



Ministério da Educação
Universidade Federal da Integração Latino-Americana
Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território
Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura
Mestrado em Engenharia Civil

**ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL:
ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E DA VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA ZONA BIOCLIMÁTICA 3**

GILMAR SMANIOTTO JUNIOR

Foz do Iguaçu, PR

2023



Ministério da Educação
Universidade Federal da Integração Latino-Americana
Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território
Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura
Mestrado em Engenharia Civil

**ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL:
ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E DA VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA ZONA BIOCLIMÁTICA 3**

Linha de Pesquisa: L3 – Sustentabilidade e meio ambiente

GILMAR SMANIOTTO JUNIOR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Egon Vettorazzi

Foz do Iguaçu, PR

2023

GILMAR SMANIOTTO JUNIOR

**ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL:
ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E DA VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA ZONA BIOCLIMÁTICA 3**

Linha de Pesquisa: L3 – Sustentabilidade e meio ambiente

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Egon Vettorazzi

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Egon Vettorazzi

UNILA

Prof. Dr.^a Katia Regina Garcia Punhagui

UNILA

Prof. Dr. Antônio Cesar Silveira Baptista da Silva

Universidade Federal de Pelotas

Foz do Iguaçu, PR

2023

Catálogo elaborado pelo Setor de Tratamento da Informação
Catálogo de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - PTI

S635e

Smaniotto Junior, Gilmar.

Estratégias bioclimáticas para habitação de interesse social: análise do desempenho térmico e da viabilidade econômica para zona bioclimática 3 / Gilmar Smaniotto Junior. - Foz do Iguaçu, 2023.

153 fls.: il.

Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Instituto Latino-Americano de Tecnologia,
Infraestrutura e Território | ILATIT, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Egon Vetorazzi.

1. Habitação popular. 2. Simulação (Computadores). 3. Isolamento térmico. 4. Bioclimatologia. I. Vetorazzi, Egon. II. Título.

CDU 699.86

RESUMO

A padronização de projetos de Habitações de Interesse Social (HIS) no Brasil, sem considerar os condicionantes climáticos locais resulta na baixa qualidade das residências quanto ao conforto térmico dos ocupantes. O objetivo deste estudo é avaliar as previsões financeiras de estratégias arquitetônicas bioclimáticas voltadas para a melhoria do conforto térmico e a redução do consumo de energia em HIS, particularmente na Zona Bioclimática 3. Uma análise do desempenho térmico e energético será conduzida através de simulações computacionais baseadas em um projeto representativo, desenvolvido em conformidade com as diretrizes do programa Casa Verde e Amarela. As estratégias bioclimáticas serão renovadas de acordo com a Norma Brasileira NBR15575 - Desempenho de edificações habitacionais, a NBR 15220 - Norma Brasileira de Desempenho térmico de edificações, e a INI-R (Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais). A metodologia adotada foi dividida em sete etapas, empregando o software *Energyplus* para simulação dos modelos: 1) Definição, caracterização e modelagem do SIS; 2) Configuração e simulação do modelo real e de referência conforme NBR15575; 3) Definição das estratégias bioclimáticas; 4) Análise do desempenho térmico da melhoria individual das estratégias bioclimáticas; 5) Otimização do desempenho térmico das edificações com a implementação simultânea das estratégias; 6) Classificação do desempenho conforme NBR15575 e INI-R; e 7) Avaliação da avaliação financeira considerando a vida útil da edificação. Os resultados foram avaliados com base na eficiência energética e no aspecto econômico. A incorporação de estratégias bioclimáticas simples demonstrou que as edificações obtiveram um desempenho superior, conforme os critérios estabelecidos pela NBR15575, e alcançaram uma classe A de eficiência energética conforme INI-R. Isso resultou em uma redução no consumo de energia entre 44,83% e 82,61%, enquanto o percentual de horas dentro da faixa de temperatura de conforto variou de 79,17% a 80,14%. O investimento adicional necessário para a implementação das estratégias foi estimado entre 6,07% e 6,72% do valor total da edificação.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Habitação de Interesse Social, Simulação Computacional, Conforto térmico, Estratégias Bioclimáticas.

ABSTRACT

The standardization of Social Housing (HIS) projects in Brazil, without considering local climatic conditions, results in the low quality of residences in terms of thermal comfort for the occupants. The objective of this study is to evaluate the financial forecasts of bioclimatic architectural strategies aimed at improving thermal comfort and reducing energy consumption in HIS, particularly in Bioclimatic Zone 3. An analysis of thermal and energy performance will be conducted through computational simulations based in a representative project, developed in accordance with the guidelines of the Casa Verde e Amarela program. The bioclimatic strategies will be renewed in accordance with Brazilian Standard NBR15575 - Performance of residential buildings, NBR 15220 - Brazilian Standard for Thermal Performance of Buildings, and INI-R (Inmetro Normative Instruction for the Energy Efficiency Class of Residential Buildings). The methodology adopted was divided into seven stages, using the Energyplus software to simulate the models: 1) Definition, characterization and modeling of the SIS; 2) Configuration and simulation of the real and reference model according to NBR15575; 3) Definition of bioclimatic strategies; 4) Analysis of the thermal performance of individual improvement of bioclimatic strategies; 5) Optimization of the thermal performance of buildings with the simultaneous implementation of strategies; 6) Performance classification according to NBR15575 and INI-R; and 7) Assessment of the financial assessment considering the useful life of the building. The results were evaluated based on energy efficiency and economic aspects. The incorporation of simple bioclimatic strategies demonstrated that the buildings achieved superior performance, according to the criteria established by NBR15575, and achieved class A energy efficiency according to INI-R. This resulted in a reduction in energy consumption between 44.83% and 82.61%, while the percentage of hours within the comfort temperature range ranged from 79.17% to 80.14%. The additional investment required to implement the strategies was estimated between 6.07% and 6.72% of the total value of the building.

Keywords: Energy Efficiency, Social Interest Housing, Computer Simulation, Thermal Comfort, Bioclimatic Strategies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Classificação Climática de Köppen-Geiger	23
Figura 2.2 - Arquitetura Vernacular em diferentes climas.....	23
Figura 2.3 - Exemplos de arquitetura vernacular	24
Figura 2.4 - Palácio de Cristal - Paxton 1851	24
Figura 2.5 - Temperaturas absolutas, médias e umidade relativa mensais de Foz do Iguazu - PR - período 2007-2021	26
Figura 2.6 - Carta Solar de Foz do Iguazu - PR	27
Figura 2.7 - Ângulos solares ao meio-dia dos solstícios e equinócio	27
Figura 2.8 - Diagrama Bioclimático de Olgyay.....	28
Figura 2.9 - Carta Bioclimática de Givoni para países em desenvolvimento	29
Figura 2.10 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro conforme NBR 15520.....	31
Figura 2.11 - Carta Bioclimática Zona 3	32
Figura 2.12 - Habitação de Interesse Social.....	38
Figura 2.13 - Classificação da Renda Familiar para o PMCMV.....	39
Figura 2.14 - Déficit Habitacional Brasileiro entre 2016 e 2019 (em milhões)	40
Figura 2.15 - Orientação das Coberturas	42
Figura 2.16 - Casa Eficiente	44
Figura 2.17 - Tipologia casa unifamiliar térrea.....	44
Figura 2.18 - Tipologia casa geminada	45
Figura 2.19 - Tipologia com planta “H”	45
Figura 3.1 - Fluxograma de trabalho metodológico	59
Figura 3.2 - Planta Baixa da edificação modelo	61
Figura 3.3 - Perspectivas dos Modelo	61
Figura 3.4 - Classificação dos ambientes conforme NBR 15575-1	63
Figura 3.5 - Parede externa e interna equivalente.....	65
Figura 3.6 - Zonas Térmicas da Edificação Real e de Referência.....	69
Figura 3.7 - Modelo utilizado para as simulações do HIS Real	70
Figura 3.8 - Modelo utilizado para as simulações do HIS Referência	70
Figura 3.9 - Dimensão das aberturas	75
Figura 3.10 - Parede P5	78
Figura 3.11 - Análise de estratégias de implementação de desempenho da edificação para NBR 15575 e INI-R	79

Figura 3.12 - Parede externa equivalente	79
Figura 3.13 - Etapa V: Otimização do desempenho térmico	81
Figura 4.1 – Análise dos modelos com desempenho individual	89
Figura 4.2 - PHFT dos resultados das simulações de desempenho individual.....	90
Figura 4.3 - Resultado das temperaturas operativas máximas (tomáx) das simulações de desempenho individual.....	91
Figura 4.4 - Resultado das temperaturas operativas mínimas (tomín) das simulações de desempenho individual.....	92
Figura 4.5 - Resultado das cargas térmicas de refrigeração (CgTR) das simulações de desempenho individual.....	92
Figura 4.6 - Resultado das cargas térmicas de aquecimento (CgTA) das simulações de desempenho individual.....	93
Figura 4.7 - Resultado das cargas térmicas total (CgTT) das simulações de desempenho individual.....	94
Figura 4.8 - Análise das soluções quanto ao dimensionamento das aberturas.....	97
Figura 4.9 - Análise das soluções quanto a orientação do modelo	98
Figura 4.10 - Análise das soluções quanto a absorvância das paredes e cobertura.....	98
Figura 4.11 - Análise das soluções quanto ao tipo de parede	99
Figura 4.12 - Análise das soluções quanto aos tipos de vidro.....	100
Figura 4.13 - Análise das soluções geral.....	101
Figura 4.14 - Quadrante Pareto Front	101
Figura 4.15 - PHFT dos modelos do Quadrante Pareto Front	105
Figura 4.16 - Tomáx dos modelos do Quadrante Pareto Front	105
Figura 4.17 - Tomín dos modelos do Quadrante Pareto Front	106
Figura 4.18 - CgTR dos modelos do Quadrante Pareto Front	106
Figura 4.19 - CgTA dos modelos do Quadrante Pareto Front	107
Figura 4.20 - CgTT dos modelos do Quadrante Pareto Front	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Dados Climáticos Mensais de Foz do Iguaçu de 2007 a 2021	27
Tabela 2.2 - Síntese das estratégias bioclimáticas para zona bioclimática 3 conforme NBR 15220.....	33
Tabela 2.3 - Síntese das estratégias bioclimáticas de vedações externas para zona bioclimática 3 conforme NBR 15575	34
Tabela 2.4 - Síntese das estratégias bioclimáticas de cobertura para zona bioclimática 3 conforme NBR 15575.....	34
Tabela 2.5 - Características do programa de simulação computacional conforme NBR 15575	48
Tabela 2.6 - Critério de avaliação de desempenho térmico da envoltória quanto ao $PHFT_{UH}$	50
Tabela 2.7 - Intervalos das classificações de eficiência energética da UH para a zona bioclimática 3.....	56
Tabela 3.1 - Resultados do desempenho termo e energético HIS Real	62
Tabela 3.2 - Área de esquadrias do projeto.....	62
Tabela 3.3 - Área do envelope opaco, esquadrias e percentual de abertura na fachada	63
Tabela 3.4 – Composição da cobertura	64
Tabela 3.5 – Composição da laje de piso	64
Tabela 3.6 - Resumo das propriedades dos materiais utilizados no Modelo Real....	65
Tabela 3.7 - Propriedades térmicas de paredes e pisos para o modelo de Referência	66
Tabela 3.8 - Propriedades térmicas da cobertura para o modelo de Referência.....	67
Tabela 3.9 - Características dos elementos transparentes nas esquadrias para o modelo de Referência	67
Tabela 3.10 - Características dos perfis das esquadrias para o modelo de Referência	67
Tabela 3.11 - Características das Zonas Térmicas do modelo Real e de Referência	69
Tabela 3.12 - Padrões de ocupação diários de APP	70
Tabela 3.13 - Taxa metabólica e fração radiante para os usuários	71

Tabela 3.14 - Densidade de potência instalada fração radiante e fração visível para o sistema de iluminação	72
Tabela 3.15 - Densidade de potência instalada, fração radiante e fração visível para o sistema de iluminação	72
Tabela 3.16 - Período de uso, densidade de cargas internas e fração radiante para equipamentos da sala	72
Tabela 3.17 – Tabela comparativa das estratégias para a zona bioclimática 3	74
Tabela 3.18 - Estudo <i>Setpoints</i> para as venezianas.....	76
Tabela 3.19 - Características dos fechamentos translúcidos.....	77
Tabela 3.20 – Resumo estratégias para a zona bioclimática 3 adotadas	77
Tabela 3.21 - Modelos e utilização das estratégias	80
Tabela 3.22 – Classificações NBR 15575 e INI-R	82
Tabela 3.23 - Etapas e serviços básicos	84
Tabela 3.24 - Levantamento quantitativo de materiais	85
Tabela 3.25 - Percentuais representativo dos serviços	87
Tabela 4.1 – Atendimento a NBR 15575 conforme simulações de desempenho individual	94
Tabela 4.2 - Classificação NBR 15575 E INI-R simulação de desempenho individual	95
Tabela 4.3 - Resultados dos modelos do Quadrante Pareto Front.....	102
Tabela 4.4 - Características dos modelos do Quadrante Pareto Front.....	103
Tabela 4.5 - Tabela resumida dos modelos do quadrante ótimo	104
Tabela 4.6 – Atendimento a NBR 15575 modelos do Quadrante Pareto Front	108
Tabela 4.7 - Classificação NBR 15575 e INI-R simulação de modelos do Quadrante Pareto Front	108
Tabela 4.8 - Orçamento dos serviços para o modelo Real	109
Tabela 4.9 - Orçamento dos serviços para os modelos R91, R145.....	113
Tabela 4.10 - Orçamento dos serviços para os modelos R92	114
Tabela 4.11 - Orçamento dos serviços para os modelos R19 e R73.....	116
Tabela 4.12 - Orçamento dos serviços para os modelos R21, R75 e R39	118
Tabela 4.13 - Orçamento dos serviços para os modelos R38	119

Tabela 4.14 - Resumo dos valores totais dos orçamentos	121
Tabela 4.15 - Resultados de consumo e economia de energia	122
Tabela 4.16 - Resultado do cálculo do custo de energia conservada.....	123
Tabela 4.17 - <i>Payback</i> Simples dos modelos	123
Tabela 4.18 - <i>Payback</i> descontado dos modelos	124

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APO	Avaliação pós-ocupacional
APP	Áreas de Permanência Prolongada
APT	Áreas de Permanência Transitória
ASHRAE	<i>American Society of Heating Refrigerating and air-conditioning Engineers</i>
BNH	Banco Nacional de Habitação
CB3E	Centro Brasileiro de Eficiência Energética em edificações
CEF	Caixa Econômica Federal
CgTA	Carga Térmica de Aquecimento
CgTR	Carga Térmica de Refrigeração
CgTT	Carga Térmica Total
EEDUS	Eficiência Energética no Desenvolvimento Urbano Sustentável
EP	<i>EnergyPlus</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FJP	Fundação João Pinheiro
GIZ	<i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i>
HIS	Habitação de Interesse Social
INCC	Índice Nacional de Custo da Construção
INI-R	Instrução Normativa Inmetro para Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
MDR	Ministério de Desenvolvimento Regional
NBR	Norma Brasileira
PBE	Programa Brasileira de Etiquetagem
PCVA	Programa Casa Verde e Amarela
PHFT	Percentual de Horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PtAPP	Percentual de Elementos Transparentes
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de serviços e Público
RTQ-R	Regulamento Técnico de Qualidade para o nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SNH	Secretaria Nacional da Habitação
Tomáx	Temperatura Operativa máxima
Tomín	Temperatura Operativa Mínima
UHs	Unidades Habitacionais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	20
1.1.1 OBJETIVO GERAL	20
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 O CLIMA E A EDIFICAÇÃO	22
2.1.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE FOZ DO IGUAÇU	25
2.2 O CONFORTO TÉRMICO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO	27
2.3 NORMAS E REGULAMENTAÇÕES DE DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	30
2.3.1 NBR 15520	30
2.3.2 NBR 15575	33
2.3.3 INSTRUÇÃO NORMATIVA DO INMETRO (INI)	35
2.4 PROGRAMAS HABITACIONAIS BRASILEIROS	36
2.4.1 PROGRAMAS MINHA CASA MINHA VIDA E CASA VERDE E AMARELA	37
2.4.2 FAIXAS DE RENDA.....	39
2.4.3 DÉFICIT HABITACIONAL BRASILEIRO	39
2.4.4 ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS E DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL DO PMCMV E DO PCVA.....	40
2.4.5 AVALIAÇÃO PÓS-OCUPACIONAIS (APO) DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL (HIS) DOS PROGRAMAS HABITACIONAIS BRASILEIROS.....	46
2.5 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL EM HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL	47
2.5.1 NBR 15575 E O CRITÉRIO PARA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	49
2.5.2 INI-R E O CRITÉRIO PARA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	53
2.6 OTIMIZAÇÃO E PARETO FRONT	57
2.7 ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO	58
3 MÉTODO	58
3.1 ETAPA I: DEFINIÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM DA HIS	60
3.1.1 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA HIS REAL.....	61
3.1.2 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA HIS REFERÊNCIA.....	66

3.2 ETAPA II – CONFIGURAÇÃO E SIMULAÇÃO DO MODELO HIS REAL E DO HIS REFERÊNCIA (DIAGNÓSTICO DE ACORDO COM A NBR 15575 E INI-R).....	68
3.2.1 CONFIGURAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DA EDIFICAÇÃO	70
3.2.2 ARQUIVOS CLIMÁTICOS.....	72
3.2.3 CONFIGURAÇÃO DA TEMPERATURA DE SOLO	73
3.3 ETAPA III: DEFINIÇÃO DAS ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS	73
3.3.1 DIRETRIZES GEOMÉTRICAS.....	74
3.3.2 DIRETRIZES CONSTRUTIVAS	76
3.4 ETAPA IV: IMPLEMENTAÇÃO INDIVIDUAL DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS DA HIS	78
3.5 ETAPA V: OTIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO (ANÁLISE COLETIVA DAS ESTRATÉGIAS).....	80
3.6 ETAPA VI - ANÁLISE DOS RESULTADOS (CLASSIFICAÇÃO DE DESEMPENHO NBR15575 E INI-R).....	81
3.6.1 NBR 15575	81
3.6.2 INI-R.....	82
3.7 ETAPA VII - ANÁLISE DA VIABILIDADE FINANCEIRA	82
3.7.1 ORÇAMENTAÇÃO DO MODELO	83
3.7.2 CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA	87
3.7.3 MÉTODO DE CÁLCULO DO CUSTO DA ENERGIA CONSERVADA.....	87
3.7.4 MÉTODO DE CÁLCULO DE <i>PAYBACK</i> SIMPLES E DESCONTADO	88
4 RESULTADOS	89
4.1 RESULTADO DAS ESTRATÉGIAS DE MELHORIA DE DESEMPENHO INDIVIDUAL.....	89
4.2 RESULTADO DAS ESTRATÉGIAS DE OTIMIZAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO (ANÁLISE COLETIVA DAS ESTRATÉGIAS).....	96
4.3 VIABILIDADE ECONÔMICA.....	108
4.3.1 ORÇAMENTAÇÃO	109
4.3.2 BALANÇO ENERGÉTICO	121
4.3.3 RESULTADOS DE CUSTO DA ENERGIA CONSERVADA.....	122
4.3.4 RESULTADOS DE <i>PAYBACK</i> SIMPLES E DESCONTADO	123
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	125
5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	126
5.2 TRABALHOS FUTUROS	127
REFERÊNCIAS.....	129
APÊNDICE A - MODELO FORMULÁRIO	140

APÊNDICE B – LISTA DE TODOS OS MODELOS SIMULADOS CONFORME ESTRATÉGIAS BIOCLIMATICAS	141
APÊNDICE C – LISTA DE TODOS OS RESULTADOS DOS MODELOS SIMULADOS.....	145
APÊNDICE D – MELHORES 42 RESULTADOS DOS MODELOS SIMULADOS .	149
ANEXO A – DIRETRIZES GEOMÉTRICAS E CONSTRUTIVAS DA TIPOLOGIA UNIFAMILIAR INDICADAS PELO ESTUDO PARA A ZONA BIOCLIMÁTICA 3..	151
ANEXO B – MÉTODO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL ANEXO C – INI-R .	152
ANEXO C - PLANTA BAIXA DO MODELO COTADA.....	153
ANEXO D – MEMORIAL DE CÁLCULO PAREDE EQUIVALENTE MODELO REAL	154

1 INTRODUÇÃO

A redução do consumo energético dos edifícios é um processo que vem acompanhando as novas tendências do mercado nas últimas décadas. O consumo de energia no mundo é um dos fatores mais relevantes para o aumento dos gases de efeito estufa, que aumentam o aquecimento global. A redução desse consumo é indispensável, pois o movimento em direção ao desenvolvimento sustentável não é mais uma opção, mas uma necessidade, uma vez que já estamos experimentando as consequências climáticas e ambientais. Na União Europeia, observa-se um movimento para desenvolver seus edifícios para que possam ter uma melhor eficiência energética (Oliveira, 2020).

Sendo que a crise energética mundial vem forçando os países a substituir suas matrizes energéticas, a utilização de energia de fontes fósseis vem sendo substituída pelas energias renováveis. No Brasil, apesar da utilização de fontes fósseis não ser alta, as mudanças climáticas têm exercido uma forte influência na geração de energia. Isso ocorre porque a matriz energética do país depende principalmente de hidrelétricas, e as alterações no regime de chuvas afetam a geração de energia (Galbiatti, 2018; Soares e Cândido, 2020). Além disso, a matriz energética brasileira está se diversificando, com o aumento da utilização de fontes renováveis, como biomassa, energia eólica e solar. No entanto, também há um aumento na expansão do uso de combustíveis fósseis, que passou de 30,6 TWh em 2000 para 84,8 TWh em 2020. Esse aumento representa quase três vezes mais nesse período (Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), 2022)

O consumo energético residencial em 2022 representa 10,7% do consumo de energia no Brasil, sendo o terceiro mais consumidor, perdendo para os transportes e indústria, com aumento de 1,4% em relação ao ano anterior (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2023). Além dos números apresentados anteriormente, a utilização de ar-condicionado nas residências analisadas nos últimos anos varia de 10,5% de existência nos domicílios em 2005, a 16,7% no ano de 2019 (Lamberts et al., 2020a). Ainda o crescimento no consumo de energia elétrica destes equipamentos, segundo o Plano Decenal de Expansão de energia 2032, subirá de 26% em 2022 para 30% em 2032, já contemplando uma melhora na eficiência dos equipamentos (EPE, 2023).

Com a urbanização brasileira em crescente a partir de 1940, a demanda por Habitações de Interesse Social (HIS) aumentou consideravelmente desde esse período, causando um déficit habitacional (Monteiro e Veras, 2017). Para tanto, estimou-se que em 2019 o déficit seria de 5.876 milhões de moradias, sendo que cerca de 85% são em áreas urbanas e 15% em áreas rurais (FJP, 2021). Visando diminuir o déficit habitacional brasileiro, o governo federal implantou no ano de 2009 o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) que busca aumentar a produção e aquisição de novos imóveis para a população de baixa renda (BRASIL, 2009). Em 2021, com os mesmos propósitos de promover o direito à moradia das famílias, foi instituído o programa Casa Verde e Amarela (PCVA) (Brasil, 2021). Com as mudanças políticas que aconteceram no ano de 2023, o programa voltou a ser chamado de PMCMV.

Com uma demanda muito alta nos últimos anos e com a necessidade de reduzir custos para que essas residências sejam adquiridas, as habitações de interesse social são desenvolvidas utilizando em sua construção materiais de baixa qualidade, e que não atendem ao clima ao qual estão inseridas, tornando necessária a suplementação de condicionamento de ar e o aumento da demanda por energia elétrica (Dalbem, 2018).

Quando um edifício consome mais energia do que o necessário, independentemente de sua escala ou do nível social ao qual se destina, contribui para o desperdício que prejudica o meio ambiente e a disponibilidade de energia para todos. Reduzir o consumo energético, ao melhorar o conforto térmico dos usuários, oferece benefícios sociais significativos, como a diminuição do impacto ambiental e a economia de recursos públicos na geração de energia. Essa economia pode ser direcionada para atender outras necessidades dos usuários, como educação, cultura, lazer e saúde, resultando na melhoria da qualidade de vida e no impulso da economia do país (Vettorazzi, 2019). Embora a utilização de energia nas edificações seja proporcional a faixa de renda dos usuários como mostra os estudos de Francisco (2006) e Dalfovo et al. (2019), o enfoque no conforto do usuário é grande relevância, pois, muitas vezes o custo desta energia será destinado para outras atividades.

A utilização de estratégia passivas nas edificações, integrando o projeto ao ambiente torna-se elemento importante na busca de melhor conforto aos usuários. A análise de sensação de conforto aliada aos dados climáticos foi apresentada

primeiramente por Olgay em 1963, quando ele utilizou o termo 'bioclimático' para relacionar o clima com os seres humanos. Trouxe ainda, o termo 'projeto bioclimático' para a arquitetura, ou seja, estratégias de projetos que visam controlar as transferências de calor das edificações de maneira que os usuários tenham conforto na maior parte do tempo de sua utilização, e contemporizando a diminuição do consumo energético das edificações (Soares, 2021)

Para entender a relação do consumo de energia com a edificação, é necessário compreender a ligação com o conforto térmico, uma vez que o organismo humano precisa permanecer constantemente em uma temperatura de 37°C, independentemente do local e do clima. Desta maneira, a eficiência energética está diretamente ligada ao conforto térmico do usuário (Malaguerra, 2021). A concepção dos edifícios é a principal responsável pelas trocas de calor com o ambiente externo, essas trocas têm efeito direto na utilização de condicionadores de ar no ambiente, assim, possuem um papel importante na utilização de sistemas que consigam se transformar em uma barreira térmica, mas também em um facilitador da entrada de luz natural nos ambientes internos das edificações (Caselli, 2011; Cornetet, 2009; Sacht et al., 2010).

Desta forma, soluções projetuais resultam em ganhos econômicos e em conforto para os usuários, uma vez que um projeto bem desenvolvido pode vir a diminuir o consumo de equipamentos elétricos para regulação da temperatura dentro do ambiente (Dalbem, 2018). Ainda que as edificações tenham uma vida útil determinada por norma em 50 anos, o ganho ambiental pela diminuição da demanda de energia é um fator que evidencia a importância de estudos na área de conforto térmico para as HIS (Bavaresco et al., 2021).

A padronização dos projetos de HIS no Brasil tem influência em sua baixa qualidade, e no desconforto térmico dos usuários, visto que o país possui extensão continental e as zonas bioclimáticas existentes dentro do território brasileiro são necessários projetos com soluções arquitetônicas diferenciadas para cada zona bioclimática (Bavaresco et al., 2021). O padrão econômico imposto pelos programas habitacionais, induz a utilização de residências de fácil reprodução industrial, configurada por um programa de necessidades mínimo e situados em diferentes regiões brasileiras (Bortoli, 2018).

A arquitetura bioclimática tem como padrão aumentar a qualidade e a eficiência energéticas das edificações, de forma que as variáveis para cada projeto resultem em

edificações adequadas ao local de implantação. Uma residência localizada no Sul do Brasil, onde o clima é mais ameno, não pode possuir os mesmos atributos de uma localizada no Nordeste onde o clima é mais árido (Triana, Lamberts e Sassi, 2015).

Além do aspecto projetual, as mudanças climáticas contemporâneas estão ocasionando alterações significativas nos padrões habitacionais para todos os indivíduos. Entretanto, essas transformações se manifestam de maneira mais acentuada nas famílias de baixa renda que residem em Habitações de Interesse Social (HIS) (Bortoli, 2018). As modificações nos padrões de moradia são impulsionadas pelas especificidades de lugares que antes não exigiam sistemas de condicionamento de ar, agora precisam adotá-los, bem como por locais que não experimentavam temperaturas frias intensas e que, atualmente, enfrentam períodos mais rigorosos de frio.

No Brasil, as políticas públicas para a eficiência energética das edificações iniciam-se no ano de 2001 com a criação da denominada Lei da Eficiência Energética, mesmo que antes desta lei já houvesse trabalhos nas Universidades a respeito do tema (Brasil, 2001). Em 2005, com a publicação da NBR 15520 (ABNT, 2005b) em sua parte 3, foram definidas as zonas bioclimáticas brasileiras e indicadas algumas diretrizes construtivas para se obter eficiência energética, porém, apenas como forma de recomendação e ainda, de forma geral, suas prescrições foram revogadas por pesquisas realizadas na área de eficiência energética (Oliveira, 2012).

Com isso, a inserção de políticas públicas deve ajudar na promoção de HIS mais eficientes. Regulamentações como a Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R) (que substituiu o Regulamento técnico de Qualidade para o nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e a NBR 15575 que surge em 2013 – tendo no ano de 2021 uma atualização – vêm sendo implantadas no Brasil como forma de gerar desempenho para as edificações (Eli et al., 2021).

Uma vez que os usuários de HIS possuem dificuldades econômicas para a aquisição de condicionadores de ar, este estudo busca analisar as estratégias da arquitetura bioclimática para uma HIS na zona bioclimática 3, representada pela cidade de Foz do Iguaçu – PR, e verificar a viabilidade financeira para a construção dessas soluções.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é analisar o desempenho térmico e o impacto econômico da utilização de estratégias bioclimáticas em habitações de interesse social para a Zona Bioclimática 3.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- a) Aplicar soluções arquitetônicas bioclimáticas para um estudo de caso, conforme NBR 15220, NBR 15575 e INI-R de forma a obter melhor conforto térmico e eficiência energética;
- b) Analisar o desempenho térmico e energético das soluções arquitetônicas com e sem aplicação de estratégias bioclimáticas;
- c) Verificar o investimento adicional necessário para a implantação de estratégias arquitetônicas bioclimáticas;
- d) Avaliar o custo-benefício entre a implementação das estratégias bioclimáticas arquitetônicas, considerando a vida útil da edificação e comparando a solução construtiva padrão.

1.2 Estrutura do Trabalho

Esta dissertação é dividida em 5 capítulos. O primeiro apresenta uma introdução ao tema de estudo abordando os principais fatos que tornam esse trabalho relevante, além da apresentação dos objetivos geral e específicos e está estruturação do trabalho.

O segundo capítulo traz uma revisão de literatura dos assuntos que norteiam este trabalho como o conforto térmico, as principais legislações acerca do assunto, as políticas habitacionais e a simulação computacional.

Para a metodologia do trabalho foi destinado o terceiro capítulo, o qual foi dividido em 7 etapas. A primeira etapa apresenta a definição do projeto arquitetônico para o estudo do modelo, a segunda etapa é a configuração e simulação do modelo Real e Referência, a terceira etapa define as estratégias bioclimáticas a serem

adotadas na edificação, a quarta e quinta etapa apresentam a análise de desempenho segundo a NBR 15575 (ABNT, 2021a) e a INI-R e, finalmente na última etapa, é apresentada a análise financeira das estratégias simuladas.

No quarto capítulo são apresentados os resultados provenientes das simulações propostas conforme as 7 etapas descritas no capítulo 4, com destaque ao desempenho térmico, análise financeira e discussão acerca do tema.

No quinto e último capítulo são apresentadas as principais conclusões do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

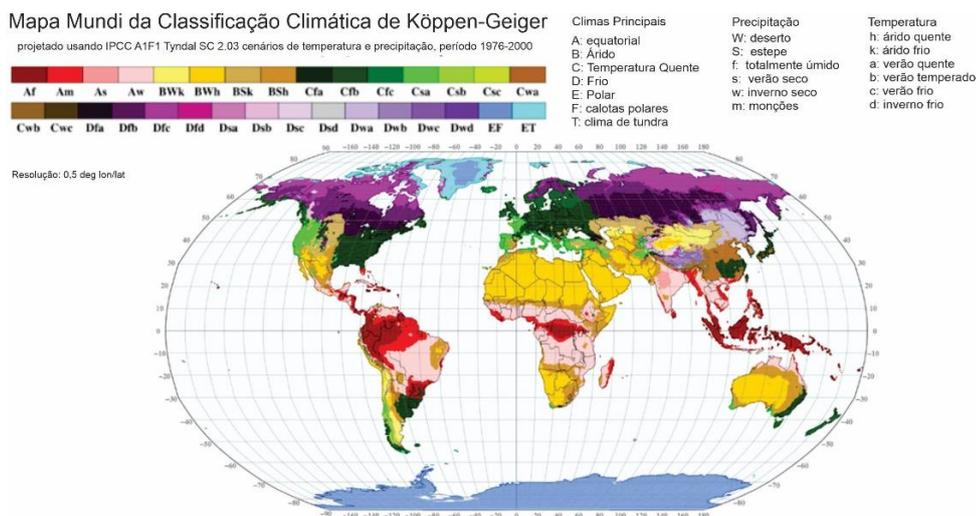
2.1 O Clima e a Edificação

A junção de fatores astronômicos e terrestres definem qual será o clima na Terra no decorrer do tempo, essa combinação determina os fatores do clima (radiação solar, temperatura do ar, umidade do ar, pressão do ar, velocidade e direção do vento, tipo e quantidade de precipitação) (Steinke, 2012).

A distribuição de radiação solar e os efeitos da rotação da Terra são diferentes nas diversas latitudes do planeta influenciando nas temperaturas da atmosfera e do solo e nos fatores climáticos (Köppen, 1948). É importante que classificar os climas que possuem características semelhantes, porém ao longo dos anos, divisões climáticas foram abordadas com variáveis diferentes, sendo que os principais sistemas de classificações foram produzidos por Köppen (1936), Thornthwait (1948), Miller (1931) e Strahler (2005) (NÓBREGA, 2010).

O sistema de classificação climática mais utilizado até hoje é a de Köppen-Geiger que de maneira geral pressupõe que a vegetação natural é o espelho do clima de uma região. A principal crítica relacionada a esse sistema está nos limites térmicos/hídricos dos climas determinados para as suas diferentes regiões. A **Figura 2.1** apresenta a classificação climática proposta por Köppen-Geiger (Nóbrega, 2010).

Figura 2.1 - Classificação Climática de Köppen-Geiger



Fonte: Rubel; Kottek, 2010, tradução nossa

Com o decorrer do tempo o homem se utilizou de soluções arquitetônicas passivas para a adaptação do abrigo ao clima. Essa arquitetura, chamada de vernacular, remete aos tempos em que na ausência de técnicas e materiais adequados, o homem se utilizava de recursos naturais para a construção de abrigos que o protegessem de intempéries do tempo ou de animais. Dessa forma, as exigências climáticas configuram fator preponderante para a forma como esse abrigo viria a ser construído, como exemplificado na **Figura 2.2** (Teixeira, 2017).

Figura 2.2 - Arquitetura Vernacular em diferentes climas



Fonte: Olgay, 1963

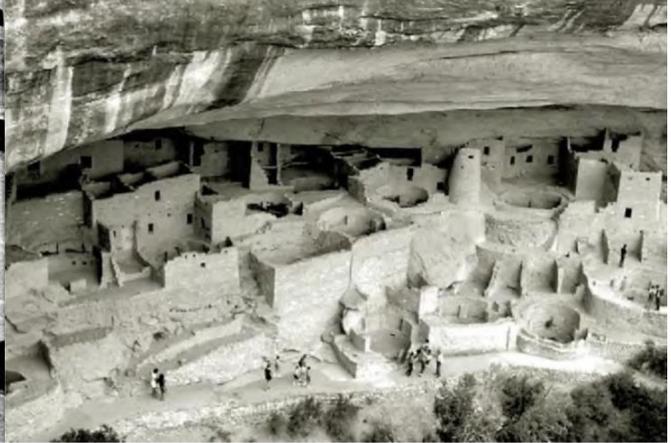
Existem inúmeros exemplos de como a arquitetura vernacular utiliza o meio natural para a adaptação ao clima. No norte da China, por exemplo, populações locais construíam habitações subterrâneas (**Figura 2.3**) para amenizar a temperatura do ambiente compensando a alternância térmica elevada entre o dia e a noite. Povoados do deserto do Colorado nos Estados Unidos, utilizavam as encostas de pedras como

barreira contra o vento frio do inverno e proteção solar no verão quente (Lamberts, Dutra e Pereira, 2014).

Figura 2.3 - Exemplos de arquitetura vernacular



casas subterrâneas na China



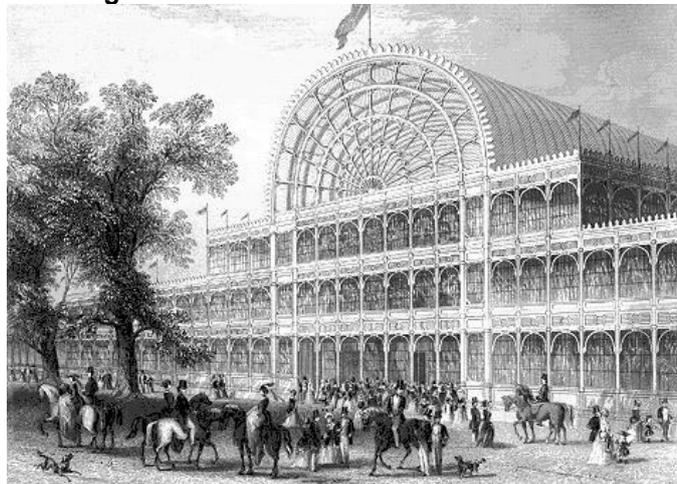
Habitações do povo mesa verde no Estado do Colorado - EUA

Fonte: Olgyay, 1973)

Fonte: Lechner, 2015

Após a Revolução Industrial no século XVIII, a intensificação do uso de materiais como o ferro, o concreto armado e o vidro redefinem a relação das edificações com o clima, permitindo fechamento mais leves, entrada da luz natural e da radiação solar na totalidade das fachadas das edificações (Vettorazzi, 2019). Os avanços tecnológicos dos materiais possibilitavam a criação de edificações com novas funções e apelo estético, nesta época são criadas algumas edificações marcantes como o Palácio de Cristal de Joseph Paxton, em 1851 (**Figura 2.4**) (Duarte, 1999).

Figura 2.4 - Palácio de Cristal - Paxton 1851



Fonte: Merin, 2013

A utilização destes materiais permitiu a criação de novos elementos para arquitetura, como as coberturas transparentes, maiores vãos livres e os balanços estruturais. Porém, a forte chegada da industrialização fez com que a reprodução ficasse em alta, não sendo diferente para a arquitetura. Com o movimento denominado Bauhaus¹, a meta seria a utilização de processos industriais para a construção de residências e esse estilo de construção acaba padronizando as edificações (Duarte, 1999) o que faz com que edificações sejam projetadas para climas diferentes e tenham as mesmas soluções arquitetônicas.

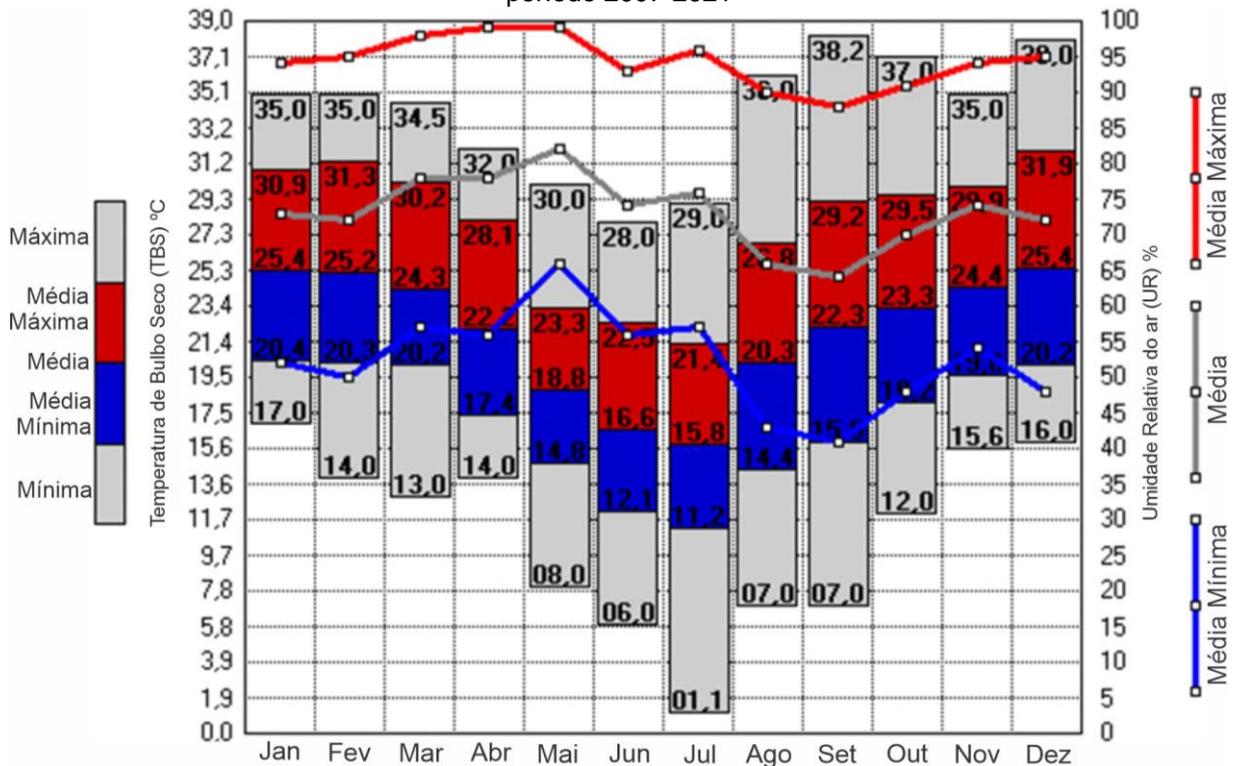
2.1.1 Características Climáticas de Foz do Iguaçu

O município de Foz do Iguaçu está localizado no oeste do estado do Paraná, local que possui uma tríplice fronteira (Brasil, Paraguai e Argentina). Com aproximadamente duzentos e oitenta e cinco mil habitantes possui uma extensão territorial de 609.192 km² (IBGE, 2022). O município está em uma altitude média de 174 metros em relação ao nível do mar, suas coordenadas geográficas são Latitude: 25° 32' 49" Sul e Longitude: 54° 35' 18" Oeste (Cidade-Brasil, 2021).

Segundo a classificação desenvolvida por Köppen-Geiser, o clima indicativo para a cidade de Foz do Iguaçu-PR é "Cfa" (clima temperado úmido com verão quente), onde as letras "Cf" representam clima de temperatura quente totalmente úmido, e a letra "a" representa verões quentes com temperatura acima dos 22°C (Kottek et al., 2006).

A **Figura 2.5** apresenta os dados climáticos de Foz do Iguaçu - PR, período de 2007 a 2021, extraídos do arquivo "EPW BRA_PR_Foz.do.Iguacu-Cataratas.Intl.AP.838270_TMYx.2007-2021". Os dados mostram uma umidade relativa do ar média acima dos 65% em todos os meses do ano, temperaturas máximas médias nos meses de dezembro a março acima dos 30°C e nos períodos entre abril e novembro, as temperaturas mínimas médias abaixo dos 20°C.

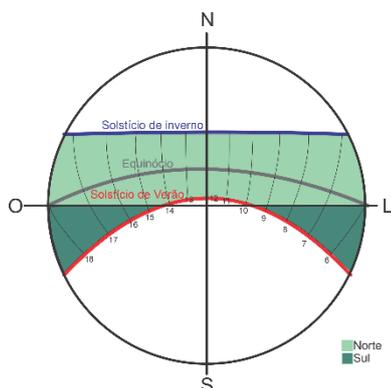
¹ Bauhaus foi um movimento criado pelo Arquiteto Walter Gropius em 1919, que pretendia aliar a arquitetura com os processos industriais (Duarte, 1999).

Figura 2.5 - Temperaturas absolutas, médias e umidade relativa mensais de Foz do Iguaçu - PR - período 2007-2021

Fonte: Editado de Software Eview, 2023

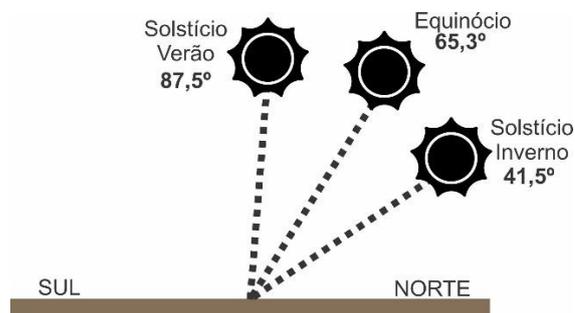
De posse da carta solar indicada para Foz do Iguaçu, conforme **Figura 2.6**, e com auxílio do programa Análisis Sol-ar (LABEEE, 2009), é possível verificar uma incidência maior de raios solares na fachada norte, representando cerca de 77,97%. Em contrapartida, a fachada sul recebe uma quantidade bem menor de radiação solar, correspondendo a apenas 22,03% do total. É importante notar que a fachada leste recebe radiação solar direta durante todas as manhãs ao longo do ano, o que equivale a cerca de 50% de insolação. Por outro lado, a fachada oeste recebe radiação solar durante as tardes durante todo o ano. Vale ressaltar que, no período de verão, quando desejamos menos insolação, as fachadas leste e oeste recebem maior incidência solar, enquanto no inverno, quando buscamos uma maior insolação, a incidência solar é menor. Também é possível analisar os ângulos de incidência da radiação solar ao meio-dia ao longo do ano, como demonstrado na **Figura 2.7**. No solstício de verão o ângulo de incidência é de $87,5^\circ$, praticamente no zênite. No solstício de inverno, o ângulo solar é de $41,5^\circ$, enquanto que nos equinócios é de $65,3^\circ$.

Figura 2.6 - Carta Solar de Foz do Iguaçu - PR



Fonte: Adaptado do Programa Computacional Analysis Sol-Ar. LABEEE, 2009

Figura 2.7 - Ângulos solares ao meio-dia dos solstícios e equinócio



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

A **Tabela 2.1**, traz os principais dados climáticos de Foz do Iguaçu, a partir do arquivo climático “EPW BRA_PR_Foz.do.Iguacu-Cataratas.Intl.AP.838270_TMYx.2007-2021”.

Tabela 2.1 - Dados Climáticos Mensais de Foz do Iguaçu de 2007 a 2021

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temp. Média (°C) Bulbo Seco	25	25	24	22	18	16	15	20	22	23	24	25
Radiação normal direta média (h)	462	476	484	466	343	393	385	465	494	415	458	487
Humidade Relativa Média (%)	75	76	82	81	87	78	80	68	64	71	74	74
Intensidade do Vento (m/s)	2	2	2	3	2	3	2	2	3	4	2	2

Fonte: Adptado de *Software Climate Consultant 6.0*

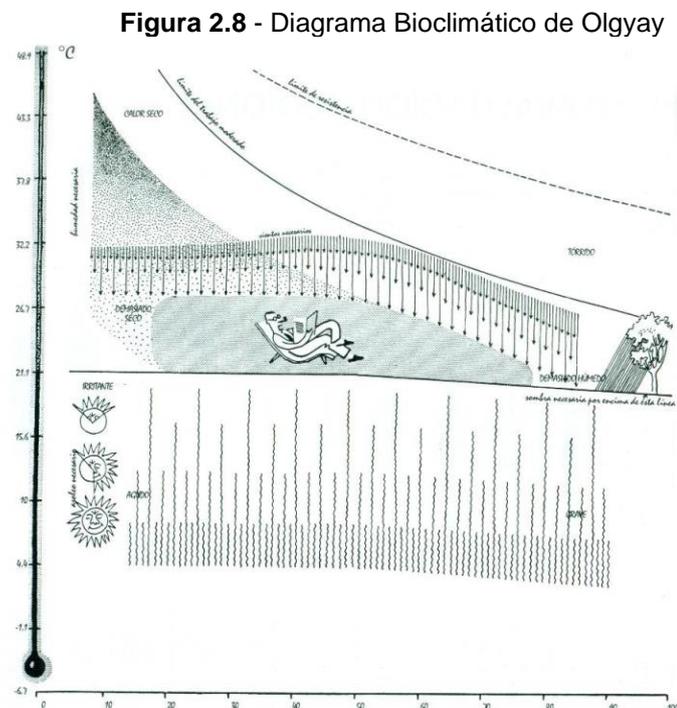
Na NBR 15520: parte 3 (ABNT, 2005), Foz do Iguaçu está inserida na zona bioclimática 3, a norma divide o Brasil em oito zonas bioclimáticas por médias mensais de temperaturas máximas, médias mensais de temperaturas mínimas, e as médias de umidade relativa do ar, determinando a zona bioclimática 1 como a mais fria e a zona bioclimática 8 como a mais quente (Bavaresco et al., 2017).

2.2 O Conforto Térmico no Ambiente Construído

Para a American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers (ASHRAE, 2017), o conforto térmico é definido como uma condição mental

na qual há uma satisfação com o ambiente térmico, sendo esta sensação subjetiva. Assim, uma série de variáveis são levadas em consideração quando se trabalha com conforto térmico: as ambientais (temperatura do ar, umidade relativa, temperatura média radiante e velocidade do ar) e as humanas (vestimentas e atividade). Desta forma, o corpo humano realiza as trocas térmicas que tem como resultado o conforto térmico ou sua ausência (Corbella e Yannas, 2003).

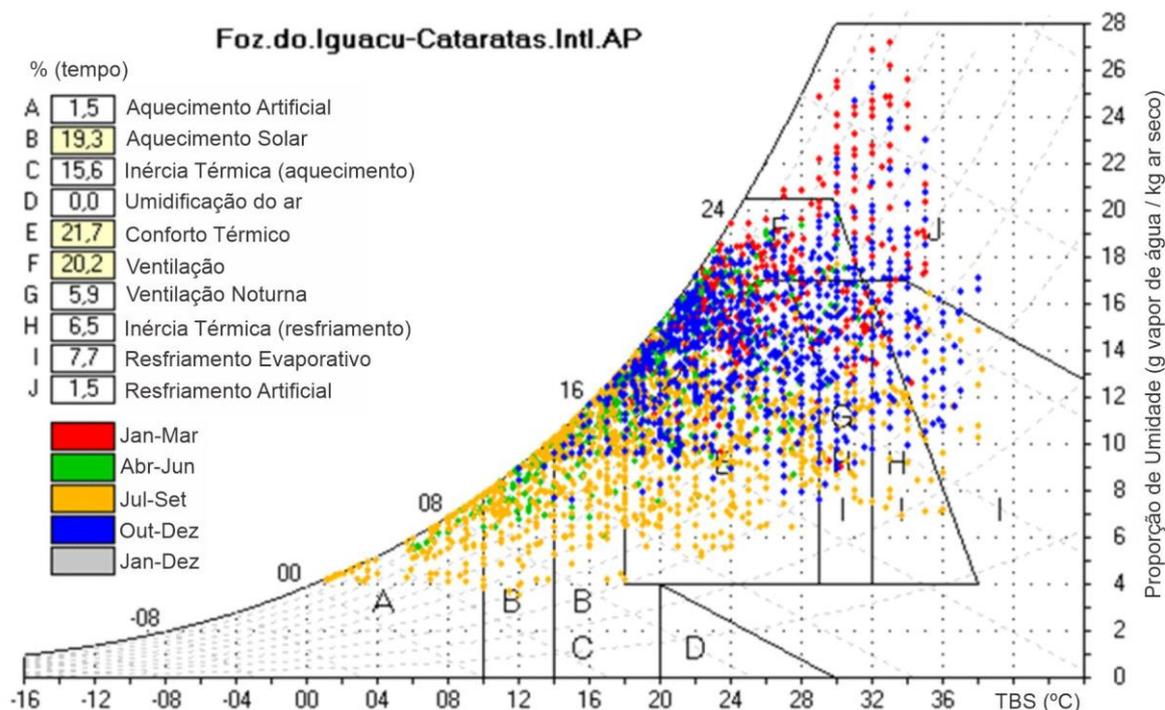
Na arquitetura, o conforto térmico pode ser levado ao usuário utilizando climatização e iluminação artificial, porém um edifício é considerado energeticamente mais eficiente que o outro quando o consumo energético para chegar ao mesmo nível de conforto é menor. Essa utilização de uma arquitetura mais eficiente é denominada Arquitetura Bioclimática, e se adequa ao clima local, evita o desperdício de energia e foca no conforto de usuário (Meulam et al., 2020). Antes de projetar qualquer edificação é interessante analisar o clima ao qual está sendo desenvolvido o projeto, para isso Olgay (1973) desenvolveu um diagrama bioclimático como mostrado na **Figura 2.8**. O diagrama pauta o nível de conforto dos seres humanos em relação aos fatores climáticos, considerando a temperatura de bulbo seco com a umidade relativa do ar e fazendo algumas relações sobre necessidade de ventilação.



Fonte: Olgay, 1963

Givoni (1992), desenvolveu uma carta bioclimática (**Figura 2.9**) corrigindo algumas limitações da carta desenvolvida por Olgyay, que aplicava seu diagrama apenas para as condições externas do edifício. Os diagramas de Givoni trabalham com a variação do clima em torno do edifício, identificando assim as possíveis estratégias a serem utilizados pelos projetistas de forma que haja um controle climático da edificação (Lamberts, Dutra e Pereira, 2014). Para uma melhor compreensão, a **Figura 2.9**, apresenta a plotagem dos dados climáticos de Foz do Iguaçu a partir do arquivo EPW disponível para a cidade do período de 2007 a 2021 na carta bioclimática de Givoni, com auxílio do *Software EPview*. Pela carta bioclimática é possível observar que em 21,7% do ano há conforto térmico, enquanto em 78,3% há necessidade de estratégias projetuais para aquecer ou arrefecer a edificação. A necessidade de aquecimento artificial e resfriamento artificial são iguais, e correspondem a 1,5% do ano para cada um.

Figura 2.9 - Carta Bioclimática de Givoni para países em desenvolvimento



Fonte: Editado de *Software Epview*, 2023.

As cartas bioclimáticas norteiam a tomada de decisão em relação ao projeto arquitetônico, a carta de Givoni é utilizada de forma adaptada para a parte 3 da NBR 15520 onde os climas são identificados (ABNT, 2005b). A norma apresenta

simultaneamente a combinação de temperatura e umidade, desta forma é possível verificar com os dados climáticos quais são as melhores estratégias arquitetônicas para o local.

2.3 Normas e Regulamentações de Desempenho Térmico e Eficiência Energética

Os processos de normatização e regulamentação para o desempenho térmico vem ocorrendo em muitos países desenvolvidos, como exemplo a Alemanha, Austrália, Canadá, Estados Unidos, Espanha e Portugal, com intuito de reduzir o consumo energético das edificações (Vettorazzi, 2019). Atualmente, as normas e regulamentações para o desempenho térmico das edificações no Brasil são a NBR 15520 (ABNT, 2005b), NBR 15575 (ABNT, 2021a) e INI-R (CB3E, 2018).

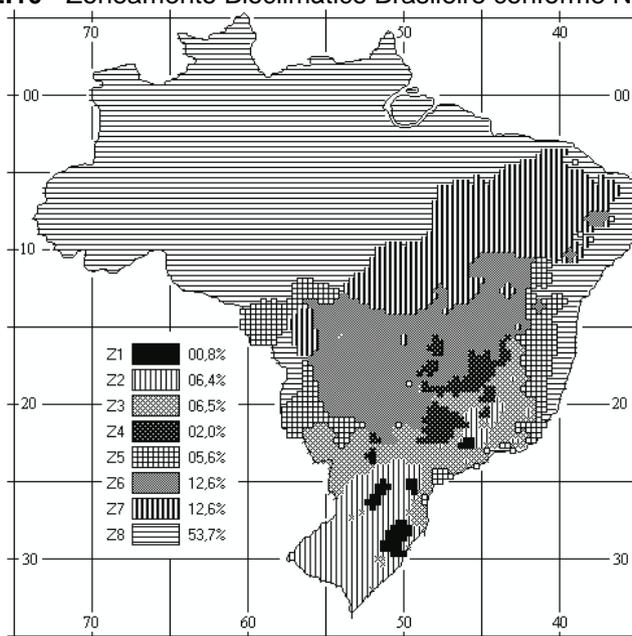
O marco regulatório para o processo de normatização da eficiência energética começa na implantação da lei nº 10.295 de 2001 que dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia. Lei essa que vinha a combater o desperdício de energia dispondo de obrigações do governo para disponibilizar políticas públicas que promovam o seu uso racional (Haddad, 2002).

As primeiras normas de desempenho térmico estão relacionadas à percepção de diminuição do uso de sistemas artificiais para as edificações, trabalhando em limitar as perdas de calor nos ambientes externos, porém este modelo não é o mais eficiente em países onde o clima é quente (Oliveira, 2012).

2.3.1 NBR 15520

A primeira norma desenvolvida, a NBR 15520 (ABNT, 2005), diz respeito ao desempenho térmico de HIS com até três pavimentos e é dividida em cinco partes. Na parte 3 é apresentado o zoneamento bioclimático brasileiro composto por 8 zonas, conforme **Figura 2.10**. Para cada zona bioclimática foram elaboradas cartas bioclimáticas adaptadas de Givoni (1992), a fim de avaliar quais as melhores estratégias bioclimáticas para cada uma delas.

Figura 2.10 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro conforme NBR 15520



Fonte: ABNT, 2005

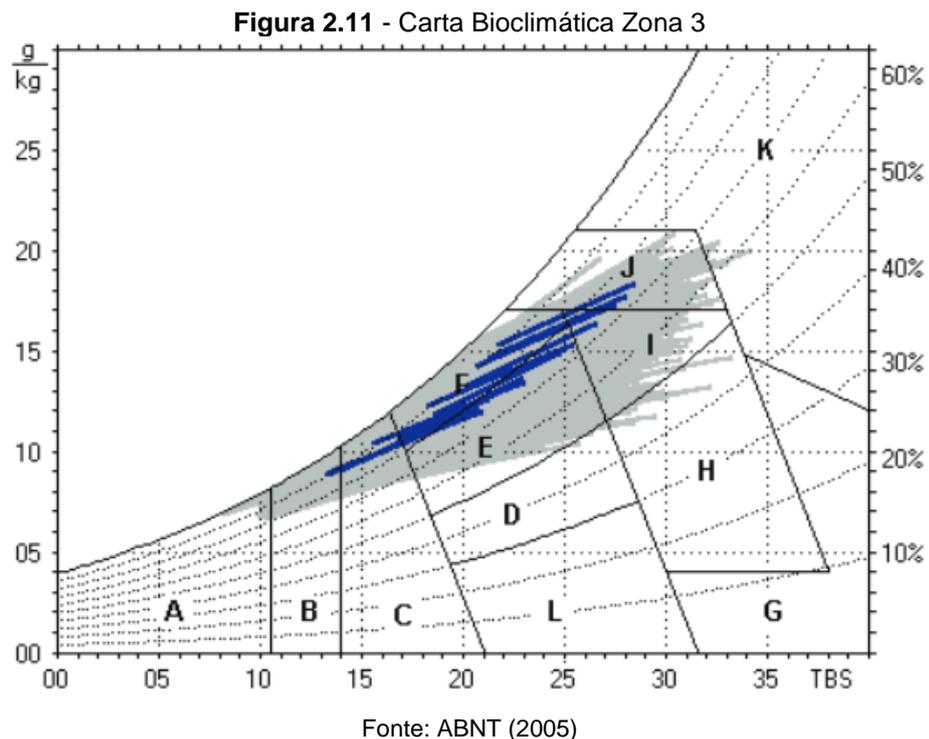
Com base no zoneamento estabelecido na norma também são propostas recomendações de estratégias bioclimáticas para as edificações, sendo algumas delas: dimensão das aberturas para ventilação, proteção das aberturas, tipos de fechamentos e estratégias de condicionamento térmico passivo (ABNT, 2005).

A zona bioclimática 3, objeto de estudo deste trabalho, abrange 6,5% do território nacional com a maioria das cidades localizadas nos estados do Mato Grosso do Sul, Paraná, São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, além de outras regiões mais específicas localizadas em outros estados brasileiros.

Na norma são apresentadas algumas diretrizes conforme a carta bioclimática representada para zona bioclimática 3 como demonstrado na **Figura 2.11**, as estratégias são indicadas pelas letras maiúsculas de A a L, mas referente à zona bioclimática de estudo, as letras L e G não são estratégias adequadas (ABNT, 2005).

Desta forma, quando a carta apresenta a letra A é referente à utilização de estratégias de aquecimento artificial para desconforto por frio. A letra B refere-se à correta orientação da edificação, além de otimização da incidência solar e utilização de cores externas para aproveitamento da radiação solar para o aquecimento dos ambientes. Na letra C, a utilização de paredes internas com inércia térmica a fim de manter o interior da edificação aquecido. As letras D e E representam as zonas em que a edificação está em conforto térmico, com a diferença que a letra D apresenta

locais com baixas umidades. A utilização de renovação do ar interno através de ventilação buscando uma desumidificação dos ambientes é indicada na letra F. Embora a letra G não seja uma estratégia para esta zona bioclimática, as mesmas estratégias são indicadas para as letras G e H, onde as temperaturas altas podem ser amenizadas com a utilização de evaporação de água, utilização de vegetação, fontes de água e outros recursos que permitam a evaporação da água. Além dessas estratégias na Letra H juntamente com a letra I também são indicadas a utilização de paredes externas, internas e cobertura com uma maior massa térmica para que o calor seja devolvido ao meio durante o período noturno. A utilização de ventilação cruzada, é indicada para as Letras I e J. Para finalizar a letra K, representa a utilização de resfriamento artificial para amenizar a sensação de desconforto por calor (ABNT, 2005b).



Para a zona bioclimática 3 é indicado o sombreamento das aberturas e que elas permitam a entradas de radiação solar durante o solstício de inverno, além disso, foram determinadas que as vedações externas sejam leves e refletoras e que a cobertura seja leve e isolada (

Tabela 2.2) (ABNT, 2005). Também foram inseridas algumas estratégias para condicionamento térmico passivo, de maneira que no verão é recomendada a

utilização de ventilação cruzada e no inverno a utilização solar para aquecimento da edificação, além da utilização de paredes internas pesadas o que faz com que o calor permaneça mais tempo no ambiente (ABNT, 2005).

Tabela 2.2 - Síntese das estratégias bioclimáticas para zona bioclimática 3 conforme NBR 15220

Vedações Externas	Parede: Leve e Refletores	Transmitância Térmica (U)	$\leq 3,60 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
		Atraso Térmico (ϕ)	$\leq 4,3 \text{ h}$
		Fator Solar (FS _o)	$\leq 4,0\%$
	Cobertura: Leve e Isolada	Transmitância Térmica (U)	$\leq 2,00 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
		Atraso Térmico (ϕ)	$\leq 3,3 \text{ h}$
		Fator Solar (FS _o)	$\leq 6,5\%$
Paredes Internas	Pesadas	Transmitância Térmica (U)	$\leq 2,00 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
		Atraso Térmico (ϕ)	$\leq 6,5 \text{ h}$
		Fator Solar (FS _o)	$\leq 6,5\%$
Aberturas para ventilação	Médias	$15\% < A < 25\%$ A=área do ambiente em m ²	
	Permitir sol durante inverno	Permitir a entrada de insolação durante o inverno para aquecimento do ambiente	
Estratégias de condicionamento térmico passivo	Verão	J) Ventilação Cruzada	
	Inverno	B) Aquecimento solar da edificação	
		C) vedações internas pesadas	

Fonte: Adaptado de ABNT, 2005b

2.3.2 NBR 15575

Com o crescimento da construção civil e buscando aprimorar alguns aspectos gerais relacionados às edificações, em 2021 é aprovada a versão definitiva da NBR 15575, que apresenta requisitos gerais de sustentabilidade para as edificações, trazendo evolução para as técnicas construtivas e fundamentos jurídicos para os usuários. Dentre seus aspectos principais, a norma apresenta algumas solicitações térmicas tendo como base itens da NBR 15520 (Chvatal, 2014; Romeiro, 2019). Em 2021, a norma sofreu algumas alterações em seus requisitos, porém, ainda é dividida em 06 (seis) partes. Na primeira parte são avaliados requisitos gerais dos usuários, na segunda parte são desenvolvidos os critérios estruturais a serem atendidos, a

terceira parte refere-se aos estudos sobre pisos, tanto externos quanto internos, focando principalmente na questão acústica. A quarta parte diz respeito às vedações internas e externas; já os sistemas de cobertura são referenciados na quinta parte e, na parte final apresentam-se os sistemas hidrossanitários.

Na parte 1 que trata do desempenho térmico da edificação, os itens avaliados na norma são classificados como mínimo, intermediário e superior sendo necessário atender aos requisitos mínimos para que a edificação esteja considerada com padrões normativos, as classificações intermediária e superior são pontos facultativos. A avaliação do desempenho térmico sempre é realizada nos ambientes de permanência prolongada (ABNT, 2021).

Para a análise das edificações ainda são usadas as partes 4 e 5, que dispõem sobre as vedações externas e internas e com a síntese das estratégias bioclimáticas indicadas na **Tabela 2.3** e sobre os sistemas de coberturas utilizados com a síntese das estratégias bioclimáticas descritas na **Tabela 2.4**, respectivamente (ABNT, 2021b, ABNT, 2021c).

Tabela 2.3 - Síntese das estratégias bioclimáticas de vedações externas para zona bioclimática 3 conforme NBR 15575

Vedações Externas	Transmitância Térmica (U)	$\leq 3,70 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ quando $\alpha \leq 0,6$
	Transmitância Térmica (U)	$\geq 2,50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ quando $\alpha > 0,6$
	Capacidade Térmica (CT)	$\geq 130 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Aberturas para ventilação	Percentual de abertura para ventilação	$\geq 7\%$ da área do piso
	Percentual de Elementos Transparentes	$\geq 20\%$

α : Absortância Térmica

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021b

Tabela 2.4 - Síntese das estratégias bioclimáticas de cobertura para zona bioclimática 3 conforme NBR 15575

Coberturas	Transmitância Térmica (U)	$\leq 2,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ quando $\alpha \leq 0,6$
	Transmitância Térmica (U)	$\geq 1,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ quando $\alpha > 0,6$

α : Absortância Térmica

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021c

Para o procedimento de simulação computacional – o qual será utilizado neste trabalho – a avaliação é feita com o desempenho anual da envoltória da edificação

com a edificação ocupada (Eli et al., 2021). Para tanto, devem ser elaborados dois modelos: o modelo Real, caracterizado por elementos reais da unidade habitacional e o modelo de Referência que trará elementos normatizados (ABNT,2021).

2.3.3 Instrução Normativa do Inmento (INI)

A etiquetagem de edificações no Brasil inicia-se a partir do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), o qual foi desenvolvido pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL e pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Desta maneira, no ano de 2009 é criado o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações denominado PBE Edifica, ao qual foram criados o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de serviços e Público (RTQ-C) e residências (RTQ-R) (Oliveira, 2021).

Lançado em 2010, O RTQ-R é uma regulamentação que visa a etiquetagem das edificações, podendo ser avaliado pelo projeto através do método prescritivo ou simulação computacional, ou pela obra pronta com verificação no local. A avaliação pode variar de A (mais eficiente) até E (menos eficiente) (Bracht, Melo e Lamberts, 2021; Scalco et al., 2012).

Em 2018, com a proposta de revisão do RTQ-C e RTQ-R pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em edificações (CB3E), é lançada a INI-R, que apresenta a simulação de duas tipologias de unidades habitacionais, a Real e uma Referência de uma edificação com materiais de baixa qualidade equivalente à classe D de eficiência energética, sendo sua classificação gerada através do percentual comparativo dos dois modelos (Oliveira, 2021).

A INI está organizada em anexos. No texto principal, são apresentados os requisitos de aplicação dos métodos prescritivo, simplificado e de simulação (item 6), as condições de elegibilidade para a classificação A (item 7), os procedimentos para a determinação da classificação de eficiência energética das unidades habitacionais (UHs) e dos sistemas individuais (item 8) e os procedimentos para a determinação da classificação de eficiência energética das áreas comuns de edificações multifamiliares ou de condomínios de edificações residenciais (item 9) (INMETRO, 2021, p.13).

Os anexos são organizados de A à G, o anexo A discorre sobre os procedimentos para determinar a eficiência energética através do método prescritivo, no anexo B pelo método prescritivo, no anexo C são determinados os percentuais de carga térmica e consumo de energia para o método de simulação energética. No anexo D são avaliados os potenciais de geração de energia renovável no local, no E são estabelecidos os critérios para as emissões de carbono, a utilização racional de água está descrita no anexo F e os critérios para avaliação de áreas comuns em edificações multifamiliares está relacionado no anexo G (INMETRO, 2021).

A classificação utilizada pela INI-R é a mesma utilizada no método anterior, o RTQ-R, sendo avaliada em A (mais eficiente) e E (menos eficiente). Importante destacar a ligação da INI-R com a NBR 15575 (ABNT,2021), como a nova formatação da NBR 15575, é possível traçar correspondências entre os dois métodos, assim na utilização do método simplificado da NBR, atingindo o desempenho mínimo é considerado nível C de classificação para a INI-R.

2.4 Programas Habitacionais Brasileiros

Com o aumento do êxodo rural brasileiro na década de 1940, a busca por moradia se acentuou de forma brusca e as grandes cidades passaram a ter um crescimento do déficit habitacional. Com os investimentos privados para oferta de habitações para locação, o valor do aluguel se tornou um fator de conflito entre inquilinos e proprietários. Nesse momento, o estado teve um papel importante estabelecendo, em 1942, a lei do inquilinato que regulamentou os valores dos aluguéis (Bonduki, 2017).

Com a lei do inquilinato, os investimentos em habitação pela iniciativa privada começaram a diminuir tendo um efeito negativo no que se refere a déficit habitacional. O governo então assume a construção de edificações, e com isso surge a iniciativa da Fundação da Casa Popular, um programa habitacional que tinha seus recursos acumulados pelo Instituto de Aposentadoria e Pensões (Bonduki, 1994). Porém, como as habitações eram integralmente subsidiadas, viu-se que a quantidade de recursos seria um entrave para a continuação do programa (Azevedo e Andrade, 2011).

Em 1964 com a criação do Banco Nacional de Habitação, mais conhecido como BNH, o modelo para políticas de habitação social voltou a funcionar, porém como nome já diz, tratava-se de um banco que financiava as obras. Esta política teve um melhor aproveitamento que a primeira citada, e embora os recursos fossem destinados as todas as faixas sociais, e visava atender, principalmente as classes de baixa renda, das unidades financiadas somente 35% foram destinadas às famílias com rendimentos mensais abaixo de 5 salários-mínimos (Azevedo e Andrade, 2011). O PMCMV lançado pelo governo federal em 2009 é também um programa habitacional nos moldes do BNH. Segundo Silva e Tourinho (2015), os dois modelos de políticas públicas têm os mesmos moldes e apresentam algumas semelhanças, inclusive nas faixas sociais atendidas. Uma vez que os programas iniciaram com o intuito de abastecer com moradias a população que tinha uma renda mensal entre 1 e 3 salários-mínimos, e com a considerável inadimplência nesse grupo de pessoas, os investimentos nesse setor diminuíram e as ações foram mais centralizadas nas familiar de classe média (Azevedo; Andrade, 2011).

O programa habitacional em vigor atualmente é o chamado PCVA, o sucessor do PMCMV. Uma das maiores críticas a este projeto é que embora ele dê continuidade ao programa anterior, apenas alterou o nome sem corrigir os antigos problemas (Ferreira, 2020).

2.4.1 Programas Minha Casa Minha Vida e Casa Verde e Amarela

Neste item será apresentado um panorama do déficit habitacional brasileiro e a situação do desempenho térmico das edificações do PMCMV e PCVA.

Lançado em 2009, o PMCMV previa a instrumentação para a contenção do déficit habitacional brasileiro dividindo as habitações em três faixas, sendo a faixa 01 destinada às HIS, e as faixas 02 e 03 destinadas às famílias de renda média, variando somente as faixas de ganhos em relação ao salário-mínimo brasileiro (Meylan, 2019; Shimbo, 2016).

Com o aumento da demanda de habitações para as pessoas de baixa renda (faixa 01), os grandes grupos da construção civil brasileira (empreitas e incorporadoras) tiveram um alinhamento nos anos 2000 para a produção desta

tipologia habitacional mudando, muitas vezes, o foco de público-alvo desses grupos (Shimbo, 2016).

Em uma visão econômica da ligação público privada na construção dessas moradias, a visão além do lucro leva à indicação de alguns pontos relevantes a serem refletidos, como a produção em larga escala principalmente na faixa das HIS, e a padronização de projetos para todas as unidades federativas. Esses pontos tornam-se relevantes, pois não consideram os aspectos físico-ambientais em um país de larga escala que possui climas distintos com características distintas (Meylan, 2019; Porcionato, 2016).

Em sua tese, Shimbo (2010) trouxe a referência de uma empresa que exemplifica a padronização das edificações em todas as regiões do Brasil. Em seu portfólio a empresa apresentava três tipologias diferentes de edificações, uma para cada faixa econômica do programa, destacada na **Figura 2.12** está a tipologia destinada a faixa 01 do PMCMV, sendo que a empresa realizou suas obras em mais de setenta cidades brasileiras de quatorze estados brasileiros, o que de fato caracteriza a padronização das unidades habitacionais no país.

Figura 2.12 - Habitação de Interesse Social



Fonte: Shimbo, 2010

Outro fator importante é o surgimento de manifestações patológicas relacionadas à utilização de materiais de baixa qualidade e que são um problema recorrente nesse tipo de edificação podendo, muitas vezes, afetar o desempenho estrutural e de segurança aos moradores (Carvalho et al., 2020).

2.4.2 Faixas de Renda

A categorização da renda de um indivíduo ou de uma família em faixas é de suma importância para a análise da distribuição econômica de uma população, auxiliando na avaliação do acesso a bens essenciais, como a habitação. Atualmente, o PMCMV é estratificado em três faixas de renda, conforme ilustrado na **Figura 2.13**. Nessa classificação, os beneficiários pertencentes à faixa 1 podem ser contemplados com unidades habitacionais subsidiadas pelo governo federal (Brasil, 2023).

Figura 2.13 - Classificação da Renda Familiar para o PMCMV

Faixas	Renda Familiar (Bruta)	
	Áreas Urbanas (mensal)	Áreas Rurais (anual)
Faixa 1	Até R\$ 2.640,00	Até R\$ 31.680,00
Faixa 2	De R\$ 2.640,01 à R\$ 4.400,00	De R\$ 31.680,01 à R\$ 52.800,00
Faixa 3	De R\$ 4.400,01 à R\$ 8.000,00	De R\$ 52.800,01 à R\$ 96.000,00

Fonte: Brasil, 2023

Os valores dos imóveis variam de acordo com o porte da cidade em que a edificação será construída. Em linhas gerais, as habitações subsidiadas que atendem à faixa 1 podem ter um valor de até R\$ 170.000,00. Para as habitações financiadas, as faixas 1 e 2 permitem imóveis de até R\$ 264.000,00, enquanto a faixa 3 contempla habitações com valores de até R\$ 350.000,00 (Brasil, 2023).

2.4.3 Déficit habitacional brasileiro

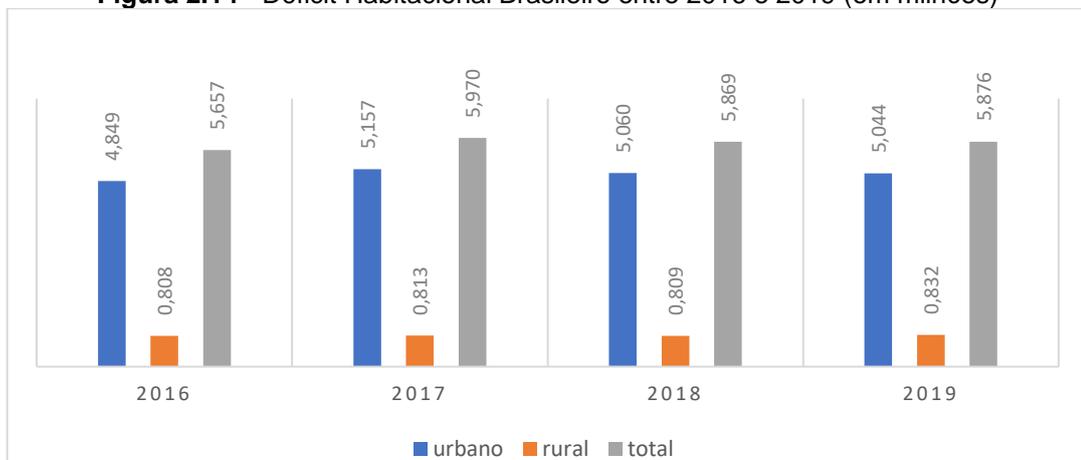
O déficit habitacional está relacionado à falta de habitações para famílias, este número pode estar ligado às pessoas que não possuem condições de obter uma moradia por sua baixa renda, à moradores de habitações em condições precárias ou ainda àqueles que pagam aluguel acima de 30% de sua renda total ou vivem em coabitação familiar forçada (FJP, 2012).

A criação do PMCMV teve como incentivo criar mecanismos para a diminuição do déficit habitacional brasileiro. As famílias de baixa renda representam a maior

parcela na falta de moradia, sendo assim, a primeira fase do PMCMV foi destinada a essa população tendo como expectativa a redução de 14% no déficit habitacional de cidades com menos de cem mil habitantes (Ramos e Noia, 2016).

Segundo a FJP (2012), no ano de 2009 o déficit habitacional brasileiro era estimado em 5,089 milhões, considerando os dados do **Figura 2.14** que considera os últimos quatro anos registrados pela Fundação João Pinheiro (FJP), observa-se os números referentes ao déficit se mantiveram constantes.

Figura 2.14 - Déficit Habitacional Brasileiro entre 2016 e 2019 (em milhões)



Fonte: Elaborado pelo autor, com dados da FJP, 2021

Desta forma, com déficit habitacional ainda alto, são necessários políticas públicas que estimulem a utilização de estratégias que visam a diminuição do consumo energético nas edificações, pois a construção de novas edificações necessitaria de um aumento da produção energética do país, considerando que cerca de 30% da energia utilizada é destinada ao uso residencial (EPE, 2020). A solução para este fato é estimular uma melhora no desempenho das edificações habitacionais (Assis et al., 2007).

2.4.4 Estratégias bioclimáticas e desempenho térmico das edificações de interesse social do PMCMV e do PCVA

Este tópico busca fazer uma abordagem sobre alguns estudos realizados acerca do uso de estratégias bioclimáticas e do desempenho térmico de edificações de Interesse Social, em especial do PCVA, e pela quantidade de casos existentes, das edificações que fazem parte do PMCMV.

As habitações desenvolvidas pelos programas habitacionais brasileiros uma premissa de serem edificadas de forma padrão no país todo. Levando em consideração a extensão territorial do Brasil, que possui oito zonas bioclimáticas diferentes, fica o questionamento quanto à qualidade dos projetos adotados. O apanhado geral identificado no estudo de Bavaresco et al. (2021), verificou que a falta do uso de estratégias bioclimáticas por essas edificações resultou em habitações com um baixo desempenho térmico. Aspectos como abertura para iluminação e ventilação, orientação solar, material empregado na cobertura e na envoltória são algumas das estratégias que se usadas poderiam melhorar de forma significativa o desempenho das edificações. Para que isso aconteça de forma simples e eficaz, a normatização é fundamental, uma vez que ela estabelece os parâmetros para que a edificação busque atender aos requisitos mínimos de conforto.

Com o intuito de fomentar edificações que reduzam os impactos ambientais, a Caixa Econômica Federal (CEF) lançou em 2010 o seu programa de sustentabilidade Selo Azul, que fomenta, dentre outros aspectos, o projeto e o conforto e a eficiência energética (John e Prado, 2010).

No capítulo destinado a projeto e conforto são recomendadas ações de projeto desde a relevância do entorno da edificação à aplicação de soluções bioclimáticas. Utilizando como base a NBR 15575 – partes 4 e 5 – apresenta diretrizes para paredes e coberturas, utiliza a NBR 15520 para as diretrizes bioclimáticas e alguns critérios mostrados são iluminação natural, adequação e flexibilidade do projeto, paisagismo eficiente e adequação à topografia do terreno. Para a zona bioclimática 3, a recomendação é de uma insolação seletiva na qual no verão a entrada de sol deve ser bloqueada e no inverno permitida (John e Prado, 2010).

A utilização das soluções bioclimáticas pode gerar um conforto maior, em relação as edificações convencionais utilizadas, nos usuários durante a utilização da edificação, diminuindo os custos com aquecimento e resfriamento dela. Desta forma, além de um melhor aproveitamento do usuário em HIS, como consequência há uma redução na emissão dos gases causadores do efeito estufa (John e Prado, 2010).

Quando as estratégias passivas não forem o suficiente para atingir o mínimo de conforto para minimizar os gastos de energia, o Selo Casa Azul da CEF também recomenda a implantação de estratégias para tornar as edificações mais eficientes na conservação de energia. Entre as estratégias citadas estão a recomendação de

equipamentos mais eficientes e fontes de energia alternativa (solar, eólica ou gás). Desta maneira, a obtenção do selo casa azul faz com que o financiamento da edificação tenha descontos nos juros conforme o nível alcançado que pode ser bronze, prata ou ouro (John e Prado, 2010).

Oliveira (2012) estudou o desempenho térmico de uma HIS para a zona bioclimática 2 que atendesse às especificações mínimas do PMCMV. Para isso, foram definidas as propriedades térmicas indicadas pela NBR 15220-3, e foram realizadas simulações computacionais para analisar o desempenho térmico. Os resultados demonstram que os limites definidos pela NBR 15220 com relação ao atraso térmico e ao fator de calor solar não são justificáveis, e que o aumento do atraso térmico e da absorvância solar são benéficos para o conforto térmico no interior da edificação para zona bioclimática em estudo, onde predominam as situações de desconforto por frio.

Desta forma, conforme a **Figura 2.15**, foram simuladas duas orientações solares para a cobertura, constatando uma diminuição de 179 graus hora de aquecimento para a orientação norte-sul em relação a orientação leste-oeste (Oliveira, 2012).

Figura 2.15 - Orientação das Coberturas



Fonte: Oliveira, 2012

O trabalho desenvolvido por Dalbem (2018) utilizou o projeto elaborado por Oliveira (2012) para verificar a viabilidade financeira para a aplicação de soluções que atendem a NBR 15575 e para chegar ao nível A de classificação conforme RTQ-R e utilizando de elementos da Passive House² em HIS nas zonas bioclimáticas 1, 2 e 3 do sul do Brasil. Os resultados obtidos foram uma melhora no desempenho térmico da edificação em todas as zonas bioclimáticas estudadas, porém utilizando das

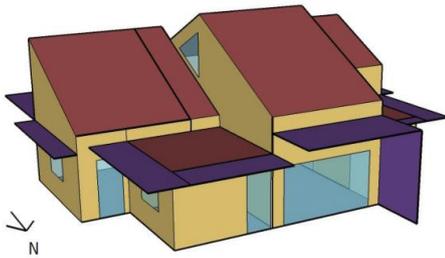
² *Passive House* é um conceito construtivo desenvolvido na Alemanha na década de 1990, que alia o conforto hidrotérmico com o baixo consumo de energia (Vettorazzi, 2019).

soluções que atendem a RTQ-R o investimento adicional seria entre 26% e 27%, desta maneira somente a ZB1 e ZB2 tiveram o investimento validado e considerando elementos da Passive House o investimento está entre 39% e 42% onde somente a ZB2 apresenta uma viabilidade financeira considerando a vida útil da edificação.

No trabalho desenvolvido por Seixas (2020) foi utilizada a mesma edificação dos trabalhos de Oliveira (2012) e Dalbem (2018). Foram feitas simulações aplicando espuma vítrea em alguns elementos de fechamento da edificação como paredes e coberturas, para as zonas bioclimáticas 1, 2 e 3 brasileiras. Assim, os modelos que possuíam a aplicação do material na cobertura e na parede ao mesmo tempo tiveram um desempenho térmico acentuado destacando um melhor comportamento na zona bioclimática 1, com uma redução maior do consumo em relação ao caso referência, onde houve um aumento percentual de conforto de 9,23%.

Em 2006 foi desenvolvida a Casa Eficiente em Florianópolis pela Universidade Federal de Santa Catarina, com seus colaboradores do LabEEE e com apoio da ELETROSUL e ELETROBRA/PROCEL Edifica. A casa utiliza de sistemas de aproveitamento de ventilação e luz natural, aproveitamento de luz solar conforme **Figura 2.16**, redução do impacto ambiental pelo uso eficiente da água (Lamberts et al., 2010).

Com o intuito de comprovação dos benefícios obtidos por esta tipologia de construção foram realizadas simulações para comparação dos itens abordados na concepção de projeto. Foram simulados dez modelos de edificações, sendo o primeiro modelo identificado como o de padrões construtivos comumente empregados, adicionando-se alguma estratégia utilizada a cada modelo subsequente, desta forma o modelo dez é o equivalente ao projeto real (Lamberts et al., 2010). Nesse comparativo, observou-se uma redução de luz artificial de 89% em relação ao caso referência, exceto o modelo 2 que obteve 76%. No inverno houve uma redução superior a 86% na somatória de graus hora para aquecimento, exceto no quarto do casal que chegou a 50% de redução (Lamberts et al., 2010). Também foi realizado um comparativo de medições *in loco* e comparado com as simulações, onde houve algumas diferenças nas temperaturas com erros máximos de média 1,6 °C nos ambientes. As simulações feitas apresentaram um resultado em que o nível de desconforto externo foi 25 vezes maior que o desconforto interno, mostrando assim, uma vantagem na implantação dos sistemas (Lamberts et al., 2010).

Figura 2.16 - Casa Eficiente

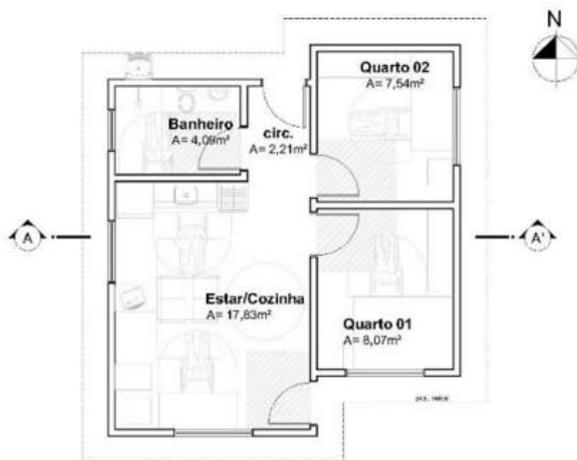
Modelo utilizado para simulação



Edificação construída

Fonte: Lamberts et al., 2010

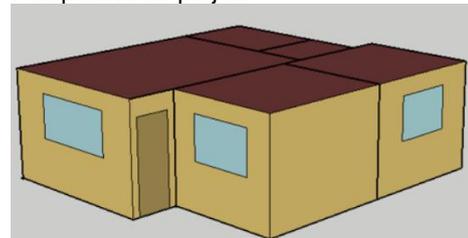
Outro estudo importante de ser citado é o “Eficiência Energética no Desenvolvimento Urbano Sustentável” (EEDUS), desenvolvido em parceria com Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE), Secretaria Nacional da Habitação (SNH) do Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR) e o *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ). O projeto teve como objetivo a melhoria da eficiência energética em HIS no Brasil, com foco nas modalidades da Faixa 1 do PMCMV. O estudo adotou três projetos representativos, sendo uma casa unifamiliar térrea (**Figura 2.17**), uma casa geminada (**Figura 2.18**), e um edifício de planta “H” com quatro pavimentos (**Figura 2.19**) (Lamberts et al., 2020b).

Figura 2.17 - Tipologia casa unifamiliar térrea

Planta Baixa



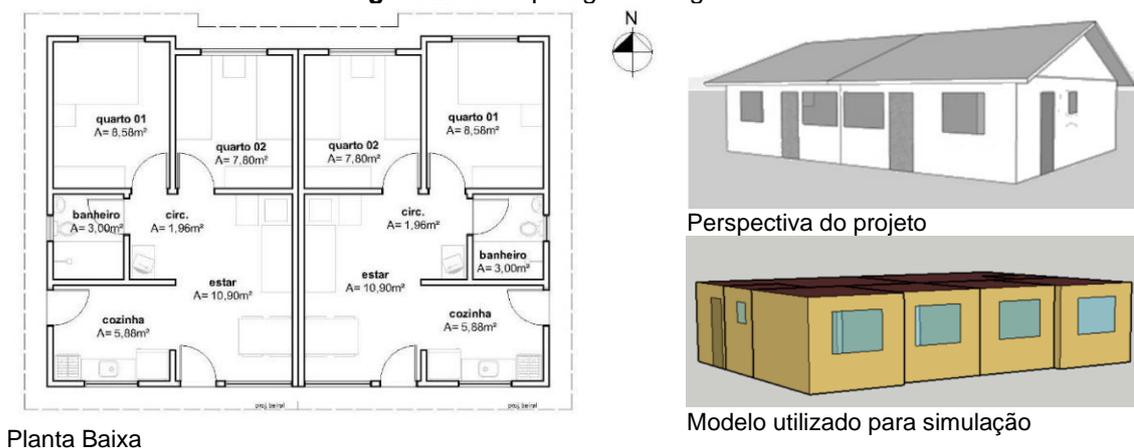
Perspectiva do projeto



Modelo utilizado para simulação

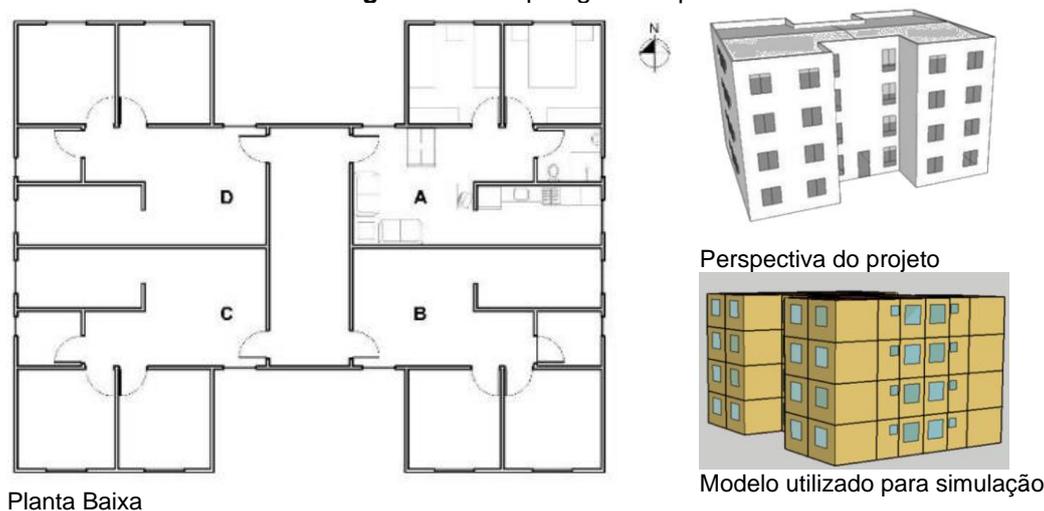
Fonte: Adaptado de Lamberts et al., 2020d

Figura 2.18 - Tipologia casa geminada



Fonte: Adaptado de Lamberts et al., 2020d

Figura 2.19 - Tipologia com planta "H"



Fonte: Adaptado de Lamberts et al., 2020d

Para cada projeto representativo foram adotadas estratégias como a mudança de orientação, variação na absorvância solar das paredes, modificação de materiais de parede e cobertura, mudança de pé direito, entre outras. Posteriormente foram feitas simulações computacionais comparativas com o caso base com todas essas estratégias analisadas separadamente, para analisar a eficiência energética de cada estratégia. Na edificação unifamiliar para a zona bioclimática 3, todas as configurações de telhado, paredes e esquadrias superaram o caso base, com destaque na cobertura para a verde extensiva com o melhor resultado entre todas as configurações, a parede de concreto 10 cm com isolante e a esquadria com percentual de elementos transparentes de 23%, FV 0,90 veneziana, além da utilização de cores claras, onde houve uma melhora nas simulações realizadas (Lamberts et al., 2020c).

Nesse estudo, também foram analisados os custos das medidas de eficiência energética relacionado com os custos na vida útil da edificação, sendo que na comparação com o caso base os custos com paredes duplas de tijolo e com bloco celular foram as que mais apresentaram custo. Nas coberturas houve uma maior similaridade entre os preços dos diferentes tipos e as esquadrias com fator de ventilação com um custo 90% maior que o caso base apresentam a maior diferença de custo (Lamberts et al., 2020d).

E para finalizar a pesquisa foram levantados os custos operacionais ao longo do ciclo de vida da edificação. Na zona bioclimática 3, na tipologia unifamiliar, em alguns casos o custo no ciclo de vida é maior no caso base. Os custos iniciais do caso base são de R\$ 41.000,00 e os casos otimizados apresentam valores entre R\$ 44.000,00 a R\$ 53.000,00 tendo um custo inicial muito similar e com um desempenho maior, aliados a um conforto do usuário e economia ao longo do ciclo de vida (Lamberts et al., 2021). No ANEXO A – DIRETRIZES GEOMÉTRICAS E CONSTRUTIVAS DA TIPOLOGIA UNIFAMILIAR INDICADAS PELO ESTUDO PARA A ZONA BIOCLIMÁTICA 3 estão as diretrizes geométricas e construtivas da tipologia unifamiliar indicadas pelo estudo para a zona bioclimática 3.

2.4.5 Avaliação pós-ocupacionais (APO) de habitações de interesse social (HIS) dos programas habitacionais brasileiros

A implementação de edificações por meio de programas habitacionais surgiu com a intenção de mitigar o déficit habitacional, especialmente nas famílias de baixa renda. No entanto, é fundamental a busca por habitação de qualidade para proporcionar maior conforto a essas famílias. A utilização de projetos e especificações construtivas padronizadas para Habitações de Interesse Social (HIS) em diferentes regiões climáticas brasileiras frequentemente resulta em desconforto ambiental e, em alguns casos, desperdício de recursos devido a elementos mal especificados (Bortolli e Villa, 2020).

Alguns conjuntos habitacionais já construídos foram objeto de estudos de Avaliação Pós-Ocupacional (APO), que consistem na avaliação das edificações já ocupadas. Essa avaliação oferece uma melhor compreensão das necessidades e benefícios das edificações para os usuários (Santos, Camargo, 2020). Para analisar a implementação dos programas habitacionais brasileiros, o estudo de Abiko e

Ornstein (2002) apresenta conjuntos habitacionais construídos por meio de mutirões organizados pela prefeitura local, como os conjuntos habitacionais Primeiro de Maio e Planalto II em Ipatinga - MG, e o conjunto Narandiba em Salvador na Bahia, na época do Banco Nacional de Habitação (BNH).

Esses empreendimentos enfrentam problemas semelhantes, relacionados principalmente a ambientes pequenos, materiais de baixa qualidade, falta de revestimentos em pisos externos e questões com esquadrias internas para os ambientes (Abiko e Ornstein, 2002). O estudo de Peruzzo (2008) realizou uma APO sobre o conjunto Residencial Dom Afonso JB, localizado em Palhoça – SC, financiado pelo governo federal por meio do Programa de Arrendamento Residencial. As maiores reclamações nesse conjunto habitacional referem-se às dimensões dos cômodos das residências e à falta de isolamento de ruídos, sendo também mencionada a utilização de materiais de baixo custo, embora não haja menção ao desconforto térmico (Peruzzo, 2008).

No caso do Residencial Sucesso, localizado em Uberlândia – MG, construído durante a implementação do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) na cidade e compreendendo um total de 3.632 unidades habitacionais, os usuários expressaram preocupação com o desconforto causado pelo calor no período da primavera-verão. As principais causas desse desconforto estão relacionadas às características protetoras ao projeto moderno e às reformas e ampliações realizadas, que obstruem janelas (Bortolli e Villa, 2020).

Esses estudos demonstram a importância de considerar não apenas a quantidade de habitações construídas, mas também a qualidade e o conforto oferecidos aos moradores, especialmente nas condições climáticas diversas do Brasil.

2.5 Simulação Computacional em Habitação de Interesse Social

A simulação computacional no Brasil, assim como na maioria dos países é amplamente utilizada nas instituições de ensino. Várias pesquisas já se utilizaram de análise computacional, mas o que se nota é a ausência de normas mais qualificadas para a utilização de dados que garantam um conforto ao edifício depois de pronto (Mendes, 2008).

Programas de simulação computacional permitem modelar de forma detalhada a geometria da edificação, prever o impacto da radiação sobre aberturas, os níveis de iluminação natural, o comportamento do campo de vento no entorno e a pressão incidente em suas superfícies, incorporar características termofísicas dos materiais construtivos, definir as rotinas de ocupação, tipos de equipamentos e os sistemas para resfriamento e aquecimento utilizados, entre outros aspectos (Viana, Leite E Nazareth, 2019, p.1063).

A escolha do programa é um passo importante para que se obtenha um resultado fidedigno com a realidade, já que a simulação computacional é uma simplificação da realidade, de forma que os parâmetros a serem inseridos no programa devem ser criteriosos criando resultados mais precisos possíveis com a realidade (Vettorazzi, 2019). A NBR 15575 parte 1, traz em seu item 11.4.1 quais as características necessárias para a utilização de um programa de simulação energética, conforme a ABNT, (2021, p.20):

O programa de simulação computacional deve ser capaz de estimar as variações da temperatura operativa, das cargas térmicas de refrigeração e de aquecimento e do uso da ventilação natural na UH, definidos separadamente em 8760 h ao longo do ano, considerando as variações horárias de ocupação, de potência de iluminação e de equipamentos.

Além destes requisitos o programa deve atender item conforme a **Tabela 2.5**

Tabela 2.5 - Características do programa de simulação computacional conforme NBR 15575
Estar de acordo com a ASHRAE 140, segundo o procedimento de teste da Classe I;
Modelar efeitos de inércia térmica;
Modelar trocas de calor entre a edificação e o solo;
Calcular cargas térmicas latente e sensível;
Ser capaz de simular o sombreamento proveniente de elementos externos às zonas térmicas, como brises, sacadas e entorno;
Ser capaz de simular os efeitos da ventilação cruzada em um ambiente, ou entre dois ou mais ambientes.

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021

O programa computacional mais utilizado no mundo para o processo de simulação do desempenho energético de edificações é o *EnergyPlus* (EP), trata-se de um programa desenvolvido pelo departamento de energia americano com o intuito de

simular cargas térmicas e análises de eficiência energética em edificações, conforme sua geometria e materiais de construção. Para tal, o programa é de código aberto e qualquer interessado poderá baixar o software desde que esteja ciente dos termos indicados pelos proprietários da licença (Crawley et al., 2000).

Por seguir todos os critérios necessários na NBR 15575 (ABNT, 2021a) e da INI-R, e por ser um dos programas mais completos e de código aberto, para este trabalho o programa computacional utilizado será o EP. Como a dificuldade do programa é a modelagem, que através do programa deve ser por coordenadas cartesianas, neste trabalho será o utilizado o Open Studio que juntamente como programa Sketchup são ferramentas que trabalham em cooperação com o EP, mas sua interface facilita a modelagem da geometria.

2.5.1 NBR 15575 e o critério para simulação computacional

Em 2013, entra em vigor a NBR 15575, e com uma atualização em 2021, a norma esta que estabelece o Desempenho Mínimo de Edificações Habitacionais. Entre os diversos critérios de análise de desempenho destaca-se o térmico, que avalia as características termo físicas de uma edificação, considerando a sua zona bioclimática. Para esta avaliação a norma estabelece dois métodos, o simplificado que é o atendimento a pré-requisitos da envoltória e ainda o método de simulação computacional (Veiga et al., 2020).

Em 2021, com a atualização da norma, no método de simulação computacional é avaliado o desempenho térmico anual da envoltória, sendo necessário nesse procedimento a elaboração de dois modelos, Real e Referência. Desta maneira, o modelo Real é aquele que propõe a edificação Real conservando suas propriedades térmicas e as composições dos elementos construtivos, já o modelo de Referência é aquele em que a modelagem da edificação é a mesma do Real, porém suas características térmicas e construtivas devem seguir um modelo referencial conforme a norma estabelece (ABNT, 2021).

Para o atendimento mínimo da norma, os modelos devem ser simulados somente com uso de ventilação natural nas áreas de permanência prolongada (APP), já para os níveis intermediário e superior devem ser simulados com e sem o uso de ventilação natural. Para o início das simulações com ventilação natural, deve ser

determinado o percentual de horas de ocupação das APP dentro de uma faixa de temperatura operativa ($PHFT_{APP}$), e de acordo com o clima local está temperatura pode estar nos intervalos de 18°C a 26°C, até 28°C e até 30°C (ABNT, 2021).

Considerando que este trabalho analisa a zona bioclimática 3, a norma estabelece que determinando a temperatura operativa anual máxima de cada APP ($TomáX_{APP}$) para os períodos de ocupação, também se deve determinar temperatura operativa anual mínima ($Tomín_{APP}$). Com os valores de $PHFT_{APP}$, $TomáX_{APP}$ e $Tomín_{APP}$, definidos para cada um das APP da unidade habitacional (UH), deve-se determinar o $PHFT_{UP}$, $TomáX_{UP}$ e $Tomín_{UP}$.

Para determinar o intervalo em que as temperaturas internas da edificação devem estar é necessário identificar por meio da média anual da temperatura externa de bulbo seco (TBS_m) do arquivo climático utilizado. Para este trabalho foi utilizado o arquivo EPW³, disponibilizado pelo INMET (2018), onde foi constatado uma TBS_m de 21,5°C. Desta forma, Foz do Iguaçu se enquadra no primeiro intervalo indicado por TBS_m menor que 25°C, determinando uma faixa operativa entre 18°C e 26°C. Para determinar o nível de atendimento à norma, pelo Percentual de horas de ocupação da UH dentro da faixa de temperatura operativa ($PHFT_{UH}$), é determinado conforme **Tabela 2.6**, onde o nível mínimo é atendido, se ao longo de um ano nos períodos de ocupação as APP, $PHFT_{UH,real}$ for superior 90% sobre $PHFT_{UH,ref}$.

Tabela 2.6 - Critério de avaliação de desempenho térmico da envoltória quanto ao $PHFT_{UH}$

Nível de Desempenho	Critério
Mínimo (M)	$PHFT_{UH,real} > 0,9.PHFT_{UH,ref}$
Intermediário (I)	$\Delta PHFT^a \geq \Delta PHFT_{mín}^b$
Superior (S)	$\Delta PHFT \geq \Delta PHFT_{mín}$

^a $\Delta PHFT$ é o incremento do $PHFT_{UH,real}$ em relação ao $PHFT_{UH,ref}$.
^b $\Delta PHFT_{mín}$ é o incremento mínimo do $PHFT_{UH,real}$ em relação ao $PHFT_{UH,ref}$, com valor obtido pela Tabela 20, para o nível intermediário, e pela Tabela 21, para o nível superior.

Fonte: ABNT, 2021

Outro critério determinante para o atendimento à norma são as Temperaturas Operativas Anuais máxima e mínima da UH ($TomáX_{UH}$ e $Tomín_{UH}$). Assim, para atendimento à norma, a $TomáX_{UH,real}$ deve ser menor ou igual à obtida pelo modelo de Referência, somado ainda um valor de tolerância, conforme a Equação 1.

³ EPW é formato de arquivos desenvolvidos para o programa *energyplus* (SCHELLER *et al.*, 2015).

$$Tomá_{UH,real} \leq Tomá_{UH,ref} + \Delta Tomá$$

Equação 1

Onde:

- $Tomá_{UH,real}$ é a temperatura operativa anual máxima da UH no modelo Real, expressa em graus Celsius (°C);
- $Tomá_{UH,ref}$ é a temperatura operativa anual máxima da UH no modelo de Referência, expressa em graus Celsius (°C);
- $\Delta Tomá$ é o valor de tolerância da temperatura operativa anual máxima, expressa em graus Celsius (°C).

Para edificações térreas unifamiliares e multifamiliares localizadas no pavimento de cobertura o valor de tolerância é igual a 2°C, para edificações multifamiliares no térreo ou pavimento tipo o valor de tolerância é 1°C.

Para a temperatura operativa anual mínima, os valores devem ser maiores ou iguais aos modelos de Referência com a adição do valor de tolerância conforme a Equação 2.

$$Tomín_{UH,real} \geq Tomín_{UH,ref} + \Delta Tomín$$

Equação 2

Onde:

- $Tomín_{UH,real}$ é a temperatura operativa anual mínima da UH no modelo Real, expressa em graus Celsius (°C);
- $Tomín_{UH,ref}$ é a temperatura operativa anual mínima da UH no modelo de Referência, expressa em graus Celsius (°C);
- $\Delta Tomín$ é o valor de tolerância da temperatura operativa anual mínima, expressa em graus Celsius (°C)
- Para todas as edificações o valor de tolerância é igual a 1°C.

O último critério analisado se aplica apenas para os níveis intermediário e superior, para simulação sem o uso da ventilação natural e se trata da carga térmica total da UH ($CgTT_{UH}$), o qual é resultado da avaliação individual de cada APP para as cargas térmicas de refrigeração ($CgTR_{APP}$), e aquecimento ($CgTA_{APP}$). Para o intervalo 1 determinado para este estudo, os valores para cálculos de refrigeração começam

quando a temperatura operativa for maior ou igual a 26°C e de aquecimento quando a temperatura operativa for menor ou igual a 18°C (ABNT, 2021).

Para a utilização de modelos sem o uso de ventilação natural, deve ser considerado um sistema de cálculo com carga térmica que opere sem perda de energia para a retirada de calor da APP, assim o setpoint de refrigeração deve ser acionado com uma temperatura de 23°C e quando o ambiente estiver ocupado, da mesma forma para aquecimento, o setpoint é de 21°C e acionado quando ocorrer ocupação (ABNT, 2021).

Como variáveis de saída devem ser solicitadas todas as 8760 variáveis horárias de cada modelo analisado, e devem ser solicitadas as temperaturas operativas horária de cada APP da edificação, e seu $PHFT_{APP}$ deve ser calculado conforme a Equação 3.

$$PHFT_{APP} = \frac{Nh_{FT}}{Nh_{Ocup}} \cdot 100 \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

- $PHFT_{APP}$ é o percentual de horas de ocupação do APP dentro da faixa de temperatura operativa, expresso em porcentagem (%);
- Nh_{FT} é o número de horas em que a APP se encontra ocupada e com temperaturas operativas dentro da faixa de temperatura operativa;
- Nh_{Ocup} é o número de horas em que a APP é ocupada ao longo do ano, 2920 h para salas e 3650h para dormitórios.

Para os modelos sem ventilação natural devem ser solicitados como dados de saída as cargas térmicas de refrigeração ($Cg_{TR_{APP}}$) e para as cargas térmicas de aquecimento ($Cg_{TA_{APP}}$) nos momentos em que o modelo se encontra ocupado e em que a temperatura operativa da APP com ventilação natural encontra-se dentro dos limites estabelecidos (ABNT, 2021).

Como visto anteriormente para a análise das edificações devem ser elaborados dois modelos distintos para a qualificação da UH, o modelo Real é aquele que representa as características fiéis da edificação a ser analisada como materiais, elementos de aberturas, fechamentos, propriedades térmicas dos materiais assim como elementos fixos de fachada quando for o caso (ABNT, 2021). No modelo de Referência a volumetria segue a mesma do modelo Real, porém alguns elementos

são suprimidos como brises, venezianas e sacadas e outros são alterados como as características físicas dos materiais conforme especificado em norma. A ligação com o solo e o entorno da edificação devem ser considerados os mesmos para os dois modelos (ABNT, 2021).

O método de simulação computacional avaliado pela INI-R está descrito em seu anexo C onde ele incorpora todo o processo de simulação desenvolvido para a ABNT 15575-1 (ABNT, 2021a), e no ANEXO B – método de simulação computacional anexo C – ini-R deste trabalho está disponibilizado o anexo em questão (INMETRO, 2021).

2.5.2 INI-R e o critério para simulação computacional

Da mesma maneira que na utilização da NBR15575 (ABNT, 2021a), a INI-R estabelece que sua classificação deve estabelecer um comparativo entre o modelo Real e o modelo de Referência, através do percentual de redução do consumo estimado de energia primária ($RedC_{EP}$). Para a classificação da envoltória são considerados a carga térmica de aquecimento (C_{gTA}) e de refrigeração (C_{gTR}) das APPs, considerando o percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT) e as temperaturas anuais máximas ($T_{om\acute{a}x}$) e mínima ($T_{om\acute{i}n}$). Sendo classificados em A (mais eficiente) e E (menos eficiente) (INMETRO, 2021).

Para a determinação da classificação energética de uma UH deve ser calculado o percentual de $RedC_{EP}$ do modelo Real comparado com o modelo de Referência conforme a Equação 4.

$$RedC_{EP} = \left(\frac{C_{EP,ref} - C_{EP,real}}{C_{EP,ref}} \right) \cdot 100 \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$RedC_{EP}$: percentual de redução do consumo estimado de energia primária da UH;

$C_{EP,ref}$: consumo anual de energia primária da UH no modelo de Referência (kWh/ano);

$C_{EP,real}$: consumo anual de energia primária da UH no modelo Real (kWh/ano).

Para o cálculo da $C_{ep,real}$ (Equação 5) e da $C_{ep,ref}$ (Equação 6) são somados o consumo estimado de energia elétrica e térmica, sendo eles multiplicados por seus referentes fatores de conversão (f_{CE} e f_{CT}). Quando utilizadas fontes de energia renovável, estas devem ser descontadas para o modelo Real e não devem ser consideradas no modelo de Referência.

$$C_{EP,real} = (C_{EE,real} \cdot f_{CE}) + (C_{ET,real} \cdot f_{CT}) - (G_{EE} \cdot f_{CE}) \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

$C_{EP,real}$: consumo anual de energia primária da UH no modelo Real (kWh/ano);

$C_{EE,real}$: consumo anual de energia elétrica da UH no modelo Real (kWh/ano);

$C_{ET,real}$: consumo anual de energia térmica da UH no modelo Real (kWh/ano);

G_{EE} : energia gerada por fontes locais de energia renovável (kWh/ano);

f_{CE} : fator de conversão de energia elétrica em energia primária;

f_{CT} : fator de conversão de energia térmica em energia primária.

$$C_{EP,ref} = (C_{EE,ref} \cdot f_{CE}) \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

$C_{EP,ref}$: consumo anual de energia primária da UH no modelo de Referência (kWh/ano);

$C_{EE,ref}$: consumo anual de energia elétrica da UH no modelo de Referência (kWh/ano);

f_{CE} : fator de conversão de energia elétrica em energia primária.

O consumo de energia elétrica nos dois modelos ($C_{EE,real}$, $C_{EE,ref}$) é dado pela somatória dos consumos para refrigeração (CR), para aquecimento (CA), para aquecimento de água proveniente de energia elétrica (C_{AAE}) e consumo médio dos equipamentos (C_{EQ}), indicado na Equação 7, para o modelo Real e Equação 8 para o modelo de Referência.

$$C_{EE,real} = CR_{UH,real} + CA_{UH,real} + C_{AAE,real} + C_{EQ} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

$C_{EE,real}$: consumo total de energia elétrica da UH no modelo Real (kWh/ano);

$CR_{UH,base}$: consumo anual de energia elétrica para refrigeração da UH no modelo Real (kWh/ano);

$CA_{UH,real}$: consumo anual de energia elétrica para aquecimento da UH no modelo Real (kWh/ano);

$C_{AAE,real}$: consumo do sistema de aquecimento de água proveniente de fontes de energia elétrica da UH no modelo Real (kWh/ano);

C_{EQ} : consumo médio estimado de energia elétrica dos equipamentos (kWh/ano).

$$C_{EE,ref} = CR_{UH,ref} + CA_{UH,ref} + C_{AAE,ref} + C_{EQ} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

$C_{EE,ref}$: consumo total de energia elétrica da UH no modelo Referência (kWh/ano);

$CR_{UH,ref}$: consumo anual de energia elétrica para refrigeração da UH no modelo Referência (kWh/ano);

$CA_{UH,ref}$: consumo anual de energia elétrica para aquecimento da UH no modelo Referência (kWh/ano);

$C_{AAE,ref}$: consumo do sistema de aquecimento de água proveniente de fontes de energia elétrica da UH no modelo Referência (kWh/ano);

C_{EQ} : consumo médio estimado de energia elétrica dos equipamentos (kWh/ano).

O consumo médio dos equipamentos (C_{EQ}) é definido conforme Equação 9 e não leva em consideração o consumo de água quente e de condicionamento de ar que já estão calculados na Equação 9.

$$C_{EQ} = (44,6 + 22,6 \cdot N_{UH}) \cdot 12 \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

C_{EQ} : consumo médio estimado de energia elétrica dos equipamentos (kWh/ano);

N_{UH} : número de habitantes da unidade habitacional.

Para o cálculo de energia térmica do modelo Real ($C_{ET,real}$, Equação 10) e do modelo Referência ($C_{ET,ref}$, Equação 11), é realizada a soma do consumo do sistema de aquecimento de água em energia térmica com o consumo para aquecimento do ambiente por fontes de energia térmica, quando houver.

$$C_{ET,real} = C_{AAT,real} + CA_{T,UH,real} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

$C_{ET,real}$: consumo anual de energia térmica da UH no modelo Real (kWh/ano);

$C_{AAT,real}$: consumo do sistema de aquecimento de água proveniente de fontes de energia térmica da UH no modelo Real (kWh/ano);

$CA_{T,UH,real}$: consumo de energia térmica para aquecimento da UH no modelo real (kWh/ano).

$$C_{ET,ref} = C_{AAT,ref} + CA_{T,UH,ref} \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

$C_{ET,ref}$: consumo anual de energia térmica da UH no modelo de Referência (kWh/ano);

$C_{AAT,ref}$: consumo do sistema de aquecimento de água proveniente de fontes de energia térmica da UH no modelo de Referência (kWh/ano);

$CA_{T,UH,ref}$: consumo de energia térmica para aquecimento da UH no modelo de Referência (kWh/ano).

Com a determinação dos cálculos vistos anteriormente é possível classificar as UH de A mais eficiente até E menos eficiente, conforme **Tabela 2.7**.

Tabela 2.7 - Intervalos das classificações de eficiência energética da UH para a zona bioclimática 3

SAA	ZB	RedCEP (%)				
		Classificação A	Classificação B	Classificação C	Classificação D	Classificação E
Com acumulação	ZB3	RedCEP ≥ 20%	20 > RedCEP ≥ 10%	10 > RedCEP ≥ 0%	0 > RedCEP ≥ -10%	RedCEP > -10%

Sem acumulação	ZB3	Red _{CEP} ≥12%	12>Red _{CEP} ≥6%	6>Red _{CEP} ≥0%	0>Red _{CEP} ≥-6%	Red _{CEP} ≥-6%
-------------------	-----	-------------------------	---------------------------	--------------------------	---------------------------	-------------------------

Fonte: INMETRO, 2021

Comparativamente a INI-R exemplifica sua classificação com o atendimento a NBR15575 (ABNT, 2021a), sendo a classificação A com o nível superior, B com o nível intermediário, classes C e D com o modelo mínimo, se difere as duas classificações (C e D) com os critérios de carga térmica total do modelo Real e ainda com um desempenho insatisfatório para a norma o nível E (INMETRO, 2021).

2.6 Otimização e Pareto Front

A otimização é uma área essencial na ciência, pois visa melhorias em soluções em determinados contextos. Quando se trata de otimização com foco em um único fator, a escolha é relativamente simples. No entanto, ao lidar com múltiplos objetivos, a tomada de decisão torna-se mais complexa. É crucial compreender as soluções mais eficazes para cada problema, conhecido como Pareto-Front, onde melhorar um aspecto implica necessariamente em algum compromisso em outro aspecto (Kalyanmoy, 2011). No contexto de uma análise das soluções, quando não há soluções que dominem as outras, utiliza-se com frequência o Pareto-Front (Vettorazzi, 2019).

O conceito de Pareto-Front é frequentemente utilizado em trabalhos que envolvem simulação computacional com mais de um objetivo. O estudo “Desempenho de edificação residencial no Sul do Brasil sob a ótica energética e econômica: da NBR 15575 à Passive House” de Dalbem (2018) utiliza um algoritmo evolutivo híbrido por meio de uma abordagem multiobjetivo. Esse método permitiu alcançar um conjunto de soluções ótimas, otimizando o consumo de energia para aquecimento e graus-hora de resfriamento. As variáveis consideradas foram a espessura do isolamento térmico e as características das esquadrias.

Outro estudo que se beneficiou do uso de Pareto-Front foi a “*Beyond passive House: use of evolutionary algorithms in architectural design*” de Vettorazzi (2023). No trabalho em questão, foi utilizado o Energy Management System (EMS) com a linguagem de programação Erl (EnergyPlus Runtime Language), com uso de rotinas MATLAB R2018b, que foram programadas para ler e processar os arquivos gerados pelo otimizador. Após essas etapas, as soluções não dominadas foram destacadas e apresentadas na forma gráfica definindo pelo Pareto-Front. Isso possibilitou a criação

de uma curva gráfica que ilustrou as soluções ideais para os resultados obtidos, demonstrando a eficácia dessa abordagem na obtenção de soluções eficientes em problemas com múltiplos objetivos.

2.7 Análise de Custo-benefício

A análise de custo-benefício visa otimizar a utilização de edificações, evitando o dispêndio de recursos financeiros em empreendimentos economicamente inviáveis, seja por parte do usuário ou do Estado. Um desperdício de recursos financeiros pode ocorrer quando uma edificação é onerada sem considerar suas opções econômicas.

No estudo conduzido por Coelho (2021), foi realizada uma análise de custo-benefício comparando dois sistemas construtivos distintos: alvenaria convencional e *light steel frame*, em edificações unifamiliares localizadas nas Zonas de Baixa Densidade (ZB2). A metodologia empregada foi o retorno descontado, avaliando se o retorno do investimento ocorre dentro de um período de 50 anos, considerado a vida útil típica de uma edificação.

Outro estudo relevante foi conduzido por Vaz (2022), que analisou as previsões financeiras da construção de edificações de Alto Desempenho Energético (NZEB), um conceito amplamente difundido na Europa. A abordagem da análise foi o *payback* simples, buscando determinar o período de retorno do investimento.

Além dessas pesquisas, outras contribuições foram apresentadas no trabalho de Dalbem (2018). O estudo realizou uma análise do custo-benefício, considerando não apenas os *paybacks* simples e descontados, mas também os custos relacionados à conservação de energia. Por outro lado, Lamberts et al. (2021) adotaram uma abordagem que incorpora o custo de energia operacional, denominado “custo total no ciclo de vida energética”, levando em conta o consumo de energia da Habitação de Interesse Social (HIS). Esses estudos adicionais enriquecem a compreensão sobre a avaliação do custo-benefício em diferentes contextos e aspectos do ciclo de vida das edificações.

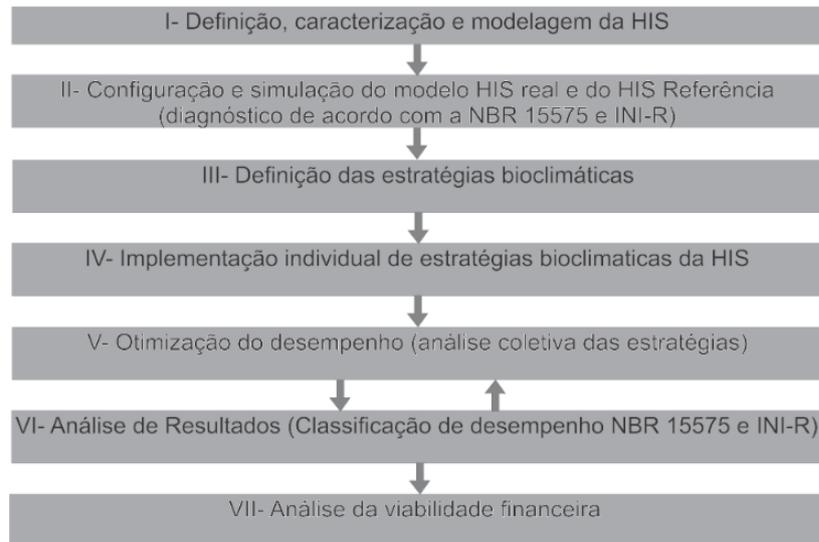
3 MÉTODO

Nesta etapa, definiremos a HIS para a Zona Bioclimática 3, na cidade de Foz do Iguaçu-PR que será utilizada no trabalho. A metodologia foi dividida em 7 etapas. A primeira etapa foi a definição, caracterização da HIS para as simulações. A etapa 2 foi configurar e simular HIS Real e de Referência. Foi utilizado o *software*

EnergyPlus, com o intuito de realizar as simulações, no qual toma como requisitos mínimos os valores estabelecidos pela NBR15575 (ABNT, 2021a), sendo esses os valores base do desempenho térmico e energético. Na etapa 3, as estratégias bioclimáticas a serem utilizadas foram definidas, as quais foram divididas em Diretrizes Geométricas (percentual de aberturas para ventilação natural, uso de ventilação cruzada, controle de incidência solar e orientação solar) e Diretrizes Construtivas (materiais das paredes, materiais da cobertura e materiais dos fechamentos translúcidos). Após a definição das diretrizes construtivas na etapa 4, foi realizado uma análise de sensibilidade dos parâmetros estipulado, onde cada um foi simulado separadamente, a fim de obter um modelo que atendesse os requisitos superior da NBR15575 (ABNT, 2021a), realizando ao todo 10 simulações. Na etapa 5, foi realizada a otimização do modelo, de forma que todos os parâmetros utilizados na etapa 2 foram simulados entre si, realizando um total de 143 simulações, com o objetivo de diminuir o consumo de energia e aumentar o intervalo de temperatura dentro da faixa de conforto. Na etapa 6, foram analisados os resultados e definidos as edificações para uma análise de viabilidade financeira, utilizado na etapa 7, onde foram analisados indicadores econômicos como o custo de energia conservada, *payback* simples e conservado.

A **Figura 3.1** ilustra as sete etapas metodológicas.

Figura 3.1 - Fluxograma de trabalho metodológico

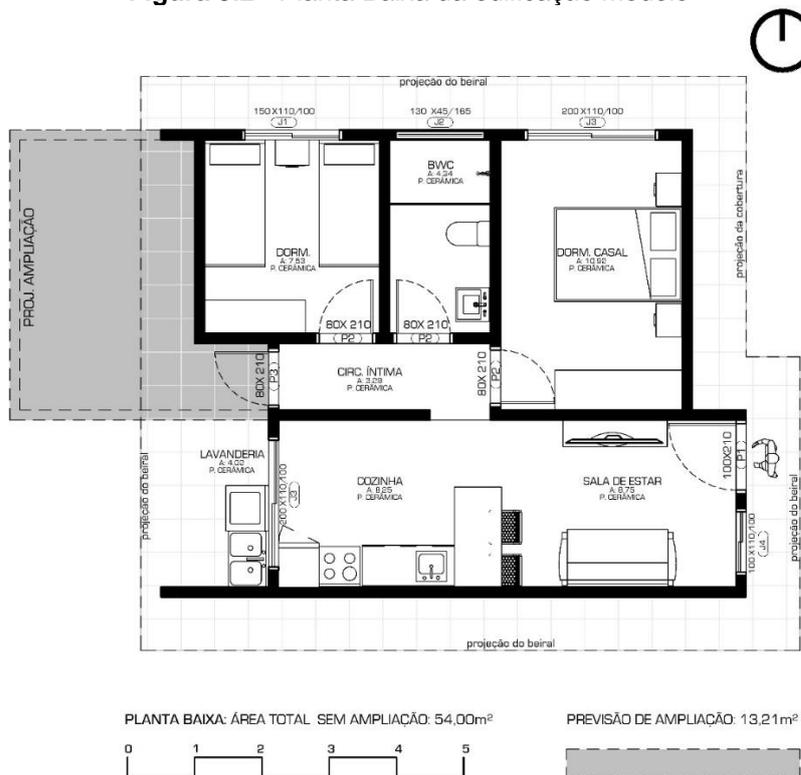


Fonte: O Autor, 2023.

3.1 Etapa I: Definição, caracterização e modelagem da HIS

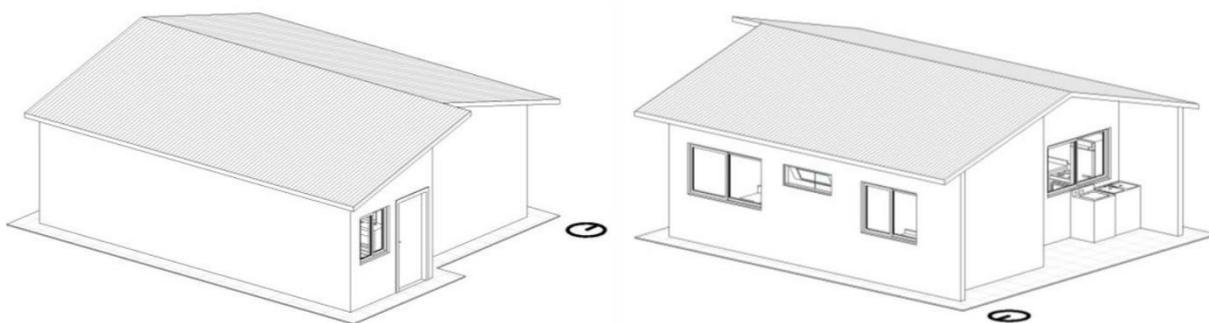
A edificação selecionada para o estudo é uma HIS desenvolvida de acordo com os critérios do PCVA para Foz do Iguaçu por Teixeira (2022) em sua dissertação intitulada “Análise da eficiência termo energética de sistemas de coberturas para o clima subtropical úmido de edificações residenciais em Foz do Iguaçu, Paraná”. Os valores da residência base atende até a faixa 1, para edificações subsidiadas, porém como neste trabalho será utilizado sua forma mais otimizada, os valores podem ser acima dessa faixa. A HIS é uma edificação unifamiliar de pavimento térreo, composta por dois dormitórios, um banheiro, sala de estar integrada com a cozinha e lavanderia externa totalizando uma área de 54 m² e com possibilidades de ampliação para 67,21m² conforme determina a portaria nº 959 de 18 de maio de 2021 que discorre sobre os requisitos para a implementação de empreendimentos para o PCVA. Além disso foram estabelecidos como parâmetros para a composição deste modelo a utilização do Código de Obras de Foz do Iguaçu, cidade objeto de estudo deste trabalho, e ainda, levando em considerações algumas características climáticas como implementação da edificação no eixo Leste-Oeste com maior área de esquadrias voltadas para a orientação norte. A seguir, é apresentada a planta baixa e duas perspectivas **Figura 3.2** e **Figura 3.3**. A planta baixa detalhada está no ANEXO C. A planta é apresentada com uma possibilidade de ampliação conforme é indicado no programa Casa Verde e Amarela, porém esta não será objeto de estudo neste projeto.

Figura 3.2 - Planta Baixa da edificação modelo



Fonte: Teixeira, 2022.

Figura 3.3 - Perspectivas dos Modelo



Fachada Leste (Frontal) - Sul (lateral)

Fachada Oeste (fundos) - Norte (lateral)

Fonte: Teixeira, 2022.

3.1.1 Definição e caracterização da HIS Real

A HIS Real (caso base) será utilizada com a edificação com melhor desempenho no trabalho desenvolvido por Teixeira, (2022). Os resultados do desempenho termo e energético desta edificação aparecem resumidamente na **Tabela 3.1**, e foram incorporados a fim comparativo.

Tabela 3.1 - Resultados do desempenho termo e energético HIS Real

PHFT (%)	Tomax (C°)	Tomin (C°)	CgTR (kWh)	CgTA (kWh)	CgTT (kWh)
71,50%	34,25	12,04	1402,42	319,84	1722

Fonte: Teixeira, 2022

O dimensionamento de janelas foi elaborado conforme o Código de Obras da cidade de Foz do Iguaçu. Para as áreas de permanência prolongada (APP), o Código de Obras estabelece uma relação de 1/6 (17%) de esquadrias em relação à área do ambiente e nos ambientes de permanência transitória (APT) de 1/8 (13%), conforme a **Tabela 3.2** (Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu, 1991).

Tabela 3.2 - Área de esquadrias do projeto

	Ambiente	Área do Piso (m ²)	Área Mínima Janela (m ²)	Área da HIS Real (m ²)	Relação área esquadria/piso (%)
Permanência prolongada 1/6	Dormitório Casal	10,92	1,82	2,20	20,15
	Dormitório 02	7,53	1,25	1,65	21,91
	Sala e Cozinha Integradas	17,00	2,83	3,30	19,41
Permanência transitória 1/8	Banheiro	4,34	0,54	0,58	13,36
	Circulação Íntima	3,15	-/-	-/-	-
	Lavanderia	4,01	-/-	-/-	-

Fonte: Teixeira, 2022

Na **Tabela 3.3**, são mostrados os valores referentes a relação do envelope opaco e com as esquadrias (portas e janelas). Desta forma a orientação sul não possui aberturas, a norte o percentual de aberturas é de 21,62%, a oeste é de 9,82% e a leste é de 4,91%, assim esquadrias representam 9,68% da área total do envelope (88,00m²).

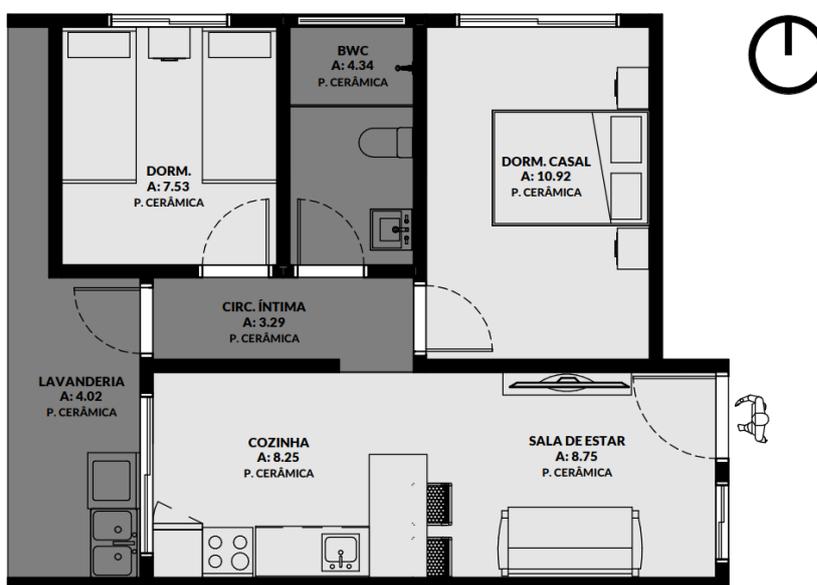
Tabela 3.3 - Área do envelope opaco, esquadrias e percentual de abertura na fachada

	Total	Norte	Leste	Sul	Oeste
Envelope opaco (m ²)	80,26	16,11	19,20	22,66	18,52
Esquadrias (m ²)	7,74	4,44	1,10	0,00	2,20
Área total do envelope (m ²)	88,00	20,54	22,4	22,66	22,40
Percentual de Abertura (%)	9,68	21,62	4,91	0,00	9,82

Fonte: Adaptado de Teixeira,2022

A classificação dos ambientes em Permanência Prolongada (APP), dormitórios, salas de estar, sala de jantar, ou seja, ambientes em que os usuários permanecem por mais tempo na edificação e os ambientes de Permanência Transitória (APT), lavanderia, cozinha, banheiro que são os locais que os usuários permanecem menos tempo durante o uso, permite fazer uma análise dos locais mais utilizados e que sejam passíveis de intervenção, por isso a **Figura 3.4** apresenta essa classificação dos ambiente conforme a NBR 15575 (ABNT, 2021c).

Figura 3.4 - Classificação dos ambientes conforme NBR 15575-1



LEGENDA - CLASSIFICAÇÃO DOS AMBIENTES

- APP - Ambiente de Permanência Prolongada
- APT - Ambiente de Permanência Transitória

Fonte: Teixeira, 2022

Para as vedações, os materiais foram os utilizados por Teixeira (2022), que foi desenvolvido por meio de uma entrevista com responsável pelo setor de planejamento urbano da Prefeitura de Foz do Iguaçu, estes materiais foram comparados com os

parâmetros utilizados na NBR 15220 (ABNT, 2005) e especificados neste trabalho conforme a

Tabela 2.2 e constatados que os materiais correspondiam aos parâmetros indicados.

Para as paredes externas e internas foram utilizados blocos cerâmicos de 9x14x19 de 6 furos com reboco de 2,5 cm em cada uma das faces, e absorvância térmica de 0,2 que corresponde branca.

A cobertura tem seus materiais conforme **Tabela 3.4**, que possui uma resistência térmica total de 1,83 m²/W.k, sua transmitância térmica é de 0,54 W/(m².K) e sua capacidade térmica é de 350 KJ/(m².K), ainda foi utilizada uma absorvância de 0,4, e laje piso foi configurado conforme **Tabela 3.5**.

Tabela 3.4 – Composição da cobertura

Elementos	e	R _{Total}	U	CT _{Total}	α
	m	M ² /WK	W/m ² K	kJ/m ² K	
Telha Termoacústica	0,030				
Manta Aluminizada	0,002				
Câmara de ar	>0,05	1,83	0,54	350	0,40
Forro de PVC	0,006				

e=espessura; λ=Condutividade Térmica; ρ: Densidade de massa aparente; c: Calor Específico; R: Resistência Térmica; U: Transmitância Térmica; CT: Capacidade Térmica.

Fonte: Adaptado de Teixeira, 2022

Tabela 3.5 – Composição da laje de piso

Elementos	e	λ	ρ	c	R _{Total}	U	CT _{Total}
	m	W/mK	kg/m ³	kJ/kgK	M ² /WK	W/m ² K	kJ/m ² K
Radier - concreto	0,10	1,75	2200	1			
Argamassa	0,02	1,15	1800	1	0,26	3,86	312
Revestimento Cerâmico	0,01	1,30	2300	0,965			

e=espessura; λ=Condutividade Térmica; ρ: Densidade de massa aparente; c: Calor Específico; R: Resistência Térmica; U: Transmitância Térmica; CT: Capacidade Térmica.

Fonte: Adaptado de Teixeira, 2022

O vidro simples incolor de 3mm foi o utilizado, possui uma transmitância térmica de 5,77 (W/m²K) e fator solar de 0,87, este é vidro padrão do *EnergyPlus* (Teixeira, 2022).

Desta forma a edificação tem seus materiais dispostos conforme a **Tabela 3.6**.

Tabela 3.6 - Resumo das propriedades dos materiais utilizados no Modelo Real

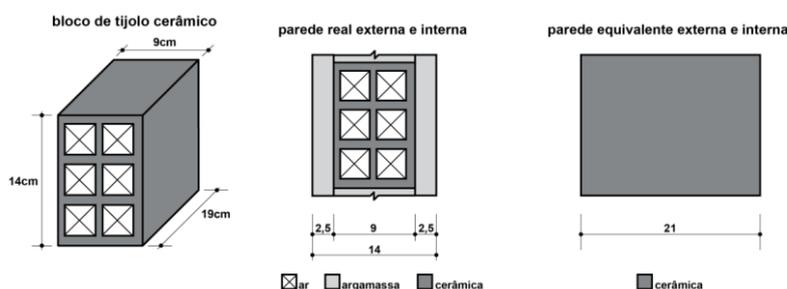
Composição dos Elementos Construtivos da Edificação Modelo Real		RT (m ² /W.k)	U (W/(m ² .K))	CT (kJ/(m ² .K))	α* (adm.)
Sistema de Cobertura	Telha Cerâmica (e= 0,01) Manta aluminizada (e= 0,002) Forro de PVC (e= 0,006)	0,85	1,18	355	0,52
Parede Externa	Argamassa reboco externo (e=0,0025m) Cerâmica (e= 0,09m) Tijolo cerâmico 6 furos (9x14x19) Argamassa reboco interno (e= 0,0025m)	0,40	2,48	158	0,20
Parede Interna	Argamassa reboco interno (e= 0,0025m) Cerâmica (e= 0,09m) Tijolo cerâmico 6 furos 9x14x19 Argamassa reboco interno (e= 0,0025m)	0,49	2,00	158	0,20
Piso Externo	Radier concreto (e= 0,16m) Argamassa piso (e= 0,02m) Cerâmica interna (e= 0,01m)	0,26	3,86	312	0,20
Piso Interno	Radier concreto (e= 0,16m) Argamassa piso (e= 0,02m) Cerâmica interna (e= 0,01m)	0,26	3,86	312	0,20
Aberturas	Portas de Madeira	0,30	3,33	9,24	0,70
	Janelas** vidro simples incolor (3mm)	0,17	5,77	-	0,10

RT= Resistência Térmica; U= Transmitância Térmica; CT= Capacidade Térmica; α*= Absortância à radiação solar;
*tipo de superfície correspondente aos valores: 0,52 = telha cerâmica (nova); 0,2 = pintura ou revestimento branco;
0,7 = cor de madeira; 0,1 = vidro incolor.
**FS = 0,87

Fonte: Teixeira, 2022

Importante frisar que como os materiais serão utilizados no *EnergyPlus*, são necessários alguns ajustes pela forma como o programa calcula as transferências de calor, estabeleceu um modelo de equivalência dos materiais para que se estabeleça um cálculo correto, já que muitos materiais não possuem camadas homogêneas. Desta forma as paredes externas e internas foram simuladas conforme **Figura 3.5**.

Figura 3.5 - Parede externa e interna equivalente



Fonte: Teixeira, 2022

Os cálculos do bloco cerâmico equivalente realizados no trabalho de Teixeira (2022) estão disponíveis no ANEXO D.

3.1.2 Definição e caracterização da HIS Referência

A avaliação de desempenho descrita na NBR15575 (ABNT, 2021a) visa estabelecer um critério objetivo e claro para a implementação de soluções arquitetônicas, uma vez que a utilização de critérios mal utilizados pode ocasionar em resultados imprecisos e em uma edificação mal elaborada. Para isso, utiliza-se a comparação do desempenho energético de dois modelos, o HIS Real e o modelo de Referência. Neste caso, o modelo Real será representado nesta dissertação pelos vários modelos que foram estabelecidos. O HIS de Referência possui a mesma geometria do HIS descrita no capítulo 3.1.1, porém deve-se utilizar os materiais definidos pela NBR 15575 (ABNT, 2021a) e não deve ter elementos de sombreamento externo. Definição dos materiais construtivos do modelo de Referência são utilizados conforme NBR 15575 (ABNT, 2021a).

Para os materiais construtivos do HIS Referência, neste trabalho será utilizado como parâmetro o modelo de simulação de Referência utilizado na NBR 15575 (ABNT, 2021a), sendo utilizadas as mesmas paredes e pisos para as APP e APT que representa um elemento de vedação de 100 mm de espessura, seguindo as características construtivas expostas na **Tabela 3.7** (ABNT, 2021a).

Tabela 3.7 - Propriedades térmicas de paredes e pisos para o modelo de Referência

Elemento	Condutividade Térmica W/(m.K)	Calor específico J/(kg.K)	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa	Densidade kg/m ³
Paredes Externas	1,75	1000	0,58	0,90	2200
Parede Internas	1,75	1000	Adotar valor do modelo Real	Adotar valor do modelo Real	2200
Pisos	1,75	1000	Adotar valor do modelo Real	Adotar valor do modelo Real	2200

Fonte: ABNT, 2021a

Para a cobertura, a edificação utiliza telha de 6 mm de espessura, câmara de ar com resistência térmica de 0,21 (m².K) /W e ainda uma laje de 100 mm de espessura conforme a **Tabela 3.8** (ABNT, 2021a).

Tabela 3.8 - Propriedades térmicas da cobertura para o modelo de Referência

Elemento	Condutividade Térmica W/(m.K)	Calor específico J/(kg.K)	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa	Densidade kg/m ³
Telha com 6 mm de espessura	0,65	840	0,65	0,90	1700
Laje com 100 mm de espessura	1,75	1000	Adotar valor do modelo Real	Adotar valor do modelo Real	2200

Fonte: ABNT, 2021a

Para a ventilação dos ambientes, os valores serão considerados conforme estabelece a NBR15575 (ABNT, 2021a) redimensionados para um percentual de 7,65% da área do piso do ambiente de inserção da janela, sendo que as mesmas devem ser locadas no mesmo centro geométrico da janela do modelo Real.

Já os elementos construtivos das esquadrias devem possuir características conforme a **Tabela 3.9**, as esquadrias devem ser representadas como uma folha única e os montantes e travessas localizados somente em volta do vão de abertura, e seus elementos construtivos devem obedecer a **Tabela 3.10** (ABNT, 2021a)

Tabela 3.9 - Características dos elementos transparentes nas esquadrias para o modelo de Referência

Elemento	Fator solar (FS)	Transmitância Térmica (Ut) W/(m ² .K)	Percentual de elementos transparentes (P _{tAPP}) %
Elementos transparentes	0,87	5,70	17,00

Fonte: ABNT, 2021a

Tabela 3.10 - Características dos perfis das esquadrias para o modelo de Referência

Elemento	Absortância à radiação solar dos perfis	Emissividade de onda longa dos perfis	Condutividade Térmica W/(m.K)	Largura dos perfis da esquadria mm
Perfis das esquadrias	0,58	0,90	56,00	50,00

Fonte: ABNT, 2021a

3.2 Etapa II – Configuração e simulação do modelo HIS Real e do HIS Referência (diagnóstico de acordo com a NBR 15575 e INI-R)

Para a modelagem da edificação será utilizado o modelo definido pela NBR 15575 (ABNT, 2021a), em que é necessário a modelagem de um modelo Real e um modelo de Referência. Desta forma o modelo Real deve seguir as características da edificação, que neste caso será avaliada conforme as estratégias passivas a serem adotadas, e ainda quando existirem, devem ser modelados os elementos fixos de fachada (brises, beirais e venezianas), o modelo Real é representado nesta dissertação, pelos modelos que sofreram algum tipo de modificação. Já o modelo de Referência deve possuir a mesma volumetria do modelo Real, porém os materiais devem seguir um padrão, como já descrito no capítulo 3.1.2, deste trabalho, e sem a presença dos elementos fixos de fachada (ABNT, 2021a).

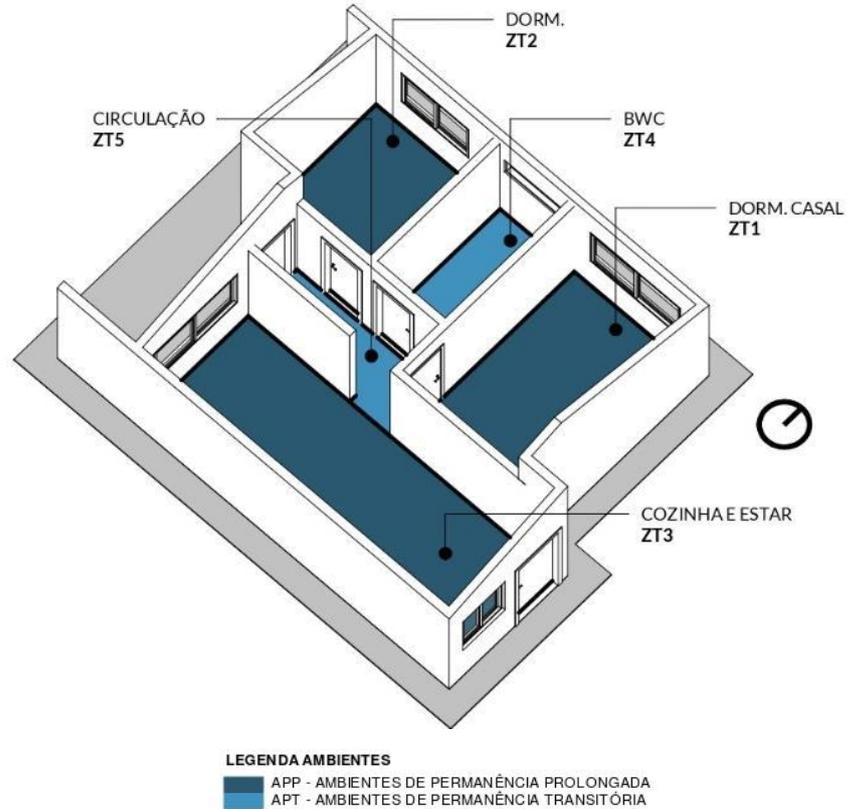
As áreas das janelas e portas do modelo de Referência e do modelo real tem as mesmas dimensões, devem ser modelados as áreas dos elementos transparentes, considerando a área correspondente aos caixilhos. A volumetria como um todo deve ser modelada da mesma maneira para os dois modelos, sendo a volumetria interna, áreas de superfícies externas expostas ao exterior, e a área de piso dos ambientes devem possuir os mesmos valores (ABNT, 2021a).

Considerando os dois modelos, as áreas de ambientes distintos interligados sem portas serão somadas. Ambientes como cozinhas e salas conjugadas serão considerados um ambiente único e definidos as características da sala. Os modelos devem seguir a mesma condição de contato com o solo e todo o entorno deve ser considerado o mesmo para os dois modelos (ABNT, 2021a).

Para a modelagem da edificação foram utilizados os programas SketchUp v.2021 com o uso do *plugin* Euclid v. 0.9.4.2. e as simulações de desempenho foram realizadas no *EnergyPlus* v. 9.2. Durante a modelagem foram definidos os elementos construtivos como os pisos, paredes (internas e externas), laje, cobertura e esquadrias. As zonas térmicas dos modelos (**Figura 3.6**) e como definido pela NBR15575 (ABNT, 2021a), tanto as APP quanto as APT devem ser modeladas, e assim ficaram definidas como zonas térmicas a ZT1 para o Dormitório do Casal, ZT2 para o Dormitório, Cozinha e Estar ZT3, Sanitário e Circulação como ZT4 e ZT5

respectivamente. A lavanderia por ser uma área aberta não foi considerada como uma zona térmica.

Figura 3.6 - Zonas Térmicas da Edificação Real e de Referência



Fonte: Teixeira (2022)

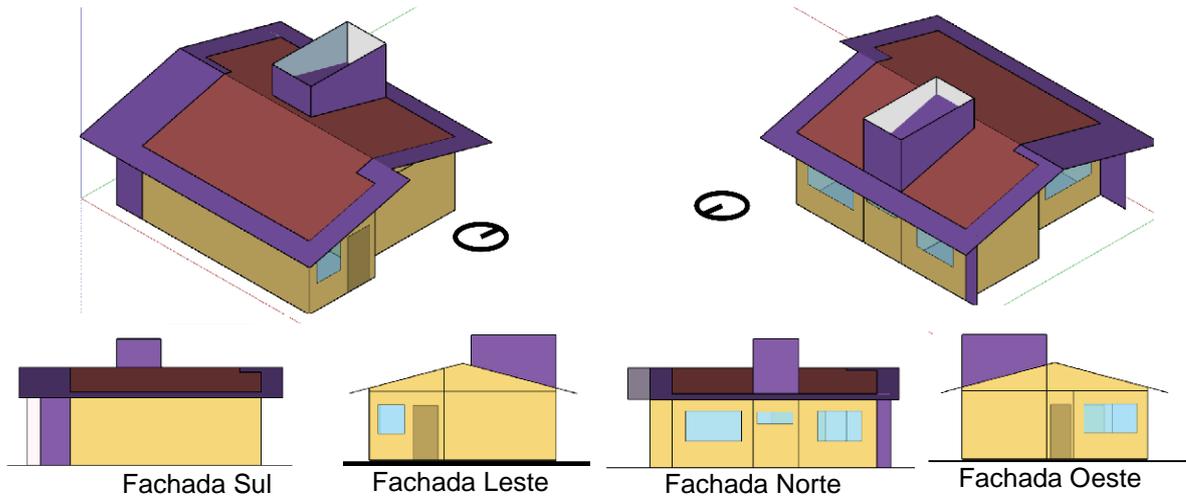
Caracterizando as zonas térmicas foram compilados na **Tabela 3.11** os dados de área, pé-direito e volume da edificação.

Tabela 3.11- Características das Zonas Térmicas do modelo Real e de Referência

	Ambiente	Zona Térmica	Área (m ²)	Pé - Direito (m)	Volume (m ³)
APP	Dormitório Casal	ZT1	10,92	2,60	28,39
	Dormitório	ZT2	7,53	2,60	19,58
	Cozinha e Estar	ZT3	17,00	2,60	44,20
	Total		34,45	2,60	92,17
APT	B.W.C	ZT4	4,34	2,60	11,28
	Circulação	ZT5	3,29	2,60	8,55
	Total		7,63	2,60	19,84

Fonte: Adaptado de Teixeira (2022)

Exemplo do HIS Real (**Figura 3.7**) e de Referência (**Figura 3.8**), modelados no SketchUp v.2021.

Figura 3.7 - Modelo utilizado para as simulações do HIS Real

Fonte: Teixeira, 2022

Figura 3.8 - Modelo utilizado para as simulações do HIS Referência

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023

3.2.1 Configuração do uso e ocupação da edificação

Diferentemente da versão anterior da NBR 15575 de 2013, a atualização do ano de 2021 estabeleceu a utilização de cargas internas referentes à ocupação de usuários nas APP e a utilização de equipamentos de iluminação artificial e de equipamentos, considerando as mesmas cargas para o modelo Real e o modelo de Referência (ABNT, 2021a).

O padrão de ocupação utilizado na edificação para sala e dormitórios deve ser seguido conforme a **Tabela 3.12** e ser considerado por todo o ano, incluindo finais de semana.

Tabela 3.12 - Padrões de ocupação diários de APP

Horário	Ocupação	
	Dormitório %	Sala %
00:00 – 07:59	100	0
08:00 – 13:59	0	0
14:00 – 17:59	0	50
18:00 – 21:59	0	100
22:00 – 23:59	100	0

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a

A quantidade de pessoas é determinada pelo número de dormitórios existentes, sendo estabelecido dois ocupantes por dormitório, e na ocupação da sala a soma de usuários dos quartos limitando a um número total de quatro ocupantes. Quando ocorrer de a somatória possuir mais ocupantes, esses serão desconsiderados na utilização da sala. No modelo deste trabalho, com a existência de dois dormitórios a ocupação para cada um dos dormitórios será de duas pessoas e na sala será considerado um total de quatro ocupantes. Para cada ocupante os valores metabólicos serão estabelecidos através da **Tabela 3.13** (ABNT, 2021a).

Tabela 3.13 - Taxa metabólica e fração radiante para os usuários

Ambiente	Período de Uso	Atividade Realizada	Calor produzido por área de superfície corporal W/m ²	Calor produzido por uma pessoa com 1,80m ² de área de superfície corporal W	Fração radiante
Dormitório	00:00 – 07:59 e 22:00 – 23:59	Dormindo ou descansando	45	81	0,30
Sala	14:00 – 21:59	Sentado ou assistindo TV	60	108	0,30

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a

Da mesma maneira, o padrão de uso (**Tabela 3.14**) do sistema de iluminação artificial deve ser o mesmo para todos os dias do ano, incluindo finais de semana e os valores de densidade de potência instalada (DPI), valores de fração radiante e visível devem ser estabelecidos conforme **Tabela 3.15**.

Tabela 3.14 - Densidade de potência instalada fração radiante e fração visível para o sistema de iluminação

Horário	Ocupação	
	Dormitório %	Sala %
00:00 – 05:59	0	0
06:00 – 07:59	100	0
08:00 - 15:59	0	0
16:00 – 21:59	0	100
22:00 – 23:59	100	0

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a

Tabela 3.15 - Densidade de potência instalada, fração radiante e fração visível para o sistema de iluminação

Ambiente	DPI w/m ²	Fração radiante	Fração visível
Dormitório	5,00	0,32	0,23
Sala	5,00	0,32	0,23

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a

Para a sala ainda devem ser adicionadas as cargas referentes aos equipamentos, os períodos de uso devem ser das 14:00 horas até as 21:59 horas, e a densidade de cargas internas e a fração radiante conforme **Tabela 3.16**.

Tabela 3.16 - Período de uso, densidade de cargas internas e fração radiante para equipamentos da sala

Ambiente	Período de uso	Potência W	Fração radiante
Sala	14:00 – 21:59	120	0,30

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a

3.2.2 Arquivos climáticos

O arquivo climático utilizado foi o fornecido pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (2018) em formato .EPW que possui dados mais recentes em Referência a cidade de Foz do Iguaçu. O arquivo possui todos os valores ao longo das 8760 horas do ano meteorológico e possui todos os requisitos definidos no capítulo 11.4.2 da NBR 15575 (ABNT, 2021a).

3.2.3 Configuração da temperatura de solo

Para as simulações computacionais com edificações térreas, é de fundamental importância determinar as temperaturas do solo, pois as trocas realizadas entre piso e o solo, influenciam nos resultados obtidos, desta maneira a utilização das temperaturas do solo pelos arquivos climáticos não são recomendados (Vettorazzi, 2019).

Para determinar as temperaturas do solo deste trabalho foi utilizado o objeto *Ground Domain* em sua base *Slab*, a qual é destinada para edificações que possuem contato do piso com o solo.

Superfícies horizontais múltiplas (lajes pertencentes a diferentes zonas térmicas) podem ser acopladas em um mesmo domínio de solo. O domínio consiste no conjunto dos elementos que estão englobados na simulação de superfícies em contato com o solo. São utilizadas iterações para alcançar a convergência das temperaturas no domínio. O modelo estabelecido determina uma superfície de área superficial equivalente dentro do domínio, representando as superfícies horizontais acopladas ao domínio do solo. Esta superfície interage com o solo, fornecendo temperaturas atualizadas para o objeto *OtherSideConditionsModel* que são utilizadas nos cálculos de balanço de calor da superfície (Eli et al., 2019, p. 05).

3.3 Etapa III: Definição das estratégias bioclimáticas

A NBR15220 (2005), estabelece estratégias bioclimáticas para as edificações conforme a zona bioclimática, como é demonstrado na

Tabela 2.2 - Síntese das estratégias bioclimáticas para zona bioclimática 3. A atualização da NBR15575 (ABNT, 2021a), trouxe estratégias a serem seguidas, evidenciado nas **Tabela 2.3** e **Tabela 2.4**. O trabalho realizado por Lamberts et al. (2021), já citado nesta dissertação no capítulo 2.4.4, que também apresenta indicações de estratégias bioclimáticas e estão evidenciadas no Anexo B, serviram de base para as intervenções no projeto.

As intervenções arquitetônicas foram divididas em duas categorias: geométricas e construtivas. A primeira é relativa à definição da geometria do interior e exterior da edificação e na segunda serão testados diferentes tipos de materiais para os fechamentos opacos e transparentes. A síntese das estratégias foi especificada na **Tabela 3.17**.

Tabela 3.17 – Tabela comparativa das estratégias para a zona bioclimática 3

		Código de Obras (PMFI, 1991)	NBR 15220 (ABNT,2005)	NBR 15575 (ABNT, 2021b, 2021c)	Lamberts et al. (2021)
Geométricas	Percentual de Aberturas (APP)	1/6 da área do piso (iluminação)= 16,7% e 1/16 da área do piso (ventilação)= 0,06%	15% < A < 25% (área para ventilação)	≤ 20% ***(percentual de área transparente) ≥ 7% da área do piso (área de ventilação)	17%* ou 23%** (percentual de área transparente) Fator de ventilação ≥ 45%.
	Ventilação Cruzada	--	Permitir	--	Obrigatório no verão
	Controle de Incidência Solar	--	Sim (sombrear aberturas no verão e permitir sol durante o inverno)	--	venezianas Sombreamento no verão)
Construtivas	Orientação Solar	--	--	--	--
	Paredes	Espessura min. 12 cm	$U \leq 3,60$	$U \leq 3,7$ se $\alpha \leq 0,6$ $U \leq 2,5$ se $\alpha > 0,6$	$U \leq 1,85$ K e CT ≥ 130 $\alpha \leq 0,6$

U - Transmitância térmica em [W/ (m².K)]

CT - Capacidade térmica em [kJ/ (m². K)]

a - Absortância a radiação solar [adimensional]

*Se sombreamento nos dormitórios e na sala;

**Se sombreamento somente nos dormitórios;

***Caso seja utilizado um percentual superior de elementos transparentes, é preciso utilizar Fator solar (FS) máximo indicado pela norma.

Fonte: Adaptado pelo autor, 2023

Partindo da **Tabela 3.17**, foram estabelecidas as estratégias bioclimáticas, que estão descritas nos capítulos a seguir.

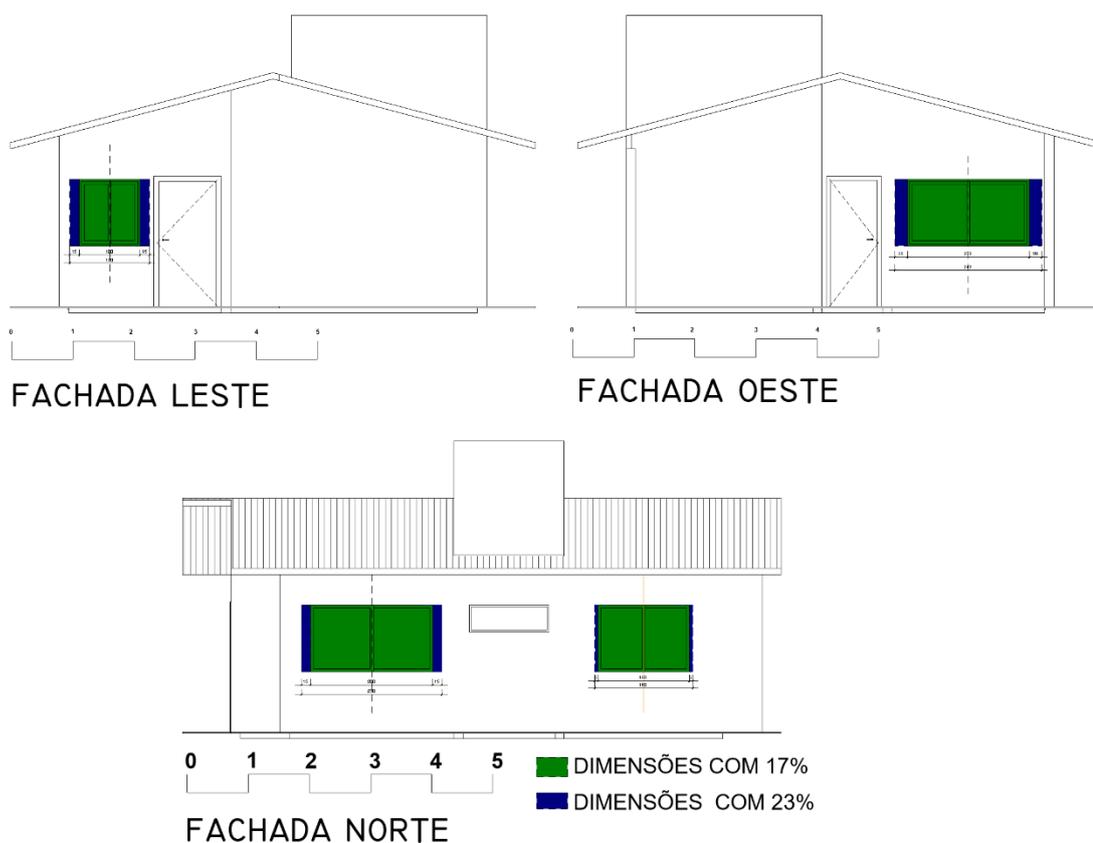
3.3.1 Diretrizes Geométricas

Foram definidas quatro diretrizes geométricas:

a. Percentual de aberturas para ventilação natural: Foi utilizado os valores utilizados no modelo Real, que é de 17% da área do piso, este valor atende ao código

de obras do município e ao mínimo estabelecido no trabalho de Lamberts et al. (2021), e 23% que seria o valor limite superior conforme **Figura 3.9.**, que atende o código de obras, a NBR 15575 (ABNT, 2021) e está no limite superior indicado por Lamberts et al. (2021), sendo que será considerada um valor de ventilação de 45% da área total da janela, que também atende NBR 15575 (ABNT, 2021), que exige uma área de ventilação maior que 7% do valor da área do piso.

Figura 3.9 - Dimensão das aberturas



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023

b. Uso de ventilação cruzada: por se tratar de uma edificação residencial, será utilizado como pressuposto que as portas estarão abertas para permitir a ventilação cruzada. A ventilação cruzada será utilizada quando a temperatura interna estiver maior ou igual a 19°C, que é a temperatura indicada pela NBR15575 (2021) e a temperatura externa estiver abaixo da temperatura interna, desta maneira a utilização da ventilação cruzada é otimizada, pois nos dias quentes ela funcionara para resfriar o ambiente e nos dias frios, ela não estará ativa.

c. Controle da incidência solar: para um controle da incidência solar será utilizado uma veneziana externa de alumínio, conforme indica o estudo de Lamberts et al. (2021), composta por um sistema de dobragem, que admite que essa veneziana seja enrolada, permitindo abertura total do vão além possibilitar a utilização de automação. Para isso, com o modelo Real foram realizados três estudos com a temperatura interna que a veneziana deve ser fechada durante todo o ano (*setpoint*), as temperaturas utilizadas foram 25, 26 e 27°C, as quais são valores próximos ao limite superior de conforto adaptativo estabelecido pela ASHRAE, (2017). Os valores obtidos estão dispostos na **Tabela 3.18**.

Tabela 3.18 - Estudo *Setpoints* para as venezianas

Modelo	PHFT (%)	Tomáx (C°)	Tomin (C°)	CgTR (kWh)	CgTA (kWh)	CgTT (kWh)
Real	71,50	34,25	12,04	1402	319,84	1722
Set25	75,25	32,40	12,01	1113	325	1438
Set26	74,91	32,45	12,03	1146	323	1468
Set27	73,63	32,52	12,04	1220	321	1542

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023

Com os resultados obtidos, os modelos a serem simulados terão como pressuposto que as venezianas se fechem quando a temperatura interna edificação esteja em 25°C. A utilização da temperatura de abertura das janelas a 25°C, tem embasamento no estudo feito por Martins et al., (2009), que considerando esta temperatura interna o “voto médio predito” de Fanger tendia a 0, no cálculo do *EnergyPlus*.

Orientação solar: como HIS, são edificações normalmente replicáveis, é interessante que se estude em várias orientações, portanto, neste estudo foram simuladas as orientações norte, leste, sul e oeste.

3.3.2 Diretrizes Construtivas

Com o objetivo de simular e atender ao nível superior da NBR15575 (ABNT, 2021a) e nível A da INI-R (INMETRO, 2021), os materiais utilizados se classificam dentro dos limites da **Tabela 3.17**.

Serão utilizados materiais construtivos que se enquadrem dentro das especificações do Código de Obras de Foz do Iguaçu, NBR 15220 (2005), NBR 15575

(2021), e Lamberts et al. (2021). Sendo assim, serão utilizadas as seguintes configurações de fechamentos e de valores de absorvância:

- a) Paredes: $U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ e $\alpha=0,2$ e $0,6$ (Lamberts et al., 2021).
- b) Fechamento translúcidos. As referências consultadas não apresentam indicação de material para fechamento transparente. A NBR 15575, apresenta FS de 0,58, que deve ser utilizado para percentual de aberturas abaixo de 23% de elementos transparentes, que não é o caso dessa pesquisa. Dessa forma, foi realizada um formulário conforme APÊNDICE AAPÊNDICE A - MODELO formulário em três lojas de materiais construtivos da região, para determinar os tipos de vidros mais vendidos na cidade, e como não houve uma paridade nas respostas, foi determinado que serão testadas três cores de vidros, para isso o vidro já utilizado de 3mm incolor no modelo Real, e um vidro na cor cinza e outro na cor verde de 6mm monolíticos. Para determinar suas propriedades térmicas foi utilizado o Manual Técnico do vidro plano para edificações (Westphal, 2016) e suas características estão descritas na **Tabela 3.19**.

Tabela 3.19 - Características dos fechamentos translúcidos

Fabricante	Produto	Esp. (mm)	Processo	U (W/m ²)	FS
CEBRACE	Cinza 6mm	6,00	monolítico	5,79	0,63
CEBRACE	Verde 6mm	6,00	monolítico	5,79	0,57

Legenda: Esp.=Espessura; U= Transmitância térmica; FS= Fator Solar

Fonte: Westphal, 2016

A **Tabela 3.20**, apresenta um resumo das estratégias bioclimáticas adotadas.

Tabela 3.20 – Resumo estratégias para a zona bioclimática 3 adotadas

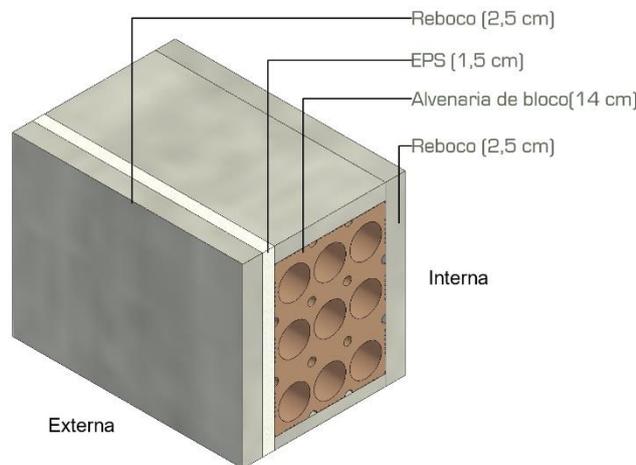
Geométricas		
Itens	Estratégia adotada	Fonte
Percentual de Abertura	17% e 23%	Lamberts et al. (2021).
Ventilação Cruzada	sim	NBR15220, Lamberts et al. (2021).
Incidência solar	Veneziana externa com set point de 25°C ou superior de temperatura	NBR15220, Lamberts et al. (2021).
Orientação Solar	Variação do modelo para norte, sul, leste e oeste	-
Construtivas		
Parede	$U \leq 1,85$ e $CT \geq 130$ e $\alpha=0,2$ e $0,6$	NBR15220, Lamberts et al. (2021).

Fechamentos Translúcidos	Vidro monolítico cinza 6 mm – FS 0,63 Vidro monolítico verde 6 mm – FS 0,57	-
--------------------------	--	---

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Desta maneira as paredes utilizadas foi a com identificação em Lamberts et al., (2020b), de P5, Tijolo de 9 Furos com isolante (20,5 cm) conforme **Figura 3.10**, sua composição possui tijolo de 14x19x29, isolante EPS e reboco de 2,5cm externo e interno, possuindo um $U=0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ e uma Capacidade Térmica de $130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$, esse modelo agora será denominado como “alvenaria com EPS”, para a simplificação dos nomes.

Figura 3.10 - Parede P5



Fonte: Adaptado de Lamberts et al., (2020b).

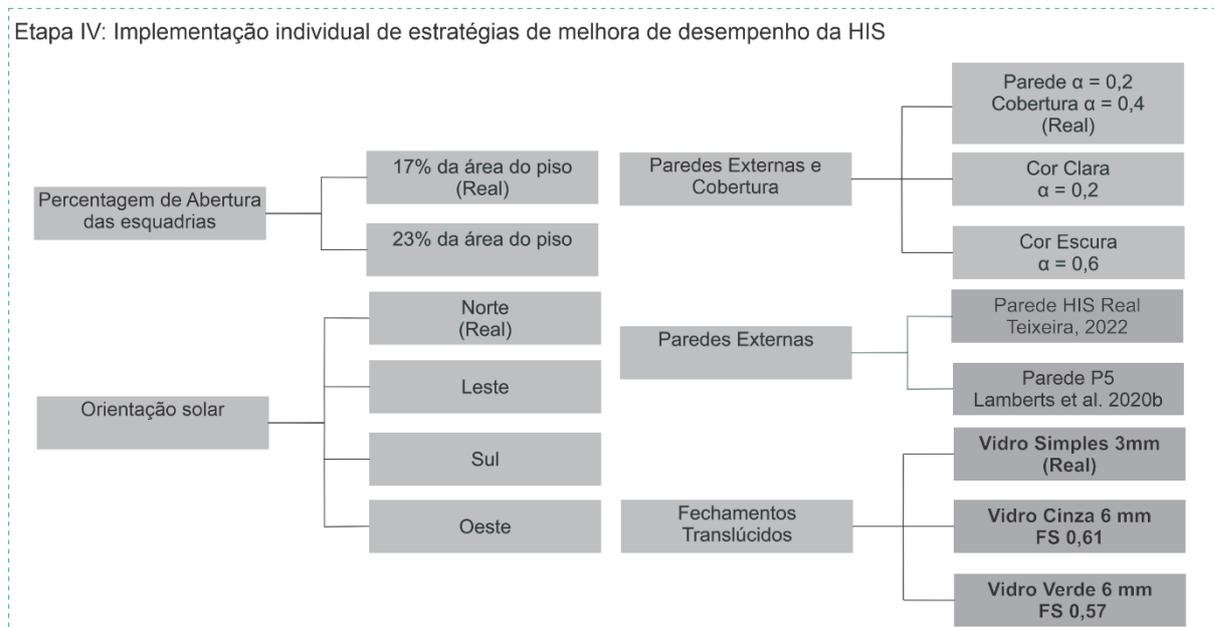
A cobertura será a mesma utilizada no HIS Real com telha termoacústica com manta aluminizada e forro de PVC, possuindo um $U=0,54 \text{ W/m}^2\text{K}$. A absorvância das paredes e da cobertura será utilizada com 0,2 conforme o modelo Real e a será utilizado o valor de 0,6, valor máximo apresentado na **Tabela 3.20**, ou seja, o elemento cobertura não sofrerá variações de materiais, somente na cor superficial.

3.4 Etapa IV: Implementação individual de estratégias bioclimáticas da HIS

A **Figura 3.11** mostra um fluxograma das estratégias a serem adotadas, nesta etapa as simulações serão feitas isoladas, em um total de 10 simulações, além da simulação da HIS Real. Neste primeiro momento as simulações serão avaliadas

separadamente para que haja um entendimento melhor quanto ao comportamento de cada solução bioclimática adotada.

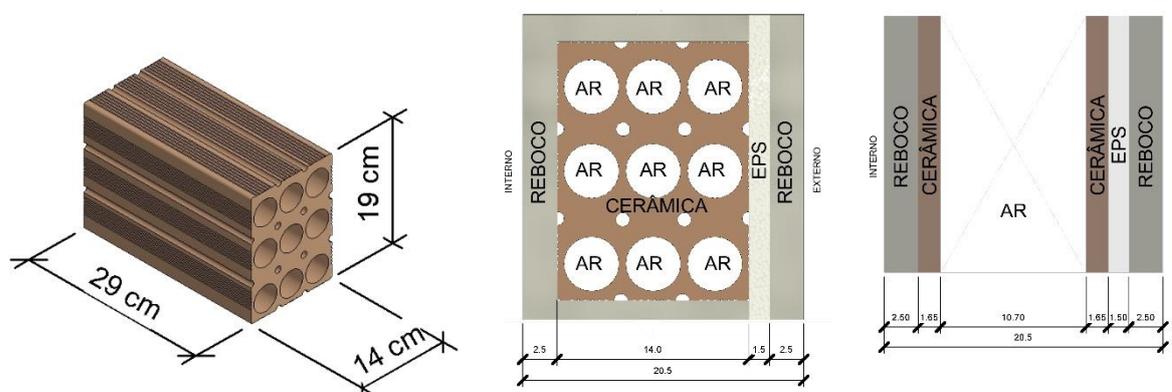
Figura 3.11 - Análise de estratégias de implementação de desempenho da edificação para NBR 15575 e INI-R



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023

Assim mostrado na **Figura 3.5**, o modelo Real necessita possuir uma parede equivalente para a Realização da simulação no programa *Energyplus*. Será utilizado a parede equivalente conforme indicado por Weber et al., (2017) para o tijolo de 9 furos 14x19x29 cm e adicionado a camada anterior a argamassa externa uma camada de 1,5 cm de EPS, **Figura 3.12**.

Figura 3.12 - Parede externa equivalente



Fonte: Adaptado de Weber et al., 2017

Desta forma resumidamente o modelo Real vai possuir as características descrita no capítulo 3.1.1., a orientação solar será baseada nos dormitórios e o modelo Real será direcionado para norte, assim a variação das simulações será testada conforme a **Tabela 3.21**.

Tabela 3.21 - Modelos e utilização das estratégias

Modelo	Nome adotado	Dimensão das Aberturas (A)	Vent. Cruzada	Controle de incidência Solar (CS)	O. solar (O)	α Parede Externas (P) e Cobertura (C)	Cobertura	Paredes Externas (PE)	Fechamentos Translúcidos (V)
Real	Real	17%	Sim	Não	N	P = 0,2 C = 0,4	Telha acústica + manta + PVC	Tijolo 9x14x19 + Rebocos 2,5cm	Vidro Simples 3mm
Ref.	Ref.	17%	Sim	Não	N	P = 0,2 C = 0,52	Telha 6mm + Laje 100mm	Elemento de vedação com 100mm	Elemento conforme NBR15575
Real1	RCS	= Real	= Real	Sim	= Real	= Real	= Real	= Real	= Real
Real2	RA23	23%	= Real	= Real	= Real	= Real	= Real	= Real	= Real
Real3	ROL	= Real	= Real	= Real	L	= Real	= Real	= Real	= Real
Real4	ROS	= Real	= Real	= Real	S	= Real	= Real	= Real	= Real
Real5	ROO	= Real	= Real	= Real	O	= Real	= Real	= Real	= Real
Real6	RPC0,2	= Real	= Real	= Real	= Real	P = 0,2 C = 0,2	= Real	= Real	= Real
Real7	RPC0,6	= Real	= Real	= Real	= Real	P = 0,6 C = 0,6	= Real	= Real	= Real
Real8	REPS	= Real	= Real	= Real	= Real	= Real	= Real	Tijolo 14x19x29+ EPS 1,5cm +Reboco 2,5cm	= Real
Real9	RVC	= Real	= Real	= Real	= Real	= Real	= Real	= Real	Vidro Cinza 6mm FS=0,61
Real10	RVV	= Real	= Real	= Real	= Real	= Real	= Real	= Real	Vidro Verde 6mm FS=0,57

α : Absortância Térmica; FS=Fator Solar;

Parâmetros igual ao modelo real

Parâmetros modificados

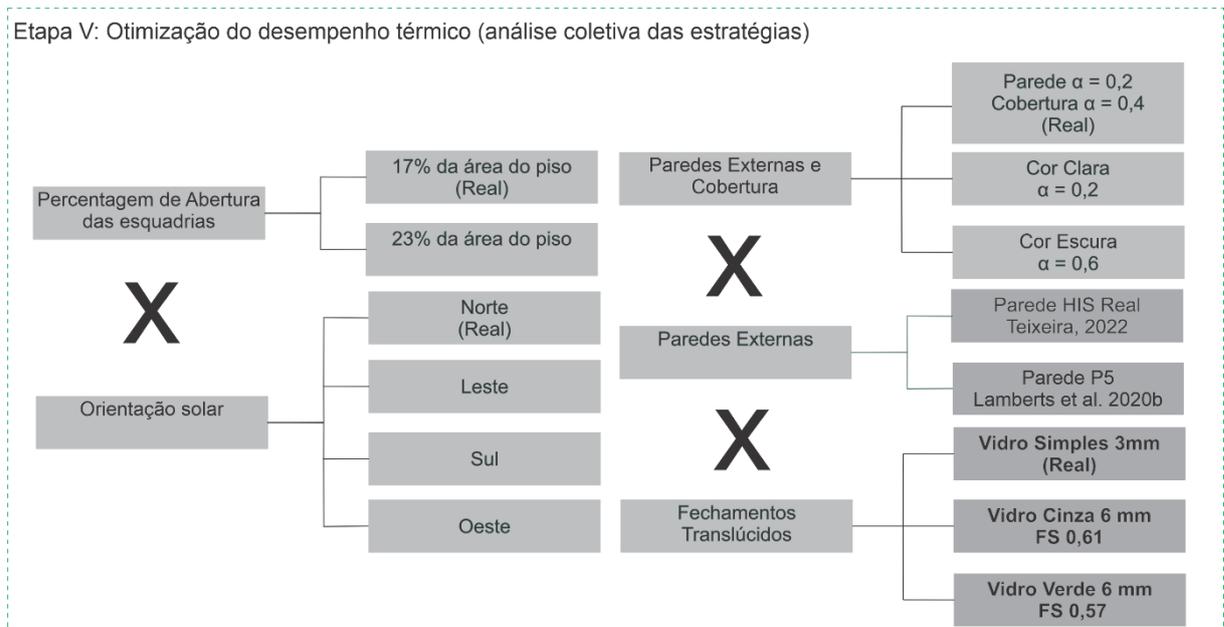
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023

3.5 Etapa V: Otimização do desempenho térmico (análise coletiva das estratégias)

Com o intuito de otimizar o a edificação nesta etapa será utilizada as estratégias do capítulo 3.3. O controle de incidência solar, como houve uma boa previa do seu aproveitamento, este elemento será mantido em todas as simulações realizadas nesta etapa, e as outras estratégias serão variadas entre elas como demonstra **Figura 3.13**,

o que resulta em 144 simulações, porém uma já foi realizada que seria o modelo Real 1, ficando um total de 143 simulações para esta etapa. As simulações feitas neste trabalho estão descritas no APÊNDICE B – LISTA DE TODOS OS MODELOS SIMULADOS CONFORME ESTRATÉGIAS BIOCLIMATICAS.

Figura 3.13 - Etapa V: Otimização do desempenho térmico



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023

3.6 Etapa VI - Análise dos resultados (Classificação de desempenho NBR15575 e INI-R)

Nesta etapa serão analisados os resultados obtidos nas simulações conforme a NBR15575 (ABNT, 2021a) e INI-R (INMETRO, 2021).

3.6.1 NBR 15575

A análise de resultados especificadas pela NBR 15575, está estabelecida neste trabalho conforme o capítulo 2.5.1.

Os valores definidos pela norma levam em consideração apenas os APP, para a simulação da edificação com ventilação natural é determinado para cada um desses ambientes é o PHFT, que é o percentual de horas de ocupação dentro da faixa

operativa, que considerando a região de Foz do Iguaçu-PR, estabeleceu a faixa operativa entre 18°C e 26°C. Além disso como a zona bioclimática da região é a 3, é necessário fazer o cálculo para determinar a temperatura operativa máxima e mínima de cada APP.

Para obter um nível intermediário ou superior a norma adota a simulação sem o uso de ventilação natural, desta forma é obtido as cargas de refrigeração e aquecimento dos APP.

3.6.2 INI-R

A INI-R conforme exemplificado no capítulo 2.5.2, especifica sua classificação das edificações, e determina a redução do consumo estimado de energia primária, como uma das variáveis para que haja uma boa classificação da edificação. Comparativamente também é possível elencar um paralelo nas classificações da INI-R de acordo com a NBR15575 conforme **Tabela 3.22**.

Tabela 3.22 – Classificações NBR 15575 e INI-R

NBR 15575	INI-R
Inferior ao mínimo	Classe E
Mínimo	Classe D
	Classe C
Intermediário	Classe B
Superior	Classe A

Fonte: Adaptado de INMETRO, 2021

3.7 Etapa VII - Análise da viabilidade financeira

A análise financeira para as estratégias adotadas neste trabalho visa corroborar com a implementação de estratégias bioclimáticas, pois além do problema ambiental causado pelo consumo excessivo de energia elétrica, há ainda um fator econômico de usuários de HIS que na maioria das vezes estão em situação financeira desfavorável.

Visto isso, o objetivo é verificar a viabilidade econômica a qual as soluções que possuíram o melhor desempenho visando a NBR15575 e INI-R. Assim será utilizado o modelo Real de simulação como orçamento inicial e incorporados os valores adicionais de cada estratégia, relacionando os custos adicionais com o retorno previsto por esses sistemas.

Assim como Dalbem (2018), a análise financeira será avaliada por 3 indicadores: custo de energia conservada, *payback* simples e *payback* descontado.

3.7.1 Orçamentação do modelo

O orçamento segundo Mattos (2019) é para o construtor o quantitativo de insumos que multiplicados aos seus valores unitários representa o valor de custo da obra. Este valor acrescentado ao lucro mais os impostos definem o preço total da obra. Os custos da obra são divididos em custos diretos (aqueles provenientes de serviços e insumos relacionados à obra) e os custos indiretos que são os custos que não aparecem como mão de obra, material ou equipamentos nas composições de serviço, (como por exemplo o salário dos profissionais de arquitetura e engenharia, ou ainda as contas de telefone da obra). Para este trabalho serão levantados somente os custos diretos do modelo.

Para o início da orçamentação é necessário fazer o levantamento dos materiais e serviço de cada etapa da obra (Mattos, 2019). A orçamentação neste trabalho será dividida em três etapas: 1- definição dos serviços; 2- quantitativos do modelo; 3- detalhamento dos custos diretos. Sendo assim, as relações de serviços orçados serão com base no manual desenvolvido pela Caixa econômica Federal (CEF, 2020), visto na **Tabela 3.23**.

Tabela 3.23 - Etapas e serviços básicos

Etapas de Obra		Serviços Básicos
1	Serviços preliminares de obra	Limpeza do terreno e locação de obra.
2	Infraestrutura	Vigas baldrame (escavação, fôrmas, lastro, armação, concretagem, reaterro e impermeabilização).
3	Supraestrutura	Pilares, vigas, lajes (armação, formas e concretagem), escadas de concreto armado e cintas de amarração.
4	Paredes e painéis	Alvenarias de vedação e alvenarias estruturais.
5	Vergas/contravergas/peitoris	Vergas e contravergas de janelas, vergas de portas e peitoris.
6	Coberturas e proteções	Estrutura, telhamento, impermeabilizações e complementações.
7	Esquadrias/vidros/ferragens	Portas, janelas, vidros, ferragens e pinturas das esquadrias
8	Forros	Material específico (gesso, madeira, etc) e acabamentos (pinturas).
9	Revestimentos de teto	Apenas para lajes (regularizações e acabamentos).
10	Revestimentos internos	Apenas para paredes. Regularizações (chapisco, emboço, etc) e acabamentos (pinturas ou revestimentos cerâmicos).
11	Revestimentos externos	Apenas para paredes. Regularizações (chapisco, emboço, etc) e acabamentos (pinturas ou revestimentos cerâmicos).
12	Pavimentação interna	Lastros de brita e de concreto, contrapisos, pisos, impermeabilizações, soleiras e rodapés.
13	Pavimentação externa	Pisos de áreas descobertas.
14	Louças e metais	Vasos sanitários, chuveiros, lavatórios, cubas, torneiras, bancadas e complementos.
15	Instalações hidráulicas	Instalações de água (Cavelete, hidrômetro, caixas d'água, tubos, conexões, registros e rasgos em pisos e paredes).
16	Instalações sanitárias	Instalações de esgoto (Caixas de inspeção, de gordura, caixas sifonadas, ralos, tubos, conexões e rasgos em pisos e paredes).
17	Instalações pluviais	Caixas sifonadas, ralos, grelhas, tubos, conexões, e rasgos em pisos e paredes.
18	Instalações elétricas/telefônicas/tv/lógica	Quadros de medição, de distribuição, disjuntores, cabos, eletrodutos, tomadas, interruptores, luminárias, lâmpadas, furos e rasgos e SPDA (sistema de proteção contra descargas atmosféricas).
19	Instalações especiais	Abastecimento de gás e Sistemas de prevenção e combate a incêndio.
20	Complementações	Corrimãos, gradis, alçapões, calçada no perímetro das casas, impermeabilização de reservatórios, acabamentos e limpeza final.

Fonte: CEF, 2020

Para os quantitativos dos materiais será utilizado o programa Autodesk Revit v.2022. Os quantitativos serão retirados conforme os materiais de referência da tabela SINAPI (Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil). Utilizada desde a implementação do Banco Nacional de Habitação (BNH) em 1969, a SINAPI a partir do Decreto 7.983/2013 que define as regras e critérios para os orçamentos de obras e serviços de engenharia executados pela união como balizador desses custos (CEF, 2020).

Os materiais foram levantados conforme o modelo Real, e estão apresentados na **Tabela 3.24**, conforme as características e dimensões apresentadas no projeto

arquitetônico e suas características técnicas, além disso ainda foram apresentados os códigos apresentados na tabela de custos da SINAPI (2023).

Tabela 3.24 - Levantamento quantitativo de materiais

Descrição dos Serviços		Qtde	Un	Código SINAPI
1-Serviços preliminares de obra	Limpeza do Terreno	54,00	m ²	98524
	Locação da Obra	40,00	m	99059
	Compactação do Terreno	54,00	m ²	97083
2 - Infraestrutura	Radier com formar E=15cm FCK 30MPA	54,00	m ²	97102
	Lastro de Bitra Radier	3,78	m ³	100322
	Armadura de tela de aço CA60 Radier	54,00	m ²	97090
	Aplicação e adensamento Radier	5,40	m ³	97096
3 - Supraestrutura	Fôrmas (cintas de amarração e vigas superiores)	48,00	m ²	92270
	Concreto preparado na obra (cintas de amarração e vigas superiores)	2,16	m ²	103682
	Armadura de aço CA50 Ferro 8 (cintas de amarração e vigas superior)	151,70	kg	92761
	Armadura de aço CA50 Ferro 5 (cintas de amarração e vigas superior)	69,00	kg	92759
	Fôrmas (Pilares)	18,00	m ²	92269
	Concreto preparado na obra (pilares)	0,90	m ²	103669
	Armadura de aço CA50 Ferro 10 (Pilares)	113,80	kg	92759
	Armadura de aço CA50 Ferro 5 (Pilares)	186,30	kg	92762
4 - Paredes e painéis	Alvenaria de vedação - Paredes Externas 9x14x19	106,34	m ²	103332
	Alvenaria de vedação - Paredes Internas 9x14x19	34,69	m ²	103332
5 - Vergas/ Contravergas/ Peitoris	Vergas e Contra Vergas Vão até 1,50m	7,60	m	93186
	Vergas e Contra Vergas vão maior que 1,5	4,00	m	93187
6- Cobertura e Proteções	Estrutura de madeira	82,32	m ²	92543
	Telha termoacústica	82,32	m ²	94216
	Cumeeira	9,80	m	100325

	Calha de chapa de aço Galvanizado	1,50	m	94227
	Impermeabilização - emulsão asfáltica	54,00	m ²	98557
	Isolamento térmico da cobertura	82,32	m ²	94226
7- Esquadrias/Vidros/ ferragens	Esquadrias de alumínio vidro 3mm	7,15	m ²	102161
	Maxim-air vidro 3mm	0,59	m ²	94569
	Porta madeira 80x210 interna	4,00	un	90790
	Porta madeira Externa 100x210	1,00	un	90825
8 - Forros	Forro de PVC	47,10	m ²	96111
9- Revestimentos de teto	Não se aplica	-	-	-
10- Revestimentos internos	Reboco interno	156,62	m ²	89048
	Pintura Massa PVA	156,62	m ²	88497
	Pintura com tinta látex PVA - paredes internas	156,62	m ²	104642
	Revestimentos áreas molhadas	31,47	m ²	104611
11 - Revestimentos Externos	Reboco externo	159,53	m ²	104218
	Pintura Massa Acrílica	159,53	m ²	96135
	Pintura com tinta látex acrílico - paredes externas	159,53	m ²	95626
	Revestimentos Externo (lavanderia)	9,49	m ²	87244
12- Pavimentação Interna	Contrapiso	42,94	m ²	87700
	Piso Cerâmico esmaltado	42,94	m ²	104599
	Rodapé Cerâmico	60,17	m	104609
	Soleira	4,20	m	98689
13- Pavimentação Externa	Calçada	26,72	m ²	94994

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Foi realizado apenas o levantamento dos custos diretos, que são os custos de mão-de-obra, material e equipamento, que estão inclusos nas composições dos serviços, conforme SINAPI (2023). Para os serviços que não possuem projetos complementares, como elétrica e hidráulica, gás e ainda instalações provisórias, aparelhos e metais serão calculados utilizando um percentual representativo utilizado nas Propostas de Construção Individual enviadas para os financiamentos destinados a CEF, são propostos intervalos mínimos e máximos de incidências aceitáveis para cada serviço que estão demonstrados na **Tabela 3.25**.

Tabela 3.25 - Percentuais representativo dos serviços

Serviços	Intervalo Recomendado (%)	Valor Adotado (%)
14 – Louças e metais	4,14 a 4,87	4,50
15- Instalações Hidráulicas	3,63 a 4,27	4,00
16 – Instalações Sanitárias	3,65 a 4,30	4,00
17 – Instalações Pluviais		
18 - Instalações elétricas/telefônicas/Tv/Lógica	3,75 a 4,85	4,25
19 – Instalações Especiais	0,24 a 2,29	Não se aplica ao projeto
20 - Complementações	0,24 a 2,29	1,5

Fonte: Adaptado de SINAPI, 2023

3.7.2 Custo da energia elétrica

Para o levantamento de custo de energia elétrica foi consultado o site da Companhia Paranaense de Energia (COPEL) responsável pelo fornecimento de energia para a cidade de Foz do Iguaçu, onde os custos foram de R\$ 0,39 por kWh para o valor de energia elétrica de consumo e ainda um valor de R\$ 0,42 por kWh para utilização do sistema, o totaliza um valor de R\$ 0,81 kWh (COPEL, 2023).

3.7.3 Método de cálculo do custo da energia conservada

O custo de energia conservada (CEC) é economicamente viável quando seu valor é menor que a tarifa de um kWh de energia e seu valor é definido pela Equação 12 (ROSENFELD,1996, apud CARLO, 2008).

$$CEC = \left(\frac{TCC}{\Delta E} \right) \cdot \left\{ \frac{d}{[1 - (1 + d)^{-n}]} \right\} \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

CEC: custo de conservação de energia (\$/kWh);

TCC: custo de implementação das medidas de conservação de energia (R\$);

ΔE : energia economizada durante um ano (kWh);

N: vida útil das medidas de conservação de energia;
d: taxa de desconto em base anual, equiparada ao índice Nacional de Custo da Construção - INCC (IBGE).

3.7.4 Método de cálculo de *payback* simples e descontado

O *payback* simples utilizado em alguns trabalhos que abordam o tema de retorno de consumo de energia (Carlo, 2008; Dalbem, 2018; Knop, 2012), é um cálculo que permite analisar o retorno do investimento sobre um período, desta forma enquanto menos tempo o investimento for retornado, maior é a recomendação de uso. Seu valor é calculado conforme a Equação 13.

$$PB_s = \frac{I}{CA} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

PBs: *payback* simples (anos)

I: investimento realizado (R\$)

CA: custo anual da energia economizada (R\$/ano)

O valor que o dinheiro pode render ao longo de um período aplicado é chamado de juros, desta forma o *payback* descontado analisa o retorno do capital investido considerando os rendimentos do capital investido (Dalbem, 2018). Para isso então foi considerada a taxa de inflação de janeiro de 2022 de 10,38% (IBGE, 2022) e aplicada sobre o custo do investimento. Da mesma maneira as tarifas de energia sofrem variações ao longo do tempo, e para isso, foi avaliado pela Agência Nacional de Energia Elétrica, um índice de aumento tarifário da distribuidora COPEL de 9% o qual será acrescentado no cálculo de *payback* descontado (ANEEL, 2021).

4 RESULTADOS

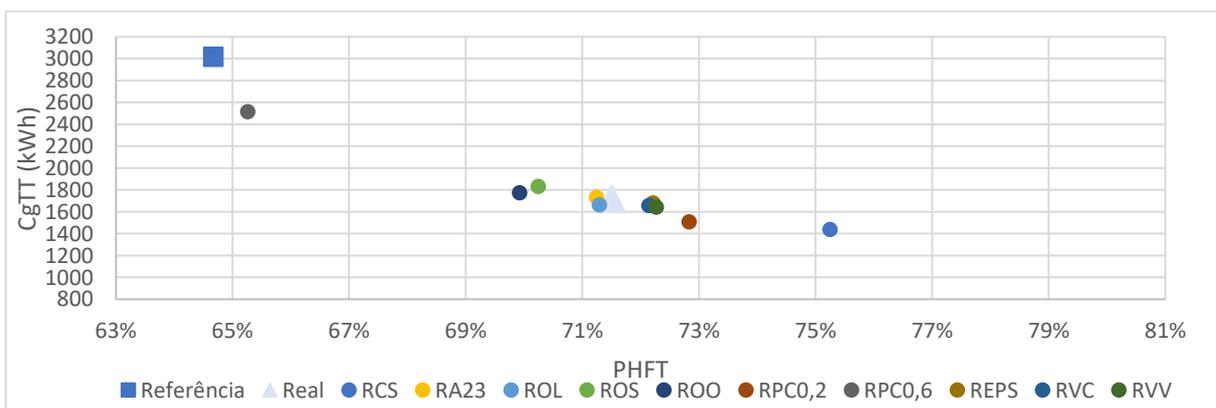
Este capítulo está dividido em três etapas, a primeira é a análise das variações dos modelos de forma individual, analisando as estratégias bioclimáticas separadamente. Na segunda etapa será feita uma otimização do modelo, onde as estratégias foram analisadas em conjunto, de forma que será analisada um conjunto de intervenções. E na terceira etapa foram selecionadas as estratégias que apareceram no Pareto Front e realizado um levantamento de custo-benefício das intervenções.

4.1 Resultado das estratégias de melhoria de desempenho individual

Para a análise dos resultados, foram utilizados os ambientes definidos como de permanência prolongada (APP), incluindo a sala/cozinha integradas e os dormitórios do casal.

O primeiro critério empregado pela NBR 15575 que define se uma edificação está em seu nível mínimo de exigência é o percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT). Nas simulações realizadas o modelo de Referência teve um PHFT de 64,67% (**Figura 4.2**), o que representou o menor desempenho dos modelos simulados. Segundo a NBR15575 (2021), o valor obtido pelo modelo tem que ser maior que 90% do valor de referência, este critério foi atendido, desta maneira todos os modelos analisados nesta etapa atendem o requisito conforme **Figura 4.2** e **Tabela 4.1**. O melhor resultado foi o modelo com as paredes externas utilizando o controle solar com venezianas (RCS) com 75,25%, conforme mostra a **Figura 4.1**.

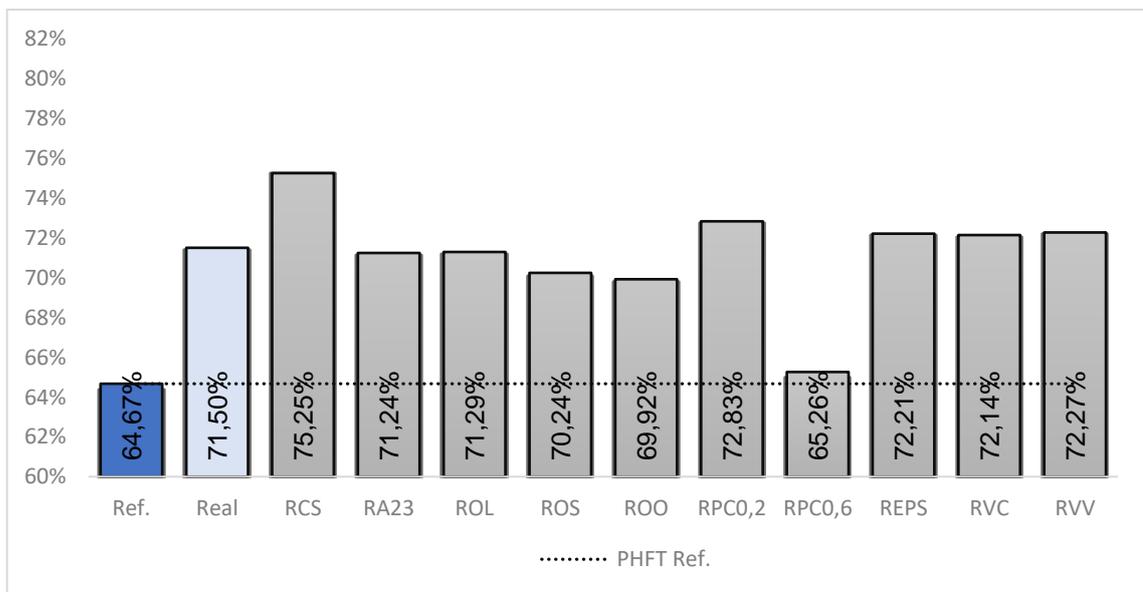
Figura 4.1 – Análise dos modelos com desempenho individual



Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Com esses resultados parciais nota-se que a utilização de controle solar, como é indicado pela norma 15220, são indícios de obtenção de melhor conforto térmico. Também, observa-se que o modelo com desempenho inferior (RPC0,6), é o modelo que apresenta absorvância da parede e cobertura externa maior (0,6). Com esses resultados parciais nota-se que a utilização de controle solar e cores mais claras, como é indicado pela norma 15220, são indícios para a obtenção de um melhor desempenho térmico da edificação. Outra comparação é sobre as orientações solares, que neste caso não teve uma diferença significativa, já que o melhor resultado da orientação dos dormitórios foi a orientação norte (Real) e teve um PHFT de 71,50% e a orientação oeste (ROO) o pior com valor de 69,92%. Os vidros cinza (PHFT 72,14%) e verde (PHFT 72,27%) tiveram um desempenho melhor que o modelo Real (vidro incolor), porém seus valores ficaram próximos, no CgTT, o modelo Real teve resultados de 1722 kWh, RVC 1659 kWh e RVV 1643 kWh, um indicativo que não haja um custo-benefício neste material. Os modelos foram trabalhados com as mesmas configurações do modelo Real, e acrescentado ou modificado a estratégia indicada para cada modelo.

Figura 4.2 - PHFT dos resultados das simulações de desempenho individual

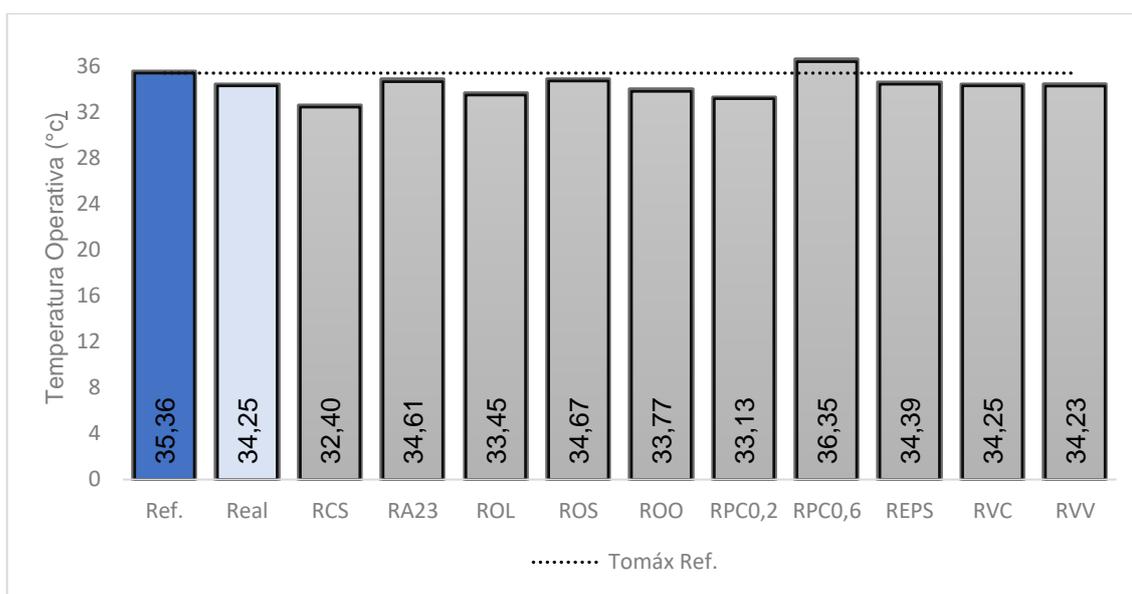


Ref.: Mod. Referência; Real: Mod. Real, RCS: Controle Solar, RA23: Aberturas 23%, ROL: Orientação Leste, ROS: Orientação Sul, ROO: Orientação Oeste, RPC0,2: α parede/cobertura 0,2, RPC0,6: α parede/cobertura 0,6, REPS: Parede com EPS, RVC: Vidro cinza, RVV: Vidro verde

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Com relação às temperaturas operativas máximas (tomáx), os modelos tiveram pouca variação, porém o modelo com parede e cobertura com absorvância de 0,2 (RPC0,2) teve uma queda de mais de 2°C em relação ao valor Referência (35,36°C), e ainda o modelo RCS onde houve um controle de incidência solar, o resultado obtido teve uma diminuição de 3°C, conforme mostra a **Figura 4.3**.

Figura 4.3 - Resultado das temperaturas operativas máximas (tomáx) das simulações de desempenho individual

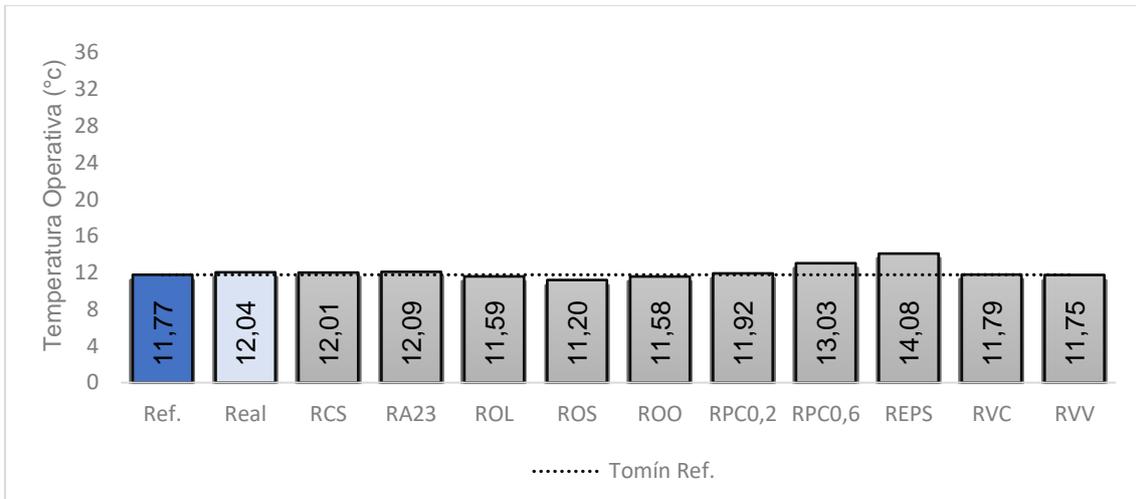


Ref.: Mod. Referência; Real: Mod. Real, RCS: Controle Solar, RA23: Aberturas 23%, ROL: Orientação Leste, ROS: Orientação Sul, ROO: Orientação Oeste, RPC0,2: α parede/cobertura 0,2, RPC0,6: α parede/cobertura 0,6, REPS: Parede com EPS, RVC: Vidro cinza, RVV: Vidro verde

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

As temperaturas operativas mínimas, reafirmam que a utilização da orientação sul (ROS) será prejudicial ao conforto térmico nos dias mais frios, sendo que dos modelos estudados este foi o com menor tomín., incluindo o modelo de Referência.

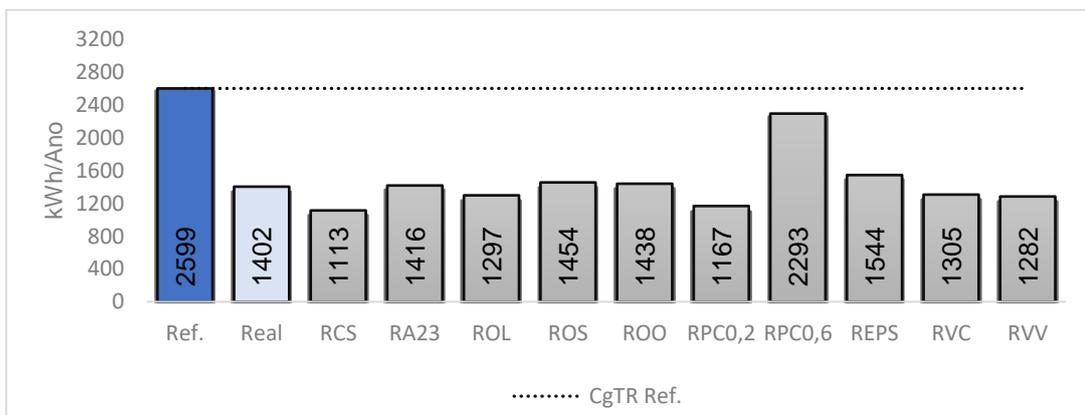
Embora os valores permaneceram próximo ao modelo de Referência, o modelo RPC0,6, onde a absorvância das paredes e coberturas é de 0,6 e o REPS, onde a parede possui uma camada com EPS, tiveram o melhor desempenho em relação ao modelo de Referência, conforme mostra a **Figura 4.4**.

Figura 4.4 - Resultado das temperaturas operativas mínimas (tomín) das simulações de desempenho individual

Ref.: Mod. Referência; Real: Mod. Real, RCS: Controle Solar, RA23: Aberturas 23%, ROL: Orientação Leste, ROS: Orientação Sul, ROO: Orientação Oeste, RPC0,2: α parede/cobertura 0,2, RPC0,6: α parede/cobertura 0,6, REPS: Parede com EPS, RVC: Vidro cinza, RVV: Vidro verde

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Em relação as cargas térmicas de refrigeração o modelo RCS, obteve uma quantidade térmica menor para reestabelecer a temperatura, em relação aos modelos estudados. Conforme a **Figura 4.5**, a utilização da cor escura para a edificação (RPC0,6) causa mais impacto no CgTR, que a utilização da edificação para orientações mais críticas como a orientação oeste (ROO).

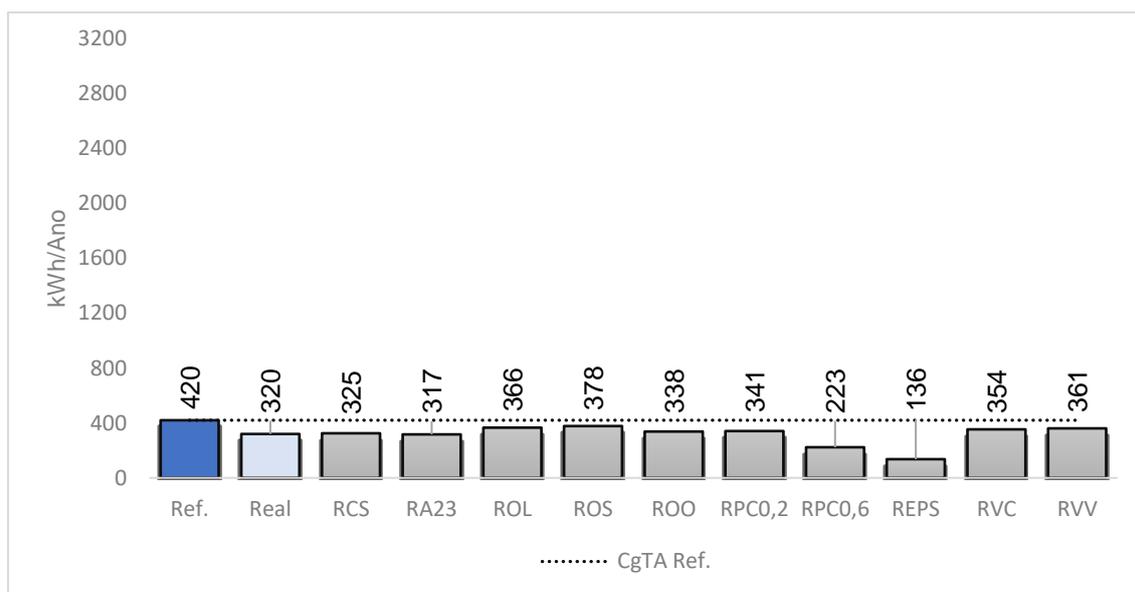
Figura 4.5 - Resultado das cargas térmicas de refrigeração (CgTR) das simulações de desempenho individual

Ref.: Mod. Referência; Real: Mod. Real, RCS: Controle Solar, RA23: Aberturas 23%, ROL: Orientação Leste, ROS: Orientação Sul, ROO: Orientação Oeste, RPC0,2: α parede/cobertura 0,2, RPC0,6: α parede/cobertura 0,6, REPS: Parede com EPS, RVC: Vidro cinza, RVV: Vidro verde

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

A **Figura 4.6**, apresenta as cargas térmicas de aquecimento (CgTA), e mostra que a cor escura tem bons resultados para os dias mais frios (RPC0,6), porém a utilização de parede isolada (REPS), apresentou o melhor desempenho entre os modelos analisados.

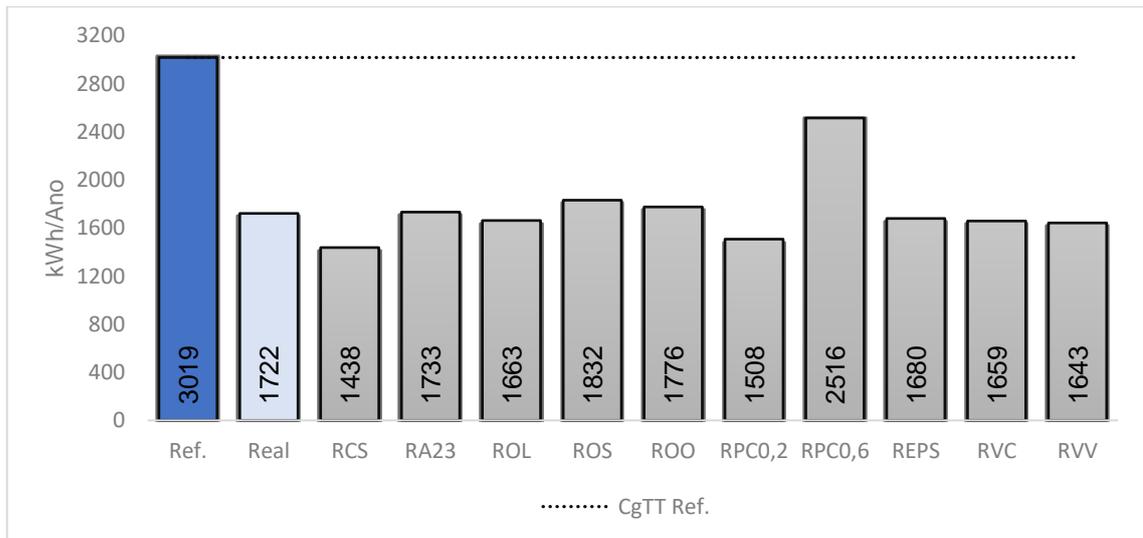
Figura 4.6 - Resultado das cargas térmicas de aquecimento (CgTA) das simulações de desempenho individual



Ref.: Mod. Referência; Real: Mod. Real, RCS: Controle Solar, RA23: Aberturas 23%, ROL: Orientação Leste, ROS: Orientação Sul, ROO: Orientação Oeste, RPC0,2: α parede/cobertura 0,2, RPC0,6: α parede/cobertura 0,6, REPS: Parede com EPS, RVC: Vidro cinza, RVV: Vidro verde

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

As cargas térmicas totais, além da PHFT, determinam a obtenção dos níveis intermediário e superior conforme estabelecido pela NBR15575. Neste quesito a utilização de controle de incidência solar (RCS), foi a que obteve um melhor desempenho (**Figura 4.7**). A utilização de cores claras para parede e cobertura (RPC0,2), também obteve um bom desempenho. Em relação aos vidros, observa-se que a sua utilização para o aquecimento, representa uma perda de temperatura, já que por serem mais refletivos, os vidros coloridos apresentam um melhor desempenho para o resfriamento, porém não representam uma perda considerável.

Figura 4.7 - Resultado das cargas térmicas total (CgTT) das simulações de desempenho individual

Ref.: Mod. Referência; Real: Mod. Real, RCS: Controle Solar, RA23: Aberturas 23%, ROL: Orientação Leste, ROS: Orientação Sul, ROO: Orientação Oeste, RPC0,2: α parede/cobertura 0,2, RPC0,6: α parede/cobertura 0,6, REPS: Parede com EPS, RVC: Vidro cinza, RVV: Vidro verde

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

O atendimento os requisitos da NBR15575, pode ser visto na **Tabela 4.1**, onde todos os modelos atingiram o nível mínimo, atenderam os níveis intermediário e superior, os modelos RCS, RPC0,2 e RVV, demonstrando, o controle de incidência solar, assim como os materiais de baixa absorvância, são aliados para conseguir um bom desempenho térmico.

Tabela 4.1 – Atendimento a NBR 15575 conforme simulações de desempenho individual

Modelo	Mínimo			Intermediário		Superior		Edificação		
	PHFT	tomáx	tomín	PHFT	CgTT	PHFT	CgTT	Mín.	Inter.	Super.
Real	atende	atende	atende	não	atende	não	atende	atende	não	não
RCS	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende
RA23	atende	atende	atende	não	atende	não	atende	atende	não	não
ROL	atende	atende	atende	não	atende	não	atende	atende	não	não
ROS	atende	atende	atende	não	atende	não	atende	atende	não	não
ROO	atende	atende	atende	não	atende	não	atende	atende	não	não
RPC0,2	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende
RPC0,6	atende	atende	atende	não	atende	não	não	atende	não	não
REPS	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende
RVC	atende	atende	atende	não	atende	não	atende	atende	não	não
RVV	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende

PHFT – Percentual de horas de ocupação da edificação dentro da faixa de temperatura operativa; tomáx – temperatura operativa máxima; tomín – Temperatura operativa mínima; CgTT – carga térmica total; Mín. – Mínimo; Inter. – Intermediário; Super. - Superior

Ref.: Mod. Referência; Real: Mod. Real, RCS: Controle Solar, RA23: Aberturas 23%, ROL: Orientação Leste, ROS: Orientação Sul, ROO: Orientação Oeste, RPC0,2: α parede/cobertura 0,2, RPC0,6: α parede/cobertura 0,6, REPS: Parede com EPS, RVC: Vidro cinza, RVV: Vidro verde

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Importante frisar que os modelos REPS, RVC e RVV possuem PHFT muito próximos (72,21%, 72,14% e 72,27% respectivamente), porém, o RVC não atende os requisitos intermediário e superior. Isso acontece pois os três estão no limite da NBR15575 (2021).

Para atender a norma, a variação de PHFT (que é a diferença entre o $PHFT_{UH,real}$ e o $PHFT_{UH,ref}$) tem que ser maior ou igual ao PHFT mínimo e quando o modelo Referência possui um PHFT menor que 70% (64,67%), é necessário fazer o cálculo de variação de PHFT mínimo, esse valor é obtido pela equação 45-0,58. $PHFT_{UH,ref}$, valor esse que resulta em 7,49%, e os valores apresentados pelo modelo REPS é de 7,54%, RVC é 7,47 e RVV o valor é 7,60%, ou seja, por 0,02% o modelo RVC não atendeu os requisitos de intermediário e superior pela NBR 15575 (2021).

Como indicado no item 3.6.2, a INI-R (2021) em sua atualização vem num processo de similaridade com a NBR 15575 (2021), principalmente na sua fase de simulação computacional, onde os processos se assemelham e ainda é possível traçar um paralelo de sua classificação conforme indica a **Tabela 3.22**, desta maneira é possível indicar as classificações das edificações conforme a INI-R (2021), tendo a o desempenho já analisado pela NBR15575 (2021), assim a **Tabela 4.2**, mostra os resultados obtidos.

Os modelos RCS, RPC0,2, REPS e RVV alcançaram o nível máximo de classificação, pois como atingiram nível superior conforme a NBR 15575 (2021), os mesmos podem ser classificados como Classe A, segundo a INI-R (2021).

O restante dos modelos analisados possui classe C, pois atendem um desempenho mínimo conforme a NBR15575 (2021), e ainda possuem um CgTT maior do que o modelo de Referência.

Tabela 4.2 - Classificação NBR 15575 E INI-R simulação de desempenho individual

Modelo	NBR 15575	INI-R
Real	Mínimo	Classe C
RCS	Superior	Classe A
RA23	Mínimo	Classe C
ROL	Mínimo	Classe C
ROS	Mínimo	Classe C
ROO	Mínimo	Classe C
RPC0,2	Superior	Classe A
RPC0,6	Mínimo	Classe C
REPS	Superior	Classe A
RVC	Mínimo	Classe C
RVV	Superior	Classe A

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

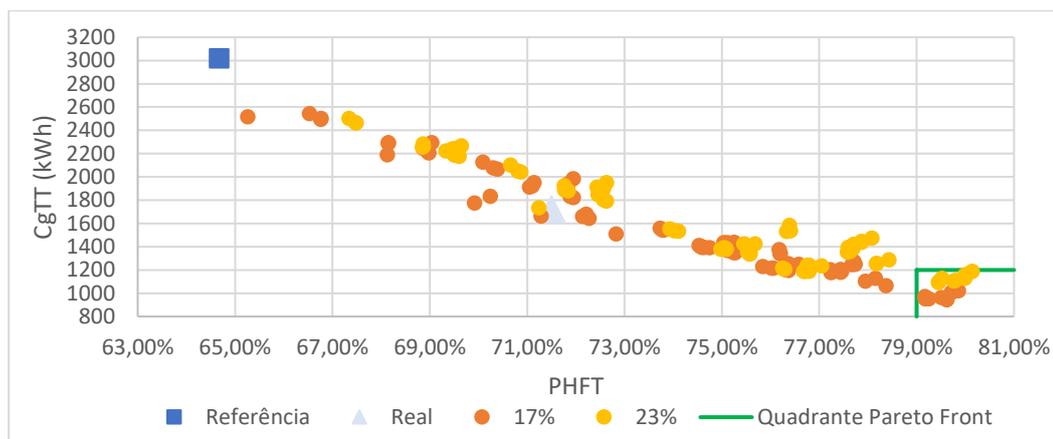
4.2 Resultado das estratégias de otimização de desempenho térmico (análise coletiva das estratégias)

Na análise das simulações na otimização foram incluídos os modelos Referência e Real, mais 10 análises individuais e com os 141 simulados na otimização, foram analisados 153 modelos para edificação estudada nesta dissertação, os modelos estão descritos no APÊNDICE B – LISTA DE TODOS OS MODELOS SIMULADOS CONFORME ESTRATÉGIAS BIOCLIMATICAS. Foram feitas análises separadas pelas estratégias utilizadas (**Figura 4.8 a Figura 4.12**) e após essa análise, os modelos que estiverem dentro do quadrante Pareto Front (**Figura 4.14 e Figura 4.13**) serão analisados comparativamente com os modelos de Referência e o Modelo Real e o resultado de todos os modelos estão descritos no APÊNDICE C APÊNDICE C – LISTA DE TODOS OS RESULTADOS DOS MODELOS SIMULADOS. Se, posteriormente, na próxima etapa, serão analisados quanto ao seu custo-benefício.

Quando se trata de otimizações que apresentam apenas um objetivo a escolha da solução ótima é simples, porém, quando se trata de escolhas multiobjetivo, existe um conjunto de soluções que podem ser consideradas ótimas, neste caso é utilizado o Pareto Front (Kalyanmoy, 2011). Assim como utilizado por Dalbem, (2018), Vettorazzi, (2019) e Oliveira et al., (2018) a utilização do Pareto front deve ser utilizado onde não há soluções dominantes, portanto, é definido como o conjunto de soluções ótimas, que foram indicadas nas **Figura 4.8 a Figura 4.14**.

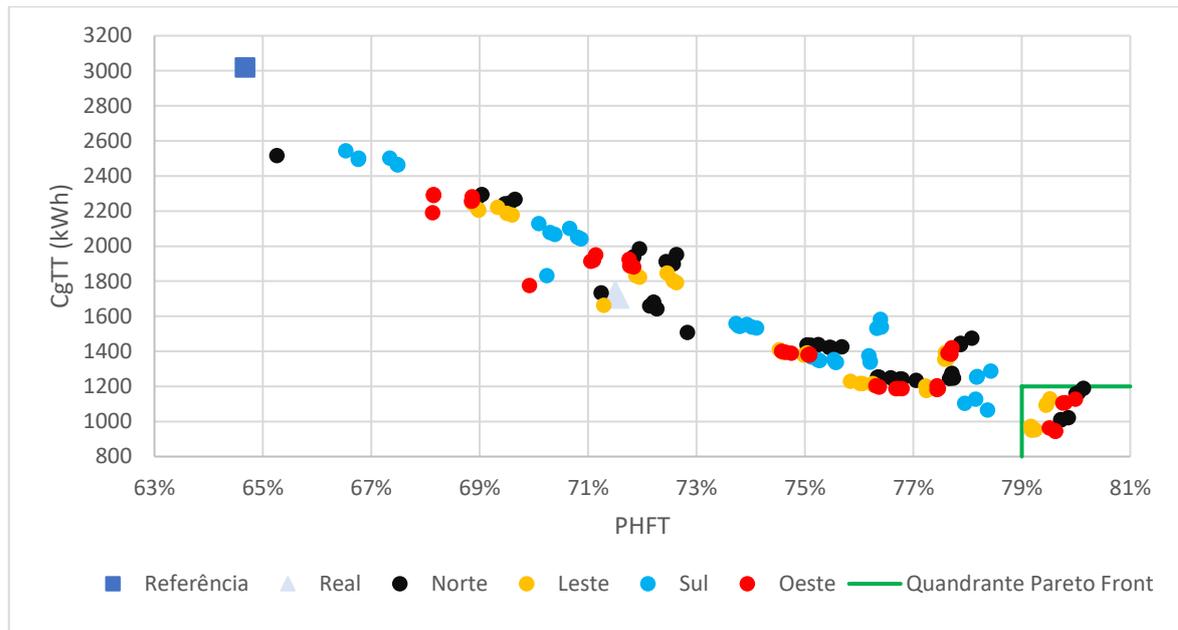
Quanto a análise dos modelos sobre o dimensionamento das aberturas, a **Figura 4.8** demonstra que dos modelos com melhor desempenho, dentro do Quadrante Pareto Front, os que possuem aberturas com 17% da área do piso possuem menor carga térmica total, porém, alguns modelos com abertura com 23% da área do piso, possuem mais horas dentro da faixa de temperatura de conforto.

Figura 4.8 - Análise das soluções quanto ao dimensionamento das aberturas



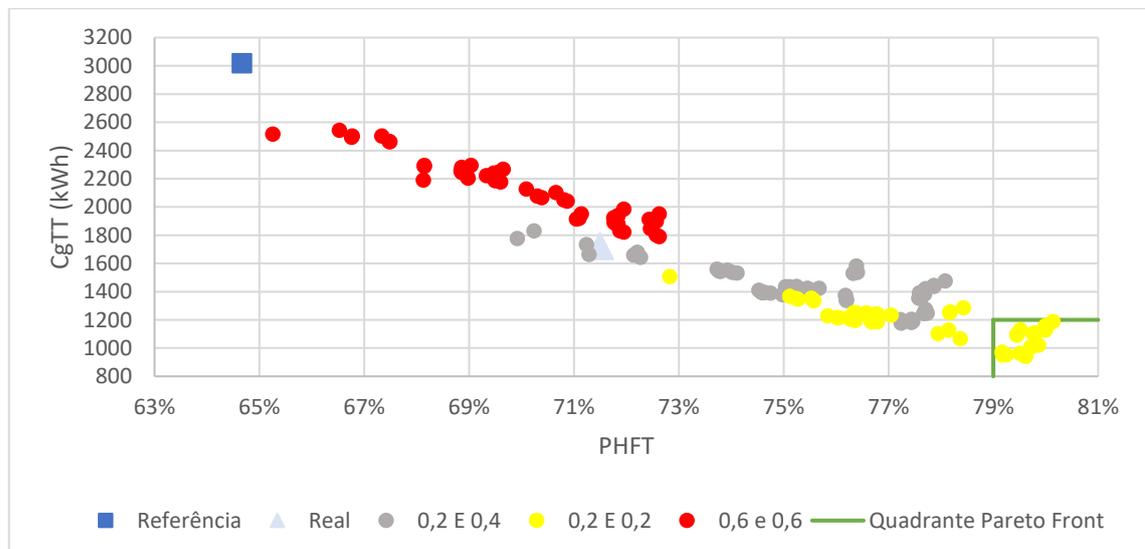
Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Na análise das orientações solares (**Figura 4.9**), as orientações leste, oeste e norte tiveram modelos no Quadrante Pareto Front. Destas orientações, a Norte e Oeste que apresentaram o melhor desempenho. Isso se justifica pelo fato dessas edificações, dentro do Quadrante Pareto Front, possuírem revestimento externo na cor clara (0,2), com baixa absorção da radiação solar durante o dia, e isolamento térmico de EPS, conforme indicam os gráficos da **Figura 4.10** e **4.11**. Como o uso dos dormitórios é noturno, a radiação solar incidente durante o dia, ou, durante a tarde no caso na orientação oeste, não tem tanto impacto no conforto térmico e no consumo de energia durante a noite. Também é importante notar que os modelos com as fachadas dos dormitórios orientadas a sul, fachada sem incidência de radiação solar no inverno e com incidência no início e final do dia no verão, tiveram um menor desempenho.

Figura 4.9 - Análise das soluções quanto a orientação do modelo

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

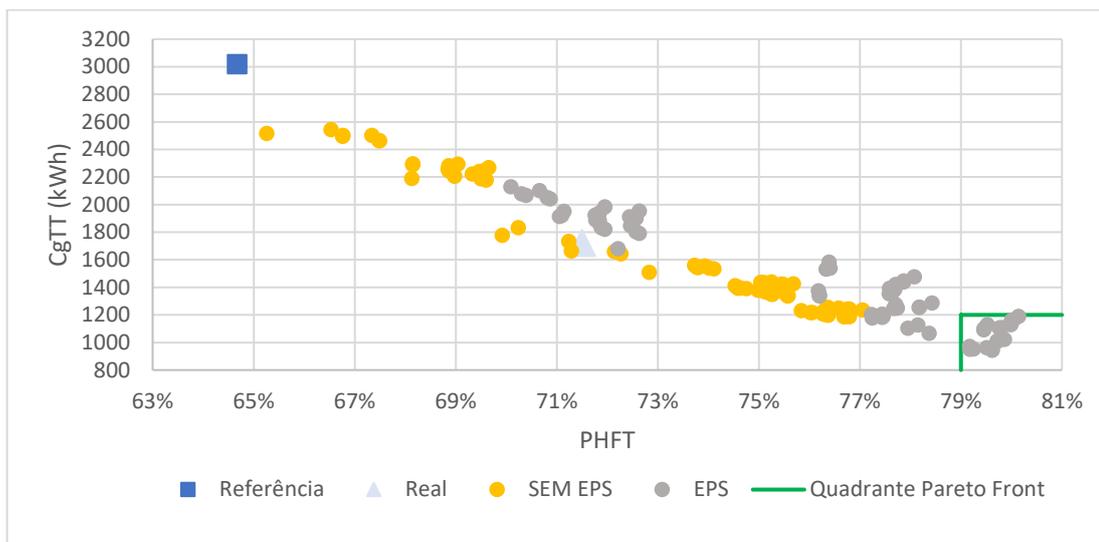
A absorvância das paredes e coberturas, como visto na **Figura 4.10**, foi um fator determinante no conforto térmico dos modelos analisados, visto que é nítido uma separação dos modelos com as cores mais claras (absorvância 0,2) nos quadrantes que mostram um melhor desempenho, e ainda os quadrantes com menores desempenhos mostram os modelos onde as paredes e coberturas possuem absorvância de 0,6.

Figura 4.10 - Análise das soluções quanto a absorvância das paredes e cobertura

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

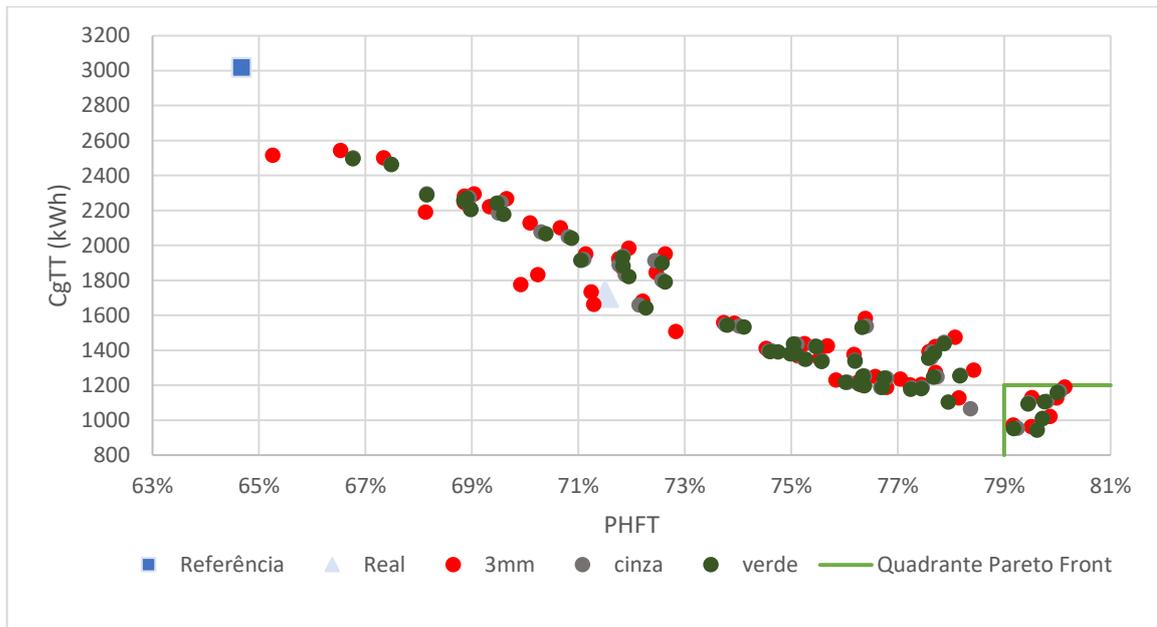
Embora a **Figura 4.11** apresenta alguns modelos que possuem parede com EPS, mais ao centro do gráfico caracterizados pelas utilizações de absorvância para parede e cobertura de 0,6, no entanto, os modelos com melhor eficiência, todos possuem parede de alvenaria com EPS.

Figura 4.11 - Análise das soluções quanto ao tipo de parede



Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

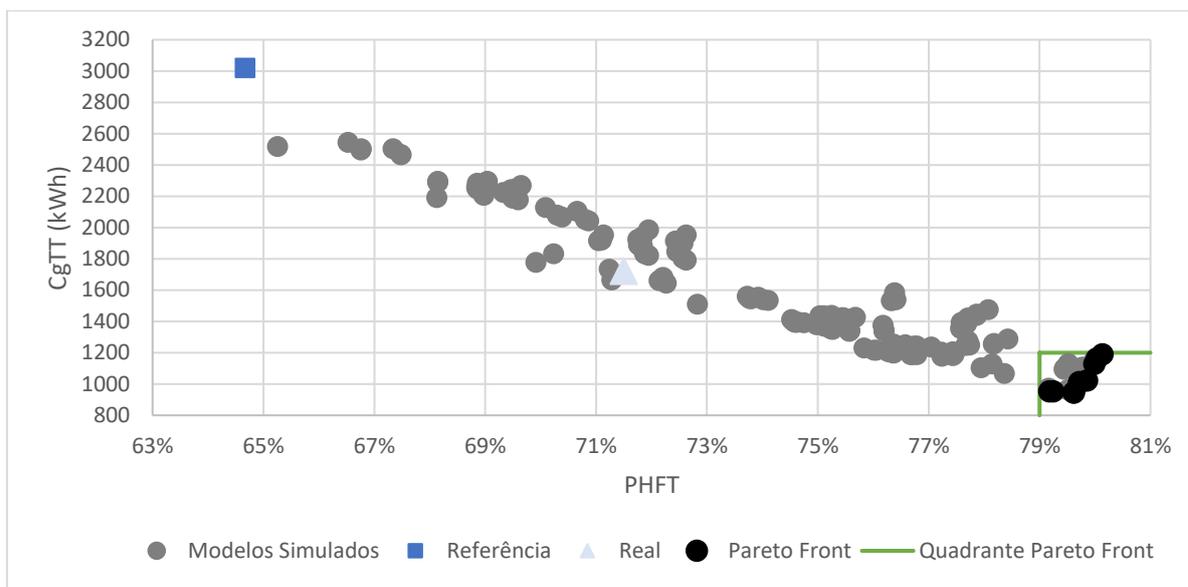
As cores dos vidros foram outros elementos que foram variados nos modelos, porém, comparando os modelos onde houve alternância dos vidros, as variações foram mínimas, houve melhora dos vidros coloridos, porém essas melhoras foram em casa decimais conforme verificado no gráfico da **Figura 4.12**.

Figura 4.12- Análise das soluções quanto aos tipos de vidro

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

A otimização foi realizada com o intuito de encontrar o melhor conjunto de estratégias bioclimáticas para a HIS em estudo. Para isso a **Figura 4.13** mostra a relação entre o PHFT a CgTT dos modelos simulados. Considerando os resultados somente de PHFT, dos valores mais altos para os mais baixos, os primeiros 42 melhores resultados (APÊNDICE d – Melhores 42 resultados dos modelos simulados foram com as paredes com tijolo de 14x19x29, isolante EPS e reboco de 2,5cm externo e interno que foi indicada no trabalho de Lamberts et al. (2021), todos eles foram considerando o controle de incidência solar. Os 25 primeiros foram utilizando a cobertura e as paredes com absorvância de 0,2, desses a aberturas das janelas corresponderam a 50% dos melhores resultados para 17% e 23% de aberturas. Para a orientação solar, 12 modelos estavam voltados para o norte, leste e oeste cada, e o modelo sul teve 6 modelos. E os vidros tiveram 14 modelos para cada um dos utilizados. Ainda na **Figura 4.13** foi identificado o Quadrante Pareto Front, que é a indicação da melhor área do gráfico, onde ficam os modelos que tenham um melhor aproveitamento tanto de PHFT quanto de CgTT.

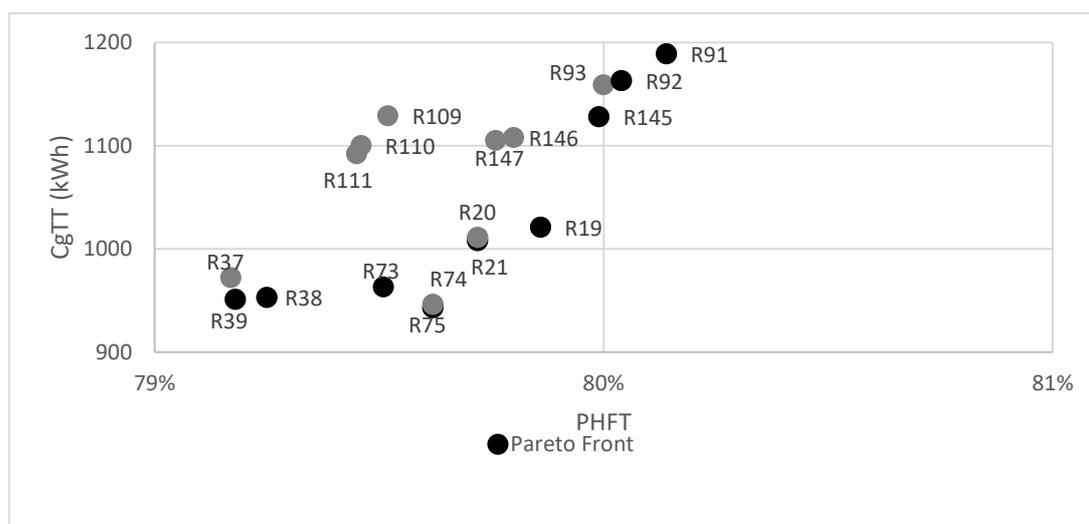
Figura 4.13 - Análise das soluções geral



Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Ainda na Figura 4.13 foi identificado o Quadrante Pareto Front, que foi ampliado. Além da indicação dos modelos Pareto Front, que será utilizado para a análise de viabilidade financeira, e possível por ele identificar os melhores modelos, estão descritos nas Tabela 4.3 e Tabela 4.4. A Tabela 4.3 indica os resultados obtidos e quais os modelos que entraram no Pareto Front.

Figura 4.14 - Quadrante Pareto Front



Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Através da análise da **Tabela 4.3**, é possível destacar a notável similaridade no desempenho térmico das edificações pertencentes ao quadrante Pareto Front. A discrepância mais significativa no PHFT entre os modelos nesse quadrante é de apenas 0,97%. Além disso, as variações em relação a Tomáx. e Tomín. são inferiores a 1°C entre os diferentes modelos. Contudo, as disparidades mais notáveis se manifestam nas cargas térmicas, onde a diferença supera os 20% entre o modelo R91 e o R75 na CgTT.

Tabela 4.3 - Resultados dos modelos do Quadrante Pareto Front

Modelos	PHFT	Tomáx	Tomín	CgTR	CgTA	CgTT
R91	80,14%	30,93	13,90	1059	130	1189
R92	80,04%	30,88	13,56	1007	156	1163
R93	80,00%	30,87	13,49	996	162	1159
R145	79,99%	30,85	13,35	987	141	1128
R19	79,86%	30,85	13,87	865	156	1021
R146	79,80%	30,79	13,12	943	165	1108
R147	79,76%	30,78	13,08	934	170	1105
R20	79,72%	30,81	13,56	824	187	1011
R21	79,72%	30,80	13,50	814	194	1008
R74	79,62%	30,73	13,14	747	198	946
R75	79,62%	30,72	13,10	739	204	943
R109	79,52%	30,65	13,26	967	162	1129
R73	79,51%	30,79	13,35	791	172	963
R110	79,46%	30,59	13,11	915	185	1100
R111	79,45%	30,58	13,08	902	190	1092
R38	79,25%	30,53	13,14	729	224	953
R39	79,18%	30,52	13,12	721	230	951
R37	79,17%	30,59	13,28	772	200	972
Amplitude	0,97%	0,41	0,82	338	100	246

Pareto Front

Maior Valor

Menor Valor

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Na **Tabela 4.4** estão descritas as características dos modelos do Quadrante Pareto Front.

Tabela 4.4 - Características dos modelos do Quadrante Pareto Front

Modelos	Dimensão das Aberturas	O. Solar	Cor das Paredes e Cobertura	Parede Externa	Fechamentos translúcidos	Controle Solar
R91	23%	N	0,2 e 0,2	EPS	3mm	Sim
R92	23%	N	0,2 e 0,2	EPS	cinza	Sim
R93	23%	N	0,2 e 0,2	EPS	verde	Sim
R145	23%	O	0,2 e 0,2	EPS	3mm	Sim
R19	17%	N	0,2 e 0,2	EPS	3mm	Sim
R146	23%	O	0,2 e 0,2	EPS	cinza	Sim
R147	23%	O	0,2 e 0,2	EPS	verde	Sim
R20	17%	N	0,2 e 0,2	EPS	verde	Sim
R21	17%	N	0,2 e 0,2	EPS	cinza	Sim
R74	17%	O	0,2 e 0,2	EPS	verde	Sim
R75	17%	O	0,2 e 0,2	EPS	cinza	Sim
R109	23%	L	0,2 e 0,2	EPS	3mm	Sim
R73	17%	O	0,2 e 0,2	EPS	3mm	Sim
R110	23%	L	0,2 e 0,2	EPS	cinza	Sim
R111	23%	L	0,2 e 0,2	EPS	verde	Sim
R38	17%	L	0,2 e 0,2	EPS	cinza	Sim
R39	17%	L	0,2 e 0,2	EPS	verde	Sim
R37	17%	L	0,2 e 0,2	EPS	3mm	Sim

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Considerando que as variações do desempenho termoenergético ($CgTT \times PHFT$), não possuem uma variação alta, será analisado como indicado na **Tabela 4.3**, os modelos do Pareto Front, indicados em preto na **Figura 4.14**, os modelos estão expostos na **Tabela 4.5**.

Tabela 4.5 - Tabela resumida dos modelos do quadrante ótimo

Modelos	Dimensão das Aberturas	O. Solar	Cor das Paredes e Cobertura	Parede Externa	Fechamentos translúcidos	Controle Solar
R91	23%	N	0,2 e 0,2	EPS	3mm	Sim
R92	23%	N	0,2 e 0,2	EPS	cinza	Sim
R145	23%	O	0,2 e 0,2	EPS	3mm	Sim
R19	17%	N	0,2 e 0,2	EPS	3mm	Sim
R21	17%	N	0,2 e 0,2	EPS	verde	Sim
R75	17%	O	0,2 e 0,2	EPS	verde	Sim
R73	17%	O	0,2 e 0,2	EPS	3mm	Sim
R38	17%	L	0,2 e 0,2	EPS	cinza	Sim
R39	17%	L	0,2 e 0,2	EPS	verde	Sim

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

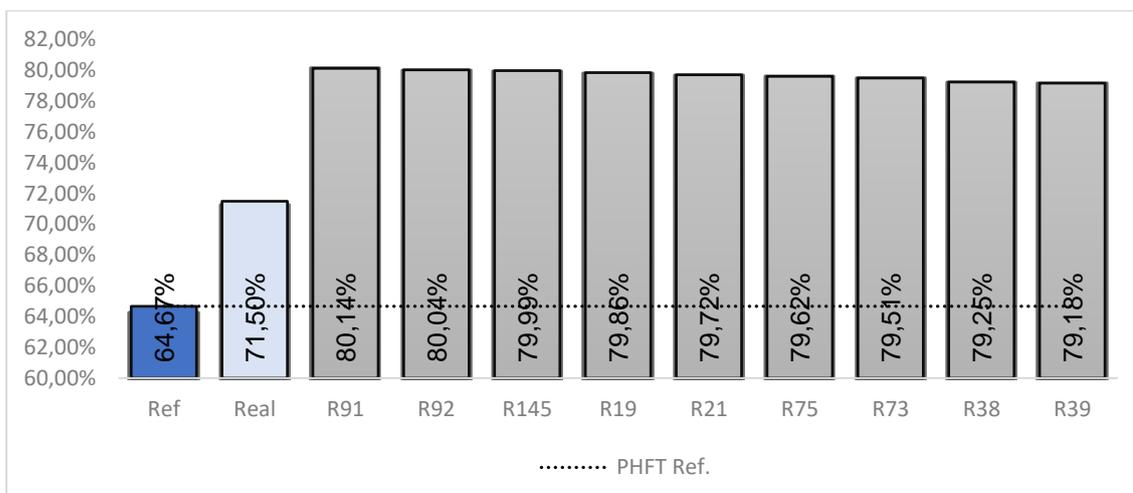
Assim ficaram resumidos os 9 modelos com melhor desempenho, sendo que todos os modelos possuem a cor de parede e cobertura com a absorvância de 0,2, as paredes externas de alvenaria com EPS e com as venezianas externas para controle solar. Os modelos são existentes para todas as orientações solares, exceto para orientação sul que não apresentou nenhum modelo, embora haja modelos nesta orientação que possuem desempenho superior e classe A, eles não foram classificados no Pareto Front, ocasionado pela falta de radiação no inverno.

Os casos relacionados aos modelos de orientação oeste, é a utilização do controle solar, que fez com melhorasse o conforto térmico e com essa melhoria a orientação conseguiu estar entre os melhores modelos.

A orientação norte predomina, com 4 dos modelos, posteriormente a oeste e leste, com 3 e 2 modelos respectivamente. Os vidros como obtiveram um resultado próximo, tiveram resultados nos três materiais simulados.

A **Figura 4.15** - PHFT dos modelos mostra os resultados de PHFT dos modelos da **Tabela 4.5**, onde é possível ver que a diferença entre os modelos não passa de 1%, sendo o modelo que está direcionado para o norte, com paredes e coberturas com absorvância de 0,2, parede com EPS, e vidro 3mm possui o maior PHFT de 80,14%.

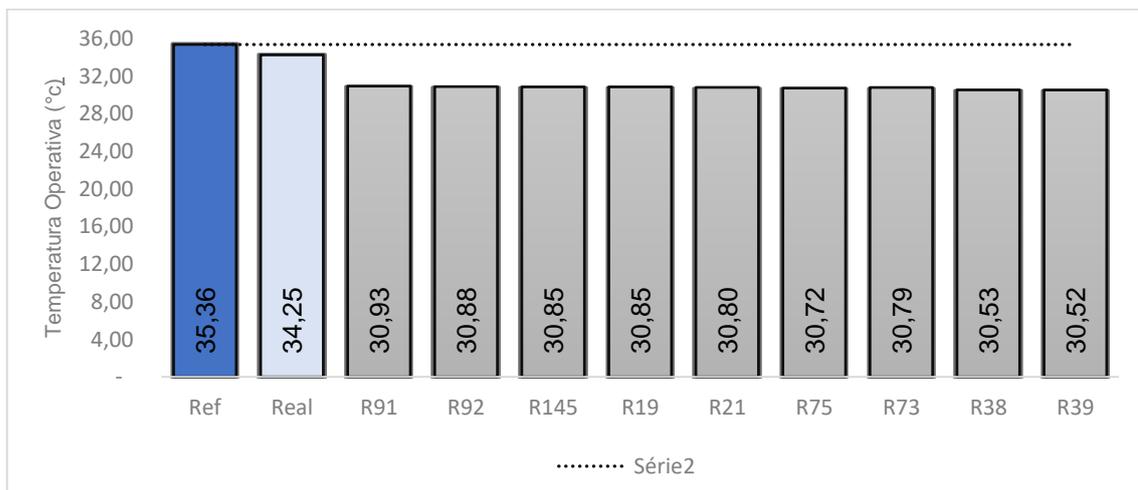
Figura 4.15 - PHFT dos modelos do Quadrante Pareto Front



Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

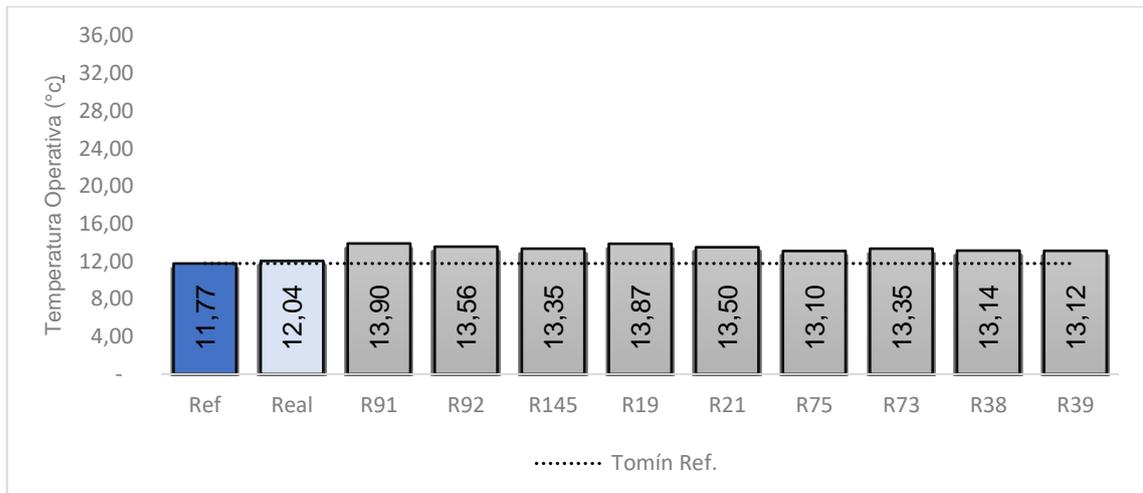
Para os Tomáx **Figura 4.16**, houve uma diminuição dos valores das temperaturas em relação ao valor do modelo de Referência e Real, em todos os modelos os valores ficam aproximadamente 3°C menor que os valores do modelo Real.

Figura 4.16 - Tomáx dos modelos do Quadrante Pareto Front



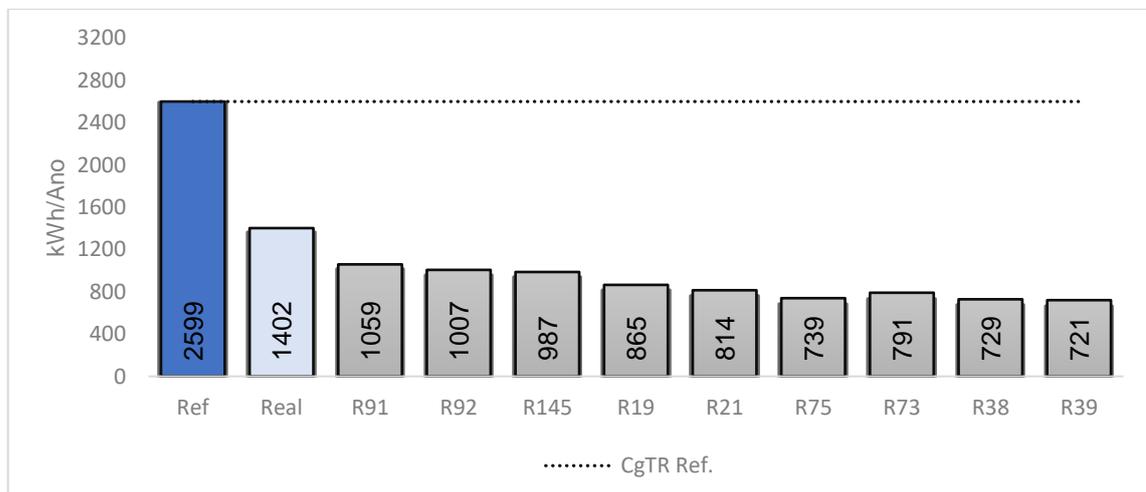
Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

As Tomín (**Figura 4.17**), tiveram uma amplitude de 0,82°C, e obtiveram um ganho de temperatura maior que 1°C em todos os modelos otimizados.

Figura 4.17 - Tomín dos modelos do Quadrante Pareto Front

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

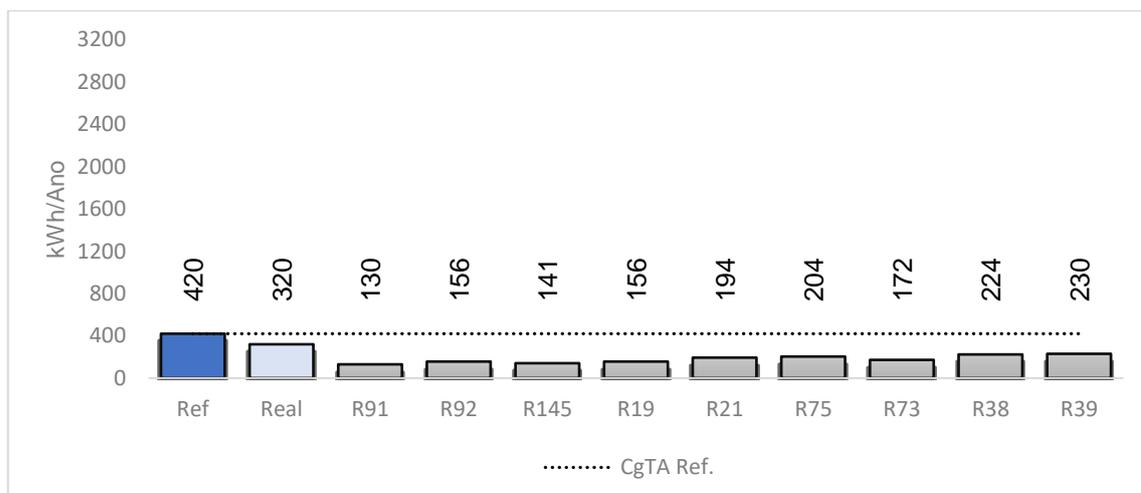
A CgTR como mostrado na **Figura 4.18**, o modelo R91, que obteve o menor desempenho do Quadrante Pareto Front, teve uma melhora de 24,49% em relação ao modelo Real e 59,25% em relação ao modelo Referência. O modelo R39, obteve uma melhora de 72,26% em relação ao modelo de Referência.

Figura 4.18 - CgTR dos modelos do Quadrante Pareto Front

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Os valores indicados na **Figura 4.19**, mostram valores superior a 52% de diminuição de carga térmica para aquecimento, sendo que o modelo R91, o qual obteve o melhor PHFT, teve uma diminuição de 69,05% em relação ao modelo de Referência (R91 130 kWh/ano e Ref. 420 kWh/ano).

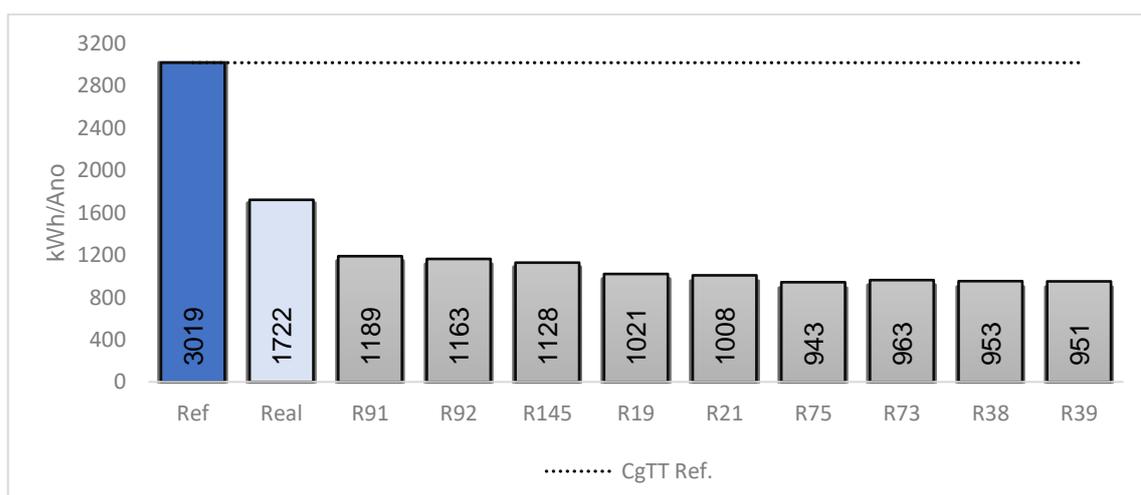
Figura 4.19 - CgTA dos modelos do Quadrante Pareto Front



Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

As cargas térmicas totais mostradas na **Figura 4.20**, mostram uma diminuição de 533 Kwh/ano, do modelo Real para o modelo R91, que obteve o pior desempenho entre os otimizados, o que gera uma eficiência de 30% a mais que o modelo Real. O modelo R75 teve uma redução de carga térmica total de 759 kWh/ano com relação ao modelo Real, o qual gera um ganho de 45,24%.

Figura 4.20 - CgTT dos modelos do Quadrante Pareto Front



Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Todos os modelos otimizados indicados na **Tabela 4.5**, possuem classificação superior conforme a NBR15575 (2021), a **Tabela 4.6** mostra o comparativo dos modelos com o modelo Real.

Tabela 4.6 – Atendimento a NBR 15575 modelos do Quadrante Pareto Front

Modelo	Mínimo			Intermediário		Superior		Edificação		
	PHFT	tomáx	tomín	PHFT	CgTT	PHFT	CgTT	Mín.	Inter.	Super.
Real	atende	atende	atende	não	atende	não	atende	atende	não	não
R91	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende
R92	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende
R145	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende
R19	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende
R21	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende
R75	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende
R73	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende
R38	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende
R39	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende	atende

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Como já visto anteriormente é possível realizar um paralelo entre as classificações da NBR 15575 (2021) e a INI-R (2021), desta maneira como os modelos otimizados têm classificação superior segundo a NBR 15575(2021), todos os modelos possuem classificação Classe A conforme a INI-R (2021) (**Tabela 4.7**).

Tabela 4.7 - Classificação NBR 15575 e INI-R simulação de modelos do Quadrante Pareto Front

Modelo	NBR 15575	INI-R
Real	Mínimo	Classe C
R91	Superior	Classe A
R92	Superior	Classe A
R145	Superior	Classe A
R19	Superior	Classe A
R21	Superior	Classe A
R75	Superior	Classe A
R73	Superior	Classe A
R38	Superior	Classe A
R39	Superior	Classe A

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

4.3 Viabilidade econômica

Neste item foi analisado a viabilidade financeira sobre as soluções indicadas na **Tabela 4.5**, onde estão os modelos selecionados com melhor desempenho.

Utilizando o mesmo projeto arquitetônico, foram analisadas 9 soluções, além do modelo Real. As soluções apresentam em comum a absorvância das paredes e cobertura de 0,2, paredes externas com alvenaria e EPS e possuem controle solar com venezianas externas. Enquanto os modelos R91, R92, R145 possuem aberturas de 23%, os modelos R19, R21, R75, R73, R38 e R39 aberturas são de 17%. Os

modelos R91, R145, R19 e R73 possuem fechamentos translúcidos incolor de 3mm, os modelos R92 e R38, são cinzas de 6mm e os modelos que possuem vidros verdes de 6mm são R21, R75 e R39.

A orientação solar varia entre Leste, Norte e Oeste entre os modelos, mas este fator não altera os valores das orçamentações.

4.3.1 Orçamentação

A **Tabela 4.8** apresenta os orçamentos dos serviços e o investimento total para a construção de uma edificação conforme o modelo Real. As **Tabela 4.9** a **Tabela 4.13** apresentam os orçamentos dos modelos Pareto Front, para os itens que correspondem às janelas com venezianas e o revestimento externo de EPS, não foram indicados itens pela SINAPI, pois os mesmos não apresentam nenhum item correspondente. Foram feitos orçamentos dos itens e estipulado o valor.

Tabela 4.8 - Orçamento dos serviços para o modelo Real

Descrição dos Serviços		Qtde	Un.	Código	Valor SINAPI	TOTAL	TOTAL ETAPA
1-Serviços preliminares de obra	Limpeza do Terreno	54,00	m ²	98524	R\$ 3,67	R\$ 198,18	R\$3.148,22
	Locação da Obra	40,00	m	99059	R\$ 68,54	R\$ 2.741,60	
	Compactação do Terreno	54,00	m ²	97083	R\$ 3,86	R\$ 208,44	
2 - Infraestrutura	Radier com formar E=15cm FCK 30MPA	54,00	m ²	97102	R\$ 198,60	R\$ 10.724,40	R\$ 21.163,36
	Lastro de Bitra Radier	3,78	m ³	100322	R\$ 112,50	R\$ 425,25	
	Armadura de tela de aço CA60 Radier	54,00	m ²	97090	R\$ 133,53	R\$ 7.210,62	
	Aplicação e adensamento Radier	5,40	m ³	97096	R\$ 519,09	R\$ 2.803,09	
3 - Supraestrutura	Fôrmas (cintas de amarração e vigas superiores)	48,00	m ²	92270	R\$ 220,18	R\$ 10.568,64	R\$25.381,82

	Concreto preparado na obra (cintas de amarração e vigas superiores)	2,16	m ²	103682	R\$ 897,42	R\$ 1.938,43	
	Armadura de aço CA50 Ferro 8 (cintas de amarração e vigas superior)	151,70	kg	92761	R\$ 12,92	R\$ 1.959,96	
	Armadura de aço CA50 Ferro 5 (cintas de amarração e vigas superior)	69,00	kg	92759	R\$ 15,06	R\$ 1.039,14	
	Fôrmas (Pilares)	18,00	m ²	92269	R\$ 291,19	R\$ 5.241,42	
	Concreto preparado na obra (pilares)	0,90	m ²	103669	R\$ 876,81	R\$ 789,13	
	Armadura de aço CA50 Ferro 10 (Pilares)	113,80	kg	92759	R\$ 15,06	R\$ 1.713,83	
	Armadura de aço CA50 Ferro 5 (Pilares)	186,30	kg	92762	R\$ 11,44	R\$ 2.131,27	
4 - Paredes e painéis	Alvenaria de vedação - Paredes Externas 9x14x19	106,34	m ²	103332	R\$ 133,53	R\$ 14.199,58	R\$ 18.831,74
	Alvenaria de vedação - Paredes Internas 9x14x19	34,69	m ²	103332	R\$ 133,53	R\$ 4.632,16	
5 - Vergas/ Contravergas/ Peitoris	Vergas e Contra Vergas Vão até 1,50m	7,60	m	93186	R\$ 110,63	R\$ 840,79	R\$1.342,99
	Vergas e Contra Vergas vão maior que 1,5	4,00	m	93187	R\$ 125,55	R\$ 502,20	

6- Cobertura e Proteções	Estrutura de madeira	82,32	m ²	92543	R\$ 30,99	R\$ 2.551,10	R\$ 25.425,63
	Telha termoacústica	82,32	m ²	94216	R\$ 218,08	R\$ 17.952,35	
	Cumeeira	9,80	m	100325	R\$ 83,31	R\$ 816,44	
	Calha de chapa de aço Galvanizado	1,50	m	94227	R\$ 63,30	R\$ 94,95	
	Impermeabilização - emulsão asfáltica	54,00	m ²	98557	R\$ 44,09	R\$ 2.380,86	
	Isolamento térmico da cobertura	82,32	m ²	94226	R\$ 19,80	R\$ 1.629,94	
7- Esquadrias/ Vidros/ ferragens	Esquadrias de alumínio vidro 3mm	7,15	m ²	102161	R\$ 331,64	R\$ 2.371,23	R\$ 6.950,90
	Maxim-air vidro 3mm	0,59	m ²	94569	R\$ 1.137,34	R\$ 671,03	
	Porta madeira 80x210 interna	4,00	un	90790	R\$ 809,58	R\$ 3.238,32	
	Porta madeira Externa 100x210	1,00	un	90825	R\$ 670,32	R\$ 670,32	
8 - Forros	Forro de PVC	47,10	m ²	96111	R\$ 80,44	R\$ 3.788,72	R\$ 3.788,72
9- Revestimentos de teto	Não se aplica	-	-	-	-	-	-
10- Revestimentos internos	Reboco interno	156,62	m ²	89048	R\$ 40,18	R\$ 6.292,99	R\$ 14.396,96
	Pintura Massa PVA	156,62	m ²	88497	R\$ 21,90	R\$ 3.429,98	
	Pintura com tinta látex PVA - paredes internas	156,62	m ²	104642	R\$ 11,12	R\$ 1.741,61	
	Revestimento s áreas molhadas	31,47	m ²	104611	R\$ 93,18	R\$ 2.932,37	
11- Revestimentos Externos	Reboco externo	159,53	m ²	104218	R\$ 58,44	R\$ 9.322,93	R\$ 20.389,91

	Pintura Massa Acrílica	159,53	m ²	96135	R\$ 36,71	R\$ 5.856,35	
	Pintura com tinta látex acrílico - paredes externas	159,53	m ²	95626	R\$ 19,27	R\$ 3.074,14	
	Revestimento Externo (lavanderia)	9,49	m ²	87244	R\$ 225,13	R\$ 2.136,48	
12- Pavimentação Interna	Contrapiso	42,94	m ²	87700	R\$ 52,65	R\$ 2.260,79	R\$ 8.311,78
	Piso Cerâmico esmaltado	42,94	m ²	104599	R\$ 102,11	R\$ 4.384,60	
	Rodapé Cerâmico	60,17	m	104609	R\$ 19,77	R\$ 1.189,56	
	Soleira	4,20	m	98689	R\$ 113,53	R\$ 476,83	
13- Pavimentação Externa	Calçada	26,72	m ²	94994	R\$ 93,88	R\$ 2.508,47	R\$ 2.508,47
14 - Louças e metais	Percentagem conforme Tabela 3.25 (4,5%)	-	-	-	4,50%	R\$ 6.823,82	R\$ 6.823,82
15 - Instalações Hidráulicas	Percentagem conforme Tabela 3.25 (4%)	-	-	-	4,00%	R\$ 6.338,57	R\$ 6.338,57
16 - Instalações Sanitárias	Percentagem conforme Tabela 3.25 (4%)	-	-	-	4,00%	R\$ 6.592,12	R\$ 6.592,12
17 - Instalações Pluviais							
18 - Instalações elétricas/telefônicas /Tv/Lógica	Percentagem conforme Tabela 3.25 (4,25%)	-	-	-	4,25%	R\$ 7.284,29	R\$ 7.284,29
19 - Instalações Especiais	Não se aplica	-	-	-	-	-	-
20 - Complementações	Percentagem conforme Tabela 3.25 (1,5%)	-	-	-	1,50%	R\$ 2.680,19	R\$ 2.680,19
TOTAL						R\$ 181.359,47	R\$ 181.359,47

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Tabela 4.9 - Orçamento dos serviços para os modelos R91, R145

Descrição dos Serviços	Qtde	Un.	Código	Valor SINAPI	TOTAL	
1-Serviços preliminares de obra	Iguar modelo Real				R\$ 3.148,22	
2- Infraestrutura	Iguar modelo Real				R\$ 21.163,36	
3- Supraestrutura	Iguar modelo Real				R\$ 25.381,82	
4- Paredes e painéis	Iguar modelo Real				R\$ 18.831,74	
5- Vergas/ Contravergas/ Peitoris	Iguar modelo Real				R\$ 1.342,99	
6- Cobertura e Proteções	Iguar modelo Real				R\$ 25.425,63	
7- Esquadrias/Vidros/ ferragens	Janela Veneziana com veneziana integrada branca 130x110 incolor	1,00	un	-	R\$ 2.305,84	R\$ 2.305,84
	Janela Veneziana com veneziana integrada branca 240x110 incolor	1,00	un	-	R\$ 3.120,39	R\$ 3.120,39
	Janela Veneziana com veneziana integrada branca 230x110 incolor	1,00	un	-	R\$ 3.046,86	R\$ 3.046,86
	Janela Veneziana com veneziana integrada branca 160x110 incolor	1,00	un	-	R\$ 2.527,87	R\$ 2.527,87
	Maxim-air vidro 3mm	0,59	m ²	94569	R\$ 1.137,34	R\$ 671,03

	Porta madeira 80x210 interna	4,00	un	90790	R\$ 809,58	R\$ 3.238,32
	Porta madeira Externa 100x210	1,00	un	90825	R\$ 670,32	R\$ 670,32
8- Forros	Igual modelo Real					R\$ 3.788,72
9- Revestimentos de teto	Igual modelo Real					-
10- Revestimentos internos	Igual modelo Real					R\$ 14.396,96
11 - Revestimentos Externos	Reboco externo	159,53	m ²	104218	R\$ 58,44	R\$ 9.322,93
	Pintura Massa Acrílica	159,53	m ²	96135	R\$ 36,71	R\$ 5.856,35
	Pintura com tinta látex acrílico - paredes externas	159,53	m ²	95626	R\$ 19,27	R\$ 3.074,14
	Revestimentos Externo (lavanderia)	9,49	m ²	87244	R\$ 225,13	R\$ 2.136,48
	Revestimento de EPS 1,5cm	159,53	m ²	-	R\$ 20,00	R\$ 3.190,60
12- Pavimentação Interna	Igual modelo Real					R\$ 8.311,78
13- Pavimentação Externa	Igual modelo Real					R\$ 2.508,47
14- Louças e metais	Igual modelo Real					R\$ 6.823,82
15- Instalações Hidráulicas	Igual modelo Real					R\$ 6.338,57
16- Instalações Sanitárias	Igual modelo Real					R\$ 6.592,12
17- Instalações Pluviais						
18- Instalações elétricas/telefônicas/Tv/Lógica	Igual modelo Real					R\$ 7.284,29
19- Instalações Especiais	Igual modelo Real					-
20- Complementações	Igual modelo Real					R\$ 2.680,19
TOTAL					R\$	193.179,81

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Tabela 4.10 - Orçamento dos serviços para os modelos R92

Descrição dos Serviços	Qtde	Un.	Código	Valor SINAPI	TOTAL
1-Serviços preliminares de obra	Igual modelo Real				R\$ 3.148,22
2- Infraestrutura	Igual modelo Real				R\$ 21.163,36
3- Supraestrutura	Igual modelo Real				R\$ 25.381,82
4- Paredes e painéis	Igual modelo Real				R\$ 18.831,74

5- Vergas/ Contravergas/ Peitoris	Igual modelo Real					R\$ 1.342,99	
6- Cobertura e Proteções	Igual modelo Real					R\$ 25.425,63	
7- Esquadrias/Vidros/ ferragens	Janela Veneziana com veneziana integrada branca 130x110 cinza	1,00	un	-	R\$ 2.368,35	R\$ 2.368,35	
	Janela Veneziana com veneziana integrada branca 240x110 cinza	1,00	un	-	R\$ 3.240,14	R\$ 3.240,14	
	Janela Veneziana com veneziana integrada branca 230x110 cinza	1,00	un	-	R\$ 3.161,41	R\$ 3.161,41	
	Janela Veneziana com veneziana integrada branca 160x110 cinza	1,00	un	-	R\$ 2.606,00	R\$ 2.606,00	
	Maxim-air vidro 3mm	0,59	m ²	94569	R\$ 1.137,34	R\$ 671,03	
	Porta madeira 80x210 interna	4,00	un	90790	R\$ 809,58	R\$ 3.238,32	
	Porta madeira Externa 100x210	1,00	un	90825	R\$ 670,32	R\$ 670,32	
	8- Forros	Igual modelo Real					R\$ 3.788,72
	9- Revestimentos de teto	Igual modelo Real					-
10- Revestimentos internos	Igual modelo Real					R\$ 14.396,96	
11 - Revestimentos Externos	Reboco externo	159,53	m ²	104218	R\$ 58,44	R\$ 9.322,93	
	Pintura Massa Acrílica	159,53	m ²	96135	R\$ 36,71	R\$ 5.856,35	
	Pintura com tinta látex acrílico -	159,53	m ²	95626	R\$ 19,27	R\$ 3.074,14	

	paredes externas					
	Revestimentos Externo (lavanderia)	9,49	m ²	87244	R\$ 225,13	R\$ 2.136,48
	Revestimento de EPS 1,5cm	159,53	m ²	-	R\$ 20,00	R\$ 3.190,60
12- Pavimentação Interna	Igual modelo Real					R\$ 8.311,78
13- Pavimentação Externa	Igual modelo Real					R\$ 2.508,47
14- Louças e metais	Igual modelo Real					R\$ 6.823,82
15- Instalações Hidráulicas	Igual modelo Real					R\$ 6.338,57
16- Instalações Sanitárias	Igual modelo Real					R\$ 6.592,12
17- Instalações Pluviais	Igual modelo Real					
18- Instalações elétricas/telefônicas/Tv/Lógica	Igual modelo Real					R\$ 7.284,29
19- Instalações Especiais	Igual modelo Real					-
20- Complementações	Igual modelo Real					R\$ 2.680,19
					TOTAL R\$	193.554,75

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Tabela 4.11 - Orçamento dos serviços para os modelos R19 e R73

Descrição dos Serviços	Qtde	Un.	Código	Valor SINAPI	TOTAL	
1-Serviços preliminares de obra	Igual modelo Real				R\$ 3.148,22	
2- Infraestrutura	Igual modelo Real				R\$ 21.163,36	
3- Supraestrutura	Igual modelo Real				R\$ 25.381,82	
4- Paredes e painéis	Igual modelo Real				R\$ 18.831,74	
5- Vergas/ Contravergas/ Peitoris	Igual modelo Real				R\$ 1.342,99	
6- Cobertura e Proteções	Igual modelo Real				R\$ 25.425,63	
7- Esquadrias/Vidros/ ferragens	Janela Veneziana com veneziana integrada branca 150x110 incolor	1,00	un	-	R\$ 2.454,35	R\$ 2.454,35
	Janela Veneziana com veneziana integrada branca	2,00	un	-	R\$ 2.824,87	R\$ 5.649,74

	200x110 incolor					
	Janela Veneziana com veneziana integrada branca 100x110 incolor	1,00	un	-	R\$ 2.083,84	R\$ 2.083,84
	Maxim-air vidro 3mm	0,59	m ²	94569	R\$ 1.137,34	R\$ 671,03
	Porta madeira 80x210 interna	4,00	un	90790	R\$ 809,58	R\$ 3.238,32
	Porta madeira Externa 100x210	1,00	un	90825	R\$ 670,32	R\$ 670,32
8- Forros	Igual modelo Real					R\$ 3.788,72
9- Revestimentos de teto	Igual modelo Real					-
10- Revestimentos internos	Igual modelo Real					R\$ 14.396,96
11 - Revestimentos Externos	Reboco externo	159,53	m ²	104218	R\$ 58,44	R\$ 9.322,93
	Pintura Massa Acrílica	159,53	m ²	96135	R\$ 36,71	R\$ 5.856,35
	Pintura com tinta látex acrílico - paredes externas	159,53	m ²	95626	R\$ 19,27	R\$ 3.074,14
	Revestimentos Externo (lavanderia)	9,49	m ²	87244	R\$ 225,13	R\$ 2.136,48
	Revestimento de EPS 1,5cm	159,53	m ²	-	R\$ 20,00	R\$ 3.190,60
	12- Pavimentação Interna	Igual modelo Real				
13- Pavimentação Externa	Igual modelo Real					R\$ 2.508,47
14- Louças e metais	Igual modelo Real					R\$ 6.823,82
15- Instalações Hidráulicas	Igual modelo Real					R\$ 6.338,57
16- Instalações Sanitárias	Igual modelo Real					R\$ 6.592,12
17- Instalações Pluviais	Igual modelo Real					R\$ 6.592,12
18- Instalações elétricas/telefônicas/Tv/Lógica	Igual modelo Real					R\$ 7.284,29
19- Instalações Especiais	Igual modelo Real					-
20- Complementações	Igual modelo Real					R\$ 2.680,19

TOTAL R\$	192.366,78
------------------	-------------------

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Tabela 4.12 - Orçamento dos serviços para os modelos R21, R75 e R39

Descrição dos Serviços	Qtde	Un.	Código	Valor SINAPI	TOTAL	
1-Serviços preliminares de obra	Iguar modelo Real				R\$ 3.148,22	
2- Infraestrutura	Iguar modelo Real				R\$ 21.163,36	
3- Supraestrutura	Iguar modelo Real				R\$ 25.381,82	
4- Paredes e painéis	Iguar modelo Real				R\$ 18.831,74	
5- Vergas/ Contravergas/ Peitoris	Iguar modelo Real				R\$ 1.342,99	
6- Cobertura e Proteções	Iguar modelo Real				R\$ 25.425,63	
7- Esquadrias/Vidros/ ferragens	Janela Veneziana com veneziana integrada branca 150x110 verde	1,00	un	-	R\$ 2.592,91	R\$ 2.592,91
	Janela Veneziana com veneziana integrada branca 200x110 verde	2,00	un	-	R\$ 3.012,89	R\$ 6.025,78
	Janela Veneziana com veneziana integrada branca 100x110 verde	1,00	un	-	R\$ 2.172,94	R\$ 2.172,94
	Maxim-air vidro 3mm	0,59	m ²	94569	R\$ 1.137,34	R\$ 671,03
	Porta madeira 80x210 interna	4,00	un	90790	R\$ 809,58	R\$ 3.238,32
	Porta madeira Externa 100x210	1,00	un	90825	R\$ 670,32	R\$ 670,32
	8- Forros	Iguar modelo Real				R\$ 3.788,72
9- Revestimentos de teto	Iguar modelo Real				-	
10- Revestimentos internos	Iguar modelo Real				R\$ 14.396,96	
11 - Revestimentos Externos	Reboco externo	159,53	m ²	104218	R\$ 58,44	R\$ 9.322,93

	Pintura Massa Acrílica	159,53	m ²	96135	R\$ 36,71	R\$ 5.856,35
	Pintura com tinta látex acrílico - paredes externas	159,53	m ²	95626	R\$ 19,27	R\$ 3.074,14
	Revestimentos Externo (lavanderia)	9,49	m ²	87244	R\$ 225,13	R\$ 2.136,48
	Revestimento de EPS 1,5cm	159,53	m ²	-	R\$ 20,00	R\$ 3.190,60
12- Pavimentação Interna	Igual modelo Real					R\$ 8.311,78
13- Pavimentação Externa	Igual modelo Real					R\$ 2.508,47
14- Louças e metais	Igual modelo Real					R\$ 6.823,82
15- Instalações Hidráulicas	Igual modelo Real					R\$ 6.338,57
16- Instalações Sanitárias	Igual modelo Real					R\$ 6.592,12
17- Instalações Pluviais						
18- Instalações elétricas/telefônicas/Tv/Lógica	Igual modelo Real					R\$ 7.284,29
19- Instalações Especiais	Igual modelo Real					-
20- Complementações	Igual modelo Real					R\$ 2.680,19
TOTAL R\$						192.970,48

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Tabela 4.13 - Orçamento dos serviços para os modelos R38

Descrição dos Serviços	Qtde	Un.	Código	Valor SINAPI	TOTAL
1-Serviços preliminares de obra	Igual modelo Real				R\$ 3.148,22
2- Infraestrutura	Igual modelo Real				R\$ 21.163,36
3- Supraestrutura	Igual modelo Real				R\$ 25.381,82
4- Paredes e painéis	Igual modelo Real				R\$ 18.831,74
5- Vergas/ Contravergas/ Peitoris	Igual modelo Real				R\$ 1.342,99
6- Cobertura e Proteções	Igual modelo Real				R\$ 25.425,63
7- Esquadrias/Vidros/ ferragens				R\$ 2.527,27	R\$ 2.527,27
	Janela Veneziana com veneziana integrada branca 150x110 cinza	1,00	un	-	

	Janela Veneziana com veneziana integrada branca 200x110 cinza	2,00	un	-	R\$ 2.923,81	R\$ 5.847,62
	Janela Veneziana com veneziana integrada branca 100x110 cinza	1,00	un	-	R\$ 2.130,75	R\$ 2.130,75
	Maxim-air vidro 3mm	0,59	m ²	94569	R\$ 1.137,34	R\$ 671,03
	Porta madeira 80x210 interna	4,00	un	90790	R\$ 809,58	R\$ 3.238,32
	Porta madeira Externa 100x210	1,00	un	90825	R\$ 670,32	R\$ 670,32
8- Forros	Igual modelo Real					R\$ 3.788,72
9- Revestimentos de teto	Igual modelo Real					-
10- Revestimentos internos	Igual modelo Real					R\$ 14.396,96
11 - Revestimentos Externos	Reboco externo	159,53	m ²	104218	R\$ 58,44	R\$ 9.322,93
	Pintura Massa Acrílica	159,53	m ²	96135	R\$ 36,71	R\$ 5.856,35
	Pintura com tinta látex acrílico - paredes externas	159,53	m ²	95626	R\$ 19,27	R\$ 3.074,14
	Revestimentos Externo (lavanderia)	9,49	m ²	87244	R\$ 225,13	R\$ 2.136,48
	Revestimento de EPS 1,5cm	159,53	m ²	-	R\$ 20,00	R\$ 3.190,60
12- Pavimentação Interna	Igual modelo Real					R\$ 8.311,78
13- Pavimentação Externa	Igual modelo Real					R\$ 2.508,47
14- Louças e metais	Igual modelo Real					R\$ 6.823,82
15- Instalações Hidráulicas	Igual modelo Real					R\$ 6.338,57
16- Instalações Sanitárias	Igual modelo Real					R\$ 6.592,12
17- Instalações Pluviais						
18- Instalações elétricas/telefônicas/Tv/Lógica	Igual modelo Real					R\$ 7.284,29
19- Instalações Especiais	Igual modelo Real					-
20- Complementações	Igual modelo Real					R\$ 2.680,19

TOTAL R\$	192.684,49
-----------	------------

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

A **Tabela 4.14** informa os valores totais dos modelos, desta forma é possível ver que os investimentos iniciais são próximos para todos os modelos, uma vez que a diferença entre os modelos do Pareto Front, é a cor dos vidros e as dimensões das janelas, sendo o menor de R\$ 11.007,30, dos modelos R19 e R73 que representa 6,07% do valor total, e o maior investimento é de R\$ 12.195,27 do modelo R92, que representa 6,72% do valor total.

Tabela 4.14 - Resumo dos valores totais dos orçamentos

Modelo	Valores Total	Investimento Inicial	Percentual de Acréscimo
Real	R\$ 181.359,47	-	-
R91, R145	R\$ 193.179,81	R\$ 11.820,33	6,52%
R92	R\$ 193.554,75	R\$ 12.195,27	6,72%
R19, R73	R\$ 192.366,78	R\$ 11.007,30	6,07%
R21, R75, R39	R\$ 192.970,48	R\$ 11.611,00	6,40%
R38	R\$ 192.684,49	R\$ 11.325,01	6,24%

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Conforme indica **Tabela 4.14**, os valores utilizados para as edificações correspondem a edificações suscetíveis a financiamento para as faixas 1 e 2, conforme indicado no capítulo 2.4.2.

4.3.2 Balanço Energético

A **Tabela 4.15** mostra o consumo e o custo energético dos modelos estudados, utilizando como base o modelo Real, comparou-se o consumo com o restante dos modelos, o qual pode ser verificado a economia gerada, pelas alterações das estratégias bioclimáticas.

Tabela 4.15 - Resultados de consumo e economia de energia

Modelo	Energia (kWh/ano)		Custo (R\$/ano)			Economia (%)
	Consumo	Economia	Tarifa	Total	Economia	
Real	1722	-	0,81	1394,82	-	-
R91	1189	533	0,81	963,09	431,73	44,83%
R92	1163	559	0,81	942,03	452,79	48,07%
R145	1128	594	0,81	913,68	481,14	52,66%
R19	1021	701	0,81	827,01	567,81	68,66%
R21	1008	714	0,81	816,48	578,34	70,83%
R75	943	779	0,81	763,83	630,99	82,61%
R73	963	759	0,81	780,03	614,79	78,82%
R38	953	769	0,81	771,93	622,89	80,69%
R39	951	771	0,81	770,31	624,51	81,07%

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

É possível verificar que a maior economia de energia foi de 82,61%, no modelo R75. O modelo R91 teve a economia mais baixa, de 44,83%, porém seu PHFT é o melhor de todos os modelos estudados, conforme **Figura 4.15**.

4.3.3 Resultados de Custo da energia conservada

O cálculo de energia conservada, como indicado no item 3.7.3, é a operação que permite que seja relacionado o custo de investimento adicional com a energia economizada, vida útil do edifício e ainda com o INCC. Na Tabela **4.16** é possível verificar que as soluções não são economicamente viáveis pois o seu custo de energia conservada, ficaram menores do que o custo da tarifa de energia, o que não aconteceu com os outros modelos otimizados.

Tabela 4.16 - Resultado do cálculo do custo de energia conservada

Modelo	Investimento Adicional	Economia energia (kWh/a)	n (anos)	d	CEC (R\$/kWh)	Tarifa de energia (R\$/kWa)	CEC/Tarifa
R91	R\$ 11.820,33	533	50	0,0613	1,43	0,81	1,77
R92	R\$ 12.195,27	559	50	0,0613	1,41	0,81	1,74
R145	R\$ 11.820,33	594	50	0,0613	1,29	0,81	1,59
R19	R\$ 11.007,30	701	50	0,0613	1,01	0,81	1,25
R21	R\$ 11.611,00	714	50	0,0613	1,05	0,81	1,30
R75	R\$ 11.611,00	779	50	0,0613	0,96	0,81	1,19
R73	R\$ 11.007,30	759	50	0,0613	0,94	0,81	1,16
R38	R\$ 11.325,01	769	50	0,0613	0,95	0,81	1,17
R39	R\$ 11.611,00	771	50	0,0613	0,97	0,81	1,20

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

4.3.4 Resultados de *payback* simples e descontado

Os cálculos de *payback* simples e descontado, são considerados viáveis quando o tempo de retorno do investimento adicional não ultrapassa o valor de vida útil da edificação, que é de 50 anos.

Para isso a **Tabela 4.17** mostra que para o *payback* simples, todos os modelos são economicamente viáveis, com destaque para as soluções R19, R75, R73, R38 e R39, que o tempo de retorno estimado não passa de 20 anos.

Tabela 4.17 - *Payback* Simples dos modelos

Modelo	Investimento Adicional	Economia energia (kWh/a)	Tarifa de energia (R\$/kWa)	Economia	PB simples (anos)	Vida útil 50 anos
R91	R\$ 11.820,33	533	0,81	R\$ 431,73	27,38	PB<50
R92	R\$ 12.195,27	559	0,81	R\$ 452,79	26,93	PB<50
R145	R\$ 11.820,33	594	0,81	R\$ 481,14	24,57	PB<50
R19	R\$ 11.007,30	701	0,81	R\$ 567,81	19,39	PB<50
R21	R\$ 11.611,00	714	0,81	R\$ 578,34	20,08	PB<50
R75	R\$ 11.611,00	779	0,81	R\$ 630,99	18,40	PB<50
R73	R\$ 11.007,30	759	0,81	R\$ 614,79	17,90	PB<50
R38	R\$ 11.325,01	769	0,81	R\$ 622,89	18,18	PB<50
R39	R\$ 11.611,00	771	0,81	R\$ 624,51	18,59	PB<50

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Os Resultados da **Tabela 4.18** também foi positivo no aspecto econômico, porém, os modelos R91, R92 possuíram um tempo maior para retorno do investimento do que a vida útil de 50 anos da edificação.

Tabela 4.18 - Payback descontado dos modelos

Modelo	Investimento Adicional	i Investimento	Valor Futuro Investimento	Economia	i economia (%)	Valor Futuro Pagamento	PB Descontado (anos)
R91	R\$ 11.820,33	10,38%	R\$ 1.648.728,84	R\$ 431,73	9,00%	R\$ 32.102,37	51,36
R92	R\$ 12.195,27	10,38%	R\$ 1.701.026,38	R\$ 452,79	9,00%	R\$ 33.668,34	50,52
R145	R\$ 11.820,33	10,38%	R\$ 1.648.728,84	R\$ 481,14	9,00%	R\$ 35.776,38	46,08
R19	R\$ 11.007,30	10,38%	R\$ 1.535.325,44	R\$ 567,81	9,00%	R\$ 42.220,94	36,36
R21	R\$ 11.611,00	10,38%	R\$ 1.619.530,98	R\$ 578,34	9,00%	R\$ 43.003,93	37,66
R75	R\$ 11.611,00	10,38%	R\$ 1.619.530,98	R\$ 630,99	9,00%	R\$ 46.918,85	34,52
R73	R\$ 11.007,30	10,38%	R\$ 1.535.325,44	R\$ 614,79	9,00%	R\$ 45.714,26	33,59
R38	R\$ 11.325,01	10,38%	R\$ 1.579.640,41	R\$ 622,89	9,00%	R\$ 46.316,56	34,11
R39	R\$ 11.611,00	10,38%	R\$ 1.619.530,98	R\$ 624,51	9,00%	R\$ 46.437,01	34,88

 PB<50  PB>50

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2023

Desta forma é possível afirmar, que mesmo soluções simples de estratégias bioclimáticas podem influenciar no desempenho das edificações, e além de ganhos de desempenho, também geram ganhos econômicos, uma vez que este investimento inicial é recuperado com os anos de utilização da edificação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo teve como objetivo melhorar o desempenho energético de uma Habitação de Interesse Social (HIS) situada na Zona Bioclimática 3 (ZB3), seguindo as normas NBR 15575 (2021), NBR 15220 (2005) e INI-R (2021). Para alcançar essa meta, foram aplicadas estratégias bioclimáticas que abrangeram mudanças nos materiais das paredes e vidros, orientação solar, abertura de janelas e cores dos revestimentos. Além disso, foram exploradas soluções arquitetônicas para atingir os níveis máximos de conformidade com as normas mencionadas, enquanto também foram realizadas análises econômicas associadas a essas variáveis.

Os resultados indicam que as soluções analisadas levaram a uma redução no consumo de energia em comparação com o modelo Real. As melhores soluções sempre envolveram o uso de venezianas como controle solar, além de paredes e coberturas com absorção de 0,2, e as paredes com uso de EPS estiveram presentes em todos os modelos do Pareto Front.

Os modelos otimizados demonstraram bom desempenho para as orientações Norte, Leste e Oeste, consideradas as mais críticas. No entanto, os modelos não otimizados, como a edificação Real orientada para o norte (Real) e para o leste (ROL), apresentaram um desempenho melhor em relação à C_{gTT} e PHFT do que a edificação orientada para o sul (ROS) e oeste (ROO). Apesar de a orientação Sul não estar no Pareto Front, ainda obteve resultados favoráveis, como mostrado no Apêndice D.

Além disso, é relevante observar que, de acordo com os resultados obtidos no estudo, a carga térmica para aquecimento (C_{gTA}) representa entre 10% e 30% da carga térmica total (C_{gTT}). Essa disparidade entre as demandas de aquecimento e resfriamento é claramente visível e alinhada com as condições da região. Em geral, nota-se que a demanda por sistemas de resfriamento em períodos quentes supera consideravelmente a necessidade de sistemas de aquecimento em períodos frios, não apenas devido a fatores culturais, mas também em resposta às exigências de conforto térmico dos usuários.

Embora a umidade relativa do ar não tenha sido abordada neste estudo, é crucial ressaltar que a sensação de desconforto causada pelas elevadas temperaturas na região é ampliada devido à alta umidade relativa do ar. Esse fenômeno é

diretamente influenciado pela proximidade dos rios Iguaçu e Paraná, além do lago da Itaipu.

Os custos adicionais variaram entre 6,07% e 6,72%, o que é relativamente baixo, considerando que as edificações alcançaram um PHFT de cerca de 80%, resultando em economia de energia de até 82,61%, como mencionado anteriormente.

As análises financeiras foram satisfatórias, embora nenhum modelo tenha atingido um custo-benefício positivo. No entanto, os cálculos de *payback* simples e descontado demonstraram viabilidade, com os modelos R91 e R92, os quais possuem as aberturas com 23%, os dormitórios são orientados para o norte, paredes de coberturas com absorvância de 0,2, paredes com EPS, sendo que o modelo 91 possui vidro de 3mm e o R92 possui vidro cinza, sendo os únicos que não atingiram um *payback* descontado menor que a vida útil da edificação.

Dessa forma, fica evidente que escolhas estratégicas de projeto e medidas de construção simples, como a seleção adequada de cores para paredes e coberturas, juntamente com a orientação solar correta, têm um impacto significativo no desempenho global da construção. A implementação dessas medidas, com custos iniciais moderados e impacto financeiro reduzido, pode melhorar tanto a qualidade de vida quanto a saúde financeira das famílias que residem em Habitações de Interesse Social (HIS).

5.1 Limitações do Trabalho

Foram identificadas as seguintes limitações do trabalho:

- **Simulações Individuais e Diversificação de Parâmetros:** O estudo baseou-se em simulações individuais, o que demandou um investimento considerável de tempo e limitou a diversificação dos parâmetros analisados. Seria vantajoso considerar a implementação de algoritmos para possibilitar a exploração de um espectro mais amplo de materiais, permitindo a execução de um maior número de simulações computacionais simultaneamente. Essa abordagem possibilitaria uma maior variação nas estratégias bioclimáticas, ampliando as alternativas avaliadas, enquanto simultaneamente reduziria o tempo de processamento e a organização dos dados resultantes.

• **Consideração da Umidade do Ar:** O trabalho utilizou a temperatura operativa como parâmetro de desempenho térmico da edificação, deixando de considerar as questões relacionadas à umidade do ar. Embora as normas não exijam a consideração da umidade do ar, é importante destacar que a umidade do ar influencia diretamente na sensação de conforto térmico do usuário. Portanto, futuras pesquisas poderiam explorar a inclusão desse fator para uma avaliação mais completa do conforto térmico nas edificações.

Essas limitações são importantes considerações para o desenvolvimento futuro do estudo, visando uma análise mais abrangente e precisa do desempenho energético e do conforto térmico das edificações.

5.2 Trabalhos futuros

A seguir são apresentadas algumas recomendações para trabalhos futuros:

- **Ampliação para Outras Zonas Bioclimáticas:** O estudo atual concentrou-se na Zona Bioclimática 3, mas seria vantajoso expandir as análises para outras zonas bioclimáticas do Brasil. Isso permitiria uma compreensão mais abrangente das necessidades e soluções específicas para diferentes regiões do país.
- **Aprofundamento das Simulações:** A utilização de algoritmos para variar ainda mais as soluções bioclimáticas é uma recomendação relevante. Isso possibilitaria uma análise mais detalhada e a identificação de estratégias ainda mais eficazes para o desempenho energético e o conforto térmico das edificações.
- **Variação do Uso e Ocupação:** A realização de simulações que considerem variações no uso e ocupação da edificação, especialmente aquelas que não estejam dentro do escopo das normas, é uma abordagem interessante. Isso ajudaria a adaptar as edificações para uma variedade de necessidades, como o uso residencial, refletindo as mudanças nas formas de utilização da residência.
- **Incorporação de Projetos Arquitetônicos Externos:** Além do estudo das estratégias bioclimáticas internas, considerar o impacto de projetos

arquitetônicos externos, como edificações vizinhas e elementos de sombreamento externo, pode ser relevante para uma análise mais completa do ambiente construído.

- **Comunicação Pública Acessível:** A publicação dos resultados em linguagem acessível é fundamental para disseminar o entendimento público sobre a importância e os benefícios das estratégias bioclimáticas. Isso pode contribuir para uma maior conscientização sobre a eficiência energética e a sustentabilidade nas construções, incentivando seu uso mais amplo.
- **Variação de modelos de HIS:** No presente trabalho, foi adotado um único modelo de edificação, considerado o mais representativo de acordo com o PCVA. No entanto, também é interessante estudar variações arquitetônicas, como diferentes arranjos na planta baixa e a incorporação de elementos como varandas, por exemplo.

Essas recomendações podem orientar pesquisas futuras e contribuir para o avanço do conhecimento na área de eficiência energética e conforto térmico em edificações, bem como para a promoção de práticas mais sustentáveis na construção civil.

REFERÊNCIAS

- ABIKO, A.K; ORNSTEIN, S.W. **Inserção Urbana e Avaliação Pós-Ocupação (APO) da Habitação de Interesse Social**. São Paulo: FAUUSP, Coletânea Habitare, 2002.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro - RJ: 2005.
- ABNT. **NBR 15575 - Edificações habitacionais-Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro - RJ: 2021a.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 - Edificações habitacionais-Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE**. Rio de Janeiro - RJ: 2021b.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 - Edificações habitacionais-Desempenho Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas**. Rio de Janeiro - RJ: 2021c.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Thermal environmental conditions for human occupancy. **ANSI/ASHRAE Standard - 55**, Atlanta, v. 7, p. 6, 2017.
- ANEEL. **Tarifas Residênciais**. 2021. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiZDFmMzIzM2QzM2EyNi00YjkyLWlxNDMtYTU4NTI0NWlyNTI5liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 2 ago. 2023.
- ASSIS, E. S. de *et al.* Habitação Social e Eficiência Energética: Um Protótipo Para O Clima De Belo Horizonte. **II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética**, Vitória, 2007.
- AZEVEDO, S. de; ANDRADE, L. A. G. de. **Habitação e poder: da fundação da casa popular ao Banco Nacional da Habitação**. Rio de Janeiro: Centro Edelstein, 2011. *E-book*. Disponível em: <http://books.scielo.org/id/xnfq4>.

- BAVARESCO, M. V. *et al.* Aspectos impactantes no desempenho energético de habitações de interesse social brasileiras: revisão de literatura. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 263–292, 2021.
- BAVARESCO, M. V. *et al.* Classificação de climas brasileiros empregada na atualização dos Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações. **Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações - CB3E**, Florianópolis, p. 8, 2017. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/Relatorio_GruposClimaticos.pdf.
- BONDUKI, N. G. Origens da habitação social no Brasil. **Análise Social**, Lisboa, v. 29, n. 3, p. 711–732, 1994.
- BONDUKI, N. G. **Origens da habitação social no Brasil: Arquitetura moderna, lei do inquilinato e difusão da casa própria**. 7. ed. São Paulo: Estação Liberdade: Fapesp, 2017.
- BORTOLI, K.C.R; VILLA, S.B. Conforto ambiental como atributo para a resiliência em habitações de interesse social brasileiras. **Revista Projetar**, Natal, v. 5, n. 3, p. 126–140, 2020.
- BRACHT, M. K.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. A metamodel for building information modeling-building energy modeling integration in early design stage. **Automation in Construction**, Florianópolis, v. 121, p. 103422, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926580520310025>.
- BRASIL. **Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências**. 2001.
- BRASIL. **Lei Federal n.º 11.977, de 7 de julho de 2009**. Brasília, Brasil: 2009.
- BRASIL. **Lei nº 14.118, de 12 de janeiro de 2021**. Brasília, Brasil: 2021.
- BRASIL; INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Consulta Pública nº18, de 12 de Julho de 2021 - Proposta de alteração da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, aprovada pela Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012**. Brasil: 2021. Disponível em: www.inmetro.gov.br.
- BRASIL, MINISTÉRIOS DAS CIDADES. **Guia dos beneficiários – Programa minha casa, minha vida**. Brasília, 2023. Disponível em: [130](https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/habitacao/programa-minha-casa-minha-</p></div><div data-bbox=)

vida/guia-dos-beneficiarios-2013-programa-minha-casa-minha-vida-pmcmv. Acesso em: 25 set. 2023

CAIXA ECONOMICA FEDERAL (CEF). **SINAPI Metodologias e Conceitos**. 8. ed. Brasília: Caixa, 2020-. ISSN 9788578110796. Disponível em: http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-manual-de-metodologias-e-conceitos/Livro1_SINAPI_Metodologias_e_Conceitos_8_Edicao.pdf.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-residenciais**. 2008. 196 f. Florianópolis, 2008.

CARVALHO, C. M. *et al.* Manifestações patológicas em edificações populares do programa minha casa minha vida. II **CONORA**, Santana do Araguaia - PA, 2020.

CASELLI, C. **Fachada de edifício residencial em vidro no século XXI: clima, conforto e conservação de energia**. 2011. - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2011.

CB3E. **Proposta de Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais Núcleo Residencial**. Florianópolis: Centro Brasileiro de eficiência energética em edificações - CB3E, 2018. *E-book*. Disponível em: https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/2018-09-25-INI-R_-_Versão02.pdf. Acesso em: 2 ago. 2023.

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

CIDADE-BRASIL. **Município de Foz do Iguaçu**, 2021. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-foz-do-iguacu.html>. Acesso em: 2 ago. 2023.

COELHO, A.L **Análise custo-benefício entre os sistemas construtivos em alvenaria cerâmica e light steel frame frente as exigências de desempenho térmico e energético em edificações unifamiliares na ZB2**. 2021. - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

COPEL. **Tarifas de energia elétrica**, 2023. Disponível em: <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tarifas-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 30 jul. 2023.

- CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos - Conforto Ambiental**. Rio de Janeiro, RJ: Revan, 2003.
- CORNETET, M. C. **Recomendações para Especificação de Vidros em Edificações Comerciais na Região Climática de Porto Alegre-RS**. 2009. - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Santa Maria, RS, 2009.
- CRAWLEY, D. B. *et al.* EnergyPlus: Energy simulation program. **ASHRAE Journal**, - , v. 42, p. 49–56, 2000.
- DALBEM, R. **Desempenho de edificação residencial no Sul do Brasil sob a ótica energética e econômica: da NBR 15575 à Passive House**. 2018. - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.
- DALFOVO, W.C.T.. *et al.* A viabilidade econômica da implantação de energia solar fotovoltaica para a redução dos custos com energia elétrica das famílias com diferentes níveis de renda: uma análise para a região norte de Mato Grosso. **Sustentabilidade, Contabilidade e Gestão**, Rio de Janeiro, 2019 Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/scg/article/view/23111>
- DUARTE, F. **Arquitetura e Tecnologias de Informação: da Revolução Industrial à Revolução**. São Paulo: Annablume, Fapesp, 1999. *E-book*. Disponível em: https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=AgLyViiB65UC&oi=fnd&pg=PA11&dq=revolução+digital&ots=AQroq43Jog&sig=H-dzyl5hyLjilDeTR9tdYimFXjk&redir_esc=y#v=onepage&q=revolução+digital&f=false.
- ELI, L. G. *et al.* Análise da Eficiência Energética da Envoltória de Edificações Residenciais Conforme a Instrução Normativa do Inmetro (INI-R). **XVI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Palmas - TO, 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/355492374>.
- ELI, L. G. *et al.* Manual de Simulação Computacional de Edifícios com o Uso do Objeto Ground Domain no Programa Energy Plus. **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**, Florianópolis, 2019.
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023 ano base 2022**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario-livro/>. Acesso em: 31 jul. 2023.
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Ações para a promoção da eficiência energética nas edificações brasileiras: no caminho da transição energética**. Rio de Janeiro, 2020.

- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Demanda e Eficiência Energética Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032**. Rio de Janeiro, 2023.
- FERREIRA, C. A Contextualização Do PMCMV em uma Cidade Média: Nova Configuração Territorial e Impacto Socioespacial no Conjunto Santa Júlia em Mossoró-RN. **Revista de Geografia**, Recife, v. 37, n. 3, p. 381–404, 2020.
- FRANCISCO, E. de R. **Relação entre o consumo de energia elétrica, a renda e a caracterização econômica de famílias de baixa renda do município de São Paulo**. 2006. – Escola de Administração de empresas de São Paulo da Fundação Getulio Vargas, São Paulo, 2006.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Deficit Habitacional no Brasil - 2016-2019**. Belo Horizonte: FJP, 2021. *E-book*. Disponível em: http://fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/04/21.05_Relatorio-Deficit-Habitacional-no-Brasil-2016-2019-v2.0.pdf. Acesso em: 2 ago. 2023.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **DÉFICIT HABITACIONAL NO BRASIL 2009**. Belo Horizonte – MG, 2012.
- GALBIATTI, P. G. Energia e mudanças climáticas: impactos socioambientais das hidrelétricas e diversificação da matriz energética brasileira. **Opinión Jurídica**, Medellín, v. 17, n. 33, p. 123–147, 2018. Disponível em: <http://revistas.udem.edu.co/index.php/opinion/article/view/2463>.
- GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 18, n. 1, p. 11–23, 1992.
- HADDAD, J. A lei da Eficiência Energética e os possíveis impactos nos setores produtivos. Itajubá - MG, 2002. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000100006&script=sci_arttext. Acesso em: 2 ago. 2023.
- IBGE. **Inflação**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php>. Acesso em: 14 fev. 2022.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Arquivos Climáticos**. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2018>. Acesso em: 2 ago. 2023.
- IBGE. **Foz do Iguaçu**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/foz-do-iguacu.html>. Acesso em: 12 out. 2023.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). Inventário de Emissões Atmosféricas em Usinas Termelétricas: geração de eletricidade, emissões e lista de empresas proprietárias das termelétricas a combustíveis fósseis e de serviço público do sistema interligado nacional (ano-base 2020). 2022. Disponível em: www.linkedin.com/company/.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Arquivos climáticos**. 2018. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2018>. Acesso em: 13 fev. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil**. 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 2 ago. 2023.

JOHN, V. M.; PRADO, R. T. A. **Selo Casa Azul: Boas Práticas para Habitação Mais Sustentável**. São Paulo: 2010. Disponível em: http://www.cbcs.org.br/userfiles/download/Guia_Selo_Casa_Azul_CAIXA.pdf. Acesso em: 2 ago. 2023.

KALYANMOY, D. Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms: An Introduction. **Kangal Report**, Kanpur , v. 2011003, 2011.

KNOP, S. **Comportamento termoenergético de edificação histórica com novo uso na cidade de Pelotas: o caso do casarão 02 - Secretaria Municipal da Cultura**. 2012. 142 f. Pelotas, 2012.

KÖPPEN, W. P. **Climatologia: com um estadió de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Economica, 1948.

KOTTEK, M. *et al.* World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259–263, 2006.

LABEEE. **Analysis Sol-Ar**. Versão Versão 6.2. [S. l.: s. n.], 2009. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-bio>. Acesso em: 2 ago. 2023.

LAMBERTS, R. *et al.* **Casa Eficiente: Simulação Computacional do Desempenho Termo-Energético**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010. v. 4

LAMBERTS, R. *et al.* **Eficiência Energética no Desenvolvimento Urbano Sustentável - Produto 1 - Plano de Trabalho: Preparação, Estruturação e revisão literária**. Brasília, 2020a. *E-book*. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/node/980>. Acesso em: 2 ago. 2023.

LAMBERTS, R. *et al.* **Eficiência Energética no Desenvolvimento Urbano Sustentável - Produto 2- Definição de 3 “unidades-base” habitacionais e**

definição de linhas de base simuladas de desempenho térmico e energético. Brasília: 2020b. *E-book*. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/node/980>. Acesso em: 2 ago. 2023.

LAMBERTS, R. *et al.* **Eficiência Energética no Desenvolvimento Urbano Sustentável - Produto 3 -Tarefa IV -Aplicação de parâmetros relevantes a eficiência energética nas 3 “unidades-base” e Tarefa V-Estudo paramétrico de desempenho térmico e energético.** Brasília: 2020c. *E-book*. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/node/980>. Acesso em: 2 ago. 2023.

LAMBERTS, R. *et al.* **Eficiência Energética no Desenvolvimento Urbano Sustentável - Produto 4 - Tarefa VI-Estudo de custo de implementação de melhorias.** Brasília: -, 2020d. *E-book*. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/node/980>. Acesso em: 2 ago. 2023.

LAMBERTS, R. *et al.* **Eficiência Energética no Desenvolvimento Urbano Sustentável - Produto 5 - Tarefa VII - Análise de custo/benefício de parâmetros de EE em HIS.** Brasília: 2021. *E-book*. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/node/980>. Acesso em: 2 ago. 2023.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3ªed. São Paulo: Prolivros, 2014.

LECHNER, N. **Heating, Cooling, Lighting: sustainable design methods for architects.** 4. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2015.

MALAGUERRA, R. I. P. **Conforto Térmico Exterior em Zonas Urbanas: Contributos de Levantamentos Expeditos na Pré-avaliação de Ações.** 2021. - Universidade de Coimbra, Coimbra, 2021.

MARTINS, D. J. *et al.* Ensaio sobre a utilização da automação de aberturas na simulação do desempenho térmico de edificações. **ENCAC**, Natal - RN, 2009.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras.** 3.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

MENDES, N. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47–68, 2008.

MERIN, G. **Revelado os planos de reconstrução do Palácio de Cristal em Londres.** 2013. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/01->

148083/revelados-os-planos-de-reconstrucao-do-palacio-de-cristal-em-londres.

Acesso em: 2 ago. 2023.

MEULAM, J. C. D. O. *et al.* Os conceitos da arquitetura bioclimática e sua relação com a eficiência energética nas edificações. **International Journal of Environmental Resilience Research and Science**, v. 2, n. 1, p. 96–108, 2020. Disponível em: <http://e-revista.unioeste.br/index.php/ijerrs/article/view/26006>.

MEYLAN, A. A política de habitação social no Brasil: as inflexões da política habitacional pelo Programa Minha Casa, Minha Vida. **Revista Brasileira de Direito Urbanístico**, Belo Horizonte, v. 5, n. 8, p. 77–97, 2019.

MONTEIRO, A. R.; VERAS, A. T. de R. A Questão Habitacional No Brasil. **Mercator**, Fortaleza, v. 16, n. 7, p. 1–12, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mercator/a/ZkVrVHZqbHWQwK6HRpGrcXN/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 2 ago. 2023.

MORAES, M. R. **Avaliação do desempenho térmico das paredes e níveis de conforto de uma edificação bioclimática em uma região de clima quente e seco**. 2020. 0–113 f. - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2020.

NÓBREGA, R. S. Um Pensamento Crítico Sobre Classificações Climáticas: De Köppen Até Strahler. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 3, n. 1, p. 18, 2010.

OLGYAY, V. **Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism: New and expanded edition**. Princetoned. New Jersey: Princeton University Press, 1973.

OLIVEIRA, L. da S. **Avaliação dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos da nbr 15220-3, para habitações de interesse social, da zona bioclimática**. 2012. - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

OLIVEIRA, D. P. R. de. **Eficiência Energética Segundo Regulamento Brasileiro de Etiquetagem: Estudo em edificação do Exército Brasileiro**. 2021. - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021. Disponível em: https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/40938/1/DISSERTAÇÃO_Danyeverson_Phelipe_Rodrigues_de_Oliveira.pdf. Acesso em: 2 ago. 2023.

OLIVEIRA, J. S. de. **Estudo da Eficiência Térmica de uma Habitação no Brasil e em Portugal**. 2020. - Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Energias Sustentáveis, Porto, 2020.

- OLIVEIRA, R. *et al.* Multi-objective optimisation of the energy performance of lightweight constructions combining evolutionary algorithms and life cycle cost. **Energies**, v. 11, n. 7, 2018.
- PERUZZO, M.R.. **Avaliação pós-ocupacional em habitação de interesse social: comportamento da satisfação do usuário após médio período de permanência.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE FOZ DO IGUAÇU. **Lei Complementar nº3, 16 de julho de 1991.** BRASIL: 1991.
- RAMOS, J. da S.; NOIA, A. C. A Construção de Políticas Públicas em Habitação e o Enfrentamento do Déficit Habitacional no Brasil: Uma Análise do Programa Minha Casa Minha Vida. **Revista Desenvolvimento em Questão**, Ijuí - RS, v. 14, n. 33, p. 65–105, 2016.
- ROMEIRO, N. M. da S. **Melhoria do Desempenho Térmico dos Edifícios De Habitação No Brasil:** Análise Comparativa Dos Requisitos Regulamentares Brasileiros E. 2019. 82 f. - Universidade de Coimbra, Coimbra, 2019.
- RUBEL, F.; KOTTEK, M. Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 19, n. 2, p. 135–141, 2010.
- SACHT, H. M. *et al.* Concepção de um sistema de fachada para reabilitação eco-eficiente de edifícios: estudo dos tipos de envidraçados para quatro cidades portuguesas. **XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Canela, RS, n. 1, 2010.
- SCALCO, V. A. *et al.* Innovations in the Brazilian regulations for energy efficiency of residential buildings. **Architectural Science Review**, v. 55, n. 1, p. 71–81, 2012.
- SHELLER, C. *et al.* **Análise de arquivos climáticos para a simulação de desempenho energético de edificações.** Florianópolis: Centro Brasileiro de eficiência energética em edificações - CB3E, 2015.
- SEIXAS, J. N. **Análise do desempenho térmico de uma espuma vítrea aplicada em habitação de interesse social.** 2020. - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.
- SHIMBO, L. Z. **Habitação Social, Habitação de Mercado.** 2010. - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

- SHIMBO, L. Sobre os capitais que produzem habitação no Brasil. **Novos Estudos - CEBRAP**, São Paulo, v. 35, n. 02, p. 119–133, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/nec/a/9cG4ypvmbKJsFcyfc3nMbfq/?lang=pt&format=html>.
- SILVA, M. L. da; TOURINHO, H. L. Z. O Banco Nacional de Habitação e o Programa Minha Casa Minha Vida: duas políticas habitacionais e uma mesma lógica locacional. **Cadernos Metrópole**, São Paulo, v. 17, n. 34, p. 401–417, 2015.
- SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL (SINAPI). **Preços de Insumos (PR - não -Desonerado)**. 2023. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_655. Acesso em: 17 jul. 2023.
- SOARES, E. M. M. **Soluções Bioclimáticas e Sustentabilidade na Otimização do Desempenho Térmico dos Edifícios**. 2021. - Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2021. Disponível em: <https://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/18097>. Acesso em: 2 ago. 2023.
- SOARES, J. A. S.; CÂNDIDO, G. A. Planejamento Energético No Brasil: a Caminho De Uma Política Energética De Inserção Da Matriz Nos Moldes Da Sustentabilidade. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 637–662, 2020.
- STEINKE, E. T. **Climatologia fácil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.
- TEIXEIRA, P. S. **Análise da eficiência termoenergética e da viabilidade econômica dos sistemas de coberturas para edificações residenciais em Foz do Iguaçu, Paraná**. 2022. Foz do Iguaçu-PR, 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-959-de-18-de-maio-de-2021-320687425>.
- TEIXEIRA, R. B. **Arquitetura vernacular: em busca de uma definição**. 2017. Disponível em: <https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/17.201/6431>. Acesso em: 13 mar. 2022.
- TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, Florianópolis, v. 87, p. 524–541, 2015. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421515300859>.
- VAZ, C.R. **Obtenção de Desempenho NZEB em Edificações Residenciais Multifamiliares de Interesse Social no Sul do Brasil, utilizando Algoritmos Genéticos**. 2022. - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

VEIGA, R. K. S. *et al.* Proposta para as escalas dos níveis de desempenho térmico de residências: NBR 15575. **XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC**, Porto Alegre, v. 18, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/345958810>.

VETTORAZZI, E. **Contribuições das estratégias do conceito Passive House para edificações energeticamente mais eficientes na Região Sul-Brasileira**. 2019. 371 f. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/200563>.

VETTORAZZI, E., Figueiredo, A., Rebelo, F., Vicente, R., & Feiertag, G. A. (2023). Beyond passive House: use of evolutionary algorithms in architectural design. *Journal of Building Engineering*, 76. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.107058>

VIANA, S. G.; LEITE, R. C. V.; NAZARETH, S. B. M. Avaliação da Eficiência Energética em Habitação de interesse social. *Em: , 2019, Uberlândia - MG. Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído*. Uberlândia - MG: 2019. p. 1062–1073. Disponível em: http://www.eventos.ufu.br/sites/eventos.ufu.br/files/documentos/097_avaliacao_da_eficiencia_31_0.pdf.

WEBER, F. da S. *et al.* Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiro para uso no programa EnergyPlus. **Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina**, Florianópolis, 2017. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/Biblioteca_ComponentesConstrutivos_0.pdf. Acesso em: 2 ago. 2023.

WESTPHAL, F. S. **Manual Técnico do vidro plano para edificações**. São Paulo: ABVIDRO, 2016. Disponível em: https://abividro.org.br/wp-content/uploads/2019/01/Abividro_Manual_Tecnico-do-Vidro_Plano_Edificacoes.pdf. Acesso em: 5 jul. 2023.

APÊNDICE A - MODELO FORMULÁRIO

Formulário para pesquisa de mestrado

Data:

Empresa:

CNPJ:

1- Quais os três tipos de vidros mais utilizados?

Vidro 01

Tipo de Vidro:

Espessura do Vidro:

Cor do vidro:

Fator Solar:

Outras Características técnicas:

Vidro 02

Tipo de Vidro:

Espessura do Vidro:

Cor do vidro:

Fator Solar:

Outras Características técnicas:

Vidro 03

Tipo de Vidro:

Espessura do Vidro:

Cor do vidro:

Fator Solar:

Outras Características técnicas:

APÊNDICE B – LISTA DE TODOS OS MODELOS SIMULADOS CONFORME ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS

Modelos	Dimensão das Aberturas	O. Solar	Cor das Paredes e Cobertura	Parede Externa	Fechamentos translúcidos	Controle Solar
Ref	-	-	-	-	-	-
Real	17%	N	0,2 e 0,4	Sem EPS	3mm	não
RCS	17%	N	0,2 e 0,4	Sem EPS	3mm	Sim
RA23	23%	N	0,2 e 0,4	Sem EPS	3mm	Não
ROL	17%	L	0,2 e 0,4	Sem EPS	3mm	Não
ROS	17%	S	0,2 e 0,4	Sem EPS	3mm	Não
ROO	17%	O	0,2 e 0,4	Sem EPS	3mm	Não
RPC0,2	17%	N	0,2 e 0,2	Sem EPS	3mm	Não
RPC 0,6	17%	N	0,6 e 0,6	Sem EPS	3mm	Não
REPS	17%	N	0,2 e 0,4	EPS	3mm	Não
RVC	17%	N	0,2 e 0,4	Sem EPS	cinza	Não
RVV	17%	N	0,2 e 0,4	Sem EPS	verde	Não
R11	17%	N	0,2 e 0,4	Sem EPS	cinza	Sim
R12	17%	N	0,2 e 0,4	Sem EPS	verde	Sim
R13	17%	N	0,2 e 0,4	EPS	3mm	Sim
R14	17%	N	0,2 e 0,4	EPS	cinza	Sim
R15	17%	N	0,2 e 0,4	EPS	verde	Sim
R16	17%	N	0,2 e 0,2	Sem EPS	3mm	Sim
R17	17%	N	0,2 e 0,2	Sem EPS	cinza	Sim
R18	17%	N	0,2 e 0,2	Sem EPS	verde	Sim
R19	17%	N	0,2 e 0,2	EPS	3mm	Sim
R20	17%	N	0,2 e 0,2	EPS	cinza	Sim
R21	17%	N	0,2 e 0,2	EPS	verde	Sim
R22	17%	N	0,6 e 0,6	Sem EPS	3mm	Sim
R23	17%	N	0,6 e 0,6	Sem EPS	cinza	Sim
R24	17%	N	0,6 e 0,6	Sem EPS	verde	Sim
R25	17%	N	0,6 e 0,6	EPS	3mm	Sim
R26	17%	N	0,6 e 0,6	EPS	cinza	Sim
R27	17%	N	0,6 e 0,6	EPS	verde	Sim
R28	17%	L	0,2 e 0,4	Sem EPS	3mm	Sim
R29	17%	L	0,2 e 0,4	Sem EPS	cinza	Sim
R30	17%	L	0,2 e 0,4	Sem EPS	verde	Sim
R31	17%	L	0,2 e 0,4	EPS	3mm	Sim
R32	17%	L	0,2 e 0,4	EPS	cinza	Sim
R33	17%	L	0,2 e 0,4	EPS	verde	Sim
R34	17%	L	0,2 e 0,2	Sem EPS	3mm	Sim
R35	17%	L	0,2 e 0,2	Sem EPS	cinza	Sim
R36	17%	L	0,2 e 0,2	Sem EPS	verde	Sim
R37	17%	L	0,2 e 0,2	EPS	3mm	Sim

R38	17%	L	0,2 e 0,2	EPS	cinza	Sim
R39	17%	L	0,2 e 0,2	EPS	verde	Sim
R40	17%	L	0,6 e 0,6	Sem EPS	3mm	Sim
R41	17%	L	0,6 e 0,6	Sem EPS	cinza	Sim
R42	17%	L	0,6 e 0,6	Sem EPS	verde	Sim
R43	17%	L	0,6 e 0,6	EPS	3mm	Sim
R44	17%	L	0,6 e 0,6	EPS	cinza	Sim
R45	17%	L	0,6 e 0,6	EPS	verde	Sim
R46	17%	S	0,2 e 0,4	Sem EPS	3mm	Sim
R47	17%	S	0,2 e 0,4	Sem EPS	cinza	Sim
R48	17%	S	0,2 e 0,4	Sem EPS	verde	Sim
R49	17%	S	0,2 e 0,4	EPS	3mm	Sim
R50	17%	S	0,2 e 0,4	EPS	cinza	Sim
R51	17%	S	0,2 e 0,4	EPS	verde	Sim
R52	17%	S	0,2 e 0,2	Sem EPS	3mm	Sim
R53	17%	S	0,2 e 0,2	Sem EPS	cinza	Sim
R54	17%	S	0,2 e 0,2	Sem EPS	verde	Sim
R55	17%	S	0,2 e 0,2	EPS	3mm	Sim
R56	17%	S	0,2 e 0,2	EPS	cinza	Sim
R57	17%	S	0,2 e 0,2	EPS	verde	Sim
R58	17%	S	0,6 e 0,6	Sem EPS	3mm	Sim
R59	17%	S	0,6 e 0,6	Sem EPS	cinza	Sim
R60	17%	S	0,6 e 0,6	Sem EPS	verde	Sim
R61	17%	S	0,6 e 0,6	EPS	3mm	Sim
R62	17%	S	0,6 e 0,6	EPS	cinza	Sim
R63	17%	S	0,6 e 0,6	EPS	verde	Sim
R64	17%	O	0,2 e 0,4	Sem EPS	3mm	Sim
R65	17%	O	0,2 e 0,4	Sem EPS	cinza	Sim
R66	17%	O	0,2 e 0,4	Sem EPS	verde	Sim
R67	17%	O	0,2 e 0,4	EPS	3mm	Sim
R68	17%	O	0,2 e 0,4	EPS	cinza	Sim
R69	17%	O	0,2 e 0,4	EPS	verde	Sim
R70	17%	O	0,2 e 0,2	Sem EPS	3mm	Sim
R71	17%	O	0,2 e 0,2	Sem EPS	cinza	Sim
R72	17%	O	0,2 e 0,2	Sem EPS	verde	Sim
R73	17%	O	0,2 e 0,2	EPS	3mm	Sim
R74	17%	O	0,2 e 0,2	EPS	cinza	Sim
R75	17%	O	0,2 e 0,2	EPS	verde	Sim
R76	17%	O	0,6 e 0,6	Sem EPS	3mm	Sim
R77	17%	O	0,6 e 0,6	Sem EPS	cinza	Sim
R78	17%	O	0,6 e 0,6	Sem EPS	verde	Sim
R79	17%	O	0,6 e 0,6	EPS	3mm	Sim
R80	17%	O	0,6 e 0,6	EPS	cinza	Sim
R81	17%	O	0,6 e 0,6	EPS	verde	Sim
R82	23%	N	0,2 e 0,4	Sem EPS	3mm	Sim
R83	23%	N	0,2 e 0,4	Sem EPS	cinza	Sim

R84	23%	N	0,2 e 0,4	Sem EPS	verde	Sim
R85	23%	N	0,2 e 0,4	EPS	3mm	Sim
R86	23%	N	0,2 e 0,4	EPS	cinza	Sim
R87	23%	N	0,2 e 0,4	EPS	verde	Sim
R88	23%	N	0,2 e 0,2	Sem EPS	3mm	Sim
R89	23%	N	0,2 e 0,2	Sem EPS	cinza	Sim
R90	23%	N	0,2 e 0,2	Sem EPS	verde	Sim
R91	23%	N	0,2 e 0,2	EPS	3mm	Sim
R92	23%	N	0,2 e 0,2	EPS	cinza	Sim
R93	23%	N	0,2 e 0,2	EPS	verde	Sim
R94	23%	N	0,6 e 0,6	Sem EPS	3mm	Sim
R95	23%	N	0,6 e 0,6	Sem EPS	cinza	Sim
R96	23%	N	0,6 e 0,6	Sem EPS	verde	Sim
R97	23%	N	0,6 e 0,6	EPS	3mm	Sim
R98	23%	N	0,6 e 0,6	EPS	cinza	Sim
R99	23%	N	0,6 e 0,6	EPS	verde	Sim
R100	23%	L	0,2 e 0,4	Sem EPS	3mm	Sim
R101	23%	L	0,2 e 0,4	Sem EPS	cinza	Sim
R102	23%	L	0,2 e 0,4	Sem EPS	verde	Sim
R103	23%	L	0,2 e 0,4	EPS	3mm	Sim
R104	23%	L	0,2 e 0,4	EPS	cinza	Sim
R105	23%	L	0,2 e 0,4	EPS	verde	Sim
R106	23%	L	0,2 e 0,2	Sem EPS	3mm	Sim
R107	23%	L	0,2 e 0,2	Sem EPS	cinza	Sim
R108	23%	L	0,2 e 0,2	Sem EPS	verde	Sim
R109	23%	L	0,2 e 0,2	EPS	3mm	Sim
R110	23%	L	0,2 e 0,2	EPS	cinza	Sim
R111	23%	L	0,2 e 0,2	EPS	verde	Sim
R112	23%	L	0,6 e 0,6	Sem EPS	3mm	Sim
R113	23%	L	0,6 e 0,6	Sem EPS	cinza	Sim
R114	23%	L	0,6 e 0,6	Sem EPS	verde	Sim
R115	23%	L	0,6 e 0,6	EPS	3mm	Sim
R116	23%	L	0,6 e 0,6	EPS	cinza	Sim
R117	23%	L	0,6 e 0,6	EPS	verde	Sim
R118	23%	S	0,2 e 0,4	Sem EPS	3mm	Sim
R119	23%	S	0,2 e 0,4	Sem EPS	cinza	Sim
R120	23%	S	0,2 e 0,4	Sem EPS	verde	Sim
R121	23%	S	0,2 e 0,4	EPS	3mm	Sim
R122	23%	S	0,2 e 0,4	EPS	cinza	Sim
R123	23%	S	0,2 e 0,4	EPS	verde	Sim
R124	23%	S	0,2 e 0,2	Sem EPS	3mm	Sim
R125	23%	S	0,2 e 0,2	Sem EPS	cinza	Sim
R126	23%	S	0,2 e 0,2	Sem EPS	verde	Sim
R127	23%	S	0,2 e 0,2	EPS	3mm	Sim
R128	23%	S	0,2 e 0,2	EPS	cinza	Sim

R129	23%	S	0,2 e 0,2	EPS	verde	Sim
R130	23%	S	0,6 e 0,6	Sem EPS	3mm	Sim
R131	23%	S	0,6 e 0,6	Sem EPS	cinza	Sim
R132	23%	S	0,6 e 0,6	Sem EPS	verde	Sim
R133	23%	S	0,6 e 0,6	EPS	3mm	Sim
R134	23%	S	0,6 e 0,6	EPS	cinza	Sim
R135	23%	S	0,6 e 0,6	EPS	verde	Sim
R136	23%	O	0,2 e 0,4	Sem EPS	3mm	Sim
R137	23%	O	0,2 e 0,4	Sem EPS	cinza	Sim
R138	23%	O	0,2 e 0,4	Sem EPS	verde	Sim
R139	23%	O	0,2 e 0,4	EPS	3mm	Sim
R140	23%	O	0,2 e 0,4	EPS	cinza	Sim
R141	23%	O	0,2 e 0,4	EPS	verde	Sim
R142	23%	O	0,2 e 0,2	Sem EPS	3mm	Sim
R143	23%	O	0,2 e 0,2	Sem EPS	cinza	Sim
R144	23%	O	0,2 e 0,2	Sem EPS	verde	Sim
R145	23%	O	0,2 e 0,2	EPS	3mm	Sim
R146	23%	O	0,2 e 0,2	EPS	cinza	Sim
R147	23%	O	0,2 e 0,2	EPS	verde	Sim
R148	23%	O	0,6 e 0,6	Sem EPS	3mm	Sim
R149	23%	O	0,6 e 0,6	Sem EPS	cinza	Sim
R150	23%	O	0,6 e 0,6	Sem EPS	verde	Sim
R151	23%	O	0,6 e 0,6	EPS	3mm	Sim
R152	23%	O	0,6 e 0,6	EPS	cinza	Sim
R153	23%	O	0,6 e 0,6	EPS	verde	Sim

APÊNDICE C – LISTA DE TODOS OS RESULTADOS DOS MODELOS SIMULADOS

Modelos	PHFT	Tomáx	Tomín	CgTR	CgTA	CgTT
Ref	64,67%	35,36	11,77	2599	420	3019
Real	71,50%	34,25	12,04	1402	320	1722
RCS	75,25%	32,40	12,01	1113	325	1438
RA23	71,24%	34,61	12,09	1416	317	1733
ROL	71,29%	33,45	11,59	1297	366	1663
ROS	70,24%	34,67	11,20	1454	378	1832
ROO	69,92%	33,77	11,58	1438	338	1776
RPC0,2	72,83%	33,13	11,92	1167	341	1508
RPC 0,6	65,26%	36,35	13,03	2293	223	2516
REPS	72,21%	34,39	14,08	1544	136	1680
RVC	72,14%	34,25	11,79	1305	354	1659
RVV	72,27%	34,23	11,75	1282	361	1643
R11	75,11%	32,37	11,78	1078	357	1435
R12	75,04%	32,36	11,73	1072	364	1436
R13	77,71%	32,22	14,03	1131	142	1274
R14	77,74%	32,18	13,72	1080	169	1248
R15	77,67%	32,17	13,66	1071	175	1246
R16	76,58%	31,25	11,90	905	346	1250
R17	76,37%	31,21	11,66	874	379	1253
R18	76,34%	31,21	11,61	866	386	1252
R19	79,86%	30,85	13,87	865	156	1021
R20	79,72%	30,81	13,56	824	187	1011
R21	79,72%	30,80	13,50	814	194	1008
R22	69,04%	34,94	12,97	2063	231	2294
R23	68,95%	34,92	12,76	2018	254	2272
R24	68,90%	34,92	12,72	2011	258	2269
R25	71,95%	34,45	14,55	1888	96	1984
R26	71,84%	34,43	14,31	1820	120	1939
R27	71,83%	34,42	14,27	1806	124	1930
R28	74,53%	32,25	11,58	1042	369	1410
R29	74,58%	32,21	11,49	1005	391	1396
R30	74,60%	32,20	11,47	998	396	1393
R31	77,23%	31,97	13,45	1024	179	1202
R32	77,26%	31,94	13,39	987	197	1184
R33	77,24%	31,93	13,30	973	204	1177
R34	75,84%	31,08	11,45	1230	395	1230
R35	76,06%	31,03	11,36	801	416	1216
R36	76,02%	31,03	11,34	794	422	1216
R37	79,17%	30,59	13,28	772	200	972
R38	79,25%	30,53	13,14	729	224	953
R39	79,18%	30,52	13,12	721	230	951
R40	68,86%	34,82	12,57	1988	257	2245

R41	68,97%	34,79	12,49	1938	273	2211
R42	68,98%	34,79	12,47	1929	277	2205
R43	71,83%	34,22	14,18	1752	121	1873
R44	71,88%	34,19	14,07	1695	137	1832
R45	71,95%	34,19	14,05	1682	139	1822
R46	73,73%	32,91	11,19	1180	379	1559
R47	73,77%	32,87	11,11	1149	397	1546
R48	73,80%	32,87	11,09	1142	400	1543
R49	76,18%	32,67	13,07	1183	192	1375
R50	76,20%	32,63	12,96	1132	211	1343
R51	76,20%	32,62	12,93	1123	215	1338
R52	75,12%	31,78	11,06	967	401	1368
R53	75,24%	31,75	10,97	931	420	1351
R54	75,27%	31,74	10,95	923	424	1348
R55	78,15%	31,33	12,88	912	215	1127
R56	79,72%	30,81	13,56	854	212	1066
R57	77,95%	31,27	12,75	862	241	1103
R58	66,53%	35,29	12,00	2276	267	2543
R59	66,77%	35,27	11,92	2222	279	2502
R60	66,76%	35,27	11,90	2213	282	2495
R61	70,09%	34,76	13,71	1996	132	2128
R62	70,30%	34,73	13,61	1934	144	2078
R63	70,39%	34,73	13,58	1921	146	2066
R64	74,57%	32,54	11,56	1057	344	1401
R65	74,64%	32,50	11,41	1027	367	1395
R66	74,75%	32,49	11,38	1019	371	1390
R67	77,44%	32,23	13,52	1047	157	1204
R68	77,46%	32,17	13,45	1011	178	1188
R69	77,44%	32,16	13,27	997	184	1181
R70	76,31%	31,29	11,44	842	361	1203
R71	76,37%	31,24	11,28	811	386	1198
R72	76,37%	31,23	11,25	806	392	1197
R73	79,51%	30,79	13,35	791	172	963
R74	79,62%	30,73	13,14	747	198	946
R75	79,62%	30,72	13,10	739	204	943
R76	68,13%	35,37	12,44	1973	217	2190
R77	68,15%	35,34	12,29	2037	258	2295
R78	68,15%	35,34	12,26	2027	262	2289
R79	71,14%	34,70	14,20	1843	109	1951
R80	71,10%	34,67	14,01	1793	127	1920
R81	71,05%	34,66	13,97	1784	130	1914
R82	75,68%	32,46	12,06	1102	323	1425
R83	75,45%	32,42	11,80	1067	356	1423
R84	75,47%	32,41	11,75	2349	384	2733
R85	78,08%	32,28	14,05	1357	118	1475
R86	77,87%	32,24	13,72	1301	144	1445

R87	77,87%	32,23	13,65	1289	148	1438
R88	77,05%	31,31	11,94	893	342	1235
R89	76,79%	31,27	11,69	866	376	1241
R90	76,75%	31,26	11,63	858	382	1241
R91	80,14%	30,93	13,90	1059	130	1189
R92	80,04%	30,88	13,56	1007	156	1163
R93	80,00%	30,87	13,49	996	162	1159
R94	69,65%	34,88	12,98	2036	231	2267
R95	69,55%	34,86	12,75	1990	255	2245
R96	69,47%	34,86	12,70	1981	260	2241
R97	72,63%	34,43	14,45	1856	97	1952
R98	72,44%	34,41	14,18	1790	122	1912
R99	72,57%	34,40	14,13	1774	125	1899
R100	75,04%	32,30	11,59	1024	367	1391
R101	75,00%	32,25	11,49	992	390	1381
R102	74,98%	32,24	11,46	985	394	1379
R103	77,59%	32,02	13,43	1244	148	1393
R104	77,63%	31,96	13,29	1193	166	1359
R105	77,58%	31,95	13,26	1184	170	1354
R106	76,25%	31,12	11,46	824	392	1216
R107	76,29%	31,08	11,36	792	416	1208
R108	76,27%	31,07	11,34	787	420	1207
R109	79,52%	30,65	13,26	967	162	1129
R110	79,46%	30,59	13,11	915	185	1100
R111	79,45%	30,58	13,08	902	190	1092
R112	69,33%	34,76	12,56	1964	258	2222
R113	69,50%	34,74	12,47	1912	274	2186
R114	69,60%	34,74	12,45	1899	278	2177
R115	72,46%	34,21	14,11	1724	121	1846
R116	72,57%	34,18	14,00	1663	139	1802
R117	72,63%	34,17	13,97	1649	142	1791
R118	73,93%	32,96	11,18	1176	378	1554
R119	74,02%	32,93	11,09	1141	396	1538
R120	74,11%	32,92	11,07	1133	399	1533
R121	76,39%	32,74	13,03	1425	158	1583
R122	76,41%	32,69	12,90	1362	176	1538
R123	76,33%	32,69	12,88	1351	179	1531
R124	75,53%	31,84	11,05	953	400	1353
R125	75,58%	31,80	10,96	919	420	1339
R126	75,57%	31,80	10,94	913	423	1336
R127	78,43%	31,43	12,85	1112	175	1287
R128	78,18%	31,36	12,72	1063	194	1257
R129	78,17%	31,35	12,70	1055	198	1253
R130	67,34%	35,22	11,97	2235	267	2502
R131	67,48%	35,20	11,89	2184	280	2465

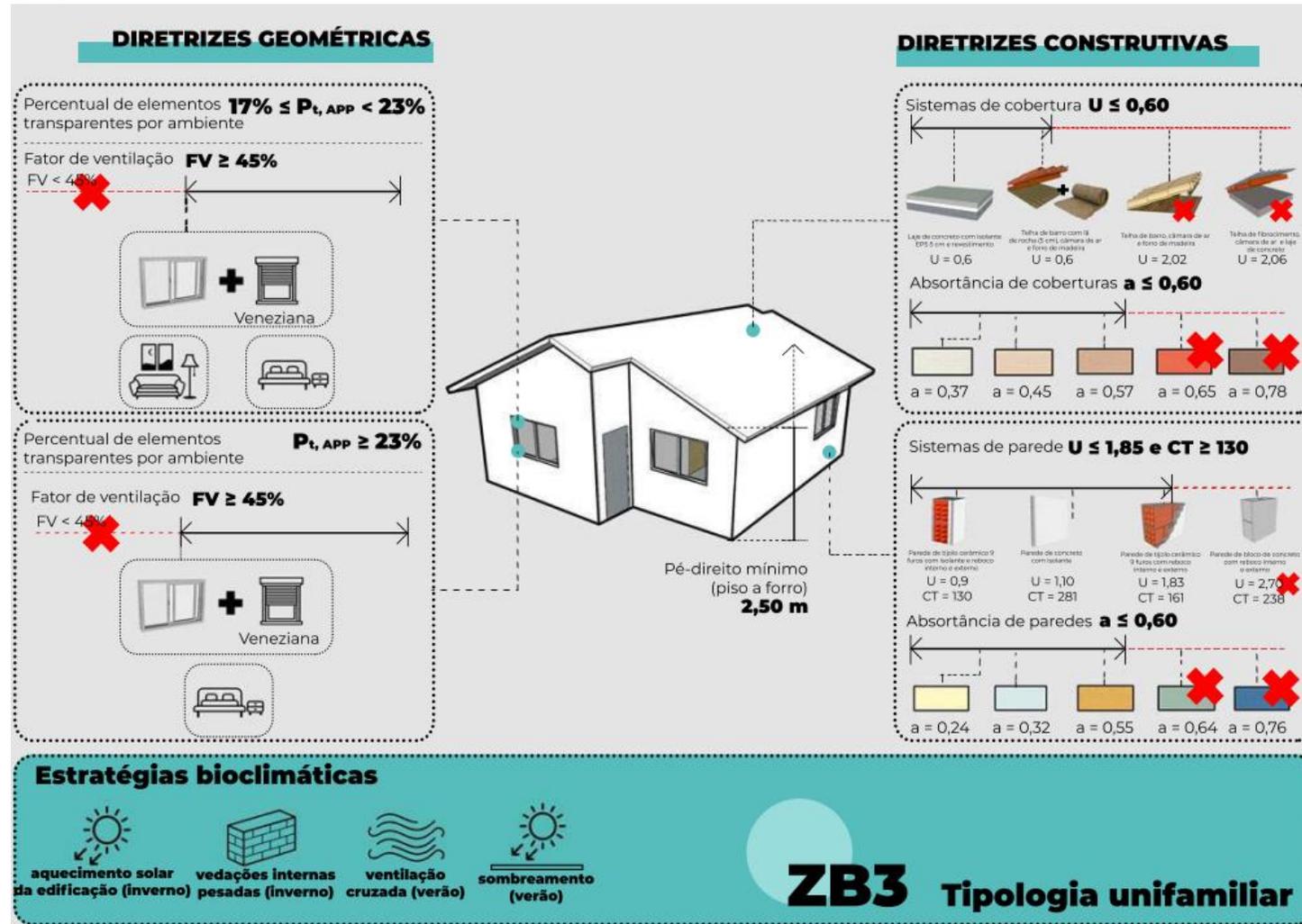
R132	67,49%	35,20	11,87	2181	282	2463
R133	70,66%	34,73	13,65	1969	133	2102
R134	70,81%	34,71	13,54	1903	147	2050
R135	70,87%	34,70	13,51	1892	149	2041
R136	75,09%	32,59	11,58	1042	342	1384
R137	75,06%	32,55	11,41	1014	367	1381
R138	75,09%	32,54	11,38	1007	372	1379
R139	77,71%	32,29	13,52	1290	131	1421
R140	77,64%	32,23	13,29	1239	152	1390
R141	77,69%	32,22	13,25	1228	155	1384
R142	76,79%	31,33	11,47	828	359	1187
R143	76,68%	31,28	11,29	802	385	1187
R144	76,71%	31,27	11,25	797	390	1187
R145	79,99%	30,85	13,35	987	141	1128
R146	79,80%	30,79	13,12	943	165	1108
R147	79,76%	30,78	13,08	934	170	1105
R148	68,86%	35,30	12,43	2042	240	2282
R149	68,87%	35,28	12,27	2001	259	2260
R150	68,85%	35,28	12,24	1992	263	2256
R151	71,76%	34,68	14,17	1815	109	1924
R152	71,77%	34,65	13,96	1889	129	1889
R153	71,84%	34,64	13,92	1749	132	1881

APÊNDICE D – MELHORES 42 RESULTADOS DOS MODELOS SIMULADOS

Modelos	PHFT	Tomáx	Tomín	CgTR	CgTA	CgTT
R91	80,14%	30,93	13,90	1059	130	1189
R92	80,04%	30,88	13,56	1007	156	1163
R93	80,00%	30,87	13,49	996	162	1159
R145	79,99%	30,85	13,35	987	141	1128
R19	79,86%	30,85	13,87	865	156	1021
R146	79,80%	30,79	13,12	943	165	1108
R147	79,76%	30,78	13,08	934	170	1105
R20	79,72%	30,81	13,56	824	187	1011
R21	79,72%	30,80	13,50	814	194	1008
R56	79,72%	30,81	13,56	854	212	1066
R74	79,62%	30,73	13,14	747	198	946
R75	79,62%	30,72	13,10	739	204	943
R109	79,52%	30,65	13,26	967	162	1129
R73	79,51%	30,79	13,35	791	172	963
R110	79,46%	30,59	13,11	915	185	1100
R111	79,45%	30,58	13,08	902	190	1092
R38	79,25%	30,53	13,14	729	224	953
R39	79,18%	30,52	13,12	721	230	951
R37	79,17%	30,59	13,28	772	200	972
R127	78,43%	31,43	12,85	1112	175	1287
R128	78,18%	31,36	12,72	1063	194	1257
R129	78,17%	31,35	12,70	1055	198	1253
R55	78,15%	31,33	12,88	912	215	1127
R85	78,08%	32,28	14,05	1357	118	1475
R57	77,95%	31,27	12,75	862	241	1103
R86	77,87%	32,24	13,72	1301	144	1445
R87	77,87%	32,23	13,65	1289	148	1438
R14	77,74%	32,18	13,72	1080	169	1248
R13	77,71%	32,22	14,03	1131	142	1274

R139	77,71%	32,29	13,52	1290	131	1421
R141	77,69%	32,22	13,25	1228	155	1384
R15	77,67%	32,17	13,66	1071	175	1246
R140	77,64%	32,23	13,29	1239	152	1390
R104	77,63%	31,96	13,29	1193	166	1359
R103	77,59%	32,02	13,43	1244	148	1393
R105	77,58%	31,95	13,26	1184	170	1354
R68	77,46%	32,17	13,45	1011	178	1188
R67	77,44%	32,23	13,52	1047	157	1204
R69	77,44%	32,16	13,27	997	184	1181
R32	77,26%	31,94	13,39	987	197	1184
R33	77,24%	31,93	13,30	973	204	1177
R31	77,23%	31,97	13,45	1024	179	1202

ANEXO A – DIRETRIZES GEOMÉTRICAS E CONSTRUTIVAS DA TIPOLOGIA UNIFAMILIAR INDICADAS PELO ESTUDO PARA A ZONA BIOCLIMÁTICA 3



ANEXO B – MÉTODO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL ANEXO C – INI-R

ANEXO DA PORTARIA INMETRO Nº XXX

ANEXO C – MÉTODO DE SIMULAÇÃO

Neste Anexo são estabelecidos os critérios para avaliação da eficiência energética da envoltória dos ambientes de permanência prolongada (APPs) das unidades habitacionais (UHs) e das unidades habitacionais em edificações multifamiliares quanto ao percentual de horas de ocupação dentro da faixa de temperatura (PHFT), às temperaturas anuais máxima (Tomáx) e mínima (Tomín) e à carga térmica de refrigeração (CgTR), de aquecimento (CgTA), e total (CgTT) pelo método de simulação.

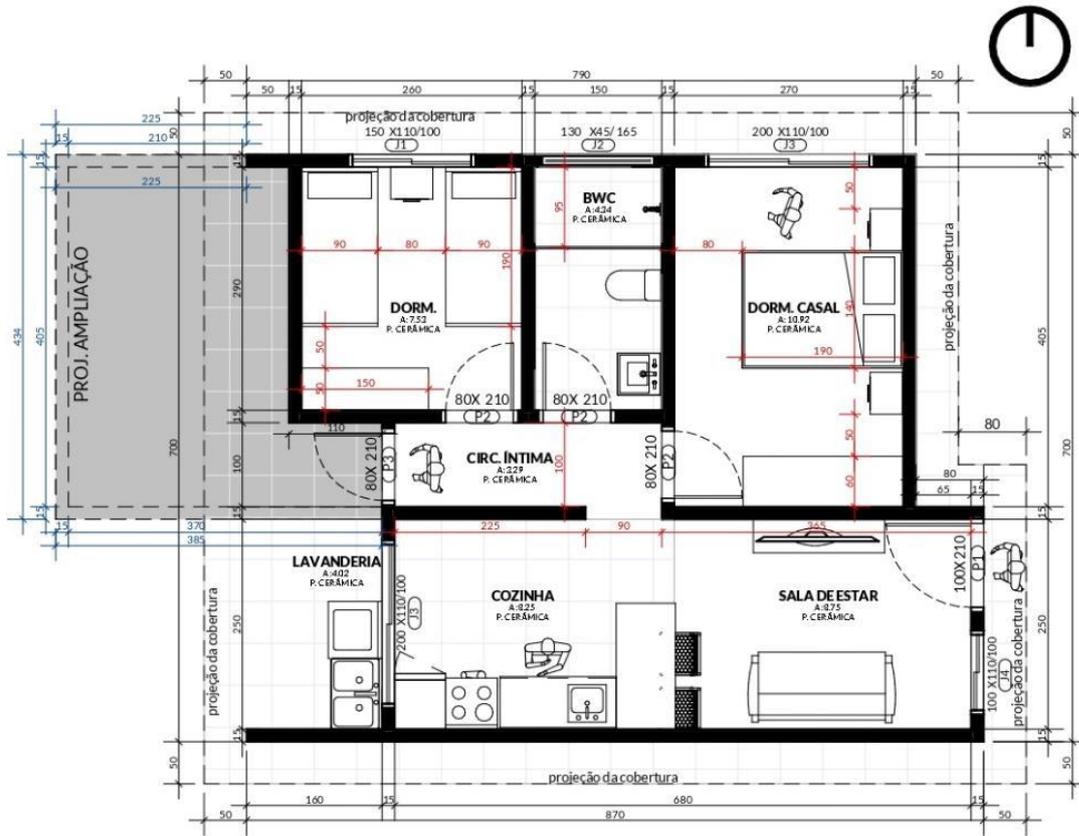
O método de simulação aplica-se somente à envoltória das edificações.

C.1 Procedimento de avaliação

O método de simulação adotado nesta INI incorpora o procedimento de simulação computacional para avaliações de desempenho térmico segundo a ABNT NBR 15575-1:2021, considerando as seguintes subseções:

- Os métodos de medição de propriedades térmicas de materiais e elementos construtivos conforme subseção 11.2;
- O procedimento de simulação computacional conforme subseção 11.4;
- As características do programa de simulação computacional conforme subseção 11.4.1;
- As características do arquivo climático conforme subseção 11.4.2;
- O requisito e os critérios das subseções 11.4.3 a 11.4.6, considerando as equivalências entre o desempenho térmico da NBR 15575 e a classe de eficiência energética, descritos no item 8.2.1 desta INI;
- A modelagem da unidade habitacional conforme a subseção 11.4.7.1;
- As características do modelo de referência conforme a subseção 11.4.7.2;
- A modelagem da ocupação e das cargas internas conforme a subseção 11.4.7.3;
- A modelagem com e sem o uso da ventilação natural conforme a subseção 11.4.7.4;
- O processamento dos dados de saída dos modelos simulados com e sem o uso da ventilação natural conforme a subseção 11.4.7.5;
- O cálculo dos indicadores para a UH conforme as subseções 11.4.7.6 a 11.4.7.8.

ANEXO C - PLANTA BAIXA DO MODELO COTADA



PLANTA BAIXA: ÁREA TOTAL CONSTRUÍDA: 54,00m²

PREVISÃO DE AMPLIAÇÃO: 67,21m²



ANEXO D – MEMORIAL DE CÁLCULO PAREDE EQUIVALENTE MODELO REAL

O cálculo apresentado neste anexo foi elaborado por Teixeira (2022).

Tijolo Equivalente – Conforme procedimento da NBR 15220-2 de 2005

Sistema de Fechamento Vertical Externo e Interno em Alvenaria de Blocos Cerâmicos

Dados:

Dimensões bloco cerâmico:

9cm x 14cm x 19cm

Dimensões das câmaras de ar:

3cm x 3,33cm x 19cm

Espessura da argamassa de assentamento (e):

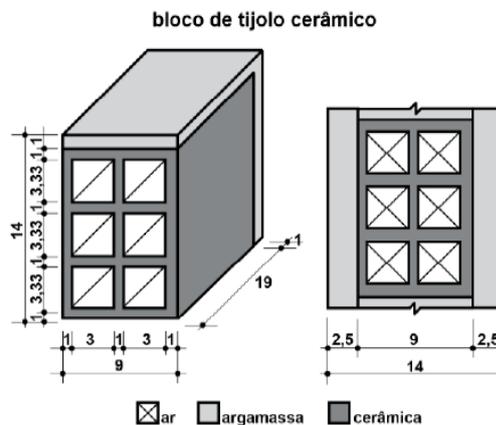
1cm

$$R_{ar} = 0,16 (m^2.K)/W$$

$$R_{si} = 0,13 (m^2.K)/W$$

$$R_{se} = 0,04 (m^2.K)/W$$

Figura E-1: Dimensões do tijolo cerâmico.



Fonte: Desenvolvido pela Autora (2022).

$$\lambda_{cerâmica} = 0,90 W/(m^2K)$$

$$\lambda_{argamassa} = 1,15 W/(m^2K)$$

$$\rho_{cerâmica} = 1600 Kg/m^3$$

$$\rho_{argamassa} = 1800 Kg/m^3$$

$$C_{cerâmica} = 0,92 KJ/(Kg.K)$$

$$C_{argamassa} = 1 KJ/(Kg.K)$$

Legenda:

ereb = espessura do reboco
 λ_{reb} = condutividade térmica do reboco
 creb = calor específico do reboco
 preb = densidade da massa aparente do reboco
 lcer = largura da cerâmica
 λ_{cer} = condutividade térmica da cerâmica
 ecer = espessura da parede da cerâmica
 cmcer = comprimento da cerâmica
 ccer = calor específico da cerâmica
 pcer = densidade da massa aparente da cerâmica
 hcer = altura da cerâmica
 hfc = altura do furo da cerâmica
 eq = espessura equivalente da cerâmica

peq = densidade da massa aparente equivalente da cerâmica
 R1 = Resistência térmica 1
 R2 = Resistência térmica 2
 R3 = Resistência térmica 3
 A1 = Área do material 1
 A2 = Área do material 2
 A3 = Área do material 3
 Ct1 = Capacidade térmica 1
 Ct2 = Capacidade térmica 2
 Ct3 = Capacidade térmica 3
 Rt = Resistência térmica ponderada
 RT = Resistência térmica total
 U = Transmitância térmica
 Ct = Capacidade térmica total

Resistência Térmica de Superfície a Superfície (R_t)

Seção 1: (argamassa)

$$R1 = \frac{ereb}{\lambda reb} + \frac{lcer}{\lambda reb} + \frac{ereb}{\lambda reb} = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,03}{1,15} + \frac{0,025}{1,15} = 0,1217 (m^2 \cdot K)/W$$

$$A1 = epcer * cmcer + epcer * hcerc = 0,01 * 0,19 + 0,01 * 0,14 = 0,0033 m^2$$

Seção 2: (bloco cerâmico)

$$R2 = \frac{ereb}{\lambda reb} + \frac{lcer}{\lambda cer} + \frac{ereb}{\lambda reb} = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,03}{0,9} + \frac{0,025}{1,15} = 0,1435 (m^2 \cdot K)/W$$

$$A2 = epcer * cmcer = 0,01 * 0,19 = 0,0019 m^2$$

Seção 3: (bloco cerâmico + câmara de ar + bloco cerâmico + câmara de ar + bloco cerâmico)

$$R3 = \frac{ereb}{\lambda reb} + \frac{ecerc}{\lambda cer} + Rar + \frac{ecerc}{\lambda cer} + Rar + \frac{ecerc}{\lambda cer} + \frac{ereb}{\lambda reb}$$

$$= \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,03}{0,9} + 0,16 + \frac{0,03}{0,9} + 0,16 + \frac{0,03}{0,9} + \frac{0,025}{1,15} = 0,3968 (m^2 \cdot K)/W$$

$$A3 = cmcer * hfc = 0,19 * 0,033 = 0,0063 m^2$$

$$Rt = \frac{A1 + 4 * A2 + 3 * A3}{\frac{A1}{R1} + \frac{4 * A2}{R2} + \frac{3 * A3}{R3}} = \frac{(0,0033 + 4 * 0,019 + 3 * 0,0063)}{\frac{0,0033}{0,1217} + \frac{4 * 0,0019}{0,1435} + \frac{3 * 0,0063}{0,3968}} = 0,2331 (m^2 \cdot K)/W$$

Resistência Térmica Total (R_T)

$$RT = 2 * Rsi + Rt = 2 * 0,13 + 0,2331 = 0,49 (m^2 \cdot K)/W$$

Transmitância Térmica Total (UT)

$$U = \frac{1}{RT} = \frac{1}{0,49} = 2,03 W/(m^2 \cdot K)$$

Capacidade Térmica da Parede (C_t)

Seção 1: (argamassa)

$$Ct1 = (ereb + lcer + ereb) * creb * preb = (0,025 + 0,09 + 0,025) * 0,92 * 1600 = 252 kJ/(m^2 \cdot K)$$

Seção 2: (bloco cerâmico)

$$Ct2 = 2 * (ereb * creb * preb) + (lcer * ccer * pcer)$$

$$= 2 * (0,025 * 1 * 1800) + (0,09 * 0,92 * 1600)$$

$$= 222 kJ/(m^2 \cdot K)$$

Seção 3: (bloco cerâmico + câmara de ar + bloco cerâmico + câmara de ar + bloco cerâmico)

$$Ct3 = 2 * (ereb * creb * preb) + 3 * (lcer * ccer * pcer)$$

$$= 2 * (0,025 * 1 * 1800) + 3 * (0,09 * 0,92 * 1600)$$

$$= 134 kJ/(m^2 \cdot K)$$

Capacidade Térmica Total (CT)

$$CT = \frac{A1 + 4 * A2 + 3 * A3}{\frac{A1}{Ct1} + \frac{4 * A2}{Ct2} + \frac{3 * A3}{Ct3}} = \frac{0,0033 + 4 * 0,0019 + 3 * 0,0063}{\frac{0,0033}{252} + \frac{4 * 0,0019}{222} + \frac{3 * 0,0063}{134}} = 158 \text{ kJ}/(m^2 \cdot K)$$

Cálculo da Espessura para o modelo Equivalente

$$eeq = (RT - (2 * Rsi)) * \lambda cer = (0,49 - (2 * 0,13)) * 0,9 = 0,21 \text{ m}$$

Cálculo da Densidade de Massa Aparente Equivalente

$$peq = \frac{Ct}{eeq * ccer} = \frac{158}{0,21 * 0,92} = 821 \text{ Kg}/m^3$$