
CZC4	29,00	26,57	8,38%

Fonte: O autor (2020)

Tabela 58 - Redução TO - Pintura + Sombreamento + Vidro + Veneziana

Ambientes	TO ini (°C)	TO est / Pintura + Sombreamento + Vidro + Veneziana (°C)	Redução TO (%)
QT1A	26,49	24,29	8,32%
QT2A	26,50	24,60	10,91%
QT3A	27,37	24,86	12,93%
QT4A	27,61	24,60	10,12%
QT1B	28,55	24,93	11,51%
QT2B	27,29	24,29	8,32%
QT3B	28,18	24,43	10,11%
QT4B	27,18	24,47	10,33%
QC1A	28,54	25,28	10,26%
QC2A	27,67	25,29	10,47%
QC3A	28,08	25,18	8,99%
QC4A	28,27	25,55	11,97%
QC1B	28,17	25,36	10,29%
QC2B	28,25	25,36	9,68%
QC3B	29,02	25,49	11,75%
QC4B	28,88	25,47	10,76%
CT	25,64	23,53	8,25%
CC	27,37	24,68	9,83%
ST1	25,92	23,84	8,05%
ST2	26,04	23,85	8,41%
ST3	25,90	23,83	7,98%
ST4	26,00	23,87	8,17%
SC1	27,93	25,17	9,85%
SC2	28,00	25,20	9,99%
SC3	27,87	25,17	9,68%
SC4	27,88	25,17	9,75%

BT1	27,42	24,17	11,86%
BT2	27,39	24,28	11,35%
BT3	27,18	24,15	11,14%
BT4	27,27	24,18	11,34%
BC1	28,82	25,26	12,36%
BC2	28,68	25,22	12,08%
BC3	28,78	25,24	12,31%
BC4	28,94	25,30	12,59%
CZT1	27,08	24,17	10,74%
CZT2	27,00	24,17	10,49%
CZT3	26,96	24,15	10,44%
CZT4	27,05	24,17	10,65%
CZC1	28,98	25,45	12,18%
CZC2	29,12	25,48	12,49%
CZC3	29,10	25,47	12,45%
CZC4	29,00	25,46	12,22%

Fonte: O autor (2020)

Tabela 59 - Redução TO - Pintura + Vidro

Ambientes	TO ini (°C)	TO est / Pintura + Vidro (°C)	Redução TO (%)
QT1A	26,49	24,85	6,21%
QT2A	26,50	25,41	7,97%
QT3A	27,37	25,47	10,79%
QT4A	27,61	25,36	7,33%
QT1B	28,55	25,55	9,30%
QT2B	27,29	24,85	6,22%
QT3B	28,18	25,00	8,02%
QT4B	27,18	25,05	8,22%
QC1A	28,54	26,03	7,59%
QC2A	27,67	26,09	7,63%
QC3A	28,08	25,97	6,14%
QC4A	28,27	26,49	8,71%
QC1B	28,17	26,31	6,92%
QC2B	28,25	25,99	7,42%
QC3B	29,02	26,44	8,45%
QC4B	28,88	26,41	7,45%
CT	25,64	24,11	5,99%
CC	27,37	25,69	6,13%

ST1	25,92	24,61	5,07%
ST2	26,04	24,70	5,16%
ST3	25,90	24,59	5,06%
ST4	26,00	24,68	5,06%
SC1	27,93	26,40	5,45%
SC2	28,00	26,45	5,51%
SC3	27,87	26,32	5,56%
SC4	27,88	26,36	5,45%
BT1	27,42	25,12	8,40%
BT2	27,39	25,14	8,23%
BT3	27,18	25,01	8,00%
BT4	27,27	25,07	8,09%
BC1	28,82	26,51	8,01%
BC2	28,68	26,42	7,90%
BC3	28,78	26,49	7,96%
BC4	28,94	26,59	8,13%
CZT1	27,08	25,37	6,29%
CZT2	27,00	25,31	6,26%
CZT3	26,96	25,28	6,24%
CZT4	27,05	25,36	6,26%
CZC1	28,98	27,08	6,56%
CZC2	29,12	27,20	6,60%
CZC3	29,10	27,18	6,59%
CZC4	29,00	27,10	6,55%

Fonte: O autor (2020)

Tabela 60 - Redução TO - Pintura + Veneziana

Ambientes	TO ini (°C)	TO est / Pintura + Veneziana (°C)	Redução TO (%)
QT1A	26,49	24,33	8,15%
QT2A	26,50	24,69	10,59%
QT3A	27,37	24,93	12,68%
QT4A	27,61	24,62	10,02%
QT1B	28,55	24,82	11,91%
QT2B	27,29	24,32	8,21%
QT3B	28,18	24,46	9,99%
QT4B	27,18	24,51	10,18%
QC1A	28,54	25,42	9,77%
QC2A	27,67	25,32	10,35%

QC3A	28,08	25,21	8,89%
QC4A	28,27	25,58	11,87%
QC1B	28,17	25,40	10,14%
QC2B	28,25	25,35	9,72%
QC3B	29,02	25,53	11,61%
QC4B	28,88	25,49	10,67%
CT	25,64	23,58	8,06%
CC	27,37	24,72	9,69%
ST1	25,92	23,94	7,65%
ST2	26,04	23,98	7,92%
ST3	25,90	23,87	7,84%
ST4	26,00	23,89	8,09%
SC1	27,93	25,22	9,68%
SC2	28,00	25,25	9,82%
SC3	27,87	25,23	9,49%
SC4	27,88	25,21	9,58%
BT1	27,42	24,27	11,50%
BT2	27,39	24,29	11,33%
BT3	27,18	24,22	10,89%
BT4	27,27	24,27	11,00%
BC1	28,82	25,33	12,13%
BC2	28,68	25,33	11,69%
BC3	28,78	25,31	12,06%
BC4	28,94	25,36	12,37%
CZT1	27,08	24,29	10,30%
CZT2	27,00	24,24	10,21%
CZT3	26,96	24,23	10,14%
CZT4	27,05	24,28	10,23%
CZC1	28,98	25,55	11,84%
CZC2	29,12	25,58	12,17%
CZC3	29,10	25,57	12,13%
CZC4	29,00	25,55	11,90%

Fonte: O autor (2020)

Tabela 61 - Redução TO - Pintura + Vidro + Veneziana

Ambientes	TO ini (°C)	TO est / Pintura + Vidro + Veneziana (°C)	Redução TO (%)
QT1A	26,49	24,34	8,15%
QT2A	26,50	24,69	10,59%

QT3A	27,37	24,93	12,68%
QT4A	27,61	24,62	10,02%
QT1B	28,55	24,82	11,91%
QT2B	27,29	24,32	8,21%
QT3B	28,18	24,46	9,99%
QT4B	27,18	24,51	10,18%
QC1A	28,54	25,42	9,76%
QC2A	27,67	25,33	10,35%
QC3A	28,08	25,21	8,88%
QC4A	28,27	25,58	11,87%
QC1B	28,17	25,40	10,14%
QC2B	28,25	25,35	9,72%
QC3B	29,02	25,53	11,61%
QC4B	28,88	25,50	10,67%
CT	25,64	23,58	8,06%
CC	27,37	24,72	9,69%
ST1	25,92	23,94	7,65%
ST2	26,04	23,98	7,92%
ST3	25,90	23,87	7,84%
ST4	26,00	23,89	8,09%
SC1	27,93	25,23	9,67%
SC2	28,00	25,25	9,82%
SC3	27,87	25,23	9,49%
SC4	27,88	25,21	9,57%
BT1	27,42	24,27	11,50%
BT2	27,39	24,29	11,33%
BT3	27,18	24,22	10,89%
BT4	27,27	24,27	11,00%
BC1	28,82	25,33	12,13%
BC2	28,68	25,33	11,69%
BC3	28,78	25,31	12,05%
BC4	28,94	25,36	12,36%
CZT1	27,08	24,29	10,30%
CZT2	27,00	24,24	10,21%
CZT3	26,96	24,23	10,14%
CZT4	27,05	24,28	10,23%
CZC1	28,98	25,55	11,83%
CZC2	29,12	25,58	12,17%
CZC3	29,10	25,57	12,13%

CZC4	29,00	25,55	11,89%

Fonte: O autor (2020)

Tabela 21 - Redução TO - Sombreamento + Vidro

Ambientes	TO ini (°C)	TO est / Sombreamento + Vidro (°C)	Redução TO (%)
QT1A	26,49	26,28	0,79%
QT2A	26,50	27,27	1,26%
QT3A	27,37	28,23	1,12%
QT4A	27,61	27,02	1,28%
QT1B	28,55	27,83	1,23%
QT2B	27,29	26,29	0,80%
QT3B	28,18	26,95	0,83%
QT4B	27,18	27,06	0,84%
QC1A	28,54	28,02	0,52%
QC2A	27,67	28,06	0,68%
QC3A	28,08	27,50	0,63%
QC4A	28,27	28,86	0,57%
QC1B	28,17	28,04	0,79%
QC2B	28,25	28,01	0,24%
QC3B	29,02	28,65	0,81%
QC4B	28,88	28,39	0,53%
CT	25,64	25,43	0,85%
CC	27,37	27,15	0,81%
ST1	25,92	25,65	1,05%
ST2	26,04	25,75	1,12%
ST3	25,90	25,63	1,04%
ST4	26,00	25,71	1,11%
SC1	27,93	27,64	1,02%
SC2	28,00	27,72	1,00%
SC3	27,87	27,62	0,90%
SC4	27,88	27,60	1,02%
BT1	27,42	27,03	1,43%
BT2	27,39	27,01	1,40%
BT3	27,18	26,80	1,40%
BT4	27,27	26,89	1,43%
BC1	28,82	28,44	1,31%
BC2	28,68	28,31	1,31%
BC3	28,78	28,38	1,40%

BC4	28,94	28,57	1,29%
CZT1	27,08	26,60	1,77%
CZT2	27,00	26,53	1,72%
CZT3	26,96	26,50	1,72%
CZT4	27,05	26,57	1,77%
CZC1	28,98	28,46	1,82%
CZC2	29,12	28,57	1,88%
CZC3	29,10	28,54	1,92%
CZC4	29,00	28,47	1,82%

Fonte: O autor (2020)

Tabela 62 - Redução TO - Sombreamento + Veneziana

Ambientes	TO ini (°C)	TO est / Sombreamento + Veneziana (°C)	Redução TO (%)
QT1A	26,49	25,86	2,38%
QT2A	26,50	26,77	3,05%
QT3A	27,37	27,89	2,33%
QT4A	27,61	26,52	3,08%
QT1B	28,55	27,34	2,96%
QT2B	27,29	25,87	2,38%
QT3B	28,18	26,53	2,38%
QT4B	27,18	26,64	2,38%
QC1A	28,54	27,51	2,33%
QC2A	27,67	27,55	2,47%
QC3A	28,08	26,99	2,46%
QC4A	28,27	28,20	2,83%
QC1B	28,17	27,43	2,98%
QC2B	28,25	27,44	2,28%
QC3B	29,02	28,04	2,91%
QC4B	28,88	27,72	2,86%
CT	25,64	24,97	2,62%
CC	27,37	26,51	3,14%
ST1	25,92	25,07	3,28%
ST2	26,04	25,14	3,47%
ST3	25,90	25,06	3,25%
ST4	26,00	25,11	3,43%
SC1	27,93	26,86	3,82%
SC2	28,00	26,91	3,88%

SC3	27,87	26,87	3,59%
SC4	27,88	26,84	3,73%
BT1	27,42	26,42	3,65%
BT2	27,39	26,41	3,59%
BT3	27,18	26,22	3,52%
BT4	27,27	26,30	3,58%
BC1	28,82	27,69	3,94%
BC2	28,68	27,58	3,85%
BC3	28,78	27,63	4,00%
BC4	28,94	27,77	4,03%
CZT1	27,08	25,82	4,64%
CZT2	27,00	25,78	4,52%
CZT3	26,96	25,75	4,50%
CZT4	27,05	25,80	4,62%
CZC1	28,98	27,47	5,21%
CZC2	29,12	27,53	5,46%
CZC3	29,10	27,51	5,45%
CZC4	29,00	27,48	5,24%

Fonte: O autor (2020)

Tabela 63 - Redução TO - Vidro + Veneziana

Ambientes	TO ini (°C)	TO est / Vidro + Veneziana (°C)	Redução TO (%)
QT1A	26,49	25,94	2,09%
QT2A	26,50	26,91	2,56%
QT3A	27,37	28,03	1,82%
QT4A	27,61	26,65	2,63%
QT1B	28,55	27,46	2,54%
QT2B	27,29	25,93	2,13%
QT3B	28,18	26,61	2,11%
QT4B	27,18	26,72	2,08%
QC1A	28,54	27,68	1,75%
QC2A	27,67	27,61	2,26%
QC3A	28,08	27,04	2,27%
QC4A	28,27	28,25	2,66%
QC1B	28,17	27,50	2,72%
QC2B	28,25	27,56	1,84%
QC3B	29,02	28,11	2,66%
QC4B	28,88	27,77	2,71%

CT	25,64	25,05	2,33%
CC	27,37	26,58	2,90%
ST1	25,92	25,20	2,78%
ST2	26,04	25,29	2,89%
ST3	25,90	25,13	2,98%
ST4	26,00	25,18	3,14%
SC1	27,93	26,94	3,52%
SC2	28,00	26,99	3,60%
SC3	27,87	26,97	3,24%
SC4	27,88	26,93	3,44%
BT1	27,42	26,57	3,10%
BT2	27,39	26,53	3,13%
BT3	27,18	26,36	3,00%
BT4	27,27	26,46	2,97%
BC1	28,82	27,80	3,54%
BC2	28,68	27,76	3,21%
BC3	28,78	27,76	3,54%
BC4	28,94	27,88	3,65%
CZT1	27,08	26,00	3,99%
CZT2	27,00	25,92	4,01%
CZT3	26,96	25,89	3,97%
CZT4	27,05	25,98	3,97%
CZC1	28,98	27,63	4,67%
CZC2	29,12	27,68	4,96%
CZC3	29,10	27,66	4,94%
CZC4	29,00	27,63	4,73%

Fonte: O autor (2020)