



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO POR SIMULAÇÃO  
COMPUTACIONAL EM UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE  
SOCIAL**

**AMANDA MOLINA RISDEN**

**ORIENTADOR: EVANGELOS DIMITRIOS CHRISTAKOU**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA  
CIVIL**

**BRASÍLIA, 5 de dezembro de 2018**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO POR SIMULAÇÃO  
COMPUTACIONAL EM UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE  
SOCIAL**

**AMANDA MOLINA RISDEN**

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

**APROVADA POR:**

---

**EVANGELOS DIMITRIOS CHRISTAKOU, Dr. (UnB - ENC)  
(ORIENTADOR)**

---

**CAIO FREDERICO E SILVA, Dr. (UnB - FAU)  
(CO-ORIENTADOR)**

---

**ELEUDO ESTEVES DE ARAUJO SILVA, MSc (UnB - ENC)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**DARJA KOS, Arq. MSc  
(EXAMINADOR EXTERNO)**



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fator solar para diferentes tipos de vidros.....	28
Tabela 2 - Absortâncias da cor da tinta escolhida.....	39
Tabela 3 - Média das temperaturas operativas (°C) para cômodos e cidades diferentes .....	43
Tabela 4 - Resultado da soma, média e variância dos dados.....	44
Tabela 5 - Valores para teste ANOVA para os dados de temperatura operativa.....	44

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Renda familiar e taxa de juros associadas para o PMCMV .....	7
Quadro 2 - Equações para o cálculo da temperatura neutra.....	12
Quadro 3 - Zonas da carta bioclimática adaptada e sua respectiva estratégia .....	14
Quadro 4 - Absortância para radiação solar (ondas curtas) e emissividade para radiação e temperaturas comuns (ondas longas).....	22
Quadro 5 - Conversão para classificação dos ambientes para GHr - Curitiba ZB1 .....	32
Quadro 6 - Conversão para classificação dos ambientes para GHr – Brasília ZB4 .....	32
Quadro 7 - Conversão para classificação dos ambientes para GHr - Cuiabá ZB7 .....	32
Quadro 8 - Conversão para classificação dos ambientes para GHr - Manaus ZB8.....	33
Quadro 9 - Conversão para classificação dos ambientes para GHa - Curitiba ZB1 .....	33
Quadro 10 - Conversão para classificação dos ambientes para GHa – Brasília ZB4 .....	33
Quadro 11 - Características das cidades escolhidas.....	34
Quadro 12 - Graus hora de resfriamento por cômodo e por cidade.....	46
Quadro 13 - Graus hora resfriamento filtrando dados horários .....	46
Quadro 14 - Consumo relativo anual para aquecimento.....	46
Quadro 15 - Resumo dos resultados de temperaturas operativas .....	54

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Composição do déficit habitacional, segundo regiões geográficas – Brasil – 2015	5
Gráfico 2 - Fenômeno da inércia térmica de uma parede real ( $q_2$ ) e de uma parede fictícia de peso nulo ( $q_1$ ) .....	20
Gráfico 3 - Consumo Relativo Anual para Aquecimento ( $C_a$ [kWh/m <sup>2</sup> .ano]) .....	47
Gráfico 4 - Graus hora resfriamento para os cômodos .....	48
Gráfico 5 - Graus hora de resfriamento ao longo do ano para o dormitório casal 2.....	49
Gráfico 6 - Graus hora de aquecimento ao longo do ano para Sala 3.....	50



Gráfico 7 - Curitiba Temperatura operativa x Temperatura neutra - Dormitório Casal 2.....	51
Gráfico 8 - Curitiba - Temperatura operativa x Temperatura neutra - Dormitório Casal 3.....	51
Gráfico 9 - Brasília - Temperatura operativa x Temperatura neutra (Dormitório Casal 2).....	52
Gráfico 10 - Brasília -Temperatura Operativa x Temperatura Neutra (Dormitório Casal 3)..	52
Gráfico 11 - Cuiabá -Temperatura Operativa x Temperatura Neutra (Dormitório Casal 3) ...	53
Gráfico 12 - Manaus -Temperatura Operativa x Temperatura Neutra (Dormitório Casal 3)..	53

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Déficit habitacional relativo, segundo unidades da federação – Brasil – 2015.....	5
Figura 2 - Mapa Climático Brasileiro .....	13
Figura 3 - Carta Bioclimática Adaptada .....	14
Figura 4 - Zoneamento Bioclimático brasileiro .....	15
Figura 5 - Vegetação como dispositivo de sombreamento externo .....	16
Figura 6 - Ilustração do percurso da ventilação natural de uma edificação em planta e em corte .....	17
Figura 7 - Lanternim e efeito chaminé.....	18
Figura 8 - Influência do beiral no direcionamento do fluxo para o interior .....	18
Figura 9 - Teto jardim.....	19
Figura 10 – Fonte de água em pátio interno .....	19
Figura 11 - Influência térmica da cor do material.....	23
Figura 12 - Valores médios para o cálculo da resistência superficial.....	24
Figura 13 - Trocas de calor em fechamento opaco .....	26
Figura 14 - Trocas de calor em fechamento transparente ou translúcido .....	27
Figura 15 - Exemplo de prateleira de luz.....	28
Figura 16 - Gráfico de temperatura horário para a representação de graus hora de aquecimento e resfriamento.....	30
Figura 18 - Representação isométrica da envoltória.....	35
Figura 19 - Detalhe de uma habitação individual do prédio .....	35
Figura 21 - Orientação do edifício e seus ambientes .....	36
Figura 22 - Parede de Alvenaria .....	37
Figura 21 - Camadas da parede externa definidas no Design Builder .....	38
Figura 24 - Propriedades da tinta escolhida.....	38
Figura 25 - Transmitância térmica da parede externa pelo Design Builder .....	39
Figura 26 - Cobertura e laje com câmara de ar.....	40

Figura 27 - Resistência e absorvância da laje.....	40
Figura 28 - Transmitância e resistência da laje.....	41
Figura 29 - Valores de resistência térmica do ar.....	41
Figura 30 - Transmitância do vidro escolhido.....	42
Figura 31 - Planilha de análise com dados extraídos do Design Builder - Caso Brasília.....	43
Figura 32 - Resultado Teste Tukey no programa Past entre as cidades analisadas.....	44
Figura 33 - Resultado Teste Tukey no programa Past entre os cômodos.....	45
Figura 35 - Especificação dos apartamentos e orientação.....	48

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>3</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
3.1. HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL .....	4
3.1.1. Déficit Habitacional Brasileiro .....	4
3.1.2. Programas de Incentivo do Governo Brasileiro.....	6
3.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES .....	8
3.3. CONFORTO TÉRMICO .....	10
3.4. PROJETO BIOCLIMÁTICO .....	12
3.4.1. Estratégias Bioclimáticas .....	16
3.5. DIRETRIZES CONSTRUTIVAS .....	21
3.5.1. Propriedades Radiantes das Superfícies.....	21
3.5.2. Propriedades Térmicas dos Materiais de Construção .....	23
3.5.3. Tipos de Fechamentos.....	25
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>29</b>
4.1. AVALIAÇÃO TÉRMICA POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL .....	29
4.2. MODELO DE CONFORTO ADAPTATIVO E MÉTODO GRAUS HORA .....	30
4.3. CARACTERÍSTICAS E LOCALIZAÇÃO DAS CIDADES ESCOLHIDAS .....	34
4.4. OBJETO DE ESTUDO.....	34
4.5. ORIENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO E ESCOLHA DE AMBIENTES .....	36
4.6. CONFIGURAÇÕES UTILIZADAS NO PROGRAMA.....	37
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>43</b>
5.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	43
5.2. CLASSIFICAÇÃO DOS AMBIENTES .....	46
5.3. ANÁLISE DOS CÔMODOS .....	48

5.4. ANÁLISE DAS CIDADES .....	49
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>60</b>
ANEXO A.....	60
ANEXO B.....	61
ANEXO C.....	62

## RESUMO

Com o advento da Norma de Desempenho ABNT NBR 15575 em 2013, passou a ser obrigatória a diligência com a performance no âmbito habitacional. Dessa forma, o setor de construção civil brasileiro encontra-se em constante busca pela adequação aos novos parâmetros de desempenho. No domínio social, existe crescente demanda por construções que atendam o público de baixa renda para atender ao déficit habitacional brasileiro e alavancar a economia. Essas habitações, em geral realizadas por construtoras e financiadas pelo Estado, são construídas desconsiderando fatores climáticos locais e particularidades dos usuários. É comum encontrar uma padronização de projetos: repetir e alocar construções sem a responsabilidade que demanda produzir um bem durável. A linha de pesquisa de eficiência energética aliada a estratégias bioclimáticas podem contribuir para a execução de projetos sustentáveis e viáveis economicamente. Esse estudo teve como objetivo principal simular o desempenho térmico por meio computacional e quantificar o conforto térmico de um projeto do programa de política habitacional Minha Casa, Minha Vida para quatro zonas bioclimáticas brasileiras diferentes, Zona 1, Zona 4, Zona 7 e Zona 8. O programa de simulação termoenergética utilizado foi o *EnergyPlus* com a interface do *Design Builder*; as temperaturas de conforto térmico foram calculadas pelo método adaptativo e a avaliação eficiência dos dados obtidos foi quantificada pelo método graus hora. Os materiais foram escolhidos de acordo com os parâmetros mínimos da cartilha da Caixa e da Norma ABNT NBR 15220. Os resultados obtidos indicam desempenho insatisfatório para todas as zonas bioclimáticas, considerando que todos os cômodos analisados obtiveram etiqueta E. Em consequência, surge o questionamento se a construção civil brasileira está preparada para entregar projetos e construções de qualidade para o público de baixa renda.

## 1. INTRODUÇÃO

A disseminação de programas de incentivos habitacionais pode ser encarada como uma resposta ao histórico déficit habitacional brasileiro. O subdesenvolvimento socioeconômico do país ilustra o baixo nível de habitabilidade de grande parte dos brasileiros e assinala uma realidade desconcertante.

Estimado em mais de 6 milhões de habitações, o déficit habitacional brasileiro é estancado com programas de incentivo e alvo de constante preocupação e investimento do Estado. Tais programas carecem de diretrizes construtivas para soluções racionais e adaptadas ao local de construção. Ainda mais grave: o público alvo desses projetos são justamente as pessoas que menos podem contribuir com medidas paliativas para diminuir a ineficiência energética e o desconforto térmico. Além disso, a mesma tipologia de projeto é adotada para diferentes áreas climáticas, desconsiderando variáveis humanas e ambientais. Em consequência, observa-se baixa qualidade construtiva e ineficiência ergonômica e energética.

O Brasil, em razão de sua ampla extensão e posicionamento entre trópicos, possui grande variedade de climas, relevos e ocupação urbana necessitando de diretrizes construtivas distintas para cada região que ofereçam bom desempenho e conforto térmico para melhorar a qualidade de vida do público visado. A habitabilidade é um requisito básico para a saúde e o bem-estar do ser humano impactando em suas atividades laborais. Quando o projeto residencial não se adequa às condições climáticas e humanas, as consequências são desconforto e menor nível de habitabilidade.

Considerando a classe média, esse efeito significa aumento do consumo energético para suprir as exigências de conforto térmico. Já para a população de menor poder aquisitivo, por não possuir condição de investir em equipamentos condicionadores, essa inadequação significa desconforto, diminuição da qualidade de vida e até problemas de saúde.

A eficiência energética busca a compatibilização do menor consumo de energia com o conforto ambiental. Contudo, as estratégias aplicáveis às habitações de interesse social devem corresponder à realidade financeira e social desse público. A análise de desempenho térmico deve ser feita com modificações arquitetônicas e tecnológicas que não impactem no custo final da construção, fator que tornaria o projeto inviável.

Estratégias de iluminação e ventilação natural integrando princípios funcionais, econômicos e ambientais podem criar espaços menos herméticos e mais humanizados. Exemplos como posicionamento e dimensionamento correto de aberturas, escolha adequada dos materiais construtivos, cor das paredes e da fachada além de outras medidas que serão

estudadas ao decorrer desse trabalho são soluções simples que podem e devem ser consideradas ao conceber esse tipo de projeto.

Existe uma crescente demanda por estudos de eficiência energética no cenário brasileiro. O lançamento da norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013 exige novos requisitos para a construção civil ligados à segurança, habitabilidade e sustentabilidade, inserindo o fator qualidade ao edifício entregue aos usuários (ASBEA, 2013). A norma já oferece orientações para empreendimentos populares, no entanto peca em viabilizar diretrizes tangíveis aos agentes de concepção e execução de projetos.

Diante dos argumentos expostos, foi feita uma análise do conforto térmico de um projeto de interesse social pertencente ao programa de incentivo habitacional Minha Casa, Minha Vida para diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. Especificamente a cidade de Curitiba (ZB1), Brasília (ZB4), Cuiabá (ZB7) e Manaus (ZB8).

A NBR 15575:2013 sugere como ferramenta computacional de simulação termo energética o *software EnergyPlus*. A interface de modelagem escolhida para utilizá-lo foi o *Design Builder*.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Este trabalho propõe analisar o conforto térmico para uma habitação multifamiliar de interesse social para diferentes zonas bioclimáticas no intuito de avaliar a padronização de projetos em regiões brasileiras que necessitam de estratégias bioclimáticas distintas.

Para alcançá-lo, foi modelado no programa *Design Builder* um projeto do programa de incentivo habitacional Minha Casa Minha Vida e foram realizadas simulações térmicas por meio do software *Energy Plus*.



### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A revisão bibliográfica deste trabalho se dividirá em cinco tópicos para abranger o conteúdo estudado: Habitações de interesse social, eficiência energética em edificações, conforto térmico e projeto bioclimático.

#### **3.1. HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL**

No âmbito deste trabalho, habitação de interesse popular é aquela destinado ao público de baixa renda, até 3 salários mínimos. O Governo Federal utiliza esse limite em vários dos seus programas do segmento habitacional, assim como Cardoso (2000) e Silva (2015).

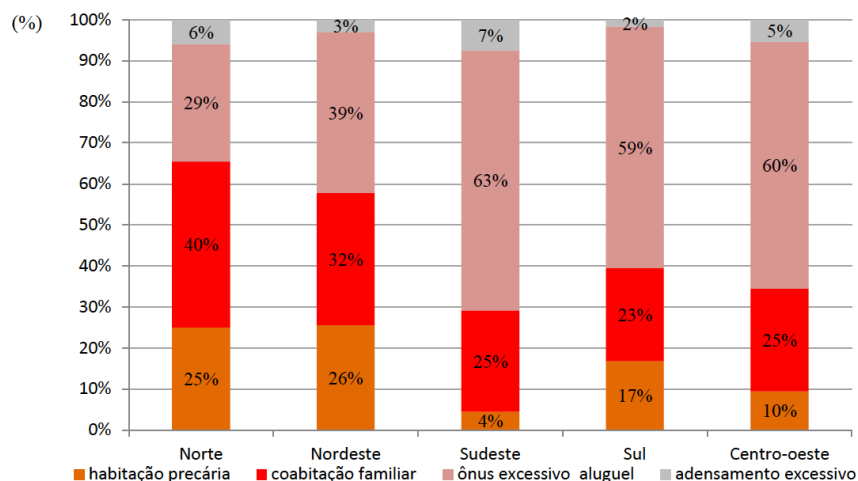
##### **3.1.1. Déficit Habitacional Brasileiro**

Para compreender o quadro atual brasileiro e verificar a abrangência deste estudo, é preciso analisar pesquisas e números que comprovem a carência de habitações de interesse social.

O déficit habitacional brasileiro é compreendido como a necessidade de construção de novas moradias para suprir a falta de residências, corroborando para a melhora dos problemas sociais. A realidade, porém, suplanta essa definição, pois o déficit habitacional corresponde também às residências em situação precária, com número de pessoas residentes em uma só habitação acima do recomendado, com parcela excessiva do salário do brasileiro reservada para aluguéis e adensamento excessivo de domicílios alugados. De acordo com essas variáveis, a Fundação João Pinheiro desenvolve estudos não somente de acordo com o dimensionamento do estoque de habitações, mas também considerando a qualidade de vida dos moradores.

O déficit habitacional brasileiro correspondeu em 2015 a R\$ 6.186.503 milhões de domicílios, valor representante de 9,3 % dos domicílios particulares permanentes e improvisados. O Gráfico 1 demonstra como a composição do déficit brasileiro está dividido por regiões. Ressalta-se como fator preponderante em quase todas as regiões o ônus excessivo com aluguel urbano.

Gráfico 1 - Composição do déficit habitacional, segundo regiões geográficas – Brasil – 2015



Fonte: Dados básicos: IBGE e PNAD, 2015.

Elaboração: Fundação João Pinheiro (FJP), Diretoria de Estatística e Informações (DIREI).

A *Figura 1* coloca o déficit relativo por regiões. A região Norte é sem dúvida a mais afetada, porém chama a atenção o déficit no Distrito Federal que é mais de 12,5%, demonstrando uma situação crítica de aglomeração e falta de moradias de qualidade nesse distrito.

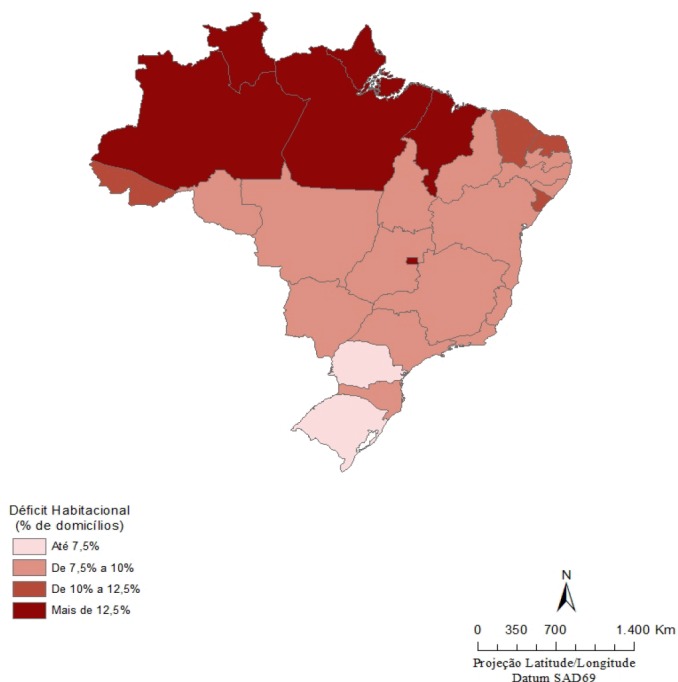


Figura 1 Déficit habitacional relativo, segundo unidades da federação – Brasil – 2015

Fonte: Dados básicos: IBGE e PNAD, 2015.

Elaboração: Fundação João Pinheiro (FJP), Diretoria de Estatística e Informações (DIREI).

Segundo a Fundação João Pinheiro:

A análise das primeiras estimativas do déficit habitacional no Brasil 2015 aponta para um aumento no déficit habitacional total e relativo em relação aos anos anteriores (2013 e 2014). Revela também que o peso relativo do componente ônus excessivo com aluguel na composição do déficit habitacional vem crescendo nos últimos anos, tendo superado a marca dos 50% em 2015. (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2017, p. 19)

Conclui-se, portanto, que apesar dos incentivos governamentais, o ano de 2015 representou um aumento no número de pessoas sem moradias de qualidade.

Os dados de déficit habitacional brasileiro deste trabalho são advindos do estudo da Fundação João Pinheiro, hoje referência no país e adotado oficialmente pelo Governo Federal. Os números fazem parte do resultado preliminar relativo ao ano de 2015 e retirados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (Pnad) 2015, divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

É importante ressaltar também o número de pessoas que hoje vivem em ocupações desorganizadas, as conhecidas favelas. Segundo IBGE (2017), 11,4 milhões de brasileiros vivem nesses aglomerados subnormais. Além disso, segundo o Pnad (2015), 18,7 milhões de pessoas não possuem pelo menos um dos três serviços básicos de moradia: conexão à rede de esgoto, coleta de lixo e água encanada.

### 3.1.2. Programas de Incentivo do Governo Brasileiro

Desde o governo militar foram lançadas duas grandes iniciativas para suprir o problema social de ocupações inexistentes ou desorganizadas: O Banco Nacional de Habitação (BNH) lançado em 1964 no governo militar e o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) lançado em 2009 no governo Lula e continuado no governo Dilma e Temer.

Em 22 anos, o BNH construiu 4,5 milhões de moradias, considerado o programa de maior impacto absoluto no âmbito sócio habitacional (SILVA e TOURINHO, 2015). Segundo a página oficial do Governo do Brasil (2015), o PMCMV entregou 2,5 milhões de moradias desde sua criação de 2009 a 2015 e é esperado que a terceira fase do PMCMV vá superar o BNH. O investimento até então foi de R\$ 270 bilhões, mudando a vida de mais de 9,2 milhões de brasileiros.

Mesmo com a troca de governo em 2016, o Programa Minha Casa, Minha Vida continua em vigor, como indica o anúncio de mais de 150.000,00 unidades para a faixa 1 segundo o Ministério do Planejamento (2017).

Inclusive, houve ampliação do teto da renda das famílias para contratação do programa:

Quadro 1 - Renda familiar e taxa de juros associadas para o PMCMV

MCMV 2017	Perfil de renda anterior	Taxa de juros anterior	Perfil de renda atual	Taxa de juros atual
FAIXA 1,5	R\$2.350,00	5%	R\$2.600,00	5%
FAIXA 2	R\$2.350,00	5,50%	R\$2.600,00	5,50%
	R\$2.700,00	6%	R\$3.000,00	6%
	R\$3.600,00	7%	R\$4.000,00	7%
FAIXA 3	R\$6.500,00	8,16%	R\$7.000,00	8,16%
	*	*	R\$9.000,00	9,16%

FONTE: Agência Caixa de Notícias. Disponível em

<http://www20.caixa.gov.br/Paginas/Noticias/Noticia/Default.aspx?newsID=4552>

Tal modificação demonstra novamente a intenção do Governo Brasileiro em continuar a investir em programas habitacionais para gerar emprego, renda e residência digna para todos os brasileiros.

Apesar do tamanho e velocidade do programa, o subsídio do governo e a diminuição do déficit habitacional brasileiro, o PMCMV apresenta pontos negativos, dentre eles a padronização dos projetos em larga escala para potencializar o lucro dos construtores.

A produção do Programa Minha Casa Minha Vida para a Faixa 1 tem como características mais significativas a ampla padronização dos projetos e o grande porte dos empreendimentos, de maneira praticamente independente das diferentes realidades locais. De modo geral, técnicas construtivas, arranjos espaciais e programas das unidades, desempenho e conforto ambientais e padrão de implantação não correspondem às diversidades urbanas, bioclimáticas, sociais, culturais, tecnológicas das regiões, municípios ou dos bairros. (RUFINO, AMORE e SHIMBO, 2015, p.62)

Tipologias construtivas semelhantes aplicadas em realidades diferentes são casos comuns das chamadas casas geminadas ou condomínios. O tipo de arranjo interno mais usado é o de 2 quartos, incompatível com a composição familiar brasileira típica que conta com mais de 1 filho por família, principalmente para a faixa 1 do PMCMV.

Rufino, Amore e Shimbo (2015) ressaltam a falta de importância dada à projetos urbanísticos associados a essas construções, ocasionando carência de áreas coletivas de lazer, piora no acesso à transportes e a falta de integração com centros urbanos e industriais.

O predomínio da forma condomínio, a precariedade dos espaços coletivos e a ausência de espaços públicos que estimulem a integração e sociabilidade nos empreendimentos e com a vizinhança reforçam ainda mais uma urbanização privatizada que tende a exacerbar a segregação e guetificação [segregação] dos mais pobres na cidade. (RUFINO, AMORE e SHIMBO, 2015, p.69)

Dessa forma, o conflito de interesse entre o usuário, a cidade e o investidor recai sobre o cidadão brasileiro de menor poder aquisitivo, o que leva a crer que o método de implementação de habitações de interesse social deve ser reconsiderado. Por fim, além do número insuficiente apontado pelo IBGE, as habitações de interesse social padecem de cuidados com o Conforto Ambiental e conseqüentemente com a Eficiência energética.

### 3.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

A eficiência energética em edificações pode ser definida como o equilíbrio entre o conforto ambiental e o baixo consumo de energia por meio de estratégias inerentes à edificação para amenizar o microclima de um local habitado. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014)

Todavia, a maior parte dos brasileiros não pode utilizar-se de estratégias artificiais ou reformas de melhoria pois estão fora do seu orçamento financeiro pessoal. Aliada a predominância de climas tropicais, a situação de desconforto e desequilíbrio térmico é recorrente na realidade do brasileiro de baixa renda.

Para encontrar melhores estratégias para esse caso, é necessário discutir antes sobre as variáveis conceptivas, antropológicas e climáticas pertinentes.

O clima é parte essencial na elaboração de um projeto, sendo determinante na procura pela eficiência e conforto. Ele é composto por uma série de variáveis (radiação solar, temperatura, umidade e vento) que serão estudadas neste trabalho, assim como seus respectivos índices e medidores.

A radiação solar é a principal fonte de luz e calor para o planeta Terra. Essa energia, porém, não é igualmente distribuída, o que gera diferenças de clima, relevo, hidrografia, vegetação etc. O fator responsável por essa desigualdade é a translação do planeta inclinada 23°27' em relação ao plano do Equador. Desse movimento surgem as diferentes estações que conhecemos, pois as regiões do globo recebem quantidades de energia solar distintas, conforme a posição da Terra.

A carta solar indica a posição do Sol em função da latitude local para todos os períodos do ano sendo. Nas latitudes mais próximas à linha do equador, o Sol tem comportamento parecido nos dois solstícios resultando em número de horas diárias parecidas. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014)

O território brasileiro tem predominância de verões quentes e forte presença do sol ao longo do ano o que torna essencial o conhecimento de sombreamento e insolação, variáveis diretamente ligadas à geometria solar. Além de calor, a radiação solar também traz luz natural

para o interior. Para projetar uma edificação é necessário então ter conhecimentos de quando a radiação solar é indesejável (sombreamento no verão) ou desejável (insolação no inverno); levando sempre em consideração as necessidades da iluminação natural. A geometria solar influencia diretamente no posicionamento eficiente da edificação.

Os dados para obtenção da radiação solar podem ser feitos diretamente por meio da radiação solar instantânea ( $W/m^2$ ), por valores médios de horas de sol ou a partir dos valores de nebulosidade do Ano Climático de Referência. Para a determinação da geometria solar, programas como o *Analysis Bio* (LabEEE – USFC) fornecem informações de radiação solar predominante em determinada fachada e estação do ano.

A temperatura é uma grandeza física que reflete o estado térmico de um ambiente. Sua variação resulta da radiação solar incidente e o coeficiente de absorção da superfície receptora, da condutividade e a capacidade térmica do solo e as perdas por radiação, convecção e evaporação. (SILVA, 2015)

As informações de temperatura máxima e mínima, a amplitude térmica, ajudam a compreender o clima local e escolher as melhores estratégias de projeto. A variação de temperatura está diretamente ligada à umidade: quanto mais úmido, menor a variação térmica, quanto mais seco, maior a amplitude.

A umidade indica a quantidade de vapor presente na atmosfera, proveniente da vegetação e do ciclo hídrico. A temperatura também influencia na umidade relativa, tendendo a aumentar com a diminuição da temperatura.

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) explicam a relação entre temperatura e umidade, associado ao clima local:

Nos locais com alta umidade, a transmissão de radiação solar é reduzida porque o vapor de água e as nuvens a absorvem e redistribuem na atmosfera, refletindo uma parte de volta ao espaço. Em locais com ar muito seco, os dias tendem a ser muito quentes e as noites frias; já em locais úmidos, as temperaturas extremas tendem a ser atenuadas [...] Deve-se compreender que em altas umidades relativas temos mais dificuldades de evaporar o suor, aumentando a sensação de desconforto térmico. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 81)

O vento é controlado por fatores como topografia, altitude e relevo. Por isso, em centros urbanos o vento pode ser modificado pelas edificações, desviando ou canalizando o ar e alterando as variáveis climáticas. Para climas quentes e úmidos, o vento promove a melhora da sensação térmica, tornando os espaços mais agradáveis. Em face disso, deve-se evitar ilhas de calor e facilitar a dispersão da poluição térmica do ar para alcançar a ação do vento desejada. (SILVA, 2015)

Para obter informações sobre a direção e intensidade do vento conforme a estação do ano, observa-se o diagrama da rosa dos ventos local. Esta ferramenta pode ajudar ao decidir a posição das aberturas para evitar ou canalizar o vento. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014)

Após conhecer as variáveis do ambiente externo, parte-se para a concepção do projeto em si. Nesta etapa, define-se a orientação do edifício, a posição das aberturas, o volume, a forma e a arquitetura. A escolha dos elementos de projeto é multifatorial e interfere diretamente no conforto ambiental e eficiência energética final.

A função para o qual o edifício é destinado altera os elementos de concepção. Por exemplo, um edifício comercial será usado principalmente durante o dia, contará com maior circulação de pessoas em um mesmo ambiente, além de equipamentos que aumentam a carga térmica interior. Esses fatores demandam dimensionamento de equipamentos artificiais para quase todos os casos de função comercial. Edifícios com função residencial por outro lado exigem outros cálculos e estratégias visto que o número de ocupantes e horário de uso são diferentes.

A forma da edificação interfere na circulação de ar, na iluminação natural e nas transferências térmicas. Dependendo da posição relativa ao aparente movimento solar, dos elementos constituintes e da área exposta à radiação é possível adequar um projeto para as variáveis ambientais e antropológicas.

### 3.3. CONFORTO TÉRMICO

Conforto térmico é um termo sempre discutido quando o ser humano é parte essencial do objeto de estudo, pois o resultado final é o bem-estar em determinado ambiente. A definição clássica é descrita por Fanger (1970): “condição de mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”. Seu estudo se enquadra na linha de pensamento que considera o homem como uma máquina térmica que troca calor com o ambiente. Existe ainda outra linha de estudo multidisciplinar que pondera a capacidade das pessoas a se adaptarem ao meio. Xavier (2000) afirma ser o estudo de conforto térmico um tema mais complexo que meras definições, pois este deve ser analisado sob dois aspectos: ponto de vista pessoal e ponto de vista ambiental.

Com enfoque no ponto de vista pessoal, as variáveis pertinentes compreendem a vestimenta e a atividade física do indivíduo. Ambas contribuem diretamente para a adaptação do organismo ao ambiente e devem ser consideradas ao determinar o conforto térmico.

A sensação térmica do indivíduo está diretamente ligada ao seu metabolismo, o qual é acelerado ao praticar determinada atividade física, aumentando o calor do corpo. A ISO 7730 (2005) determinou uma forma de medir o metabolismo dependendo da atividade por meio da unidade *met* (1 *met* representa o metabolismo de uma pessoa relaxada e  $1 \text{ met} = 58,15 \text{ W/m}^2$ ). Assim, é possível encontrar a quantidade de calor aproximada gerada por metabolismo em  $\text{W/m}^2$  no ambiente de acordo com a função (atividade de seus usuários) para a qual ele foi destinado. Equivalente é a medida de *clo* para a vestimenta ( $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ W/m}^2$ ) (ISO 7730, 2005) indicando a resistência térmica que uma roupa pode oferecer de acordo com essa unidade. Quanto maior a resistência térmica da roupa, menos trocas de calor o corpo pode fazer com o meio.

Quanto às variáveis ambientais, Lamberts, Dutra e Pereira (2014) colocam: “As variáveis que influenciam no conforto térmico e podem ser medidas diretamente são a temperatura do ar (TAR- ° C), a temperatura radiante (TRM - ° C), a umidade relativa (UR - %) e a velocidade do ar (V – m/s).”

Fanger (1972) em seus estudos criou o índice PMV (Voto Médio Premeditado), modelo físico de trocas de calor entre o homem e o ambiente que traduz em valores numéricos a sensibilidade humana ao calor e frio. A norma ISO 7730 de 2005 criou também o termo PPD (Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas) e determina que o PPD deve ser menor ou igual a 10% em espaços humanamente ocupados. Relacionando esses dois índices, Fanger determinou que a faixa correspondente ao conforto térmico na escala PMV seria entre -0,5 a +0,5.

Vários autores, porém, criticam o método PMV criado por Fanger para climas tropicais como coloca Pereira e Assis (2010):

Como mostrado por vários autores (BRAGER; DEDEAR, 1998; DEDEAR; BRAGER, 2002; FANGER; TOFUM, 2002; NICOL, 2004), inclusive em estudos brasileiros (ARAÚJO, 1996; GONÇALVES, 2000), o PMV não é capaz de estimar a real sensação de conforto térmico de indivíduos aclimatados a climas tropicais, condição predominante no território brasileiro, prevendo sensação de desconforto térmico mais severa do que os usuários realmente percebem.

Como alternativa, Pereira e Assis (2010) sugerem a utilização do modelo adaptativo para habitações de condicionamento natural onde é possível controlar as condições térmicas por meio do manuseio das aberturas. Outro critério para utilização do modelo adaptativo é que os usuários estejam realizando atividades próximas às consideradas sedentárias, com taxas metabólicas entre 1,0 a 1,3 *met*. Esse modelo leva em conta a capacidade de adaptação do indivíduo de acordo com as condições climáticas momentâneas e, conseqüentemente, variação do conforto térmico para as diferentes temperaturas diárias. Desse modo, a temperatura de



conforto térmico é função da temperatura externa e pode ser expressa por meio de diferentes equações, dependendo do autor, conforme o *Quadro 2*:

Quadro 2 - Equações para o cálculo da temperatura neutra

<b>Autor</b>	<b>Equação</b>	<b>Faixa de conforto</b>
Auliciems (1981)	$T_n = 0,314.T + 17,6\text{ °C}$	Sem definição
Humphreys (1978)	$T_n = 0,534.T + 12,9\text{ °C}$	$T_n \pm 2 a 3\text{ °C}$ e em condições de umidade relativa elevada, $T_n \pm 1\text{ °C}$
Nicol e Humphreys (2002)	$T_n = 0,540.T + 13,5\text{ °C}$	$T_n \pm 2\text{ °C}$ em situações onde não há possibilidade de mudança de vestimenta, nível de atividade ou taxa de ventilação
De Dear e Brager (2002)	$T_n = 0,310.T + 17,8\text{ °C}$	$T_n \pm 2,5\text{ °C}$ (90% de aceitabilidade) e $T_n \pm 3,5\text{ °C}$ (80% de aceitabilidade)

Fonte: Pereira e Assis (2010)

Sendo:

$T_n$  = Temperatura de conforto ou de neutralidade

T = Temperatura externa

Na análise das equações realizada por Pereira e Assis (2010), a equação de Auliciems demonstrou os melhores resultados, sendo, portanto, a equação de temperatura neutra utilizada para avaliar o conforto térmico neste trabalho.

Neste trabalho a temperatura  $T_n$  ainda será somada com  $+2,5\text{ °C}$  ou  $-2,5\text{ °C}$ , considerando 80% de aceitabilidade segundo a ASHRAE Standard 55.

### 3.4. PROJETO BIOCLIMÁTICO

Para compreender e explorar as possibilidades de criação de projetos eficientes é necessário discutir conceitos como bioclimatologia e projeto bioclimático. A bioclimatologia ligada à concepção de projetos consiste no estudo das variáveis climáticas e urbanas para a obtenção de edificações mais confortáveis e eficientes termicamente de maneira racional e adaptada. O projeto bioclimático é uma expressão criada por Olgyay (1963) e entende-se como a adequação do projeto de edificações ao clima local.

A integração entre o usuário e o clima pode ser feita por meio de estratégias artificiais (equipamentos de climatização e iluminação artificial) ou estratégias naturais explorando aquecimento, resfriamento e iluminação (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014). O projeto bioclimático é justamente utilizar-se das condições naturais do clima para obter um ambiente mais eficiente.

Neste tópico analisaremos os climas brasileiros, as cartas bioclimáticas e estratégias bioclimáticas mais importantes no contexto brasileiro.

O Clima pode ser definido como conjunto de características físicas atmosféricas de um local, enquanto o tempo meteorológico é o estado instantâneo da atmosfera. A climatologia refere-se ao estudo dos elementos climáticos para beneficiar a vida humana buscando as regras gerais desses fenômenos. (SILVA, 1994)

O Brasil possui larga extensão territorial e topografia variada, dispondo dos seguintes subtipos climáticos: semiárido, tropical de altitude, temperado e subtropical. Esse perfil territorial confere ao país predominância de climas quentes e pouca amplitude térmica, com exceção 6% do sul do país que se encontra na faixa subtropical com temperaturas mais baixas e maiores amplitudes térmicas. (BAGNATI, 2013)

A seguir o mapa climático do Brasil:

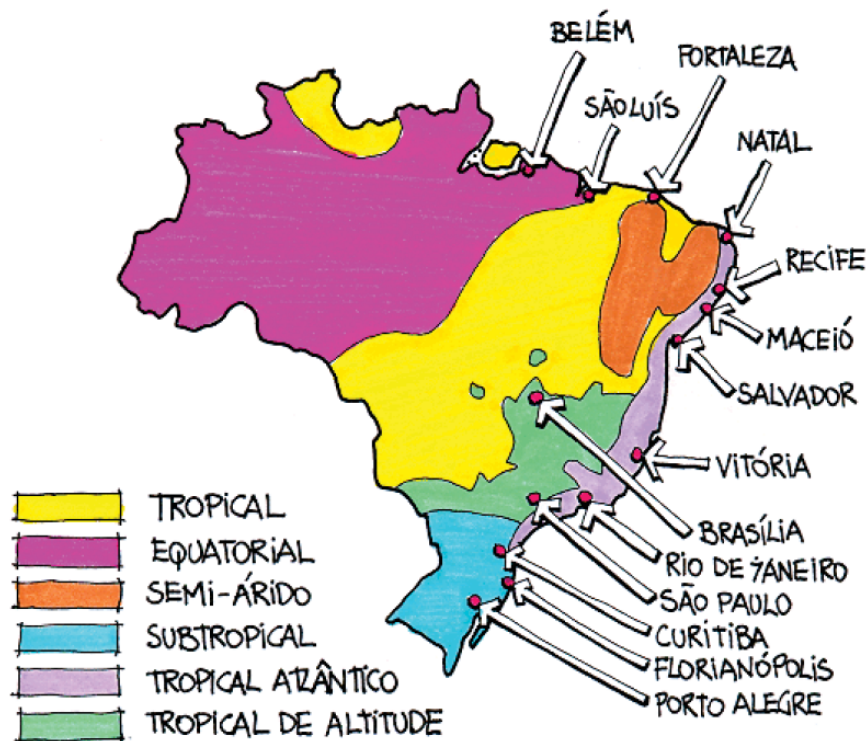


Figura 2 - Mapa Climático Brasileiro

Fonte: (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014) Adaptado de IBGE, 2006

A criação de diagramas com estratégias de adaptação da arquitetura ao clima primeiramente por Olgyay e depois aprimorados por Givoni (1969) proporcionou uma poderosa ferramenta de consulta para produzir um projeto eficiente em função da temperatura e umidade local.

Com algumas adaptações para as condições brasileiras, a norma NBR 15220-3 estabelece uma carta bioclimática baseado na carta de Givoni (1992);

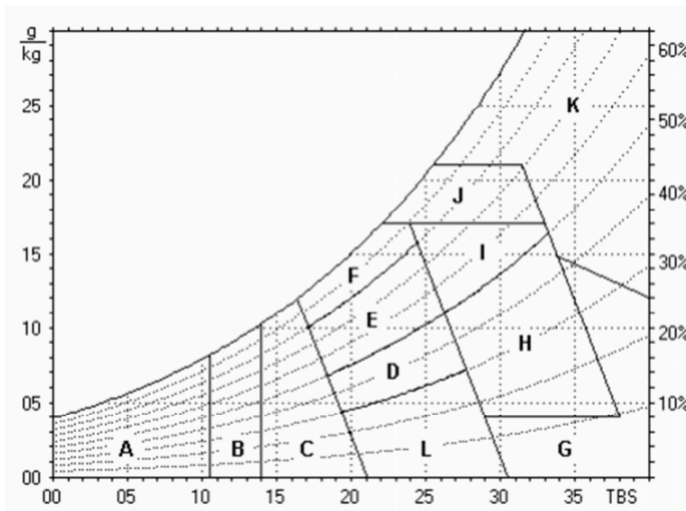


Figura 3 - Carta Bioclimática Adaptada

Fonte: ABNT NBR 15220 (2015)

A carta é dividida em onze zonas de estratégias diferentes explicitadas no quadro *Quadro 3*:

Quadro 3 - Zonas da carta bioclimática adaptada e sua respectiva estratégia

Zona	Estratégia
A	Aquecimento artificial
B	Aquecimento solar de edificação
C	Zona de massa térmica para aquecimento
D	Conforto Térmico (baixa umidade)
E	Conforto Térmico
F	Desumidificação (renovação do ar)
G+H	Resfriamento evaporativo
H+I	Massa térmica de refrigeração
I+J	Ventilação
K	Refrigeração artificial
L	Umidificação do ar térmico

Fonte: ABNT NBR 15220 (2015)

Essa divisão auxilia o projetista e construtor a escolher as melhores diretrizes e estratégias de condicionamento térmico passivo.

De acordo com Givoni (1992), pessoas de países em desenvolvimento tendem a ter limites mais abrangentes relacionados ao conforto térmico. Traduzindo em números, o ser humano sente-se confortável em temperaturas entre 18° e 29° e em limites de umidade relativa

entre 20 e 80%. Fora desses limites é preciso utilizar-se de estratégias tanto naturais quanto artificiais dependendo do limite e zona observada.

A norma NBR 15220-3 definiu um zoneamento bioclimático brasileiro (*Figura 4*) para facilitar o reconhecimento das diretrizes construtivas de acordo com a região a ser construída a edificação.

Os parâmetros e condições de contorno são:

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

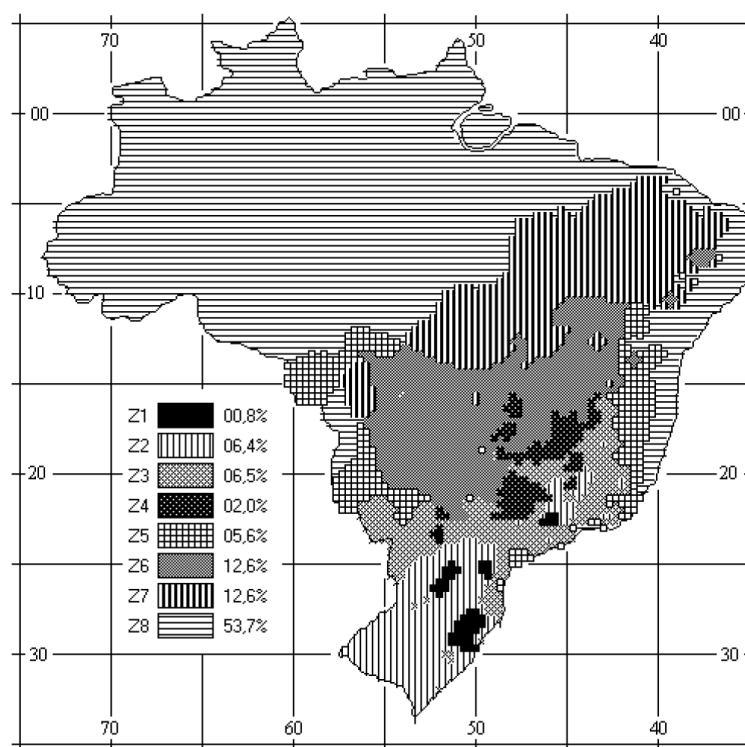


Figura 4 - Zoneamento Bioclimático brasileiro

Fonte: ABNT NBR 15220 (2015)

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) disponibiliza um resumo de todas as estratégias bioclimáticas de acordo com o zoneamento citadas em norma como indicado no ANEXO A.

### 3.4.1. Estratégias Bioclimáticas

Para atingir o objetivo deste estudo, é necessário aprofundar-se nas estratégias bioclimáticas e de projeto e para analisarmos qual delas será a melhor solução ao analisar um projeto verdadeiro. Em adição, serve ao propósito de um projeto coerente analisar todas as estratégias em conjunto para evitar efeitos negativos quando estas entram em contradição. Exemplos claros desse tipo de análise:

“A ventilação natural por exemplo, pode significar um problema no inverno, enquanto é uma solução no verão. O mesmo ocorre com estratégias como o aquecimento solar e o sombreamento que têm suas necessidades invertidas conforme estes períodos do ano se alternam. A iluminação natural também pode significar incrementos indesejáveis no ingresso de calor solar no ambiente interno e, embora possa reduzir os gastos de energia com iluminação artificial, pode exigir mais gastos com refrigeração ou ventilação forçada.” (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 268).

Para compreender essas medidas e alcançar um projeto bioclimático integrado, serão descritas as principais estratégias: Sombreamento, ventilação natural, resfriamento evaporativo, inércia térmica e aquecimento solar passivo.

#### a) Sombreamento

O sombreamento é uma das principais estratégias a serem usadas no Brasil uma vez que reduz os ganhos solares através do envelope da edificação.

Proteções solares como brises, prateleiras de luz, beirais e vegetação reduzem a carga térmica proveniente da luz solar melhorando a temperatura interna, controlam a incidência de luz natural excessiva e podem também compor a arquitetura do projeto.

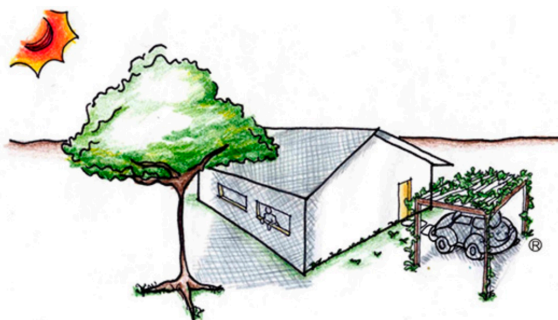


Figura 5 - Vegetação como dispositivo de sombreamento externo

Fonte: ProjetEEE (2017)

Uma proteção solar mal projetada pode obstruir além da radiação solar direta, uma porção da abóbada celeste que possibilitaria o uso da luz difusa do céu para iluminação natural.

Para a determinação da melhor orientação do projeto, é necessário entender da geometria solar local para dimensionar e situar a proteção solar. Ademais, dependendo da localização e da época do ano, outros elementos como vegetação e edifícios vizinhos podem gerar sombreamento, alterando necessidades do projeto.

#### b) Ventilação natural

Ao conceber o projeto, deve-se atentar para a forma e orientação do edifício observando a rosa dos ventos do local em questão para melhor escolher a posição de maior aproveitamento de brisas (levando em consideração também a iluminação natural). Criar ambientes fluidos que proporcionem diferença de pressão e caminho para a ventilação percorrer todos os âmbitos é outra estratégia simples, mas eficiente a ser considerada na concepção do projeto. Posicionar janelas em paredes opostas proporciona a ventilação cruzada e consequente fluidez no ambiente.

Aberturas verticais também são estratégias valiosas, pois geram um fluxo de ar ascendente levando para fora o ar quente acumulado nas partes mais altas. Dispositivos como lanternins, aberturas no telhado, aberturas zenitais e exaustores eólicos podem também, além de promover o fluxo de ar vertical, ajudar com a iluminação natural, assunto que trataremos mais adiante.

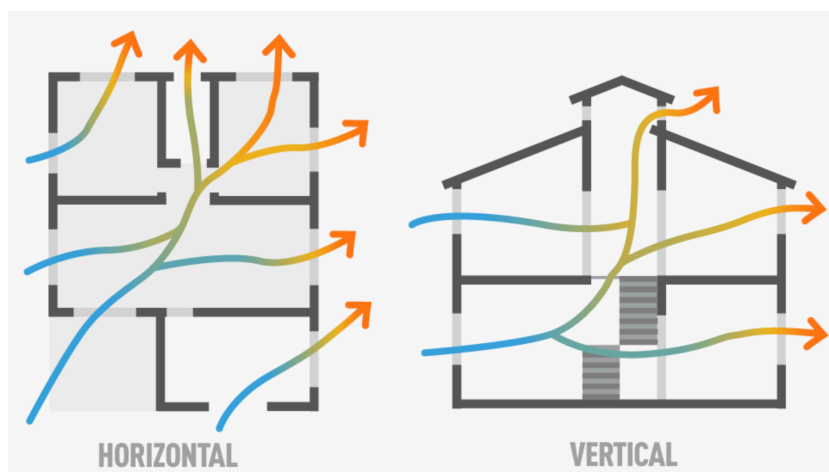


Figura 6 - Ilustração do percurso da ventilação natural de uma edificação em planta e em corte

Fonte: <http://grupomb.ind.br/mbobras/economia-de-energia/ventilacao-natural-na-industria-utilidade-e-vantagens/>

O lanternim, por exemplo, é um elemento construtivo que permite a renovação contínua do ar resultando em um ambiente mais agradável. Aliando aberturas de diferentes níveis obtemos o efeito chaminé, fluxo ascendente que retira o ar quente da edificação. (PROCEL/ELETROBRÁS e UFSC, 2017)

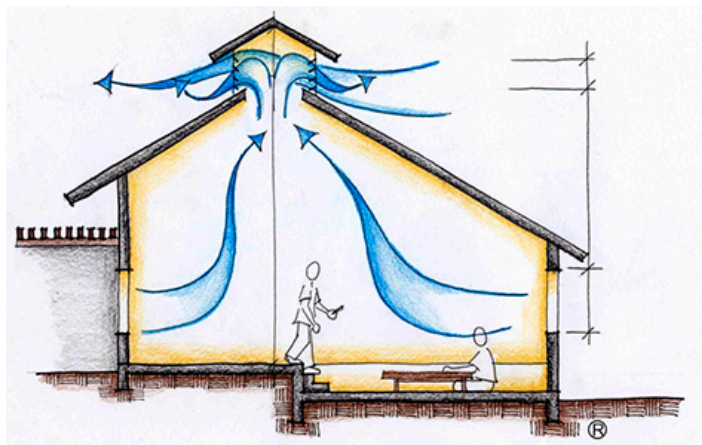


Figura 7 - Lanternim e efeito chaminé

Fonte: ProjetEEE (2017)

Existem elementos filtrantes e direcionadores de ventilação natural como beirais e platibandas aumentam a pressão do vento promovendo seu fluxo para dentro da edificação.

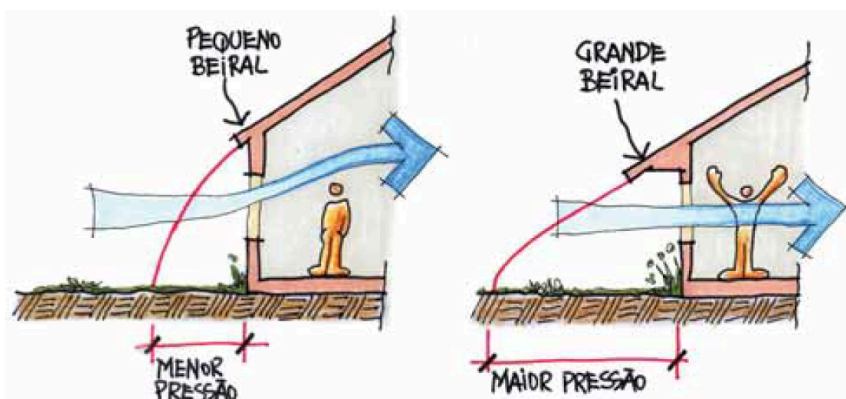


Figura 8 - Influência do beiral no direcionamento do fluxo para o interior

Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014 P. 187

As medidas devem ser tomadas logo nos estudos preliminares e no anteprojeto pois dependem de variáveis arquitetônicas. Além disso, deve-se considerar a umidade relativa do local.



Segundo ProjetEEE:

“Na edificação a qualidade do projeto dos sistemas passivos de ventilação está intimamente ligada ao projeto dos espaços internos e do tamanho e colocação das aberturas. É importante salientar que a ventilação natural é ineficaz para reduzir a umidade do ar que penetra no ambiente. Isto limita a eficiência da aplicação da ventilação natural em climas de umidade relativa muito elevada.” (ProjetEEE, 2017)

c) Resfriamento evaporativo

Em climas secos, a evaporação pode ser usada como estratégia de resfriamento. O processo físico ocorre com a retirada de calor do ambiente, consequentemente ameniza a temperatura local. A evaporação pode ser por meio da passagem do estado líquido para o gasoso da água ou por evapotranspiração de plantas.

Coberturas vegetais em torno do local geram um microclima por meio da retenção de água e posterior evaporação, diminuindo a temperatura. Em comparação, superfícies impermeabilizadas como o asfalto têm dificuldade em dissipar o calor proveniente da radiação solar e geralmente possuem diferença de temperatura significativas. Teto jardim, vegetação entorno da edificação, pisos intervalados com vegetação são estratégias a serem exploradas.

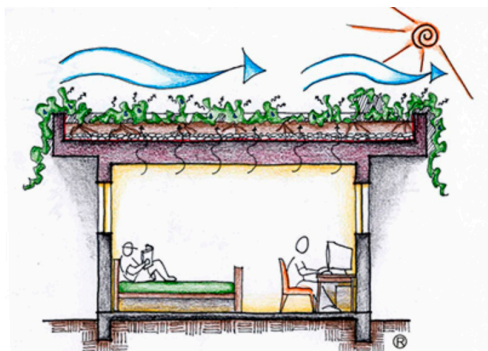


Figura 9 - Teto jardim

Fonte: ProjetEEE (2017)

Outros mecanismos de resfriamento evaporativo da água são espelhos d'água, fontes de água interna, água na cobertura, entre outros.

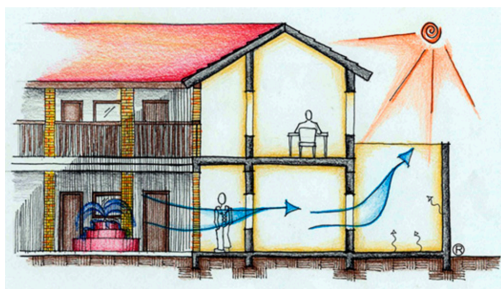


Figura 10 – Fonte de água em pátio interno

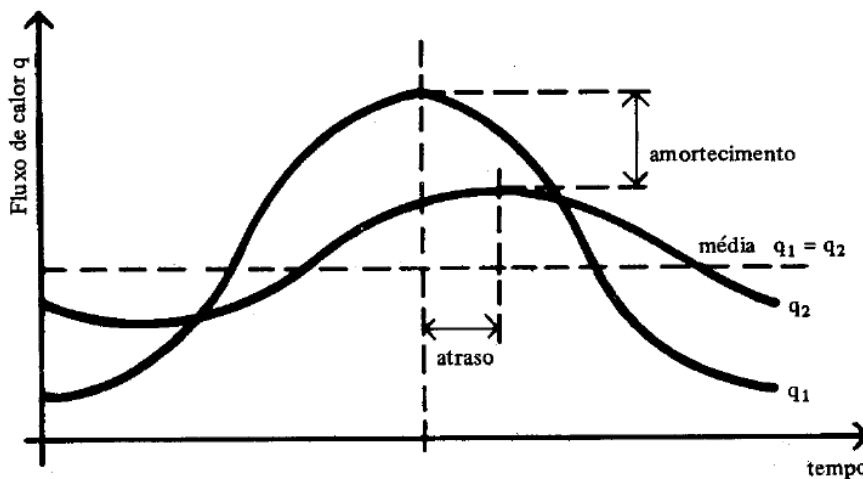
Fonte: ProjetEEE (2017)



d) Inércia térmica

O fluxo de calor tende a atravessar a envoltória quando existe diferença de temperatura entre ambiente externo e interno. O calor, porém, não passa imediatamente, aquecendo primeiro os componentes da parede. Esse fenômeno, dependendo do material e da espessura, gera um atraso do fluxo de calor e amortecimento da diferença de temperatura entre ambiente interno e externo (FROTA e SCHIFFER, 1998). O *Gráfico 2* explica tais fenômenos:

Gráfico 2 - Fenômeno da inércia térmica de uma parede real ( $q_2$ ) e de uma parede fictícia de peso nulo ( $q_1$ )



Fonte: Frota e Schiffer, 1998, p. 49

A inércia térmica é a capacidade de absorver calor e conservá-lo, funcionando como armazenador de calor ou retardador térmico. Característica típica de materiais densos como tijolos maciços ou concreto, ela amortece os picos de temperatura externa, contribuindo para o conforto interior tanto no verão quanto no inverno. (LOPES, 2010).

Isto posto, a inércia térmica pode ser considerada uma técnica viável para todas as estações do ano com ressalvas para climas distintos. Segundo ProjetEEE:

“Durante o verão absorvem o calor, mantendo a edificação confortável; no inverno, se bem orientado, pode armazenar o calor para liberá-lo à noite, ajudando a edificação a permanecer aquecida. Essa característica é particularmente benéfica em regiões de clima mais seco onde há uma grande diferença entre as temperaturas diurnas e noturnas externas (acima de 7°C)[...] Em climas quentes e úmidos o resfriamento passivo é geralmente mais eficaz em edifícios com pequena inércia térmica.” (ProjetEEE, 2017)

Ao escolher o material de construção, o profissional deve atentar-se para sua transmitância específica, capacidade térmica e atraso térmico calculados para alguns componentes construtivos de parede e cobertura.

e) Aquecimento solar passivo

Esta estratégia consiste no aquecimento da edificação por meio da radiação solar direta. Com aberturas e fechamentos transparentes, a radiação consegue atravessar e é absorvida e refletida nas superfícies internas na forma de onda longa. Como o vidro é opaco a esse tipo de onda, a radiação permanece, gerando o efeito estufa.

Deve-se construir aberturas e fechamentos de maneira que capturem o sol no inverno, aliando-se com o sombreamento no verão.

### 3.5. DIRETRIZES CONSTRUTIVAS

A norma NBR 15220-2 fornece informações sobre o cálculo de quatro propriedades térmicas: transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar de elementos e componentes de edificações. Para analisar a superfície e o comportamento frente à radiação térmica é preciso discutir também sobre as propriedades radiantes dos materiais. Além desses parâmetros, a norma estabelece desempenhos mínimos a serem seguidos pelos materiais construtivos.

#### 3.5.1. Propriedades Radiantes das Superfícies

Ao incidir no material, a radiação térmica pode ser absorvida, refletida ou transmitida. Juntas as parcelas correspondem a radiação incidente total como indica a equação a seguir (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014):

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (1)$$

Sendo:

$\alpha$  = absorptividade

$\rho$  = refletividade

$\tau$  = transmissividade

A fração da irradiação incidente na superfície que é absorvida pelo corpo é denominada como absorptância e a radiação que é emitida para o ambiente interno é a emissividade. Essas propriedades variam de acordo com a natureza da superfície do material, tais como a cor, o método de fabricação e as reações químicas do ambiente (exemplo: camada de óxido que pode aumentar significativamente a emissividade em superfícies metálicas). (CAVALCANTI, 2011)

O Quadro 4 foi retirado da Norma NBR 15220 Anexo C e fornece informações sobre exemplos de tipo de constituintes e cores da superfície de materiais usados na construção civil.

Quadro 4 - Absortância para radiação solar (ondas curtas) e emissividade para radiação e temperaturas comuns (ondas longas)

<b>Tipo de superfície</b>	<b>Absortância (<math>\alpha</math>)</b>	<b>Emissividade (<math>\epsilon</math>)</b>
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25
Caiação nova	0,12/0,15	0,9
Concreto aparente	0,65/0,80	0,85/0,95
Telha de barro	0,75/0,80	0,85/0,96
Tijolo aparente	0,65/0,80	0,85/0,97
Reboco claro	0,30/0,50	0,85/0,98
Revestimento asfáltico	0,85/0,98	0,90/0,98
Vidro incolor	0,06/0,25	0,84
Vidro colorido	0,40/0,80	0,84
Vidro metalizado	0,35/,80	0,15/0,84

<b>Pintura</b>	<b>Absortância (<math>\alpha</math>)</b>	<b>Emissividade (<math>\epsilon</math>)</b>
Branca	0,2	0,9
Amarela	0,3	0,9
Verde clara	0,4	0,9
“Alumínio”	0,4	0,5
Verde escura	0,7	0,9
Vermelha	0,74	0,9
Preta	0,97	0,9

FONTE: Adaptada da NBR 15220 - 2005 ANEXO B

A cor do material influi fortemente na radiação absorvida e emitida pelo material como indica a figura *Figura 11*. Essas informações foram utilizadas para escolher a cor da fachada para a avaliação térmica do projeto analisado neste trabalho.

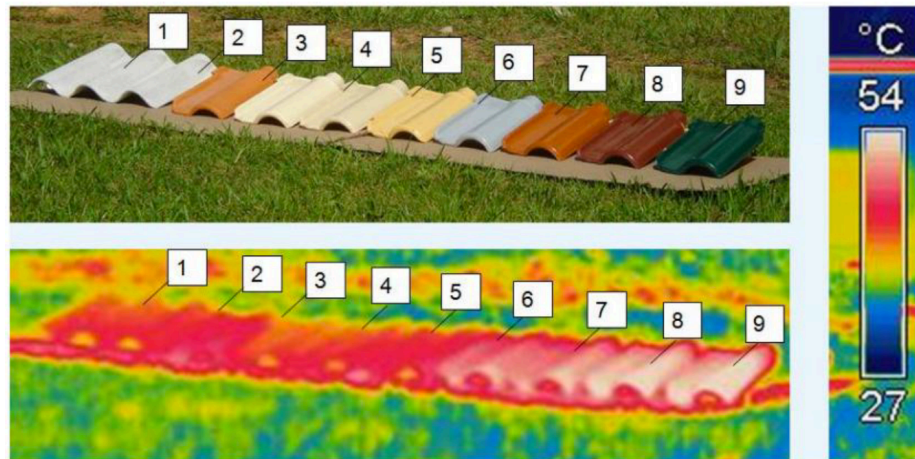


Figura 11 - Influência térmica da cor do material

Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014

### 3.5.2. Propriedades Térmicas dos Materiais de Construção

A edificação é composta por uma envoltória que divide o ambiente externo do interno. As trocas de energia entre esse plano e o interior interferem no desempenho térmico da edificação. Surge então a necessidade de estudar como os materiais componentes desta envoltória se comportam frente ao fluxo de calor. Cada um desses elementos exerce uma influência para o clima interior e os cálculos devem compreender todas as camadas para garantir o bom desempenho térmico da estrutura.

A condutividade térmica ( $\lambda$ ) demonstra a capacidade em transmitir o calor do ambiente e depende da densidade do material. A resistência térmica ( $R$ ) está diretamente relacionada à condutividade, sendo a capacidade em resistir a passagem de calor. Esta última depende da espessura do material e é dada pela seguinte equação:

$$R = \frac{L}{\lambda} \quad (2)$$

Sendo:

$R$  = resistência térmica do material [ $m^2K/W$ ]

$L$  = espessura do material [m]

$\lambda$  = condutividade térmica do material [ $W/mK$ ]

Quanto maior a condutividade térmica do material, menor sua resistência à transmissão de calor. Analogamente às resistências de circuitos elétricos, deve-se somar todas as resistências dos materiais componentes de uma camada para determinar sua resistência total e encontrar o fluxo de calor final. Deve-se levar em consideração também a resistência superficial

da camada externa ( $R_{se}$ ) e da camada interna ( $R_{si}$ ) as quais a NBR 15220 dispõe de valores médios para cálculo:

CAMANDA INTERNA			CAMADA EXTERNA		
$R_{si} (m^2.K)/W$			$R_{se} (m^2.K)/W$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	— ↑	— ↓	⇒	— ↑	— ↓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Figura 12 - Valores médios para o cálculo da resistência superficial

Fonte: NBR 15220-2 p. 7

A transmitância térmica, também citada em norma, é o inverso da resistência térmica. Segundo LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA (2014), a transmitância térmica é a propriedade mais relevante para calcular a transmissão de calor em fechamentos opacos.

$$U = \frac{1}{R} \quad (3)$$

Sendo:

$U$  = Transmitância térmica [ $W/m^2K$ ]

$R$  = Resistência térmica [ $m^2K/W$ ]

Para climas de inverno mais rigorosos, o uso de materiais isolantes com baixa transmitância térmica é desejável, mas não para climas com média de temperatura altas em que a transmitância térmica deve ser maior para ocorrer a dissipação do calor para o exterior da envoltória.

A capacidade térmica refere-se à quantidade de calor que um material pode reter até que se eleve uma unidade da temperatura de seu sistema. Esta propriedade ajuda a determinar a inércia térmica de uma estrutura. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014)

Por último, o fator solar de aberturas indica a porcentagem de radiação solar que atravessa para o ambiente interno.

Para o vidro simples, com a incidência direta da radiação solar normal à superfície, o fator solar é aproximadamente 0,87 (ASHRAE 1993). Isto significa que 87% da radiação solar incidente sobre a janela com vidro simples e sem proteção penetra no interior. A maior parte da radiação incidente no vidro é transmitida diretamente ao interior, somando-se a 25% da parcela da radiação absorvida pelo vidro, que é emitida para o interior. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014, p.221)

Sendo assim, é possível escolher materiais para fechamentos com fator de calor baixo para controlar a entrada de radiação solar.

### 3.5.3. Tipos de Fechamentos

Elementos da edificação comportam-se de maneira diferente frente à radiação solar incidente, sendo classificados entre a) fechamentos opacos b) fechamentos transparentes ou translúcidos.

#### a) Fechamentos Opacos

A radiação solar incidente gera diferenças de temperatura entre os ambientes. As trocas de calor provenientes dessa diferença por sua vez podem ser calculadas por meio da intensidade do fluxo térmico ( $q$ ) (FROTA e SCHIFFER, 1998):

$$q = U\alpha I_g R_{se} + U(t_e - t_i) \quad (4)$$

Sendo:

$q$  = intensidade do fluxo térmico [ $W/m^2$ ]

$U$  = transmissividade térmica [ $W/m^2K$ ]

$\alpha$  = absorptância

$I_g$  = Intensidade de radiação [ $W/m^2$ ]

$R_{se}$  = Resistência térmica superficial externa [ $m^2K/W$ ]

$t_e$  = temperatura externa

$t_i$  = temperatura interna

Segundo Frota e Schiffer (1998), a parcela representa o ganho de calor solar, sendo fator solar de ganho solar de material opaco. A outra parcela corresponde às trocas de calor por diferença de temperatura, sendo ganho de calor quando ou perda quando. A figura a seguir ilustra o comportamento das parcelas da radiação solar frente à um fechamento opaco.

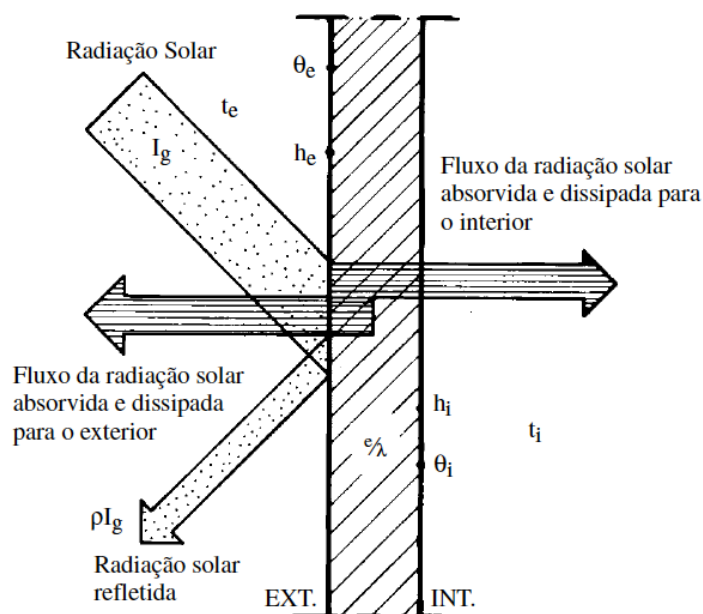


Figura 13 - Trocas de calor em fechamento opaco

Fonte: Frota e Schiffer, 1998

Materiais isolantes térmicos possuem baixa condutividade térmica ( $\lambda$ ) devido à sua alta porosidade. Alto teor de vazios indica grande porcentagem de ar parado dentro do material, sendo este um péssimo condutor de calor. Exemplos de isolantes térmicos utilizados na construção civil no Brasil são: lã de vidro, lã de rocha, lã de pet, concreto celular e isopor. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

#### b) Fechamentos Transparentes ou Translúcidos

Os materiais transparentes e translúcidos permitem a passagem de radiação solar em quase sua totalidade, sendo as principais causas de ganhos térmicos para uma edificação. A equação da intensidade de fluxo térmico ( $q$ ) para esses fechamentos é diferente para fechamentos opacos pois é necessário considerar a parcela da radiação solar que penetra por transparência ( $\tau$ ), resultando na equação a seguir (FROTA e SCHIFFER, 1998):

$$q = U\alpha I_g R_{se} + \tau I_g + U(t_e - t_i) \quad (5)$$

Sendo:

$\tau$  = transmissividade térmica

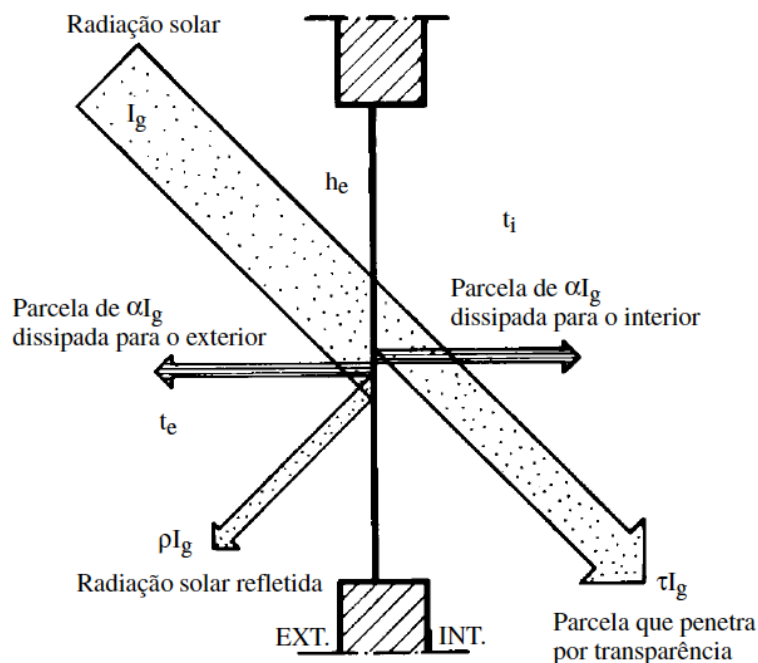


Figura 14 - Trocas de calor em fechamento transparente ou translúcido

Fonte: Frota e Schiffer, 1998

Como podemos observar na figura, a parcela da radiação solar que penetra por transparência é a maior responsável pelo aumento de temperatura nos ambientes interiores, por isso mecanismos de racionalização da entrada de radiação devem ser considerados ao dimensionar esse tipo de fechamento.

Variáveis arquitetônicas podem ser usadas para diminuir essa parcela (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014):

- a) Orientação e tamanho da abertura

Dependem da geometria solar e orientação da fachada estudada para determinar a quantidade de insolação solar incidente.

- b) Tipo de vidro

Devem ser escolhidos visando conciliar a entrada de radiação solar e a iluminação natural do ambiente. A seguir, uma tabela com o fator solar de acordo com os tipos de vidros:



Tabela 1 - Fator solar para diferentes tipos de vidros

Superfícies Separadoras	Espessura	F <sub>s</sub>
Transparente (simples)	3 mm	0,87
	6 mm	0,83
Transparente (duplo)	3 mm	0,75
Cinza (fumê)	3 mm	0,72
	6 mm	0,60
Verde	3 mm	0,72
	6 mm	0,60
Reflexivo	3 mm	0,26 -0,37

Fonte: Lamberts, Dutra E Pereira, 2014

c) Uso de proteções solares internas e externas

As proteções solares internas são cortinas, persianas e venezianas, instrumentos versáteis para restringir a penetração da radiação solar, porém não impedem a radiação de onda longa, gerando o efeito estufa. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014) .

Ainda segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 207): “A proteção externa bloqueia a radiação direta antes de esta penetrar pelo vidro, evitando o efeito estufa.” Por isso, o uso desse tipo de proteção deve ser amplamente utilizado, principalmente considerando projetos com baixo investimento. Exemplo de proteções solares externas: brises, prateleira de luz, marquises, varandas, beirais de telhado, vegetação.

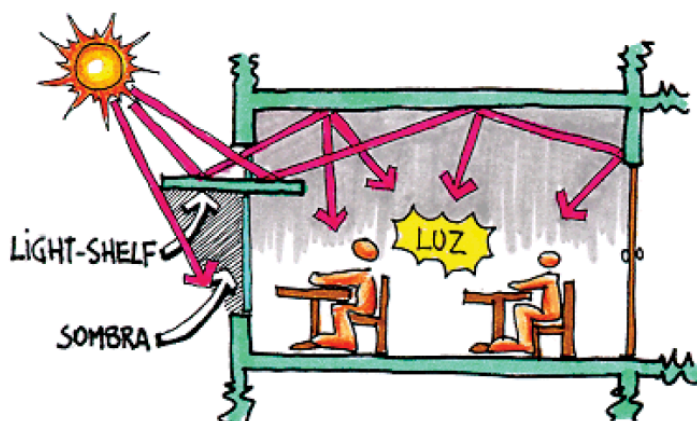


Figura 15 - Exemplo de prateleira de luz

Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014)

## 4. METODOLOGIA

Este capítulo tratará dos métodos e ferramentas utilizadas para gerar os resultados e alcançar o objetivo geral. Será explanado o tipo de *software* utilizado, o arquivo climático escolhido, os dados de saída da simulação computacional, o método de cálculo da temperatura neutra e forma de avaliação dos resultados.

### 4.1. AVALIAÇÃO TÉRMICA POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A norma NBR 15.575 estabelece que a avaliação térmica pode ser efetuada de 3 formas: simplificada por meio de limites de transmitância e capacidade térmica, por meio de simulação computacional ou por meio de medição *in loco*. Para quantificar precisamente o desempenho e encontrar as melhores estratégias para o projeto as ferramentas computacionais de simulações termoenergéticas demonstram-se como a melhor opção. A norma recomenda o uso do *Energy Plus*, programa capaz de reproduzir efeitos de inércia térmica sob condições dinâmicas de exposição ao clima e validado pela *ASHRAE Standard 140*. Desenvolvida pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, o programa permite simular sistemas de iluminação, ventilação e aquecimento, quantificando o consumo de energia.

A interface de modelagem escolhida para integrar com o programa de simulação *Energy Plus* foi o software *Design Builder*. Esta plataforma se fundamenta no conceito de modelagem BIM: ao modelar a edificação, ele já reconhece, por exemplo, quais são as fachadas externas, se trata-se de um telhado plano ou inclinado, se existe ocupação humana, quais são os sistemas construtivos etc. Essa inteligência diminui a quantidade de dados inseridos.

Dentre os parâmetros de entradas estabelecidos pela norma 15.575, está a localização geográfica e zona bioclimática correspondente à cidade do projeto. Com esses dados é possível obter os dias típicos de verão e de inverno, informações demandadas por norma para efetuar a simulação. Deve-se efetuar uma comparação entre o valor máximo de temperatura considerada em recintos de permanência prolongada como salas e dormitórios e a temperatura máxima (ou mínima) diária para o dia típico da estação. A temperatura interna deve ser menor ou igual ao valor da temperatura externa no caso do verão e maior ou igual acrescida 3° C para o inverno.

Contudo, o manual do *EnergyPlus* (DOE) não recomenda simulações considerando apenas um dia do ano. Pereira e Assis (2010) alertam para a ineficiência do método da norma para a comprovação do conforto térmico humano e também criticam a representatividade de um dia típico para o restante do ano. Em suas análises, Pereira e Assis (2010) demonstram que

para as diferentes zonas climáticas brasileiras, o método normativo brasileiro não retrata a realidade de conforto térmico para habitações de interesse social, mesmo atendendo aos requisitos da norma.

Para uma análise mais precisa do conforto térmico, será realizada uma simulação para 8760 horas de um ano típico. Considerando a facilidade em extrair dados do *Design Builder* após a simulação, a abordagem escolhida será confrontar para todas as horas do ano a temperatura externa de bulbo seco fornecida pelos arquivos climáticos inseridos para as quatro cidades analisadas e a temperatura operativa, que representa a temperatura interna do modelo calculada pelo programa.

O arquivo climático escolhido foi o SWERA no formato .epw. O *Design Builder* já possui em sua biblioteca os arquivos climático SWERA para todas as cidades analisadas, razão pela qual foi escolhido.

#### 4.2. MODELO DE CONFORTO ADAPTATIVO E MÉTODO GRAUS HORA

Este trabalho adotará o método adaptativo para a determinação da temperatura de conforto. A temperatura neutra será calculada pela equação de Auliciems (*Quadro 2*) com base na temperatura externa do arquivo climático.

Para a análise do resultado, será utilizado o número graus hora, o qual consiste no somatório dos valores de temperatura operativa quando esta extrapola o valor da temperatura de conforto determinada, resultando em desconforto tanto para resfriamento caso a temperatura esteja acima da base como para aquecimento caso a temperatura esteja abaixo da base (RTQ-R, 2012). A *Figura 16* explica graficamente o parâmetro:

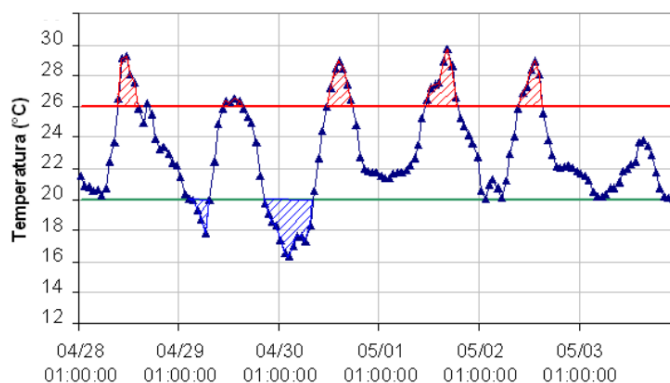


Figura 16 - Gráfico de temperatura horário para a representação de graus hora de aquecimento e resfriamento.

Fonte: MATOS, 2007

A área hachurada vermelha (acima da temperatura base para resfriamento) indica a quantidade de graus-hora de resfriamento e a área hachurada azul (abaixo da temperatura base para aquecimento) indica a quantidade de grau-hora de aquecimento.

A equação para obtenção do  $GH_R$  de acordo com a metodologia escolhida é:

$$GH_R = \sum T_o - (T_n + 2,5) \quad (6)$$

Sendo

$GH_R$ : indicador de graus hora para resfriamento

$T_o$ : Temperatura operativa (°C)

$T_n$ : Temperatura neutra (equação de Auliciems)

A equação para a obtenção do  $GH_A$  é:

$$GH_A = \sum (T_n - 2,5) - T_o \quad (7)$$

Sendo

$GH_A$ : indicador de graus hora para aquecimento

$T_o$ : Temperatura operativa (°C)

Para concluir a análise de desconforto por frio, foi necessário transformar os dados de graus horas de aquecimento para a medida de consumo relativo anual para aquecimento ( $C_a$  [kWh/m<sup>2</sup>.ano]). Foi considerado o gasto por kWh de um aquecedor elétrico de mercado com consumo médio de 1,2 kWh. Depois os dados foram divididos pela metragem de cada cômodo respectivamente, resultando no Quadro 12 na seção de resultados. Conforme a RTQ-R prevê, a medida graus hora de aquecimento e  $C_a$  devem ser avaliados apenas para as zonas de 1 a 4, portanto o parâmetro foi aplicado para as cidades de Curitiba e Brasília.

Em seguida, os ambientes foram classificados de acordo com a quantidade de graus hora e conseqüente conforto térmico associado. O manual do RTQ-R (2014) do Programa Brasileiro de Etiquetagem classifica intervalos de graus hora para cada zona bioclimática, resultando nas tabelas constantes no ANEXO 2. Para o âmbito deste trabalho, optou-se por converter os intervalos de graus hora para porcentagem de horas de conforto como realizado também por Cabral (2018), sem objetivo de etiquetar o projeto conforme o Programa Brasileiro de Etiquetagem.

A seguir, Quadro 5, Quadro 6, Quadro 7 e Quadro 8 demonstram os intervalos utilizados para a classificação dos ambientes para graus de resfriamento e Quadro 9 e Quadro 10 para graus hora de aquecimento e cidades neste trabalho

Quadro 5 - Conversão para classificação dos ambientes para GHr - Curitiba ZB1

<b>Curitiba</b>				
<b>Graus hora de resfriamento GHr</b>	<b>Porcentagem de horas de desconforto por calor</b>	<b>Porcentagem equivalente de horas de conforto</b>	<b>Percentual de horas ocupadas de conforto (POC)</b>	<b>Índice de POC (IpoC)</b>
143	10%	90,03%	100% a 90,03%	<b>A</b>
287	20%	79,99%	90,02% a 79,99%	<b>B</b>
430	30%	70,01%	79,98% a 70,01%	<b>C</b>
574	40%	59,97%	70,00% a 59,97%	<b>D</b>
			abaixo de 59,96%	<b>E</b>

Quadro 6 - Conversão para classificação dos ambientes para GHr – Brasília ZB4

<b>Brasília</b>				
<b>Graus hora de resfriamento GHr</b>	<b>Porcentagem de horas de desconforto por calor</b>	<b>Porcentagem equivalente de horas de conforto</b>	<b>Percentual de horas ocupadas de conforto (POC)</b>	<b>Índice de POC (IpoC)</b>
780	8,60%	91,40%	100% a 91,40%	<b>A</b>
1930	21,27%	78,73%	91,39% a 78,73%	<b>B</b>
2711	29,88%	70,12%	78,72% a 70,11%	<b>C</b>
3651	40,24%	59,76%	70,10% a 59,76%	<b>D</b>
			abaixo de 59,75%	<b>E</b>

Quadro 7 - Conversão para classificação dos ambientes para GHr - Cuiabá ZB7

<b>Cuiabá</b>				
<b>Graus hora de resfriamento GHr</b>	<b>Porcentagem de horas de desconforto por calor</b>	<b>Porcentagem equivalente de horas de conforto</b>	<b>Percentual de horas ocupadas de conforto (POC)</b>	<b>Índice de POC (IpoC)</b>
12566	14,57%	85,43%	100% a 85,43%	<b>A</b>
18622	21,59%	78,41%	85,42% a 78,40%	<b>B</b>
24679	28,62%	71,38%	78,39% a 71,38%	<b>C</b>
30375	35,22%	64,78%	71,37% a 64,78%	<b>D</b>
			abaixo de 64,77%	<b>E</b>

Quadro 8 - Conversão para classificação dos ambientes para GHr - Manaus ZB8

<b>Manaus</b>				
<b>Graus hora de resfriamento GHr</b>	<b>Porcentagem de horas de desconforto por calor</b>	<b>Porcentagem equivalente de horas de conforto</b>	<b>Percentual de horas ocupadas de conforto (POC)</b>	<b>Índice de POC (I<sub>poc</sub>)</b>
14730	16,74%	83,26%	100% a 83,26%	<b>A</b>
19447	22,10%	77,90%	83,25% a 77,90%	<b>B</b>
24812	28,20%	71,80%	77,89% a 71,80%	<b>C</b>
29001	32,96%	67,04%	71,79% a 67,04	<b>D</b>
			abaixo de 67,03%	<b>E</b>

Quadro 9 - Conversão para classificação dos ambientes para GHa - Curitiba ZB1

<b>Curitiba - Graus hora de aquecimento</b>				
<b>Consumo anual para aquecimento</b>	<b>Porcentagem de horas de desconforto por calor</b>	<b>Porcentagem equivalente de horas de conforto</b>	<b>Percentual de horas ocupadas de conforto (POC)</b>	<b>Índice de POC (I<sub>poc</sub>)</b>
16700	10%	90,00%	100% a 90%	<b>A</b>
33400	20%	80,00%	89% a 80%	<b>B</b>
50099	30%	70,00%	79% a 70%	<b>C</b>
66799	40%	60,00%	69% a 60%	<b>D</b>
			abaixo de 59,96%	<b>E</b>

Quadro 10 - Conversão para classificação dos ambientes para GHa – Brasília ZB4

<b>Brasília - Graus hora de aquecimento</b>				
<b>Consumo anual para aquecimento</b>	<b>Porcentagem de horas de desconforto por frio</b>	<b>Porcentagem equivalente de horas de conforto</b>	<b>Percentual de horas ocupadas de conforto (POC)</b>	<b>Índice de POC (I<sub>poc</sub>)</b>
7092	9,57%	90,43%	100% a 90,43%	<b>A</b>
15548	20,99%	79,01%	90,42% a 79,01%	<b>B</b>
22366	30,19%	69,81%	79,00% a 69,81%	<b>C</b>
29071	39,24%	60,76%	69,80% a 60,76%	<b>D</b>
			abaixo de 60,75%	<b>E</b>

Sendo  $GH_R$  o indicador de graus-hora para resfriamento,  $C_r$  o consumo relativo anual para resfriamento e  $C_a$  o consumo relativo anual para aquecimento.

### 4.3. CARACTERÍSTICAS E LOCALIZAÇÃO DAS CIDADES ESCOLHIDAS

O critério de escolha foi baseado na zona bioclimática. Procurou-se escolher cidades de zonas e características climáticas mais diferentes possíveis e com representatividade relevante quanto ao déficit habitacional brasileiro. Segue um quadro resumo de informações importantes das cidades.

Quadro 11 - Características das cidades escolhidas

ZB	Cidade	Latitude	Longitude	Altitude	Clima	Média de Temperaturas	Características principais climáticas
1	Curitiba	25°25'40"S	49°16'23"O	910,89 m	Subtropical	Abaixo e 20 °C	Chuvas fartas e bem distribuídas, inverno rigoroso
4	Brasília	15°46'47' S	47°55'47"O	1115,25 m	Tropical de Altitude	Entre 18°C e 22°C	Chuvas intensas no verão e invernos secos
7	Cuiabá	15°35'46"S	56°05'48"O	242,93 m	Tropical	Acima de 20°C	Verão quente e chuvoso; inverno quente e seco
8	Manaus	03°06'07"S	60°01'30"O	34,36 m	Equatorial	Entre 24°C e 26°C	Chuva abundante e bem distribuída

### 4.4. OBJETO DE ESTUDO

O projeto para estudo de caso será um exemplar do programa Minha Casa, Minha Vida projetado e construído pela empresa Villa Empreendimentos Imobiliários Ltda. O projeto é um edifício multifamiliar de dois pavimentos, com plantas de dois quartos. Cada apartamento tipo possui 55 m<sup>2</sup> de área privativa coberta. Em anexo constam a planta baixa do segundo pavimento em escala juntamente com os cortes das fachadas.

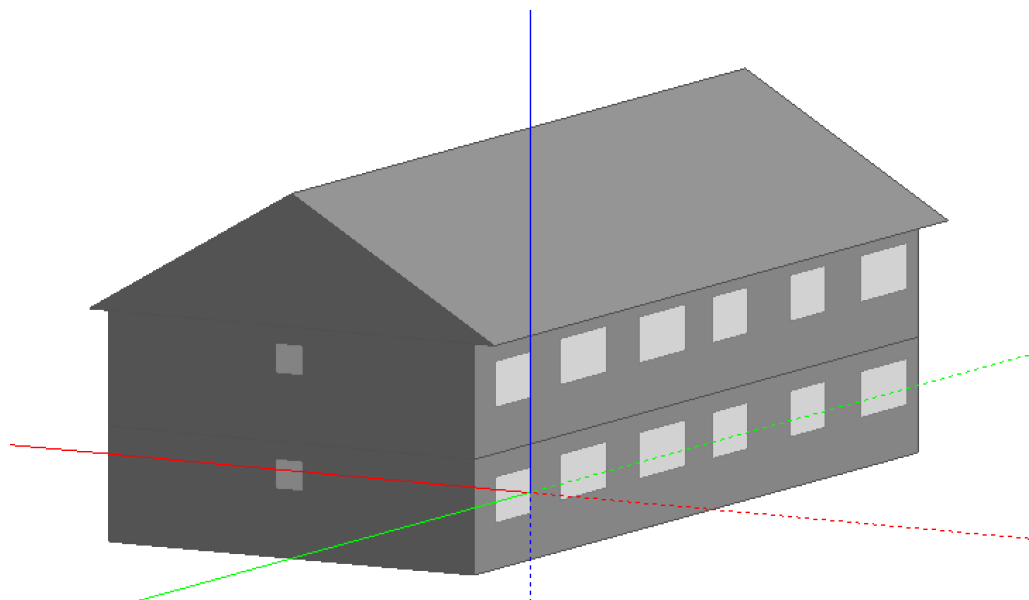


Figura 17 - Representação isométrica da envoltória



Figura 18 - Detalhe de uma habitação individual do prédio

Sem Escala

Fonte: Villa Empreendimentos Imobiliários Ltda



#### 4.5. ORIENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO E ESCOLHA DE AMBIENTES

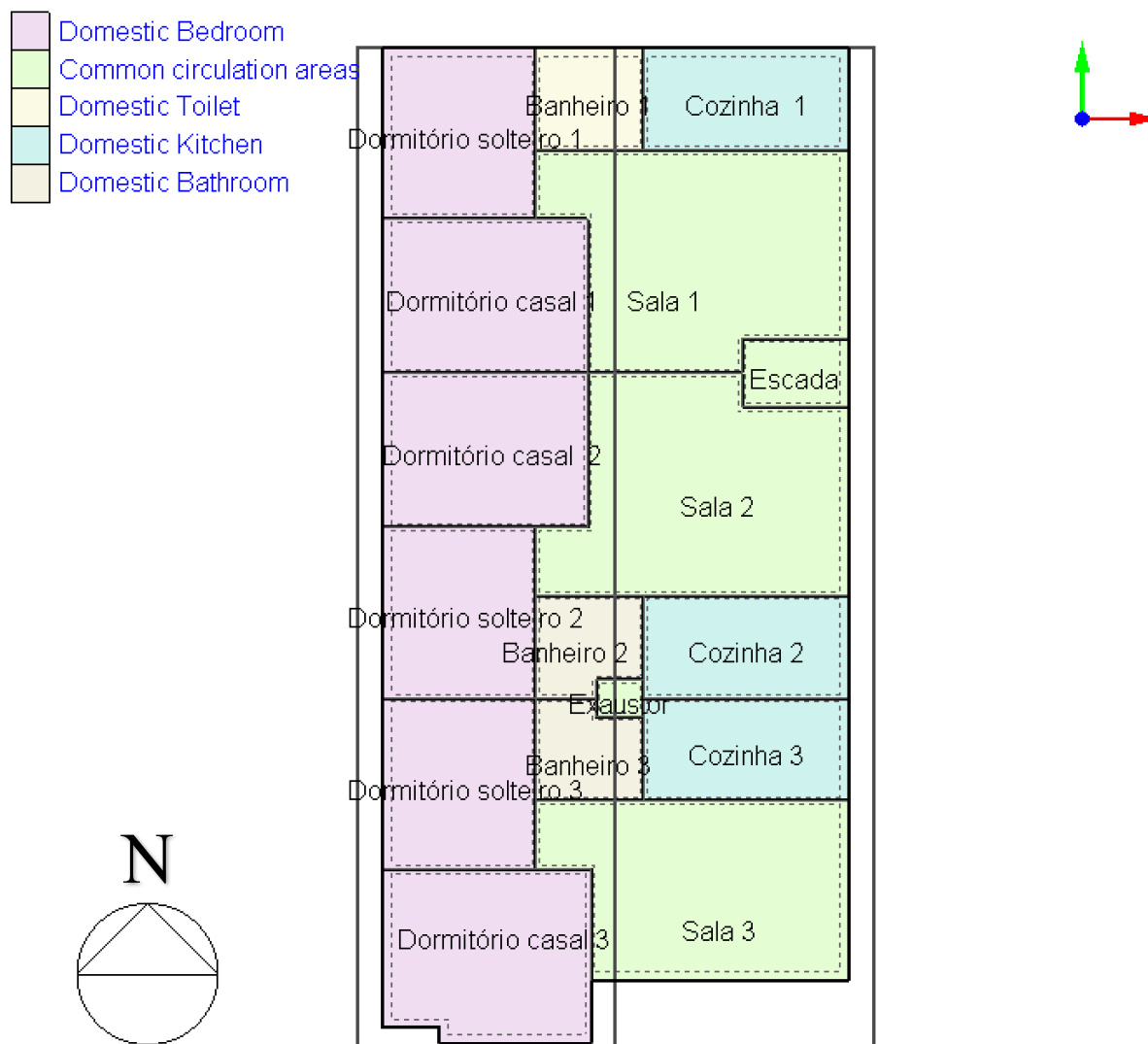


Figura 19 - Orientação do edifício e seus ambientes

O edifício foi desenhado com a pior orientação possível: fachadas com maior dimensão para direção Leste-Oeste e fachada com os ambientes de maior permanência, os dormitórios, orientados para o oeste. As fachadas Leste-Oeste recebem insolação em igual proporção, mas a fachada oeste recebe ao final do dia, quando a inércia térmica já foi vencida.

O andar escolhido para análise foi o segundo, este localizado na cobertura e, portanto, mais vulnerável quanto as trocas térmicas provenientes entre a laje superior e o ambiente externo. Os ambientes escolhidos para análise foram os de longa permanência em residências, ou seja, os dormitórios e as salas. Após confirmar a relevância estatística dos resultados para cada cômodo (tópico 5.1) foi decidido analisar todos os três apartamentos quanto ao conforto térmico.

#### 4.6. CONFIGURAÇÕES UTILIZADAS NO PROGRAMA

Foram definidas configurações adequadas para um projeto residencial:

- *Aba activity*: Foram escolhidos *templates* de *residential spaces* para cada ambiente: *Domestic bedroom, domestic kitchen, domestic circulation e domestic toilet*.
- Na *aba HVAC*: apenas foi considerada a ventilação natural dos ambientes.
- Para as *abas constructions e lighting* os materiais estão descritos abaixo
- O telhado foi considerado como uma zona semi exterior não condicionada, portanto sem ocupação.

A escolha dos materiais foi baseada nos requisitos mínimos da cartilha do Minha Casa Minha Vida produzida pela Caixa Econômica Federal (2015) para a tipologia 2 (apartamentos de no mínimo 42 m<sup>2</sup>). Portanto, foram definidos no programa os seguintes materiais:

- **Parede de alvenaria com reboco interno e externo com pintura de PVA:**

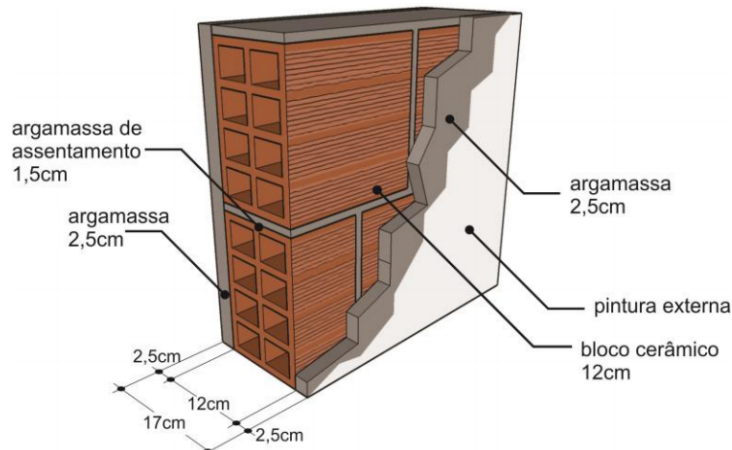


Figura 20 - Parede de Alvenaria

Fonte: RAC (2013)

O bloco cerâmico escolhido foi o de 12x19x19 cm com revestimento de argamassa de 2,5 cm e pintura acrílica de cor branco gelo.

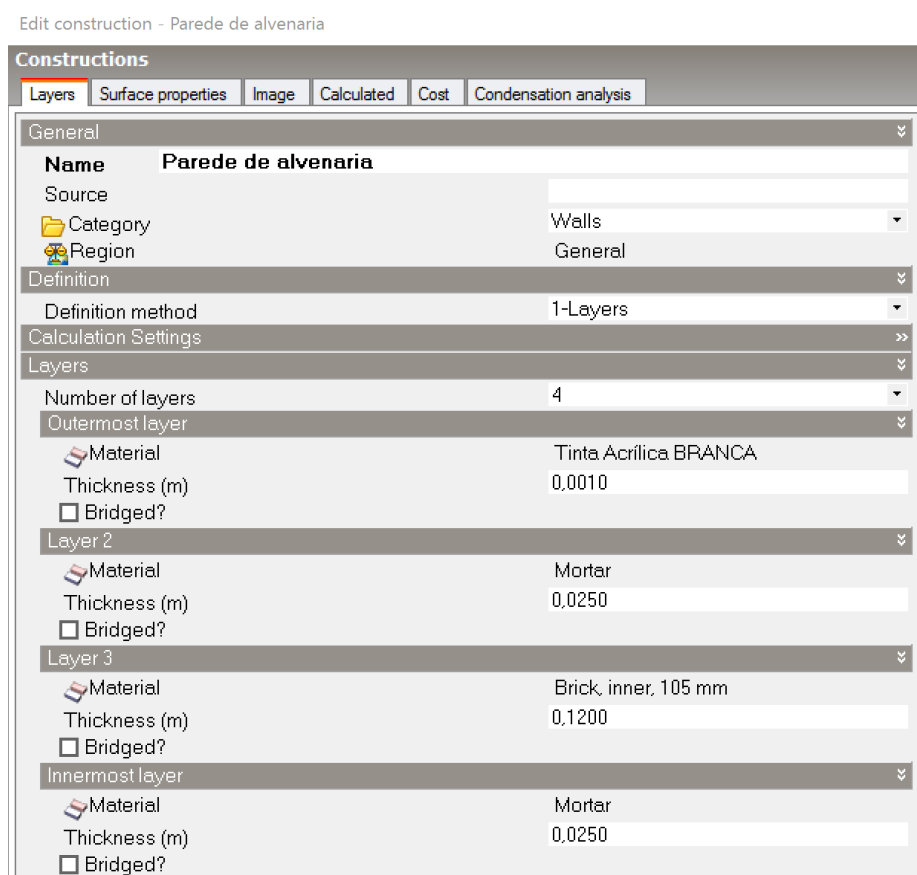


Figura 21 - Camadas da parede externa definidas no Design Builder

A tinta acrílica branco gelo foi definida com as seguintes propriedades de absorptância da superfície:

$$\alpha_{\text{visível}} = 34,8 \%$$

$$\alpha_{\text{total}} = 37,2 \%$$

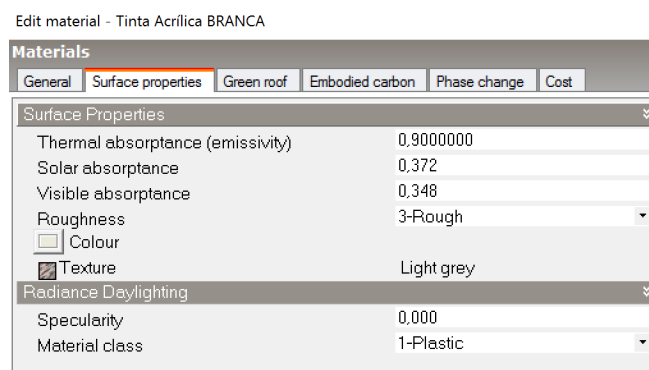


Figura 22 - Propriedades da tinta escolhida

Tais valores foram baseados no trabalho de doutorado de (DORNELLES, 2008) conforme tabela a seguir:

Tabela 2 - Absortâncias da cor da tinta escolhida

	N° Nome Comercial	ULTRAVIOLETA		VISÍVEL		INFRAVERMELHO		TOTAL	
		Espect.	Ajust	Espect.	Ajust	Espect.	Ajust	Espect.	Ajust
Metalatex Acrilica Fosca	1 Amarelo Antigo	96,0	95,6	54,7	53,5	54,6	46,8	56,1	51,4
	2 Amarelo Terra	96,7	96,5	69,6	68,9	62,6	57,2	65,1	64,3
	3 Areia	95,4	94,8	45,8	44,5	51,7	42,8	52,2	44,9
	4 Azul	95,1	94,7	86,8	87,0	60,9	56,4	66,8	73,3
	5 Azul Imperial	94,4	93,8	63,4	62,7	75,8	70,4	74,2	66,9
	6 Branco	94,9	94,4	14,0	11,6	28,4	16,7	28,2	15,8
	7 Branco Gelo	95,0	94,5	36,5	34,8	46,4	37,2	46,4	37,2
	8 Camurça	95,0	94,5	60,1	59,3	60,6	53,3	61,8	57,4
	9 Concreto	95,4	95,0	74,1	73,4	79,5	74,8	79,1	74,5
	10 Flamingo	96,1	95,7	55,0	54,3	50,5	41,5	53,0	49,5
	11 Jade	94,5	94,0	50,7	49,5	61,0	53,5	60,3	52,3
	12 Marfim	94,5	93,9	34,6	32,8	42,5	31,5	43,0	33,6
	13 Palha	94,8	94,2	36,7	35,0	45,4	35,8	45,6	36,7
	14 Pérola	95,1	94,5	34,0	32,3	40,9	30,8	41,6	33,0
	15 Pêssego	95,2	94,6	43,7	42,5	50,0	40,6	50,5	42,8
	16 Tabaco	95,0	94,7	79,4	79,1	77,6	76,2	78,6	78,1
	17 Terracota	96,1	95,7	70,1	69,9	62,3	56,9	65,0	64,6

Fonte: Dornelles, 2008

O valor final de transmitância térmica (U) da parede calculada pelo *Design Builder* foi de  $U = 2,242 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , de acordo com norma NBR 15220  $U \leq 2,3 \text{ W/m}^2$  e valor idêntico ao Anexo V do RAC Portaria nº 50/2013.

Edit construction - Parede de alvenaria	
Constructions	
Layers	Surface properties
Inner surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m2-K)	2.152
Radiative heat transfer coefficient (W/m2-K)	5.540
Surface resistance (m2-K/W)	0.130
Outer surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m2-K)	19.870
Radiative heat transfer coefficient (W/m2-K)	5.130
Surface resistance (m2-K/W)	0.040
No Bridging	
U-Value surface to surface (W/m2-K)	3.622
R-Value (m2-K/W)	0.446
<b>U-Value (W/m2-K)</b>	<b>2.242</b>
With Bridging (BS EN ISO 6946)	
Thickness (m)	0.1710
Km - Internal heat capacity (KJ/m2-K)	190,2200
Upper resistance limit (m2-K/W)	0.446
Lower resistance limit (m2-K/W)	0.446
U-Value surface to surface (W/m2-K)	3.622
R-Value (m2-K/W)	0.446
<b>U-Value (W/m2-K)</b>	<b>2.242</b>

Figura 23 - Transmitância térmica da parede externa pelo *Design Builder*

- **Laje de concreto e Cobertura de fibrocimento**

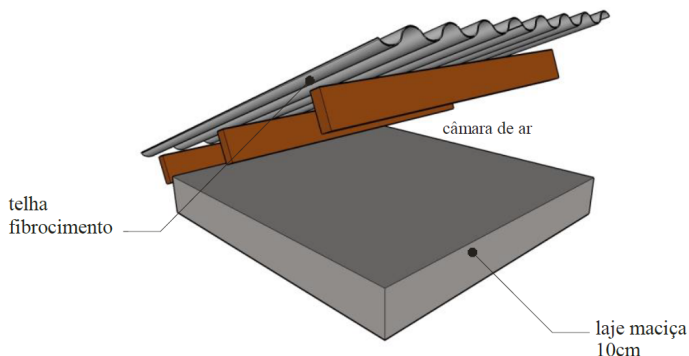


Figura 24 - Cobertura e laje com câmara de ar

Fonte: RAC (2013)

Telha de fibrocimento de 0,8cm, câmara de ar de 5 cm e laje maciça de 10 cm. A transmitância encontrada para a cobertura foi de  $U = 6,209 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R = 0,161 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  conforme a figura a seguir:

Edit construction - Telha de fibrocimento	
Constructions	
Layers Surface properties Image Calculated Cost Condensation analysis	
Inner surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K)	4,460
Radiative heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K)	5,540
Surface resistance (m <sup>2</sup> -K/W)	0,100
Outer surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K)	19,870
Radiative heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K)	5,130
Surface resistance (m <sup>2</sup> -K/W)	0,040
No Bridging	
U-Value surface to surface (W/m <sup>2</sup> -K)	47,500
R-Value (m <sup>2</sup> -K/W)	0,161
<b>U-Value (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	<b>6,209</b>
With Bridging (BS EN ISO 6946)	
Thickness (m)	0,0080
Km - Internal heat capacity (KJ/m <sup>2</sup> -K)	3,7632
Upper resistance limit (m <sup>2</sup> -K/W)	0,161
Lower resistance limit (m <sup>2</sup> -K/W)	0,161
U-Value surface to surface (W/m <sup>2</sup> -K)	47,500
R-Value (m <sup>2</sup> -K/W)	0,161
<b>U-Value (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	<b>6,209</b>

Figura 25 - Resistência e absorvância da laje

Já para a laje maciça, os valores calculados pelo programa foram:  $U = 3,505 \text{ W/m}^2.\text{K}$  e  $R = 0,285 \text{ m}^2.\text{K/W}$  conforme a Figura 26.

Edit construction - LAJE CONCRETO MACIÇA 10 cm	
Constructions	
Layers	Surface properties
Inner surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K)	4,460
Radiative heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K)	5,540
Surface resistance (m <sup>2</sup> -K/W)	0,100
Outer surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K)	19,870
Radiative heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K)	5,130
Surface resistance (m <sup>2</sup> -K/W)	0,040
No Bridging	
U-Value surface to surface (W/m <sup>2</sup> -K)	6,882
R-Value (m <sup>2</sup> -K/W)	0,285
<b>U-Value (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	<b>3,505</b>
With Bridging (BS EN ISO 6946)	
Thickness (m)	0,1500
Km - Internal heat capacity (KJ/m <sup>2</sup> -K)	212,7200
Upper resistance limit (m <sup>2</sup> -K/W)	0,285
Lower resistance limit (m <sup>2</sup> -K/W)	0,285
U-Value surface to surface (W/m <sup>2</sup> -K)	6,882
R-Value (m <sup>2</sup> -K/W)	0,285
<b>U-Value (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	<b>3,505</b>

Figura 26 - Transmitância e resistência da laje

. Considerando uma câmara de ar de espessura de 5 cm, a resistência térmica dessa camada seria  $R = 0,18 \text{ m}^2.\text{K/W}$  conforme a figura a seguir:

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura da câmara de ar (mm)	Resistência térmica do ar $R_{AR}$ (m <sup>2</sup> K/W)		
		DIREÇÃO DO FLUXO DE CALOR		
Superfície não refletora (caso geral) $\epsilon > 0,8$	10 – 20	0,14	0,13	0,15
	20 – 50	0,16	0,14	0,18
	> 50	0,17	0,14	0,21
Uma superfície refletora $\epsilon > 0,2$	10 – 20	0,29	0,23	0,29
	20 – 50	0,37	0,25	0,43
	> 50	0,34	0,27	0,61

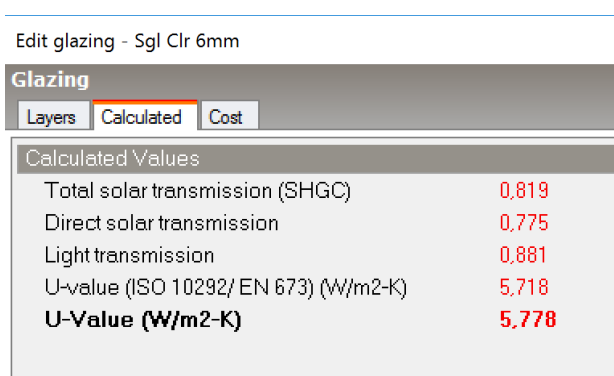
Figura 27 - Valores de resistência térmica do ar

Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014)

Somando-se as resistências das camadas,  $R_{total} = 0,626 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  o que corresponde a uma transmitância de  $U = 1,597 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$  para telhas de fibrocimento de 8mm com laje maciça de concreto de 10 cm.

- **Aberturas com vidro comum incolor de 6mm com esquadria de alumínio**

A cartilha da Caixa não impõe nenhum parâmetro mínimo para o vidro utilizado nas aberturas, apenas quanto as esquadrias que devem ser de ferro ou de alumínio. Considerando a prática de construção de prédios do MCMV, foi escolhido o vidro de apenas uma camada de 6mm transparente. A transmitância térmica desse tipo de vidro calculado no *Design Builder* foi  $U = 5,778 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$  valor que se assemelha ao *ProjetEEE* ( $U = 5,7 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ). Quanto às esquadrias, foi escolhida a esquadria de alumínio sem “*thermal break*”, com  $U = 5,881 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ . Mesmo os valores de transmitância sendo consideravelmente altos, o objetivo é escolher materiais fidedignos à prática do Programa MCMV.



Calculated Values	
Total solar transmission (SHGC)	0,819
Direct solar transmission	0,775
Light transmission	0,881
U-value (ISO 10292/ EN 673) (W/m2-K)	5,718
<b>U-Value (W/m2-K)</b>	<b>5,778</b>

Figura 28 - Transmitância do vidro escolhido

## 5. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos pelo programa e a análise proveniente dos métodos estipulados. Os dados fornecidos pelo O *Design Builder* de temperaturas operativas juntamente com as temperaturas externas (provenientes do arquivo climático). Com essas informações foi possível calcular os graus hora de resfriamento e aquecimento e a comparação entre temperatura operativa e temperatura do conforto. A *Figura 29* ilustra a planilha de análise de dados:

Date/Time	Hora	Operative Temperature	Outside Dry-Bulb Temperature	Tn	Tn + 2,5	Tn -2,5	Ghr	Gha
01/12/2002	00:00	23,9295	19,5	23,723	26,223	21,223	0	0
01/12/2002	01:00	23,83601	19,175	23,62095	26,12095	21,12095	0	0
01/12/2002	02:00	23,69789	18,8	23,5032	26,0032	21,0032	0	0
01/12/2002	03:00	23,55361	18,475	23,40115	25,90115	20,90115	0	0
01/12/2002	04:00	23,40367	18,1	23,2834	25,7834	20,7834	0	0
01/12/2002	05:00	23,25338	18	23,252	25,752	20,752	0	0
01/12/2002	06:00	23,14189	17,25	23,0165	25,5165	20,5165	0	0
01/12/2002	07:00	23,30489	19,25	23,6445	26,1445	21,1445	0	0
01/12/2002	08:00	23,51467	23	24,822	27,322	22,322	0	0
01/12/2002	09:00	23,78719	25,5	25,607	28,107	23,107	0	0
01/12/2002	10:00	24,06083	26,75	25,9995	28,4995	23,4995	0	0
01/12/2002	11:00	24,29939	27,75	26,3135	28,8135	23,8135	0	0

Figura 29 - Planilha de análise com dados extraídos do Design Builder - Caso Brasília

### 5.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para definir se a diferença entre os dados de temperatura operativa entre os cômodos e cidades é estatisticamente significativa, foram realizadas duas análises diferentes para a média de temperatura operativa de cada dado. A tabela a seguir demonstra a base de dados inicial em graus celsius:

Tabela 3 - Média das temperaturas operativas (°C) para cômodos e cidades diferentes

	Curitiba	Brasília	Cuiabá	Manaus
Dormitório Casal 1	22,18	26,70	32,42	32,75
Dormitório Solteiro 1	21,59	26,01	31,84	32,11
Sala 1	21,75	26,24	31,94	32,20
Dormitório Casal 2	22,68	26,79	32,50	32,86
Dormitório Solteiro 2	22,01	26,49	32,24	32,64
Sala 2	21,9	26,41	32,08	32,38
Dormitório Casal 3	20,94	25,33	31,09	31,69
Dormitório Solteiro 3	21,72	26,18	31,85	32,85
Sala 3	21,06	25,49	31,93	31,64



Foi realizada a análise de variância de fator duplo e sem repetição por existirem duas variáveis independentes (Cidade e cômodo) resultando nas seguintes tabelas:

Tabela 4 - Resultado da soma, média e variância dos dados

<i>RESUMO</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Dormitório Casal 1	4	114,05	28,5125	25,53689
Dormitório Solteiro 1	4	111,55	27,8875	25,54509
Sala 1	4	112,128	28,032	25,10888
Dormitório Casal 2	4	114,83	28,7075	23,87796
Dormitório Solteiro 2	4	113,38	28,345	25,73043
Sala 2	4	112,77	28,1925	25,14022
Dormitório Casal 3	4	109,05	27,2625	25,98703
Dormitório Solteiro 3	4	112,598	28,1495	27,00456
Sala 3	4	110,12	27,53	27,42487
Curitiba	9	195,83	21,75889	0,287236
Brasília	9	235,636	26,18178	0,252792
Cuiabá	9	287,89	31,98778	0,171719
Manaus	9	291,12	32,34667	0,22185

O programa utilizado foi o *Microsoft Excel*.

Tabela 5 - Valores para teste ANOVA para os dados de temperatura operativa

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Linhas	6,710228	8	0,838779	26,53817	4,08E-10	2,355081
Colunas	693,3093	3	231,1031	7311,887	1,17E-35	3,008787
Erro	0,758556	24	0,031606			
Total	700,778	35				

Percebe-se que o fator F é maior que o F crítico e o valor P é maior que alfa 0,05, indicando que existe significância estatística.

O teste ANOVA só constata se existem diferenças relevantes estatisticamente. Para identificar quais variáveis foram significativas utilizou-se o método de *Tukey*, comparando as médias e determinando os fatores impactantes.

Several-sample tests

One-way ANOVA | Residuals | **Tukey's pairwise** | Kruskal-Wallis | Mann-Whitney pairwise | Dunn's post hoc

Tukey's Q below the diagonal, p(same) above the diagonal.  
Significant comparisons are pink.

Copenhaver-Holland 1988

	A	B	C	D
A		1,01E-13	1,01E-13	1,01E-13
B	27,47		1,01E-13	1,01E-13
C	63,52	36,05		0,4063
D	65,75	38,28	2,229	

Figura 30 - Resultado Teste *Tukey* no programa *Past* entre as cidades analisadas

A Figura 30 - Resultado Teste Tukey no programa Past entre as cidades analisadas é o resultado encontrado pelo Teste *Tukey* no programa *Past*<sup>1</sup>. As células em amarelo indicam as comparações significativas, demonstrando as diferenças entre as temperaturas operativas entre as cidades:

- Curitiba e Brasília
- Cuiabá e Brasília
- Cuiabá e Curitiba
- Manaus e Brasília
- Manaus e Curitiba

Não foi observada diferença significativa para temperatura operativa média anual entre as cidades de Manaus e Cuiabá neste sentido.

O mesmo raciocínio foi realizando considerando os cômodos, resultando no seguinte teste de Tukey:

Several-sample tests									
One-way ANOVA	Residuals	Tukey's pairwise	Kruskal-Wallis	Mann-Whitney pairwise	Dunn's post hoc				
Tukey's Q below the diagonal, p(same) above the diagonal.					Copenhaver-Holland 1988				
Significant comparisons are pink.									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A		1	1	1	1	1	1	1	1
B	0,2465		1	1	1	1	1	1	1
C	0,1893	0,0572		1	1	1	1	1	1
D	0,07692	0,3235	0,2663		1	1	1	1	1
E	0,06607	0,1805	0,1233	0,143		1	1	1	1
F	0,1262	0,1203	0,06312	0,2032	0,06016		1	1	1
G	0,4931	0,2465	0,3037	0,57	0,427	0,3669		1	1
H	0,143	0,1035	0,04635	0,2199	0,07692	0,01677	0,3501		1
I	0,3876	0,141	0,1982	0,4645	0,3215	0,2613	0,1055	0,2446	

Figura 31 - Resultado Teste Tukey no programa Past entre os cômodos

O resultado indica que não existe diferença entre as temperaturas operativas dos cômodos com relevância estatística. A mesma análise foi realizada comparando a soma de graus hora para cada cidade e cada cômodo. Os resultados foram os mesmos considerando a relevância estatística entre os dados. Com base nos resultados acima, decidiu-se analisar todos os cômodos do prédio quanto ao conforto térmico dos usuários.

<sup>1</sup> Software de análise estatística gratuito. Versão usada: 3.21 site: <https://folk.uio.no/ohammer/past/>

## 5.2. CLASSIFICAÇÃO DOS AMBIENTES

Calculando os graus hora de resfriamento, foram encontrados os seguintes valores de graus hora por cômodo e cidade:

Quadro 12 - Graus hora de resfriamento por cômodo e por cidade

	Dormitório Casal 1	Dormitório Solteiro 1	Sala 1	Dormitório Casal 2	Dormitório Solteiro 2	Sala 2	Dormitório Casal 3	Dormitório Solteiro 3	Sala 3
CURITIBA	2.839,26	1.565,43	1.711,60	3.092,77	2.535,95	2.088,07	1.110,58	2.031,71	1.037,05
BRASÍLIA	6.799,00	4.379,36	4.523,64	7.296,06	6.093,05	5.278,03	2.948,22	4.966,69	2.885,43
CUIABA	35.571,33	30.853,90	31.504,95	36.171,29	34.031,05	32.621,52	25.891,34	31.779,61	26.306,76
MANAUS	37.163,81	31.577,12	32.276,41	38.020,85	36.098,18	33.858,71	27.935,34	33.903,14	27.469,04

Os resultados encontrados indicam péssimo desempenho para todos os cômodos e percebe-se a diferença relevante de graus hora de resfriamento entre as quatro cidades.

Filtrando para horários de real ocupação, entre 21h às 8h e para os dormitórios e 14h às 21h para as salas de estar (RTQ-R, 2013), encontrou-se os seguintes resultados:

Quadro 13 - Graus hora resfriamento filtrando dados horários

	Dormitório Casal 1	Dormitório Solteiro 1	Sala 1	Dormitório Casal 2	Dormitório Solteiro 2	Sala 2	Dormitório Casal 3	Dormitório Solteiro 3	Sala 3
<b>Horário de permanência</b>	21:00 - 7:00	21:00 - 7:00	14:00 - 21:00	21:00 - 7:00	21:00 - 7:00	14:00 - 21:00	21:00 - 7:00	21:00 - 7:00	14:00 - 21:00
<b>Curitiba</b>	1.909,07	1.141,57	538,63	2.057,26	1.763,75	654,94	807,99	1.443,57	238,94
<b>Brasília</b>	4.708,52	3.336,28	1.179,48	4.983,71	4.351,64	1.060,00	2.224,97	3.617,26	740,57
<b>Cuiabá</b>	18.506,49	16.748,81	10.362,21	18.763,48	17.996,92	10.737,22	14.173,74	16.935,90	8.737,10
<b>Manaus</b>	18.352,31	17.249,81	11.074,48	18.730,60	18.053,64	11.586,31	14.341,05	17.057,30	9.528,01

Os resultados tornam-se diferentes, evidenciando uma melhora significativa para as cidades de Manaus e Cuiabá. Essa diferença deve-se ao fato que a etiqueta do RTQ-R possui margens mais permissivas de conforto para as cidades das zonas bioclimáticas 7 e 8, caso de Cuiabá e Manaus. Para graus hora de aquecimento:

Quadro 14 - Consumo relativo anual para aquecimento

Ca (kWh/m2.ano)									
<b>Brasília</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,66	0,00	0,19
<b>Curitiba</b>	130,89	171,90	89,46	130,66	171,21	88,28	168,70	187,80	113,95

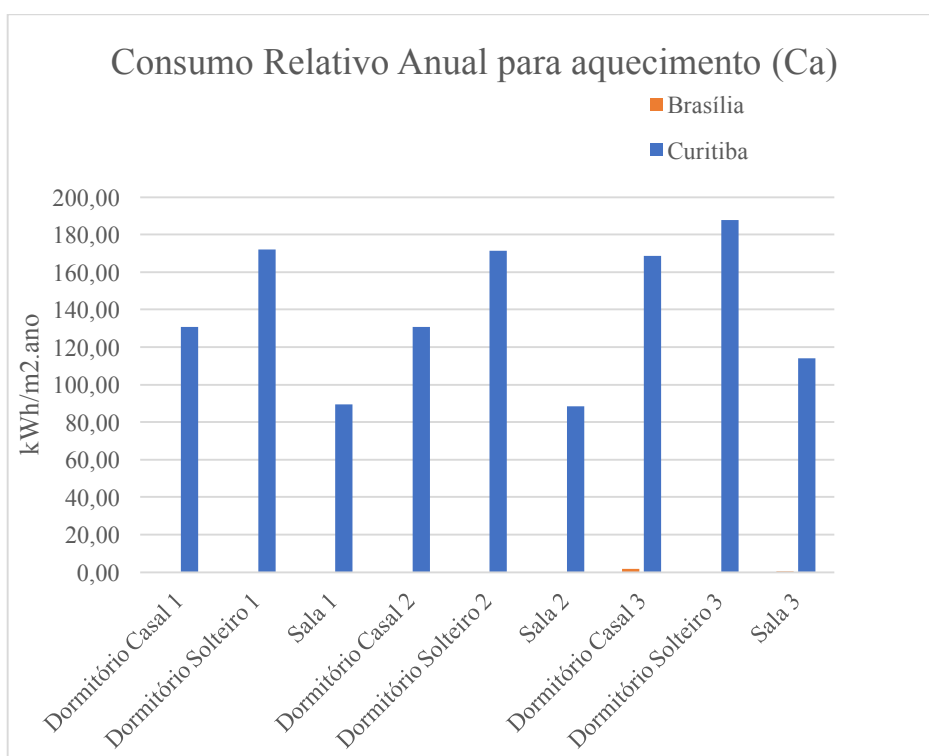
A cidade de Brasília mostrou-se confortável para todas as horas do ano em relação a graus horas de aquecimento. Na realidade, a inércia térmica do modelo se mostrou tão eficaz para Brasília que a menor temperatura operativa para todas as horas do ano foi  $T_{operativa} = 19,02$  °C estando acima da temperatura mínima de conforto em 95% de horas do ano, mesmo com temperaturas externas menores que 10 °C (a menor  $T_{ext}$  registrada foi 4 °C). Conclui-se,

portanto, que o projeto demonstrou bom desempenho para desconforto por frio em Brasília, considerando que essa cidade possui 46% de desconforto por frio, comparado com 18% de horas de desconforto por calor (ProjetEEE, 2017).

Em contrapartida, Curitiba apresentou etiqueta E para desconforto por frio, não sendo possível suprir essas horas de desconforto apenas com aquecimento solar passivo, por exemplo, o que resultaria em uma situação real de alto gasto energético conforme Quadro 14.

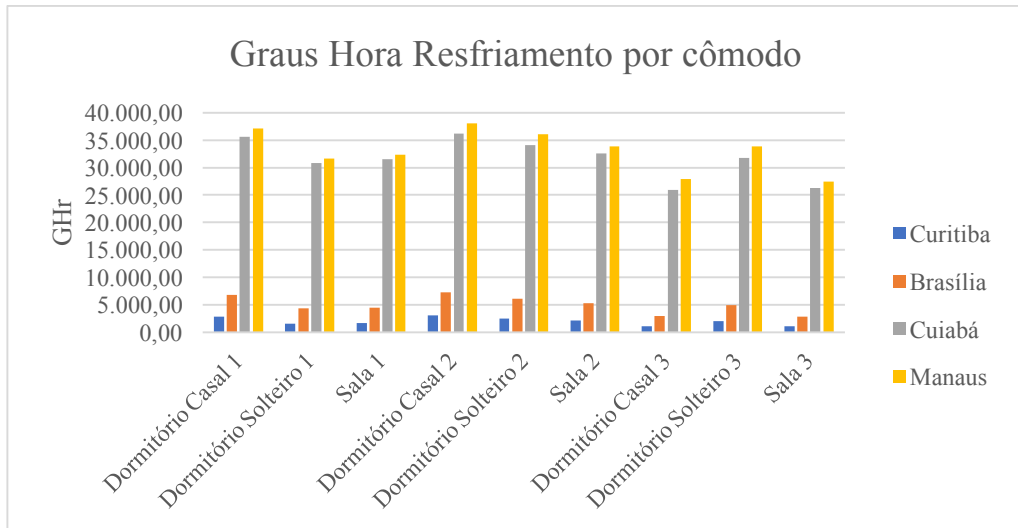
O Gráfico 3 compara o consumo em kWh/m<sup>2</sup>.ano entre os cômodos e entre as cidades de Curitiba e Brasília. Os cômodos de solteiro apresentaram maior consumo, porque o parâmetro C<sub>a</sub> leva em conta o consumo por m<sup>2</sup> e os dormitórios solteiro possuem menor área comparada com o dormitório casal.

Gráfico 3 - Consumo Relativo Anual para Aquecimento (Ca [kWh/m<sup>2</sup>.ano])



### 5.3. ANÁLISE DOS CÔMODOS

Gráfico 4 - Graus hora resfriamento para os cômodos



O pior desempenho era esperado para o apartamento 1 por sua orientação Norte-Oeste. Porém, o pior resultado foi encontrado para o apartamento 2, em especial o cômodo dormitório casal 2. O dormitório casal 1 obteve o segundo pior desempenho, mas os outros cômodos do apartamento 1 não acompanharam a mesma tendência, se mostraram melhores que os do apartamento 2, conforme o gráfico acima demonstra.

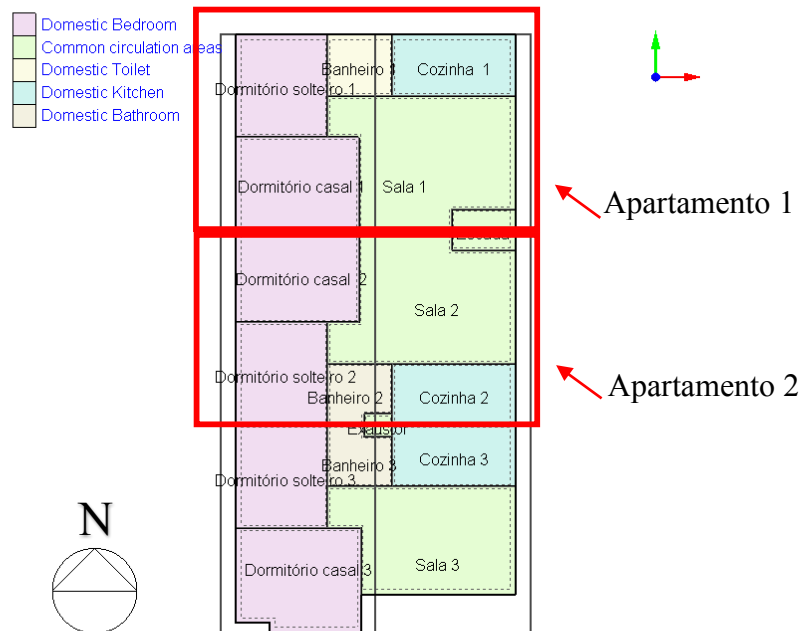


Figura 32 - Especificação dos apartamentos e orientação

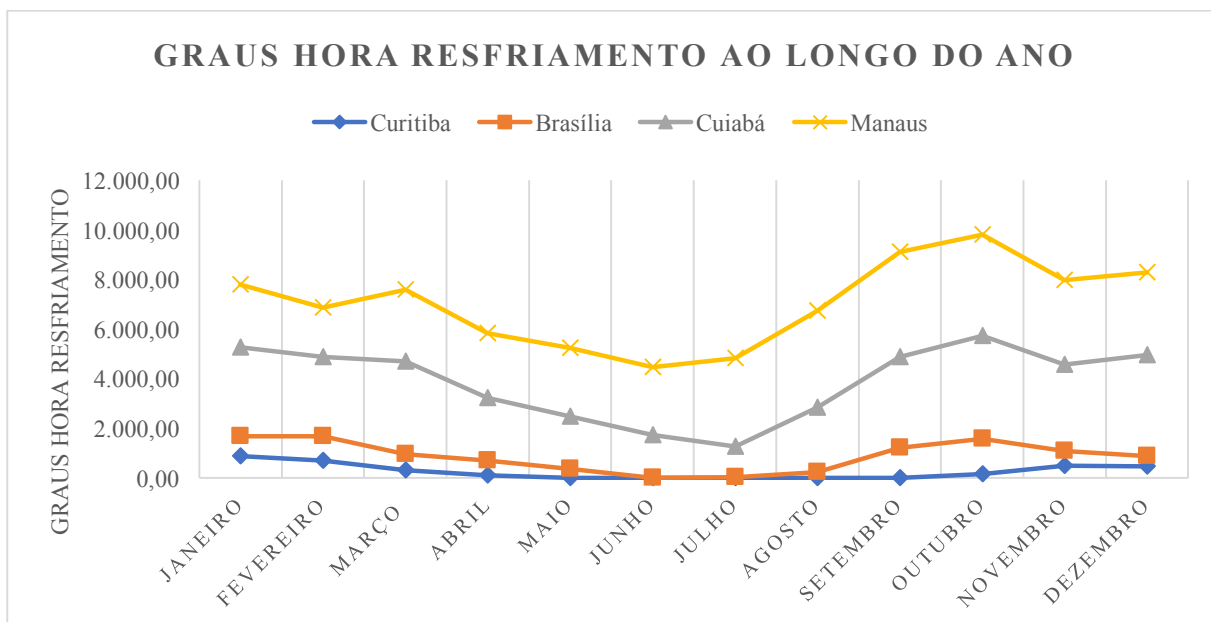
Os dormitórios casal obtiveram piores desempenhos em razão de suas aberturas serem maiores que as dos dormitórios solteiro, todos sendo voltados para Oeste (Em anexo constam

os cortes da fachada). O apartamento 2 provavelmente obteve pior desempenho em razão das contribuições dos outros cômodos do lado leste. Uma hipótese seria que a Sala 1 e Sala 2 recebem radiação durante toda a manhã, mas o banheiro 1 e cozinha 1 estão mais vulneráveis a perdas de calor, ocasionando em graus horas de resfriamento para o apartamento 1 menores que para o apartamento 2. Entretanto, como comprovado no tópico 5.1 de análise estatística, as diferenças de graus hora e temperatura operativas entre os cômodos não foi estatisticamente relevante, por isso este trabalho não se aterá a discussão da razão dessas diferenças inesperadas.

O apartamento 3, voltado para o Sul, apresentou o melhor comportamento em todas as cidades, menos Curitiba, essa possuindo considerável graus horas de aquecimento e desconforto por frio 77% do ano (ProjetEEE, 2017).

#### 5.4. ANÁLISE DAS CIDADES

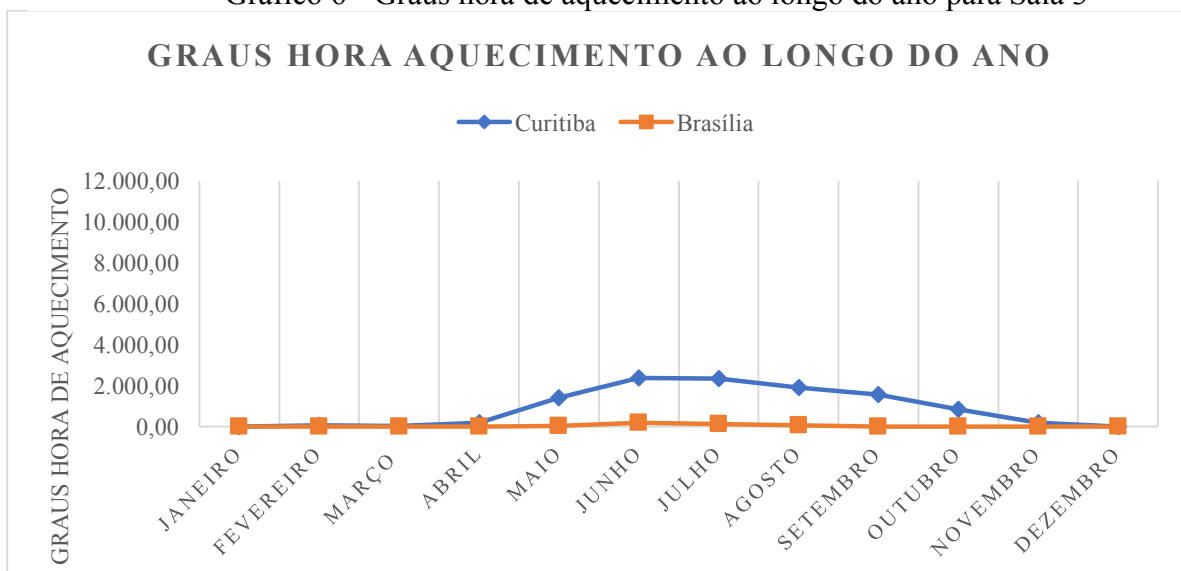
Gráfico 5 - Graus hora de resfriamento ao longo do ano para o dormitório casal 2



O gráfico acima demonstra o parâmetro graus hora de resfriamento para todos os meses do ano, para todas as cidades no cômodo “dormitório casal 2” o qual demonstrou o pior desempenho. Ele traduz o impacto do clima sobre o conforto térmico dos usuários. Percebe-se a grande diferença de desempenho entre as cidades, sendo Manaus a cidade com o pior desempenho, seguida de Cuiabá, Brasília e Curitiba.

O cômodo que apresentou o maior número de graus hora por aquecimento foi o dormitório casal 3 e por isso foi escolhido para analisar o desempenho ao longo do ano. No Gráfico 6 acima se evidencia o desconforto térmico de Curitiba, notadamente maior que em Brasília, contrariando a primeira conclusão de que Curitiba era a cidade com menos graus hora de desconforto tirada do Gráfico 5.

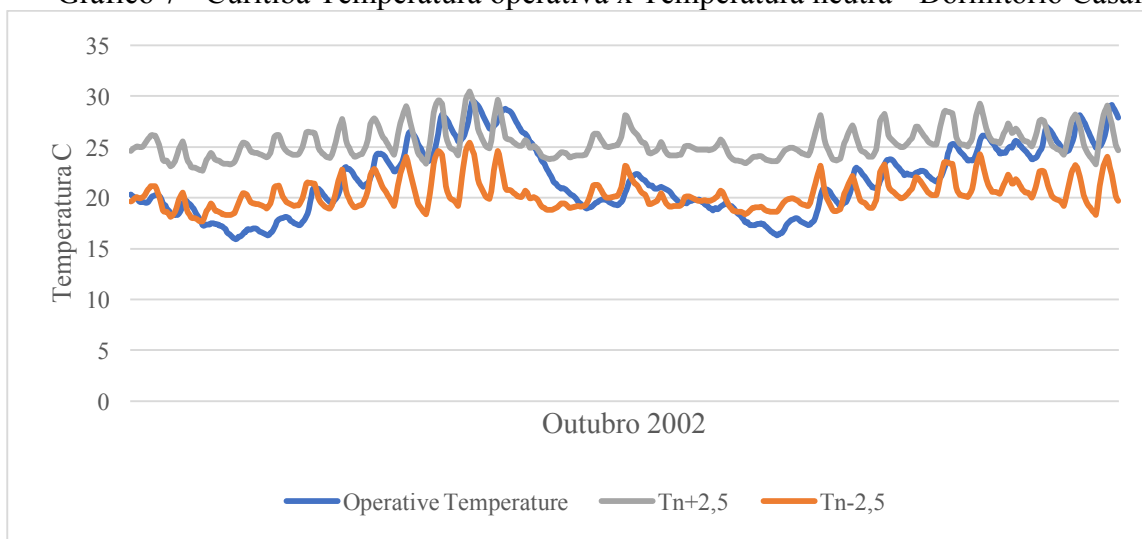
Gráfico 6 - Graus hora de aquecimento ao longo do ano para Sala 3



Durante os meses de maio a outubro Curitiba apresenta graus hora de desconto por frio consideráveis. Somando-se os dados, conclui-se que Brasília é a cidade onde o projeto produziu mais horas de conforto térmico, totalizando 56% das horas.

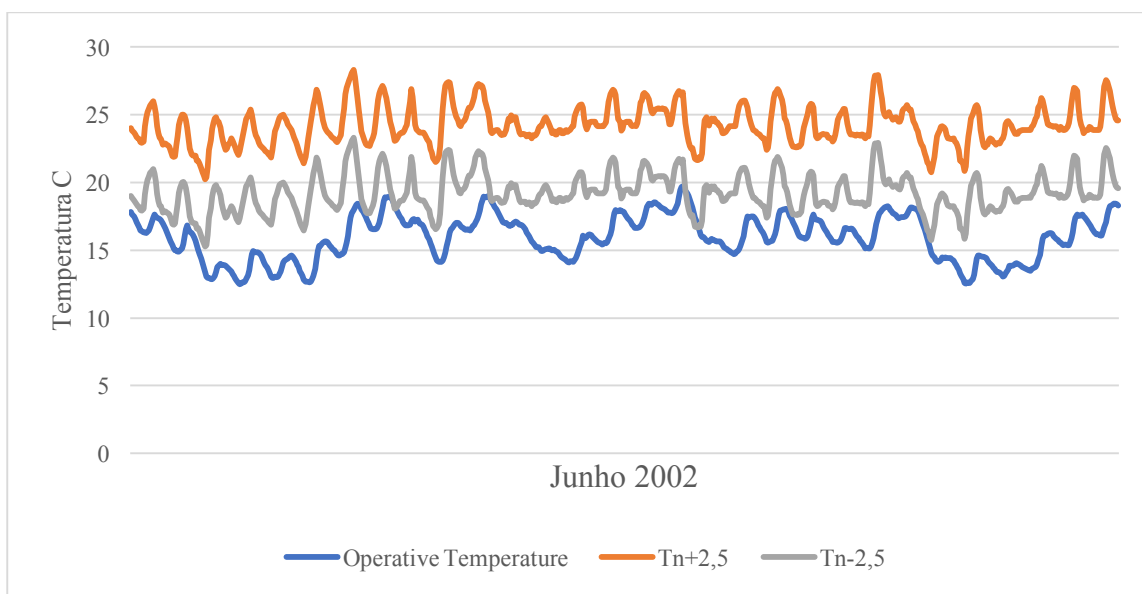
A seguir foram confrontadas as temperaturas operativas dos mesmos cômodos para todas as cidades com o objetivo de verificarmos graficamente as faixas onde a temperatura operativa estava abaixo ou acima da temperatura neutra, dependendo dos limites de conforto para calor ou frio, respectivamente.

Gráfico 7 - Curitiba Temperatura operativa x Temperatura neutra - Dormitório Casal 2



No mês de maior número de graus hora por resfriamento, a temperatura operativa tende a ficar dentro da margem aceitável, em alguns momentos até abaixo da temperatura neutra inferior.

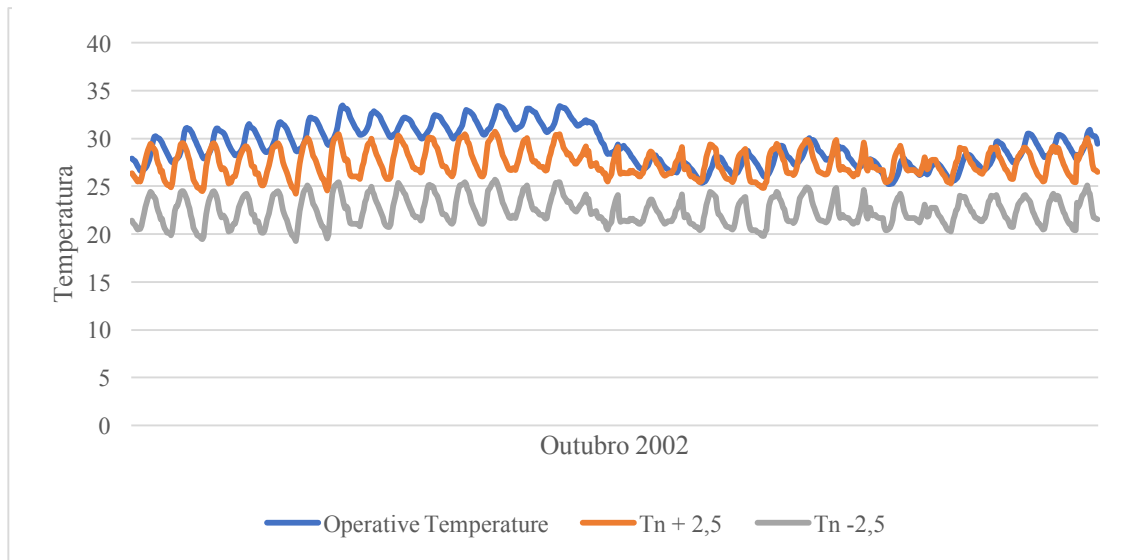
Gráfico 8 - Curitiba - Temperatura operativa x Temperatura neutra - Dormitório Casal 3



Para o mês de maior número de graus hora aquecimento (junho 2002), a temperatura operativa esteve na maior parte do tempo abaixo da temperatura neutra, o que resultaria em uma situação real de alto gasto energético para obter-se conforto.

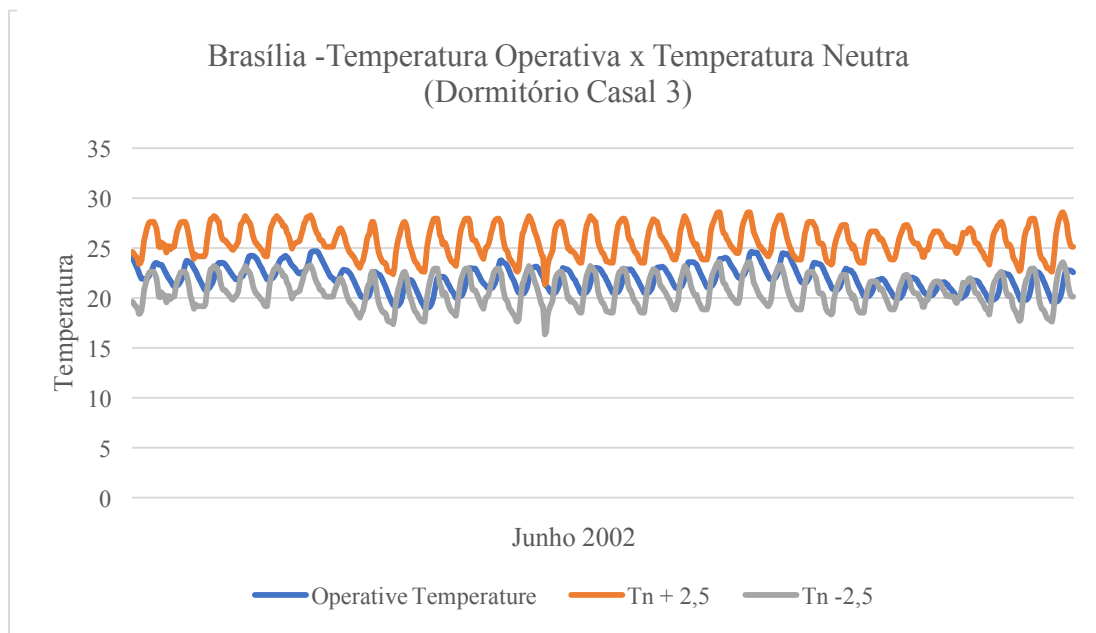


Gráfico 9 - Brasília - Temperatura operativa x Temperatura neutra (Dormitório Casal 2)



Para Brasília, no mês mais quente a temperatura operativa é mais alta durante uma parte, depois voltando a uma margem aceitável de conforto.

Gráfico 10 - Brasília - Temperatura Operativa x Temperatura Neutra (Dormitório Casal 3)



Durante o mês mais frio, o projeto demonstrou bom desempenho térmico, mantendo-se dentro da margem de conforto.

Gráfico 11 - Cuiabá - Temperatura Operativa x Temperatura Neutra (Dormitório Casal 3)

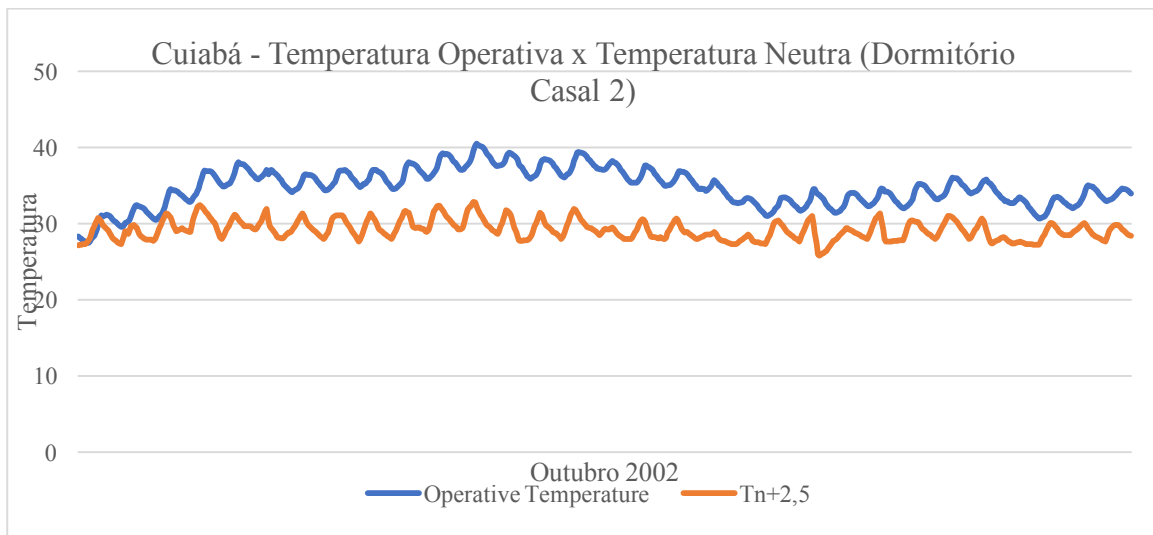
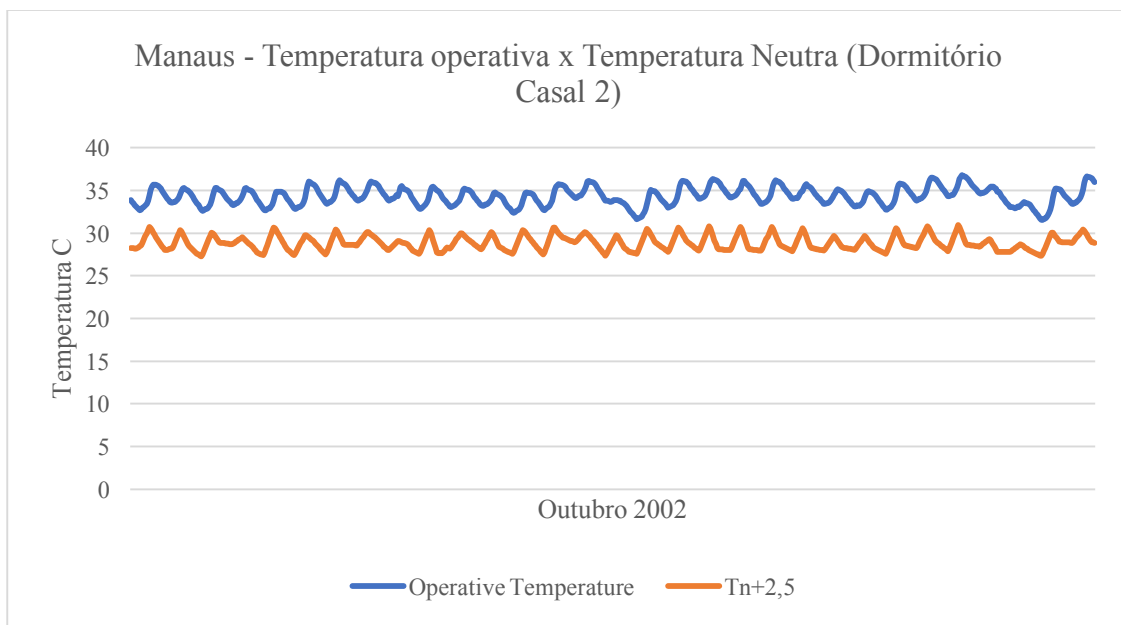


Gráfico 12 - Manaus - Temperatura Operativa x Temperatura Neutra (Dormitório Casal 3)



Durante o mês mais quente, Cuiabá e Manaus demonstraram desempenho insatisfatório para quase todas as horas do mês, o que resultaria em uma situação real de alto gasto energético.

Quanto à análise das temperaturas operativas e temperaturas neutras de cada cidade foi gerado um quadro resumo:

Quadro 15 - Resumo dos resultados de temperaturas operativas

<b>Cidade</b>	<b>Estação</b>	<b>T<sub>operativa</sub></b>	<b>T<sub>ext mín</sub></b>	<b>Desempenho</b>	<b>Porcentagem de horas de conforto</b>
Curitiba	Inverno	10,25 °C	≅ 0 °C	Ruim	50%
	Verão	33,63 °C	≅ 33,75	Médio	
Brasília	Inverno	19,02 °C	< 10 °C	Ótimo	56%
	Verão	33,77 °C	≅ 33,75 °C	Médio	
Cuiabá	Verão	40,49 °C	≅ 40,75 °C	Péssimo	7%
Manaus	Verão	38,14 °C	≅ 35,52 °C	Péssimo	0,05%

### **Curitiba**

Baseando-se nos gráficos e no quadro resumo acima, as temperaturas operativas indicam desempenho ruim para o inverno e médio para o verão, com 50% de horas de conforto. Durante o inverno o edifício foi capaz de amortizar temperaturas próximas de zero, mas não dentro da faixa de conforto. No verão, não foi possível amortizar temperaturas extremas.

### **Brasília**

Durante o inverno a edificação foi capaz de amortizar consideravelmente as temperaturas mais baixas, mantendo-se sempre dentro da zona de conforto, porém para o verão não foi possível a mesma quantidade de horas de conforto. Encontrou-se, portanto, ótimo desempenho para o inverno e médio para o verão, com 50% de horas de conforto.

### **Cuiabá**

Essa cidade demonstrou desempenho insatisfatório para todas as épocas do ano, mantendo temperaturas abaixo da temperatura externa mas fora da zona de conforto. Encontrou-se, portanto, péssimo desempenho para o verão, com 7% de horas de conforto.

### **Manaus**

Apesar de possuir temperaturas externas em média menores que a cidade de Cuiabá, Manaus obteve desempenho inferior, com 0,07% horas de conforto. Esse resultado é proveniente do regime de temperaturas de Manaus que mantém-se alto durante todo o ano, enquanto Cuiabá possui épocas com temperaturas mais amenas e clima mais seco como no inverno.

## 6. CONCLUSÃO

O projeto escolhido para estudo foi um prédio de seis apartamentos típico do Programa Minha Casa Minha Vida, obedecendo todos os parâmetros de áreas mínimas. Os materiais escolhidos para modelagem estavam dentro dos mínimos exigidos pela Caixa e ainda dentro dos parâmetros de transmitância da Norma ABNT NBR 15220. Com essas premissas, o projeto foi simulado no programa *Design Builder* e os dados obtidos foram analisados com o objetivo de avaliar o impacto da padronização de projetos no conforto térmico dos usuários em diferentes zonas bioclimáticas.

Mesmo considerando todos os parâmetros mínimos de resistência térmica exigidos por norma, o desempenho foi insatisfatório para todas as quatro cidades brasileiras. Demonstrou-se, como esperado, que a padronização de projetos para diferentes zonas bioclimáticas é falha, pois cada zona precisa de estratégias diferentes para obter-se conforto. Ademais, o resultado e análise obtidos nesta pesquisa foram além: conclui-se que este projeto típico multifamiliar do programa Minha Casa Minha Vida não alcança parâmetros mínimos de conforto térmico para seus usuários em nenhuma zona bioclimática (1, 4, 7 e 8) sem uso de condicionamento artificial conforme etiqueta considerada e comparação entre a temperatura operativa com a temperatura neutra nos meses críticos. Uma extensão a este trabalho seria a análise da quantificação de energia para obter-se conforto tanto para resfriamento quanto para aquecimento, confrontando com o gasto anual que ocasionaria a implantação de tais equipamentos.

A escolha de materiais com baixa resistência térmica, inexistência de isolamento, envoltórias pouco eficientes e orientação incorreta de edifícios são erros cometidos por projetistas e construtores ao implementar um projeto como o analisado neste trabalho. A solução proposta é aliar materiais com menor transmitância térmica, usar camadas de isolamento, posicionar e dimensionar corretamente as aberturas e usar estratégias bioclimáticas como sombreamento, inércia térmica, ventilação natural, aquecimento solar passivo e outras estratégias expostas ao longo deste trabalho, projetando de maneira coerente com o clima local. Tais medidas confrontam a premissa de baixo custo de um projeto de MCMV, portanto outro parâmetro a ser analisado em uma possível extensão para este trabalho.

Isto posto, o desafio para a construção de projetos de interesse social constitui em diminuir os custos levando em consideração a qualidade do projeto, fator esse que deve ser posto dentre as prioridades e não como elemento secundário na escolha do projetista.

Vale lembrar que o público visado pelo programa MCMV não possui condições plenas de arcar com a compra de equipamentos e pagamento mensal de quantias altas de luz, ocasionando em impacto substancial na renda familiar ou desconforto térmico frequente. A habitação de maior qualidade oferece dignidade para a população de baixa renda, portanto é necessário encontrar melhor projeto e construções que proporcionem o conforto sem impacto na renda mensal do brasileiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2 - Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3 - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ARAUJO NETO, P. C. de **Análise da influência de abertura no conforto térmico em ambientes residenciais no contexto climático de Brasília.** Brasília, 2018.

ASBEA, G. N. **Guia para Arquitetos na aplicação da norma de desempenho ABNT NBR 15.575.** Rio de Janeiro: CAU/BR, 2013.

ASHRAE. **ASHRAE STANDARD 55: Thermal environmental conditions for human occupancy,** Atlanta, 2010.

BAGNATI, M. M. **Zoneamento Bioclimático e Arquitetura Brasileira: Qualidade do Ambiente Construído,** Porto Alegre, 2013.

BELTRAME, C. M.; CUNHA, E. G. D. **Definição do Ano Climático de Referência (TRY) para a Cidade de Pelotas - RS.** Pelotas: IMED, 2016.

BRASIL, P. **Governo do Brasil,** 10 set. 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/09/minha-casa-minha-vida-entregou-2-4-milhoes-de-moradias>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

CAIXA FEDERAL. **Agência Caixa de Notícias,** 06 fev. 2017. Disponível em: <<http://www20.caixa.gov.br/Paginas/Noticias/Noticia/Default.aspx?newsID=4552>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

CARDOSO, L. R. D. A. **Metologia de avaliação de custos de inovações tecnológicas na produção de habitações de interesse social,** São Paulo, 2000. Disponível em: <[http://www.pcc.poli.usp.br/files/text/publications/BT\\_00249.pdf](http://www.pcc.poli.usp.br/files/text/publications/BT_00249.pdf)>. Acesso em: 01 nov. 2017.

CAVALCANTI, M. A. D. V. **Análise da influência de superfícies refletivas nas perdas de calor de sistemas térmicos.** Natal: UFRN, 2011. Dissertação de Mestrado.

CROISSET, M. **L'hygrothermique dans le batiment.** Paris: Eyrolles, 1972.

DORNELLES, K. **Absortância Solar das superfícies opacas,** 2008.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. New York: McGraw-Hill, 1972.

FEDERAL, C. E. **Minha Casa Minha Vida. Cartilha**, 2015.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Nobel, 1998.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit Habitacional no Brasil 2015 - Resultados preliminares**. Belo Horizonte: DIREI, 2017.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. London: Elsevier Publishing Company Limited, 1969.

GIVONI, B. **Comfort, climate analysis and building design guidelines**. Los Angeles: University of California, 1992.

IBGE. **Pesquisa Nacional por amostra de domicílios: síntese de indicadores 2015**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Acesso em: 17 set. 2017.  
[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2015/default\\_sintese.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2015/default_sintese.shtm).

IBGE. **agenciadenoticias.ibge.gov.br. Dia Nacional da Habitação: Brasil tem 11,4 milhões de pessoas vivendo em favelas**, 21 ago. 2017. Disponível em:  
<<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/2012-agencia-de-noticias/noticias/15700-dados-do-censo-2010-mostram-11-4-milhoes-de-pessoas-vivendo-em-favelas.html>>. Acesso em: 2017 nov. 12.

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

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2014.

LOPES, R. M. F. **Otimização do Desempenho Energético de um Edifício Residencial em Portugal**. Florianópolis: UFSC, 2010.

MARQUES, T. H. T. **Influência das propriedades térmicas da envoltiva opaca no desempenho de habitações de interesse social em São Carlos**. São Carlos: USP, 2013. Dissertação de mestrado.

MATOS, M. **Simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis utilizando a ventilação natural**. Florianópolis: UFSC, 2007.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Especificações De Desempenho Nos Empreendimentos De His Baseadas Na Abnt Nbr 15575 - Edificações Habitacionais - Desempenho**. Brasília: PBQP, 2015.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, D. E. G. <http://www.planejamento.gov.br/>. **Governo lança Programa para alavancar infraestrutura e investimentos no País**, 09 nov. 2017. Disponível em: <<http://www.planejamento.gov.br/noticias/governo-lanca-programa-para-alavancar-infraestrutura-e-investimentos-no-pais>>. Acesso em: 11 dez. 2017.

OLGYAY, V. **Design with Climate Bioclimatic: Approach to Architectural Regionalism**. Princeton: Princeton University, 1963.

PEREIRA, I.; ASSIS, E. **Avaliação de modelos de índices adaptativos para o uso no projeto arquitetônico bioclimático**. Porto Alegre, 2010.

PROCEL/ELETOBRÁS; UFSC. **ProjetoEEE. Projeto Eficiência Energética em Edificações**, 23 Outubro 2017. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/>>.

RAC. **Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações Portaria 50/2013**, 2013.

RTQ-R. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Portaria 18/2012**. 2012.

RUFINO, M. B. C.; AMORE, C. S.; SHIMBO, L. Z. **Minha Casa. e a Cidade?** Rio de Janeiro: Observatório das Metrôpoles, 2015.

SHELLER, C. et al. **Análise de arquivos climáticos para a simulação do desempenho energético de edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

SHELLER, C. et al. **Análise de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações**. UFSC, 2015.

SILVA, A. D. **Zoneamento Bioclimático Brasileiro para Fins de Edificação**. Porto Alegre: UFRGS, 1994.

SILVA, M. L. D.; TOURINHO, H. L. Z. **O Banco Nacional de Habitação e o Programa Minha Casa Minha Vida: duas políticas habitacionais e uma mesma lógica locacional**. São Paulo: Cad. Metrop., 2015.

SILVA, N. L. D. **Análise dos parâmetros de conforto térmico em habitações populares de um conjunto em João Pessoa/PB**. João Pessoa: UFPb, 2015.

VASCONCELLOS, P. E. D. M. **Estudo da relação entre variáveis térmicas e o desempenho de estudantes da academia de polícia militar do estado da paraíba**. João Pessoa: UFPb, 2014.

XAVIER, A. A. D. P. **Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias - Teoria física aliada a estudos de campo**. Florianópolis: UFSC, 2000.



## ANEXOS

### ANEXO A - Quadro de estratégias de acordo com a zona bioclimática

Zona	Estratégias		Aberturas para ventilação A (em % da área de piso)	Sombreamento das aberturas	Parede			Cobertura		
	Verão	Inverno			U	$\varphi$	FS	U	$\varphi$	FS
1		Aquecimento solar da edificação / vedações internas pesadas (inércia térmica)	médias 15% < a < 25%	Permitir sol apenas durante o inverno	≤ 3,0 (parede leve)	≤ 4,3	≤ 5,0	≤ 2,0 (leve isolada)	≤ 3,3	≤ 6,5
2	Ventilação Cruzada	Aquecimento solar da edificação / vedações internas pesadas (inércia térmica)	médias 15% < a < 25%	Permitir sol apenas durante o inverno	≤ 3,0 (parede leve)	≤ 4,3	≤ 5,0	≤ 2,0 (leve isolada)	≤ 3,3	≤ 6,5
3	Ventilação Cruzada	Aquecimento solar da edificação / vedações internas pesadas (inércia térmica)	médias 15% < a < 25%	Permitir sol apenas durante o inverno	≤ 3,6 (parede leve)	≤ 4,3	≤ 4,0	≤ 2,0 (leve isolada)	≤ 3,3	≤ 6,5
4	Resfriamento evaporativo e inércia para resfriamento / ventilação seletiva nos períodos quentes, em que a temperatura interna seja superior à externa	Aquecimento solar da edificação / vedações internas pesadas (inércia térmica)	médias 15% < a < 25%	Sombrear aberturas	≤ 2,2 (parede leve)	≥ 6,5	≤ 3,5	≤ 2,0 (leve isolada)	≤ 3,3	≤ 6,5
5	Ventilação Cruzada	Vedações internas pesadas (inércia térmica)	médias 15% < a < 25%	Sombrear aberturas	≤ 3,6 (parede leve)	≤ 4,3	≤ 4,0	≤ 2,0 (leve isolada)	≤ 3,3	≤ 6,5
6	Resfriamento evaporativo e inércia para resfriamento / ventilação seletiva nos períodos quentes, em que a temperatura interna seja superior à externa	Vedações internas pesadas (inércia térmica)	médias 15% < a < 25%	Sombrear aberturas	≤ 2,2 (parede leve)	≥ 6,5	≤ 3,5	≤ 2,0 (leve isolada)	≤ 3,3	≤ 6,5
7	Resfriamento evaporativo e inércia para resfriamento / ventilação seletiva nos períodos quentes, em que a temperatura interna seja superior à externa		pequenas 10% < a < 15%	Sombrear aberturas	≤ 2,2 (parede leve)	≥ 6,5	≤ 3,5	≤ 2,0 (leve isolada)	≤ 6,5	≤ 6,5
8	Ventilação Cruzada permanente OBS: o condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes		grandes a > 40%	Sombrear aberturas	≤ 3,6 (parede leve)	≤ 4,3	≤ 4,0	≤ 2,3 FT (leve refletor)	≤ 3,3	≤ 6,5

Fonte: Adaptado de Lamberts, Dutra e Pereira (2014)

**ANEXO B** – Tabelas de equivalente numérico da envoltória para graus hora de resfriamento e aquecimento. Fonte: RTQ-R (2014)

Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento e aquecimento - Zona Bioclimática 1<sup>2</sup>

Cidade: Curitiba-PR		ZB 1	Tipo do arquivo: TRY		
Eficiência	EqNum	GHR	C <sub>R</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>A</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	
A	5	GHR ≤ 143	C <sub>R</sub> ≤ 0,713	C <sub>A</sub> ≤ 16,700	
B	4	143 < GHR ≤ 287	0,713 < C <sub>R</sub> ≤ 1,426	16,700 < C <sub>A</sub> ≤ 33,400	
C	3	287 < GHR ≤ 430	1,426 < C <sub>R</sub> ≤ 2,138	33,400 < C <sub>A</sub> ≤ 50,099	
D	2	430 < GHR ≤ 574	2,138 < C <sub>R</sub> ≤ 2,851	50,099 < C <sub>A</sub> ≤ 66,799	
E	1	574 < GHR	2,851 < C <sub>R</sub>	66,799 < C <sub>A</sub>	

Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento e aquecimento - Zona Bioclimática 4

Cidade: BRASILIA-DF		ZB 4	Tipo do arquivo: SWERA		
Eficiência	EqNum	GHR	C <sub>R</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>A</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	
A	5	GHR ≤ 780	C <sub>R</sub> ≤ 3,430	C <sub>A</sub> ≤ 7,092	
B	4	780 < GHR ≤ 1930	3,430 < C <sub>R</sub> ≤ 8,816	7,092 < C <sub>A</sub> ≤ 15,548	
C	3	1930 < GHR ≤ 2711	8,816 < C <sub>R</sub> ≤ 12,457	15,548 < C <sub>A</sub> ≤ 22,366	
D	2	2711 < GHR ≤ 3651	12,457 < C <sub>R</sub> ≤ 16,608	22,366 < C <sub>A</sub> ≤ 29,071	
E	1	3651 < GHR	16,608 < C <sub>R</sub>	29,071 < C <sub>A</sub>	

Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento e aquecimento - Zona Bioclimática 7

Cidade: Cuiabá - MT		ZB 7	Tipo do arquivo: SWERA		
Eficiência	EqNum	GHR	C <sub>R</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>A</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	
A	5	GHR ≤ 12.566	C <sub>R</sub> ≤ 34,483	- C <sub>A</sub> ≤ -	
B	4	12.566 < GHR ≤ 18.622	34,483 < C <sub>R</sub> ≤ 52,805	- < C <sub>A</sub> ≤ -	
C	3	18.622 < GHR ≤ 24.679	52,805 < C <sub>R</sub> ≤ 71,126	- < C <sub>A</sub> ≤ -	
D	2	24.679 < GHR ≤ 30.735	71,126 < C <sub>R</sub> ≤ 89,448	- < C <sub>A</sub> ≤ -	
E	1	30.735 < GHR	89,448 < C <sub>R</sub>	- < C <sub>A</sub>	

Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento e aquecimento - Zona Bioclimática 8

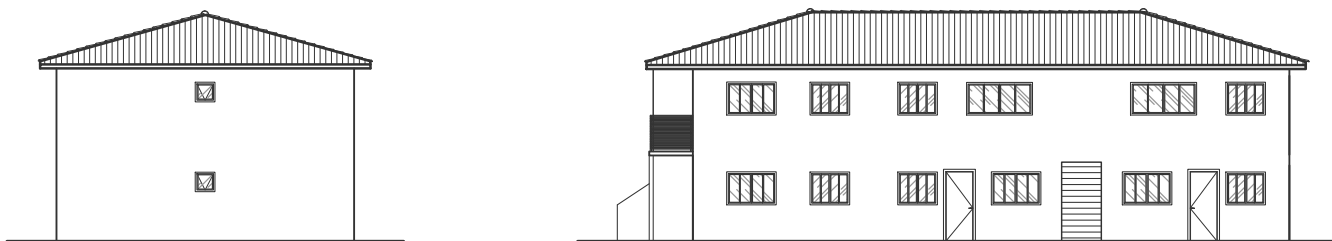
Cidade: Manaus - AM		ZB 8	Tipo do arquivo: SWERA		
Eficiência	EqNum	GHR	C <sub>R</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	C <sub>A</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	
A	5	GHR ≤ 14730	C <sub>R</sub> ≤ 18,489	- C <sub>A</sub> ≤ -	
B	4	14730 < GHR ≤ 19447	18,489 < C <sub>R</sub> ≤ 28,608	- < C <sub>A</sub> ≤ -	
C	3	19447 < GHR ≤ 24812	28,608 < C <sub>R</sub> ≤ 36,922	- < C <sub>A</sub> ≤ -	
D	2	24812 < GHR ≤ 29001	36,922 < C <sub>R</sub> ≤ 46,070	- < C <sub>A</sub> ≤ -	
E	1	29001 < GHR	46,070 < C <sub>R</sub>	- < C <sub>A</sub>	

Sendo GHR o indicador de graus-hora para resfriamento, C<sub>T</sub> o consumo relativo anual para resfriamento e C<sub>a</sub> o consumo relativo anual para aquecimento.

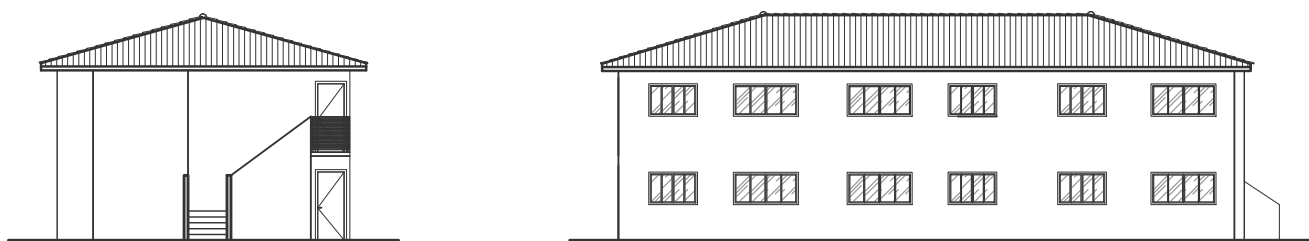
<sup>2</sup> RQT-R não fornece tabela de limites de etiquetagem para outros arquivos além do TRY.

**ANEXO C – Cortes da fachada e Planta baixa do segundo pavimento.**

Escala da Planta Baixa: 1/75



Corte da fachada lateral e frontal



Cortes da fachada lateral e posterior do edifício

