



Natália Maria da Silva Romeiro

MELHORIA DO DESEMPENHO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS
DE HABITAÇÃO NO BRASIL: ANÁLISE COMPARATIVA
DOS REQUISITOS REGULAMENTARES BRASILEIROS E
PORTUGUESES

Dissertação de Mestrado em Energia para a Sustentabilidade
na Especialidade de Edifícios e Meio Ambiente

Março, 2019



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



UNIVERSIDADE DE COIMBRA
ENERGIA PARA A SUSTENTABILIDADE
ENERGY FOR SUSTAINABILITY · EFS

UNIVERSIDADE DE COIMBRA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENERGIA PARA A SUSTENTABILIDADE

**MELHORIA DO DESEMPENHO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO
NO BRASIL: ANÁLISE COMPARATIVA DOS REQUISITOS
REGULAMENTARES BRASILEIROS E PORTUGUESES**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Energia para a
Sustentabilidade na Especialidade de Edifícios e Meio Ambiente

Autor

Natália Maria da Silva Romeiro

Orientadores

Professor Doutor José António Raimundo Mendes da Silva

Professora Doutora Ana Teresa Vaz Ferreira

Júri

Presidente

Vogais

COIMBRA, MARÇO, 2019

AGRADECIMENTOS

A **Deus** pelo seu amor incondicional e por sempre me iluminar.

Aos meus pais, **Adélia** e **Marcos**, por acreditarem em mim e pelo incentivo durante essa caminhada com todo amor e paciência. A minha irmã, **Nicole** pelo suporte e sorrisos que me animaram durante esse trabalho.

Aos meus avós **João Batista** (in memoriam), **Maria Tereza**, **Marluza** e **Venício** pelo carinho, amparo e que com cada história me ensinam – e a todos os meus familiares pelo suporte.

Ao **Lucas**, por entender a ausência e se fazer presente durante esse período. Por me encorajar, me animar e me acalmar com toda a sua paciência.

Um agradecimento a todos os professores, que me ensinam durante a minha caminhada acadêmica, em especial para os meus orientadores, a **Professora Doutora Ana Teresa Vaz Ferreira** e ao **Professor Doutor José Antônio Raimundo Mendes da Silva** pelo empenho e disponibilidade durante a construção desse projeto.

Aos meus queridos amigos, pelos incentivos e momentos de descontração. Aos meus amigos do curso por compartilharem experiências que aprimoraram na construção do aprendizado.

Por fim, o meu, muito obrigada com muito amor a todos que fazem parte da minha vida.

(Natália Romeiro)

RESUMO

O setor residencial, no Brasil, é a segunda parcela que mais consome energia elétrica e, com isso, políticas públicas através de normas e regulamentações surgiram para impulsionar a eficiência energética nesse setor. No ramo do desempenho térmico, existem as normas NBR 15220 e NBR 15575, além do Relatório Técnico da Qualidade - Residencial. Porém, essas metodologias apresentam limitações, dentre elas quanto a análise da envolvente exterior, que devem ser identificadas no sentido de se poder contribuir para a implementação da política energética residencial brasileira.

Neste trabalho, foi proposto um conjunto de estratégias que visam contribuir para a melhoria da regulamentação sobre desempenho térmico das construções no Brasil, a fim de tentar promover a racionalização energética dos edifícios de habitação. O trabalho baseou-se no estudo de caso de uma residência, de acordo com o padrão definido no Programa Federal Brasileiro, 'Minha Casa, Minha Vida', onde se analisaram e compararam os resultados da simulação através das seguintes metodologias: i) métodos prescritivos para a NBR 15575 e o RTQ-R, em três cidades brasileiras; ii) método prescritivo do REH para uma cidade portuguesa; iii) simulação computacional através do programa informático *Design Builder* nas quatro situações anteriores.

De acordo com o trabalho realizado, através das análises e da comparação com o REH foi possível identificar as principais limitações das regulamentações brasileiras, assim como os parâmetros que influenciam o desempenho térmico e estão ausentes dessa norma. A análise dos resultados da simulação complementou para a identificação dos componentes construtivos com maior influência nos ganhos e perdas de calor.

Através da análise realizada foi possível concluir que a regulamentação simplificada brasileira restringe a análise da envolvente exterior dos elementos de paredes e cobertura, ignorando o contributo dos vãos envidraçados quanto aos ganhos e perdas, assim como apresenta diferentes metodologias que podem conduzir a interpretações diversas da sua aplicação. Acresce o fato de apresentar valores limites diferenciados para os mesmos parâmetros de uma norma para outra.

Dessa forma, a incorporação de estratégias e parâmetros na regulamentação brasileira, permitem um desempenho térmico mais abrangente visto que a mesma já apresenta uma estruturação com base relativamente adequada.

A incrementação das propostas na regulamentação surge como contribuição viável para uma metodologia mais exigente, ao valorizar os elementos construtivos que são determinantes para um conhecimento mais aprofundado sobre o desempenho térmico do edifício.

Palavras-chave: Desempenho térmico. NBR 15220. NBR 15575. RTQ-R. REH. Eficiência Energética.

ABSTRACT

The residential sector in Brazil is the second most consuming portion of electric power, and with this, public policies through standards have emerged to boost energy efficiency in this sector. In the field of thermal performance, there are standards NBR 15220 and NBR 15575, in addition to the Quality Technical Report - Residential. However, these methodologies present limitations, such as the analysis of the external environment, which must be identified in order to contribute to the implementation of the Brazilian residential energy policy.

In this work, a set of strategies was proposed that aim to contribute to the improvement of the regulation on thermal performance of buildings in Brazil, in order to try to promote the energy rationalization of residential buildings. The study was based on the case study of a residence, according to the pattern defined in the Brazilian Federal Program, 'Minha Casa, Minha Vida', where the results of the simulation were analyzed and compared through the following methodologies: i) prescriptive methods for NBR 15575 and RTQ-R, in three Brazilian cities; ii) prescriptive method of the REH for a Portuguese city; iii) computational simulation through the Design Builder software in the four previous situations.

According to the work carried out, through analysis and comparison with the REH it was possible to identify the main limitations of Brazilian regulations, as well as the parameters that influence the thermal performance and are absent from this standard. The analysis of the simulation results complemented for the identification of the constructive components with greater influence on the gains and losses of heat.

Based on the analysis, it was possible to conclude that the Brazilian simplified regulation restricts the analysis of the exterior envelope of wall elements and cover, ignoring the contribution of the glazed spans to the gains and losses, as well as presenting different methodologies that can lead to different interpretations of its application. In addition, it presents different threshold values for the same parameters from one norm to another.

The incrementing of the proposals in the regulation emerges as a viable contribution to a more demanding methodology to value the constructive elements that are crucial to a deeper knowledge on the thermal performance of the building.

The increase of the proposals in the regulation appears as a viable contribution to a more demanding methodology, when valuing the constructive elements that are determinants for a more in-depth knowledge on the thermal performance of the building.

Keywords: Thermal performance. NBR 152220. NBR 15575. RTQ-R. REH. Energy Efficiency

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	13
1.1.1	Objetivo Geral	13
1.1.2	Objetivos específicos.....	14
1.2	Estrutura do Trabalho	14
2	ANÁLISE DAS NORMAS E REGULAMENTAÇÕES BRASILEIRAS E PORTUGUESAS	15
2.1	Análise da NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações	15
2.2	Análise da NBR 15575 – Desempenho dos Edifícios.....	19
2.3	Análise da Relatório Técnico de Qualidade - RTQ – R.....	26
2.3.1	Método Prescritivo	30
2.3.2	Método de Simulação Computacional	35
2.4	Análise do REH.....	37
3	ESTUDO DE CASO: SIMULAÇÃO NO SOFTWARE DESIGN BUILDER	40
3.1	Análise sintética do estudo de caso	40
3.2	Interface e características do software.....	43
3.3	Porto Alegre: Brasil – Zona Bioclimática 03.....	44
3.4	Brasília: Brasil – Zona Bioclimática 04	45
3.5	Maceió: Brasil – Zona Bioclimática 08	47
3.6	Coimbra – Portugal	49
4	ANÁLISE DAS REGULAMENTAÇÕES E PROPOSTAS DE MELHORIA PARA AS NORMAS E REGULAMENTAÇÕES BRASILEIRAS	51
4.1	Análise métodos prescritivos da NBR 15575, RTR-R, REH.....	53
4.2	Comparação dos métodos prescritivos da NBR 15575, RTR-R, REH e da simulação pelo Design Builder	57
4.3	Propostas para as normas e regulamentações brasileiras.....	65
5	CONCLUSÕES.....	68
5.1	Descrição do trabalho desenvolvido.....	68
5.2	Conclusões gerais	68
5.3	Sugestões para trabalhos futuros	70
	REFERÊNCIAS	72
	ANEXO A1.....	75
	ANEXO A2.....	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Consumo de Energia Elétrica Brasileiro por setor.....	12
Figura 2: Zoneamento bioclimático brasileiro	16
Figura 3: Métodos alternativos de avaliação do desempenho térmico	20
Figura 4: Características necessárias para softwares de avaliação do desempenho térmico	23
Figura 5: Exemplo de etiqueta para Unidade Habitacional Autônoma	28
Figura 6: Exemplo de etiqueta para Edificações Multifamiliares	29
Figura 7: Exemplo de etiqueta para Áreas de Uso Comum	30
Figura 8: Parcelas que compõe o equivalente numérico da envoltória	33
Figura 9: Organograma do PTUH	34
Figura 10: Posicionamento geográfico das cidades selecionadas	41
Figura 11: Projeto arquitetônico e planta de corte do estudo de caso	42
Figura 12: Localização Geográfica de Porto Alegre	44
Figura 13: Localização Geográfica de Brasília	46
Figura 14: Localização Geográfica de Maceió.....	48
Figura 15: Análise dos Resultados do Design Builder – Porto Alegre	61
Figura 16: Análise dos Resultados do Design Builder – Brasília	61
Figura 17: Análise dos Resultados do Design Builder – Maceió.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo das Diretrizes Construtivas e Estratégias Bioclimáticas do Brasil - NBR 15220 -3.....	17
Tabela 2: Transmitância Térmica de paredes externas.....	21
Tabela 3: Capacidade térmica de paredes externas	21
Tabela 4: Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica	21
Tabela 5: Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar.....	22
Tabela 6: Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão	25
Tabela 7: Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno	26
Tabela 8: Coeficiente adotado de acordo com a região geográfica.....	31
Tabela 9: Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida.....	31
Tabela 10: Intervalos de valor de <i>R_{Nt}</i> para a determinação da classe energética em pré-certificados.....	38
Tabela 11: Áreas dos ambientes da residência	42
Tabela 12: Materiais e padrões construtivos do caso de estudo	43
Tabela 13: Dados de dias típicos de verão e inverno - Porto Alegre.....	45
Tabela 14: Dados de dias típicos de verão e inverno – Brasília	47
Tabela 15: Dados de dias típicos de verão e inverno: Maceió	49
Tabela 16: Critérios para a determinação da zona climática de inverno	49
Tabela 17: Critérios para a determinação da zona climática de verão	50
Tabela 18: Transmitância e capacidade térmica dos padrões construtivos do estudo de caso	52
Tabela 19: Detalhamento das esquadrias.....	52
Tabela 20: Requisitos utilizados para o sistema de aquecimento de água	53
Tabela 21: Análise do estudo de caso através do método simplificado da NBR 15575	53
Tabela 22: Atendimento aos requisitos de iluminação e ventilação natural.....	54
Tabela 23: Resultado da envoltória - Estudo de Caso	55
Tabela 24: Pontuação Total - Estudo de caso.....	55
Tabela 25: Valores finais para análise de acordo com o REH	56
Tabela 26: Indicadores de aquecimento e arrefecimento	57
Tabela 27: Comparativo da área de abertura entre a NBR e o RTQ-R	58
Tabela 28: Comparação dos itens dos métodos prescritivos: NBR X RTQ-R X REH.....	58
Tabela 29: Resultados da simulação para o estudo de caso	60
Tabela 30: Ganhos e perdas de calor por elementos	63
Tabela 31: RTQ-R: Método Prescritivo X Método por simulação	64
Tabela 32: Análise comparativa dos resultados: <i>Design Builder</i> X REH X RTQ-R	64

SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
NBR	Norma Brasileira
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
OIA	Organismo de Inspeção Acreditado
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PMCMV	Programa Minha Casa, Minha Vida
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RTQ-C	Relatório Técnico de Qualidade Comercial
RTQ-R	Relatório Técnico de Qualidade Residencial
SCE	Sistema de Certificação Energética

SÍMBOLOS

$EqNumAA$	Equivalente Numérico do Sistema de Aquecimento de Água
$EqNumEnv$	Equivalente Numérico Do Desempenho Térmico da Envoltória
$EqNumEnv_A$	Equivalente Numérico da Envoltória da UH para Aquecimento
$EqNumEnvAmb_A$	Equivalente Numérico da Envoltória do Ambiente para Aquecimento
$EqNumEnvAmb_{Resfr}$	Equivalente Numérico da Envoltória do Ambiente para Resfriamento
$EqNumEnv_{Refrig}$	Equivalente Numérico da Envoltória da UH para Refrigeração
$EqNumEnv_{Resfr}$	Equivalente Numérico da Envoltória da UH para Resfriamento
H_{ecs}	Coefficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo
$H_{enu,adj}$	Coefficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis, edifícios adjacentes
H_{ext}	Coefficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior
H_{ve}	Coefficiente de transferência de calor por ventilação
$Q_{int,v}$	Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor
$Q_{sol, Desv}$	
$Q_{sol,v} EXT$	Ganhos térmicos associados à radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada
C_A	Consumo Relativo para Aquecimento
C_R	Consumo Relativo para Refrigeração
GH_R	Graus-Hora para Resfriamento
U	Transmitância térmica (Brasil); Coeficiente de transmissão térmica (Portugal)

1 INTRODUÇÃO

O setor de Energia é um fator determinante para a emissão dos gases do efeito estufa. Investir em fontes de energia renováveis e promover o uso eficiente dessas fontes são propostas para reduzir os impactos ambientais causados.

Nas edificações, a energia é utilizada a fim de proporcionar serviços básicos para os utilizadores, como conforto térmico e iluminação, e assim, o consumo de energia elétrica apresenta valores significativos. Dentre entre elas, cita-se o setor residencial o segundo maior consumidor do Brasil, com consumo médio para o ano de 2018 de 158 kWh/mês, conforme detalha a Figura 1 [EPE, 2018].

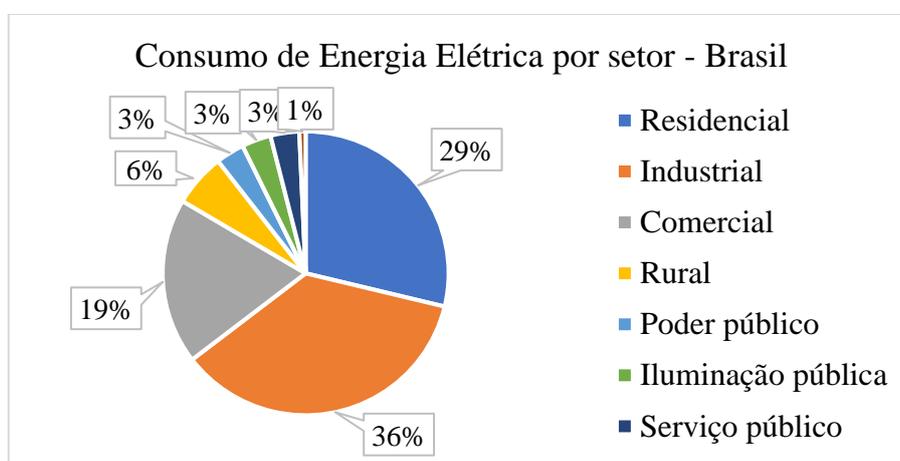


Figura 1: Consumo de Energia Elétrica Brasileiro por setor [Adaptado de EPE, 2018]

Dessa forma, a fim de impulsionar a eficiência energética e diminuir o consumo de energia elétrica neste setor, políticas públicas, normas e regulamentações são impostas para estabelecer um desempenho e conforto térmico adequados.

No Brasil, devido a uma crise no setor energético, a busca pela racionalização de energia elétrica e a aplicação de medidas mais eficientes incentivou a criação de políticas públicas referentes a esse contexto. Dessa forma, através da Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001 e o Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001, é definida a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, que determina que os equipamentos consumidores de energia, bem com as edificações construídas no país deverão atender a requisitos mínimos de eficiência energética.

Além disso, essa Lei e esse Decreto, instituem o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), o qual deve abordar os assuntos relacionados

com as regulamentações, com planos, metas e fiscalizações, através do apoio técnico de outros órgãos nacionais, como, o Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia (INMETRO), a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel).

Como resultado dessas políticas públicas, o Inmetro publicou o Relatório Técnico da Qualidade para as edificações comerciais e de serviço (RTQ-C) e para as edificações residenciais (RTQ-R) a fim de classificar as edificações através do selo de certificação energética e conseqüentemente promover a conservação energética.

Além disso, para o setor da edificação existem também as normas vigentes da ABNT que detalham sobre o desempenho térmico. No caso da NBR 15220, trata diretamente sobre o desempenho térmico das edificações e seu comportamento, já a NBR 15575 descreve o desempenho da edificação no geral, envolvendo também a parte térmica.

Nas normas existem deficiências, e com isso, estudos, análises e propostas de aperfeiçoamento são formas de inseri-las em um processo contínuo de melhoria. Segundo Bogo (2016), as normas NBR 15220 e NBR 15575 apresentam algumas limitações, como por exemplo, as ausências de diretrizes construtivas, o zoneamento bioclimático muito abrangente, desconsiderando fatores como altitude e parâmetros de transmitância térmica altos.

Apesar de obter resultados e parâmetros diferentes das duas normas, o RTQ-R também apresenta limitações referente aos valores e metodologias aplicadas. Dessa forma, torna-se importante analisar alguns pontos de políticas energéticas existentes, a fim de identificar pontos que possam contribuir para uma implementação da política energética residencial brasileira.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal:

- Propor um conjunto de estratégias que possam contribuir para a melhoria da regulamentação sobre desempenho térmico das construções no Brasil, através da análise comparativa entre os requisitos regulamentares brasileiros e portugueses em relação ao quesito térmico. Analisar os requisitos da NBR 15220, da NBR 15575 e do Relatório Técnico da Qualidade (RTQ), de acordo com as necessidades térmicas

de cada zona bioclimática, a fim de tentar promover a racionalização energética dos edifícios de habitação.

1.1.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral do trabalho referido anteriormente, são igualmente definidos alguns objetivos específicos que consistem em etapas no desenvolvimento deste estudo:

- Analisar os requisitos das normas e regulamentos brasileiros, identificando as limitações;
- Comparar os requisitos normativos e regulamentares brasileiro (NBR e RTQ) e a regulamentação portuguesa (REH) em relação ao quesito térmico de edifícios de habitação;
- Realizar a análise térmica de um edifício residencial, através de uma simulação computacional para três zonas bioclimáticas brasileiras e uma zona de Portugal;
- Identificar os parâmetros e indicadores do REH possam contribuir para um melhor desempenho térmico na construção brasileira;
- Analisar a viabilidade da implementação dos novos parâmetros estabelecidos através dos resultados e definição de possíveis estratégias de racionalização de energia.

1.2 Estrutura do Trabalho

Essa dissertação está dividida em cinco capítulos, cujo primeiro consiste na Introdução. O segundo capítulo é referente à análise das normas e regulamentações brasileiras e portuguesas, detalhando suas abordagens e metodologias, a fim de aplicá-las no estudo de caso.

No terceiro capítulo constam as informações sobre o estudo de caso, a metodologia aplicada, além dos dados sobre as cidades selecionadas para a análise das regulamentações.

Do quarto capítulo consta a comparação das metodologias regulamentares para o estudo de caso e a análise dos resultados. Além disso, apresenta as propostas de melhoria para as normas e regulamentações brasileiras e as deficiências analisadas, e por consequência promove a racionalização energética dos edifícios de habitação.

O quinto capítulo apresenta a conclusão e as considerações finais sobre propostas de melhorias para a norma e regulamentação brasileira, além de indicar as perspectivas e recomendações para futuros trabalhos.

2 ANÁLISE DAS NORMAS E REGULAMENTAÇÕES BRASILEIRAS E PORTUGUESAS

As regulamentações visam avaliar e normalizar um padrão mínimo de desempenho para as edificações, a fim de garantir condições de conforto e habitabilidade para os utilizadores.

No Brasil a análise do desempenho térmico das edificações, a princípio, é dada pela norma ABNT NBR 15220 – Desempenho Térmico das Edificações, do ano de 2005, na qual encontra-se em vigor desde então. Também, pode-se citar a norma ABNT NBR 15575 – Desempenho de Edificações Habitacionais, que visa a qualidade de empreendimentos habitacionais num contexto geral. O texto original dessa norma foi criado em 2008 e passou por revisões até a atual norma, que entrou em vigor no ano de 2013.

Além dessas duas normas, consta também um Relatório Técnico de Qualidade, criado através da parceria entre o INMETRO e o Procel, com o intuito de promover a eficiência energética das edificações, através do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Esse relatório apresenta um manual e regulamentações referentes às edificações residenciais, com o RTQ-R e para as edificações comerciais e de serviços com o RTQ-C.

Esse capítulo visa descrever os principais pontos e requisitos referente ao desempenho térmico nas normas da ABNT NBR 15220 e a NBR 15575, assim como o Relatório Técnico de Qualidade, enfatizando o relatório para as edificações residenciais dentro do Programa Brasileiro de Etiquetagem.

2.1 Análise da NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações

A princípio a avaliação de desempenho térmico de uma edificação era feita a partir da NBR 15220 [ABNT, 2005a], no qual tinha ênfase na avaliação de habitações unifamiliares de interesse social com até três pavimentos, sendo dividida em cinco partes:

- NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições símbolos e unidades
- NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo das transmitâncias térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar dos elementos e componentes de edificações
- NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

- NBR 15220-4: Desempenho térmico de edificações – Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida
- NBR 15220-5: Desempenho térmico de edificações – Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

A NBR 15220-3 é a parte da norma que descreve o zoneamento bioclimático brasileiro e as diretrizes construtivas para cada zona. Esse zoneamento foi baseado no Diagrama de Baruch Givoni, que define uma área de conforto a partir dos dados de temperatura e humidade inseridos. Assim, podem ser aplicadas estratégias de *design* passivo de modo a criar condições para o conforto [FERREIRA et al., 2017].

O território brasileiro foi dividido em oito zonas relativamente homogêneas, quanto ao clima, conforme mostra a Figura 2, onde para cada zona formula-se um conjunto de recomendações para o condicionamento técnico passivo [ABNT, 2005a].

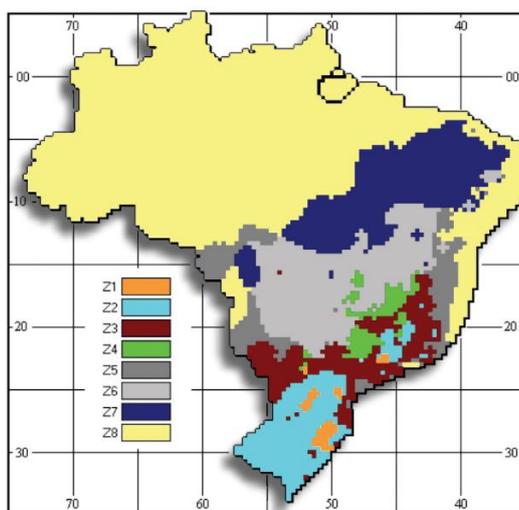


Figura 2: Zoneamento bioclimático brasileiro [ABNT, 2005a].

As diretrizes construtivas e estratégias de condicionamento passivo de cada zona bioclimática foram realizadas através da verificação do atendimento de cada parâmetro identificado, a seguir [ABNT, 2005a]:

- Tamanho das aberturas para ventilação (expressas como percentual de área de piso);
- Proteção das aberturas;
- Vedações externas – envolvente exterior (tipo de parede externa e tipo de cobertura);
- Estratégias de condicionamento térmico passivo.

Cada cidade apresenta uma classificação bioclimática e estratégias construtivas. A Tabela 1 é um resumo das diretrizes construtivas e estratégias bioclimáticas do Brasil conforme apresentado na NBR 15220.

Tabela 1: Resumo das Diretrizes Construtivas e Estratégias Bioclimáticas do Brasil - NBR 15220 -3

Resumo das Diretrizes Construtivas e Estratégias Bioclimáticas do Brasil (Segundo NBR 15220)										
Zona	Aberturas para ventilação A (em % da área do piso)	Sombreamento das aberturas	Vedações Externas						Estratégias de condicionamento passivo	
			Parede			Cobertura			Verão	Inverno
			Transmitância térmica - U (W/m ² . K)	Atraso Térmico - ϕ (Horas)	Fator Solar - FS _o (%)	Transmitância térmica - U (W/m ² . K)	Atraso Térmico - ϕ (Horas)	Fator Solar - FS _o (%)		
Z1	Médias 15% < A < 25%	Permitir sol durante inverno	U ≤ 3,00 (Leve)	$\phi \leq 4,3$	FS _o ≤ 5,0	U ≤ 2,00 (Leve Isolada)	$\phi \leq 3,3$	FS _o ≤ 6,5	-	BC Aquecimento Solar + Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Z2	Médias 15% < A < 25%	Permitir sol durante inverno	U ≤ 3,00 (Leve)	$\phi \leq 4,3$	FS _o ≤ 5,0	U ≤ 2,00 (Leve Isolada)	$\phi \leq 3,3$	FS _o ≤ 6,5	J Ventilação Cruzada	BC Aquecimento Solar + Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Z3	Médias 15% < A < 25%	Permitir sol durante inverno	U ≤ 3,60 (Leve Refletora)	$\phi \leq 4,3$	FS _o ≤ 4,0	U ≤ 2,00 (Leve Isolada)	$\phi \leq 3,3$	FS _o ≤ 6,5	J Ventilação Cruzada	BC Aquecimento Solar + Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Z4	Médias 15% < A < 25%	Sombrear aberturas	U ≤ 2,20 (Pesada)	$\phi \geq 6,5$	FS _o ≤ 3,5	U ≤ 2,00 (Leve Isolada)	$\phi \leq 3,3$	FS _o ≤ 6,5	HJ Resfriamento Evaporativo e massa térmica + ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa	BC Aquecimento Solar + Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Z5	Médias 15% < A < 25%	Sombrear aberturas	U ≤ 3,60 (Leve Refletora)	$\phi \leq 4,3$	FS _o ≤ 4,0	U ≤ 2,00 (Leve Isolada)	$\phi \leq 3,3$	FS _o ≤ 6,5	J Ventilação Cruzada	C Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Z6	Médias 15% < A < 25%	Sombrear aberturas	U ≤ 2,20 (Pesada)	$\phi \geq 6,5$	FS _o ≤ 3,5	U ≤ 2,00 (Leve Isolada)	$\phi \leq 3,3$	FS _o ≤ 6,5	HJ Resfriamento Evaporativo e massa térmica + ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa	C Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Z7	Pequenas 10% < A < 15%	Sombrear aberturas	U ≤ 2,20 (Pesada)	$\phi \geq 6,5$	FS _o ≤ 3,5	U ≤ 2,00 (Pesada)	$\phi \geq 6,5$	FS _o ≤ 6,5	HJ Resfriamento Evaporativo e massa térmica + ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa	-
Z8	Grandes A > 40%	Sombrear aberturas	U ≤ 3,60 (Leve Refletora)	$\phi \leq 4,3$	FS _o ≤ 4,0	U ≤ 2,30 FT (Leve Refletora)	$\phi \leq 3,3$	FS _o ≤ 6,5	J Ventilação Cruzada Permanente (obs. o condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes.	-

A norma estabelece três tipos de paredes (parede leve, parede leve refletora e parede pesada) e três tipos de coberturas (cobertura leve isolada, cobertura leve refletora e cobertura pesada), classificando-as de acordo com cada zona bioclimática. Para cada tipologia de elemento construtivo foram determinados os valores limites das propriedades térmicas – o fator solar, atraso térmico e transmitância térmica [ABNT, 2005a].

A transmitância térmica [$U - (W/m^2.K)$] é uma propriedade dos componentes construtivos relacionada à fluxo de calor transmitido por unidade de área e a cada unidade de diferença de temperatura. É o inverso da resistência térmica que correlaciona com a espessura do elemento e à condutividade térmica dos seus materiais constituintes [LAMBERTS et al, 2010].

O atraso térmico [$\phi - (h)$] representa o tempo decorrido entre uma variação térmica em um meio e a sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor. Já o fator solar de elementos opacos [FS_o], indica o quociente da taxa de radiação solar transmitida através do componente opaco pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo [ABNT, 2005a].

Além disso, a norma descreve o tamanho da abertura para cada zona, sendo classificadas como pequena, média ou grande, no qual está em função da área do piso e de haver a necessidade ou não de sombreá-las.

Em relação às recomendações e diretrizes construtivas, a NBR 15220 apresenta uma tabela com o detalhamento das estratégias de condicionamento térmico passivo a fim de otimizar o desempenho térmico das edificações, onde é obtida a partir dos parâmetros e condições de cada zona bioclimática.

Apesar de fazer uma referência à habitação de interesse social, as recomendações e diretrizes da norma NBR 15220 visam a otimização do desempenho térmico das edificações, além de fomentar as estratégias bioclimáticas e as adaptações da edificação ao clima [LAMBERTS, 2010]. Com isso, e apesar de antiga, essa norma ainda se encontra em vigor servindo como base para alcançar o desempenho térmico normativo e como base para algumas descrições da norma de desempenho NBR 15575, através das prescrições e do zoneamento bioclimático.

2.2 Análise da NBR 15575 – Desempenho dos Edifícios

Com o crescimento do mercado imobiliário e da evolução tecnológica, que visa a redução de custos, a indústria da construção civil brasileira aprimorou os parâmetros de qualidade dos empreendimentos com a implantação do primeiro texto da Norma de Desempenho, no ano de 2008.

Embasada em alguns modelos internacionais de normalização de desempenho [CBIC, 2013], em 19 de julho de 2013 a NBR 15575 entra em vigor, ocasionando uma evolução nas técnicas e fundamentos, além de uma segurança jurídica ao setor da construção civil de edificações.

Essa norma foi dividida em seis partes, onde:

- Parte 1: Requisitos gerais;
- Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;
- Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas;
- Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Cada uma dessas partes apresenta os requisitos mínimos e indicadores a fim de promover a segurança, habitabilidade e sustentabilidade das edificações. Em relação a segurança, cita-se as exigências relativas ao desempenho estrutural, segurança contra incêndio e segurança no uso e na operação; já no quesito habitabilidade tem as questões sobre a funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho lumínico, estanqueidade à água e qualidade do ar. Por fim, quanto a sustentabilidade, cita-se os requisitos quanto à durabilidade, manutenibilidade e a adequação ambiental.

Com relação a todos esses requisitos, foi estipulado um nível mínimo (M) de desempenho, no qual deve ser alcançado obrigatoriamente pelos elementos de segurança, habitabilidade e sustentabilidade estabelecidos. Além desse patamar mínimo, em alguns dos elementos também constam os níveis intermediário (I) e superior (S) de desempenho, cujo não apresenta exigência normativa, servindo apenas como caráter informativo.

De acordo com a norma NBR 15575, a avaliação do desempenho térmico pode ser realizada por diferentes métodos: o método simplificado – de caráter normativo, no qual é

determinado pelo atendimento dos valores limites das propriedades térmicas (transmitância térmica e capacidade térmica das envoltórias) -; e o método normativo por simulação computacional – nos casos em que os valores dos requisitos térmicos limites sejam insatisfatórios, deve-se avaliar através de simulações computacionais de programas informáticos nos moldes do programa *EnergyPlus* que estejam dentro dos requisitos mínimos solicitados por norma [CBIC, 2013].

Além disso, existe também um terceiro procedimento de avaliação, o qual, consta em verificar o atendimento dos requisitos e dos critérios solicitados das edificações existentes ou de protótipos com medições in loco. Esse método, diferente dos outros dois, apresenta caráter unicamente informativo, e não se sobrepõe aos dois métodos citados anteriormente [CBIC, 2013].

No método simplificado os parâmetros referentes ao desempenho térmico são avaliados nas paredes de fachada e na cobertura da edificação, para que atendam aos requisitos mínimos de acordo com a zona bioclimática que está inserida. Dessa forma, por esse tipo de avaliação, a envolvente deve atingir obrigatoriamente o nível mínimo (M) e no caso de buscar-se uma classificação superior (intermediário ou superior), torna-se viável realizar a simulação detalhada [CBIC, 2013]. A Figura 3 descreve um fluxograma para os dois tipos de avaliações, os requisitos mínimos para cada componente e como aplicá-lo.

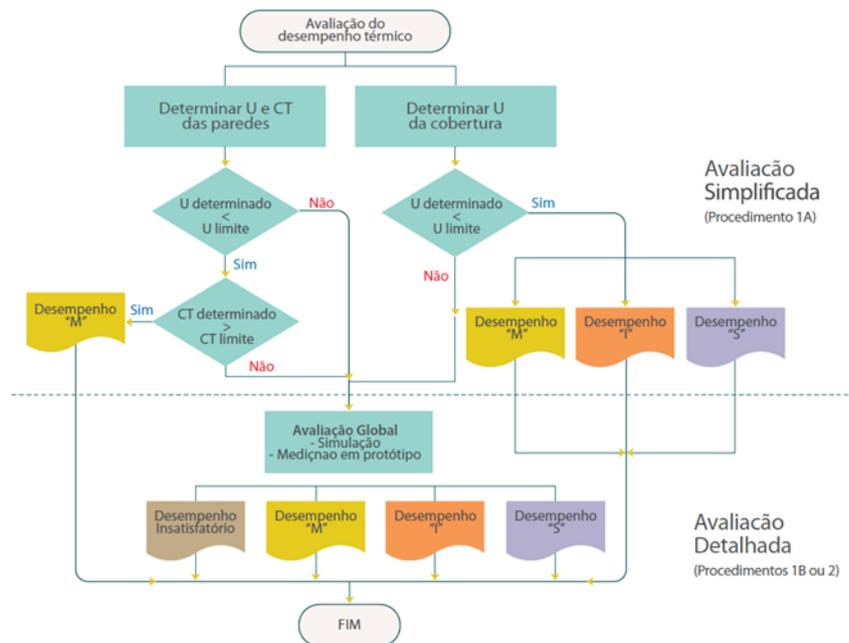


Figura 3: Métodos alternativos de avaliação do desempenho térmico [CBIC apud IPT, 2013]

Os critérios analisados no método simplificado, para as paredes externas, são a transmitância térmica (U) e a capacidade térmica (CT), enquanto que para as coberturas, analisa-se apenas a transmitância. Nesse caso, os elementos em contato com o solo e os vãos envidraçados não são quantificados nessa análise.

A Tabela 2 e Tabela 3 mostram os valores máximos admissíveis para transmitância térmica e capacidade térmica das paredes externas respectivamente. A Tabela 4 mostra os critérios máximos admissíveis para as coberturas referentes a transmitância térmica.

Tabela 2: Transmitância Térmica de paredes externas [ABNT, 2013a]

Transmitância Térmica (U) W/m². K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,7$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
^a α é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede		

Tabela 3: Capacidade térmica de paredes externas [ABNT, 2013b]

Capacidade Térmica (CT) kJ/m². K	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6, e 7
Sem exigência	≥ 130

Tabela 4: Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica [ABNT, 2013c]

Transmitância Térmica (U) W/m². K					
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8		Nível de desempenho
$U \leq 2,30$	$\alpha^{1)} \leq 0,6$	$\alpha^{1)} > 0,6$	$\alpha^{1)} \leq 0,4$	$\alpha^{1)} > 0,4$	M (Mínimo)
	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,3$ FV	$U \leq 1,5$ FV	
$U \leq 1,5$	$\alpha^{1)} \leq 0,6$	$\alpha^{1)} > 0,6$	$\alpha^{1)} \leq 0,4$	$\alpha^{1)} > 0,4$	I (Intermediário)
	$U \leq 1,5$	$U \leq 1,0$	$U \leq 1,5$ FV	$U \leq 1,0$ FV	
$U \leq 1,0$	$\alpha^{1)} \leq 0,6$	$\alpha^{1)} > 0,6$	$\alpha^{1)} \leq 0,4$	$\alpha^{1)} > 0,4$	S (Superior)
	$U \leq 1,0$	$U \leq 0,5$	$U \leq 1,0$ FV	$U \leq 0,5$ FV	

α é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede

1) Na zona bioclimática 8 também estão atendidas coberturas componentes de telhas cerâmicas mesmo que a cobertura não tenha forro.

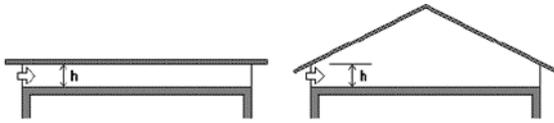
NOTA: O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-2

$$FV = 1,17 - 1,07 \cdot h^{-1,04}$$

FV = Fator de ventilação

h = altura da abertura em dois beirais opostos (cm)

Obs.: Para coberturas sem forro ou com áticos não ventilados, FV = 1.



Além desses requisitos, existe também um critério mínimo referente as aberturas nas fachadas, a fim de promover a ventilação interna dos ambientes no qual, sua aplicação está limitada aos ambientes de longa permanência, ou seja, as salas e dormitórios. À princípio as aberturas desses ambientes devem atender à legislação específica dos Códigos de Obras e dos Códigos Sanitários do local da obra. Caso, não haja exigências dessa ordem, as aberturas devem seguir os valores definidos na Tabela 5, que detalha os requisitos mínimos de aberturas para ventilação referente a cada zona bioclimática de acordo com a norma NBR 15575 [ABNT, 2013a].

Tabela 5: Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar [ABNT, 2013b]

Nível de desempenho	Aberturas para ventilação (A)	
	Zonas 1 a 7 - Aberturas médias	Zona 8 - Aberturas grandes
Mínimo	$A \geq 7\%$ da área do piso	$A \geq 12\%$ da área do piso - Região Norte do Brasil $A \geq 8\%$ da área do piso - Região Nordeste e Sudeste do Brasil
NOTA: Nas zonas de 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período frio.		

O método de avaliação para cada ambiente de permanência prolongada é referenciado pela análise do projeto arquitetônico, através da seguinte relação expressa na equação (1), onde, A_A é a área efetiva de abertura de ventilação do ambiente, sendo consideradas apenas as aberturas que permitam a livre circulação do ar e A_P é a área do piso do ambiente.

$$A = 100 \cdot (A_A/A_P) (\%) \quad (1)$$

Caso a edificação avaliada não cumpra com as exigências mínimas propostas pelo método simplificado, torna-se viável a análise pelo método detalhado. Dessa forma, as simulações devem ser realizadas em programas informáticos que sejam validados pela ASHRAE Standard 140 e que adequem as características básicas, conforme detalhado na Figura 4 [CBIC,2013].

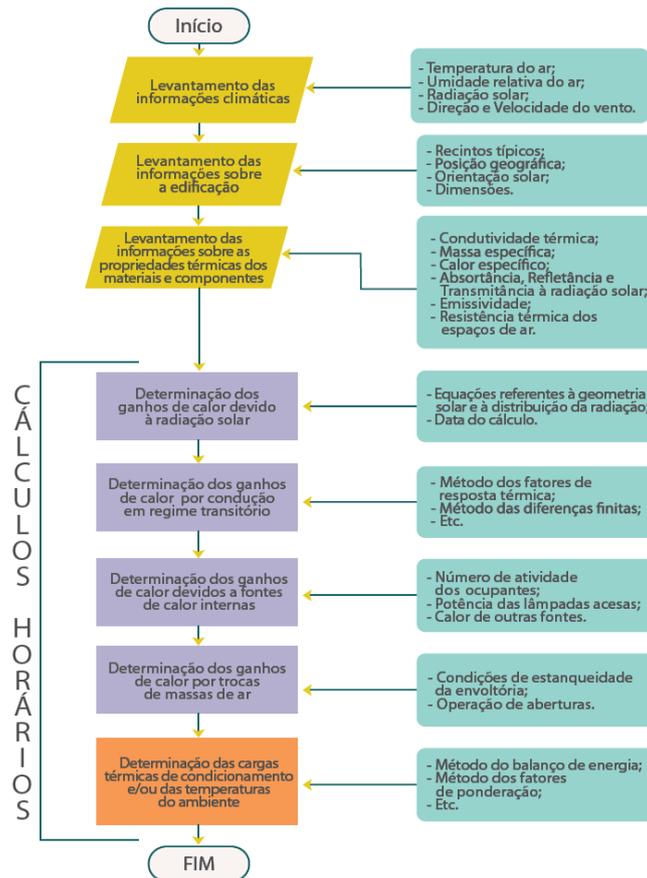


Figura 4: Características necessárias para softwares de avaliação do desempenho térmico [CBIC apud IPT, 2013]

Com relação à geometria para a simulação deve-se considerar a unidade habitacional como um todo e cada ambiente como uma zona térmica, além de inserir todas as outras características construtivas, como dimensões aberturas, em planta e de pé-direito, tipos de portas e janelas, assim como materiais [ABNT, 2013a].

A localização geográfica da edificação deve ser referenciada segundo o anexo da NBR 15575, o qual contém dados climáticos correspondente aos dias de verão e de inverno de algumas cidades. Caso a cidade não esteja inserida no anexo da norma, aconselha-se

utilizar os dados de uma cidade semelhante inserida no mesmo zoneamento bioclimático, conforme proposto na ABNT NBR 15220-3.

Com relação a simulação, devem ser considerados todos ambientes da edificação e as trocas térmicas entre os seus ambientes, porém, a avaliação e análise dos resultados é realizada para os ambientes de longa permanência. No caso de conjuntos habitacionais térreos, deve ser selecionada uma unidade habitacional com o maior número de paredes expostas e para edifícios de multiuso deve-se selecionar uma unidade do último andar, com cobertura exposta [ABNT, 2013a].

Como para edificações isoladas, conjuntos habitacionais e edifícios multiuso, os dados de entrada a serem inseridos são os dados climáticos e construtivos, a orientação, taxa de ventilação, absorvência à radiação solar e obstrução por sombreamento da edificação, desconsiderando a obstrução do entorno [ABNT, 2013a].

Para a orientação, os dados devem ser inseridos conforme a implantação. No caso de a orientação não estar definida, deve-se simular para a localização geográfica mais crítica do ponto de vista térmico. Em consequência, recomenda-se que: para o verão, a janela do espaço de longa permanência esteja voltada para oeste e a outra parede exposta voltada para o norte. Caso não seja possível, o ambiente deve ter pelo menos, uma janela voltada para o oeste; e para o inverno, a janela do cômodo de longa permanência voltada para o sul e a outra parede exposta voltada para o leste. Caso não seja possível, o ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada para sul [ABNT, 2013a].

Em relação a taxa de renovação de ar, deve ser considerada uma taxa de 1 ren/h, ou seja, uma renovação de ar por hora do ambiente. Nessa condição de ventilação, deve-se considerar que a edificação não possui nenhuma proteção da abertura de janela contra a entrada de radiação solar [CBIC, 2013].

Segundo a NBR 15575-1, a absorvência à radiação solar das superfícies expostas é definida conforme a sua cor e características. Para a cobertura, inserir o valor do material especificado em projeto; e para a parede, determinar o valor da absorvência à radiação solar correspondente à cor definida no projeto. Caso isto não esteja definida em projeto, deve-se simular para três alternativas de cor, ou seja, cor clara ($\alpha = 0,3$), cor média ($\alpha = 0,5$) e cor escura ($\alpha = 0,7$).

Com relação a obstrução no entorno, desconsiderar a presença de elementos que alterem a incidência de sol e/ou vento na edificação, ou seja, as paredes e janelas expostas totalmente desobstruídas. Por outro lado, a obstrução por elementos construtivos previstos

em projeto, por exemplo, brises, marquises, beirais, devem ser consideradas na simulação [ABNT, 2013a].

Se a unidade habitacional não atender aos critérios estabelecidos para o verão, através dos dados de entradas propostos, deve simular novamente com alterações referentes à ventilação ou sombreamento.

Caso se opte por alterar a ventilação, deve-se configurar a taxa de renovação de ar para 5,0 ren/h e janelas sem sombreamento [ABNT, 2013a]. Enquanto que ao optar-se por alterar o sombreamento, deve ser aplicada uma proteção solar externa ou interna que tenha capacidade de reduzir 50 % da radiação solar direta na janela e manter a taxa de uma renovação de ar por hora (1,0 ren/h).

Também existe a opção de combinar-se as duas estratégias na simulação, ou seja, simular com a taxa de renovação de ar de 5,0 ren/h e com o dispositivo de proteção [ABNT, 2013a].

Esses dados de entrada devem ser utilizados na simulação a fim de atingir o requisito de desempenho mínimo (M). No verão, nos ambientes de longa permanência, como salas e dormitórios, a temperatura diária interior deve ser menor ou igual a temperatura exterior, isso, desconsiderando a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas e equipamentos no geral). A Tabela 6 detalha o valor mínimo para cada zona, além das recomendações para um maior conforto, com os níveis intermediário (I) e superior (S) [ABNT, 2013a].

Tabela 6: Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão [ABNT, 2013a]

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M (Mínimo)	$T_{i, \max} \leq T_{e, \max}$	$T_{i, \max} \leq T_{e, \max}$
I (Intermediário)	$T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 1^{\circ}\text{C})$
S (Superior)	$T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 2^{\circ}\text{C})$ e $T_{i, \min} \leq (T_{e, \min} + 1^{\circ}\text{C})$
<p>$T_{i, \max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;</p> <p>$T_{e, \max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;</p> <p>$T_{i, \min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;</p> <p>$T_{e, \min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;</p> <p>NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

As condições de inverno são analisadas apenas nas zonas de 1 a 5, tendo como requisito mínimo uma temperatura diária do ar interior nos ambientes com permanência prolongada, (salas e dormitórios), maiores ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3°C. Para as zonas 6, 7 e 8 as condições de inverno não são analisadas devido essas regiões não apresentarem necessidade de aquecimento da edificação.

A Tabela 7 detalha o valor mínimo para cada zona, além das recomendações para maior conforto, com os níveis intermediário (I) e superior (S) [ABNT, 2013a].

Tabela 7: Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno [ABNT, 2013a]

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 5	Zona 6, 7 e 8
M (Mínimo)	$T_{i, \min} \geq (T_{e, \min} + 3^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I (Intermediário)	$T_{i, \min} \geq (T_{e, \min} + 5^{\circ}\text{C})$	
S (Superior)	$T_{i, \min} \geq (T_{e, \min} + 7^{\circ}\text{C})$	
<p>$T_{i, \min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;</p> <p>$T_{e, \min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;</p> <p>NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

Segundo as recomendações dos comitês que integram a ABNT, torna-se viável que o conteúdo de suas Normas Brasileiras sofra por uma Análise Sistemática, ou seja, a cada cinco anos da sua publicação, ou última confirmação a norma passa por uma revisão de conteúdo [ABNT, s.a]. Dessa forma, como já passaram cinco anos desde da entrada em vigor da norma de desempenho NBR 15575, alguns debates e processos de revisão estão em execução pela Comissão de Estudo CE-002:136.001.

Além da NBR 15575, o Brasil apresenta também outro indicador regulamentar, o Relatório Técnico da Qualidade – Residencial (RTQ-R), que analisa o desempenho energético da edificação residencial.

2.3 Análise da Relatório Técnico de Qualidade - RTQ – R

Para atender o compromisso da Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001 e o Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001, criou-se o Relatório Técnico de Qualidade

(RTQ – R) através da Portaria n.º 499, de 25 de novembro de 2010. Em 2012, o Relatório foi revisado e emitido pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, através do INMETRO, a partir da Portaria n.º 18, de 16 de janeiro de 2012 [INMETRO, 2012a].

Este regulamento contém os requisitos necessários para a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que classifica o nível de eficiência energética das edificações residenciais entre A (mais eficiente) a E (menos eficiente). A etiquetagem está enquadrada dentro do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), o qual para edificações é designado como ‘PBE Edifica’, enquadrando edifícios comerciais, de serviços e públicos e edificações residenciais [INMETRO, 2012a]. Atualmente, esse processo é obrigatório apenas para edificações públicas, sendo opcional para as demais edificações.

Com essas etiquetas os edifícios comprovam uma economia de energia para os casos de melhor desempenho. Segundo Lamberts, “Comparação entre os consumos apontaram uma economia média de energia entre os modelos de referência nível D e A de aproximadamente 26%, variando entre 21% a 34% conforme a edificação e a zona bioclimática”. No Brasil, a obtenção da etiqueta é realizada por um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA), o qual até o ano de 2016, emitiu 102 etiquetas referentes a projetos e 70 etiquetas de edificação construída [LAMBERTS, s.a].

O principal objetivo da etiquetagem é avaliar a eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares, através de requisitos técnicos, assim como métodos que se enquadrem dentro das normas da ABNT, além de divulgar essa informação e a classificação para auxiliar a escolha do consumidor [INMETRO, 2012a].

Para as edificações residenciais, existem três tipos de etiquetas: a ENCE das unidades de habitacionais autônomas, a ENCE das edificações multifamiliares e a ENCE para as áreas de uso comum.

A avaliação é realizada durante a fase de projeto e/ou com a edificação já construída. Caso a etiqueta tenha sido avaliada na fase de projeto, deve ser realizada uma nova avaliação após o término da construção, validando a etiqueta de edificação construída.

O processo avaliativo difere em função de cada etiqueta e podem ser realizados através do método prescritivo, com equações, tabelas e parâmetros limites, ou pelo método de simulação computacional, onde o desempenho do edifício é comparado como o nível de

eficiência e com o desempenho de edifícios de referência. As abordagens destes dois métodos foram detalhadas no decorrer do capítulo.

Para as unidades habitacionais autônomas, os requisitos avaliados são: o desempenho da envolvente para o verão, para o inverno e o sistema de aquecimento de água. Estas três avaliações, são ponderadas de acordo com a região onde se insere a edificação avaliada, ou seja, a zona bioclimática de acordo com a divisão estabelecida pela ABNT NBR 155220-3. Com isso, uma pontuação numérica é gerada e convertida em uma classificação que varia de A (mais eficiente) à E (menos eficiente) [INMETRO, 2012a].

Na etiqueta consta a identificação geral da edificação, a avaliação geral do desempenho da edificação, e as avaliações da envolvente para o inverno e o verão, além da indicação ao atendimento aos pré-requisitos gerais, da pontuação obtida pelas bonificações e da classificação da envoltória, caso climatizada artificialmente. A Figura 5 demonstra a etiqueta para unidades habitacionais autônomas e os requisitos avaliados [INMETRO, 2012a].



Figura 5: Exemplo de etiqueta para Unidade Habitacional Autônoma [INMETRO, 2013]

Para as edificações multifamiliares, a classificação é obtida através da ponderação do valor de todas as unidades habitacionais autônomas que compõe a edificação pela sua área útil. Com isso, na etiqueta, deve constar a quantidade de unidades que obtiveram cada nível de eficiência, conforme demonstra na Figura 6 [INMETRO, 2012a].

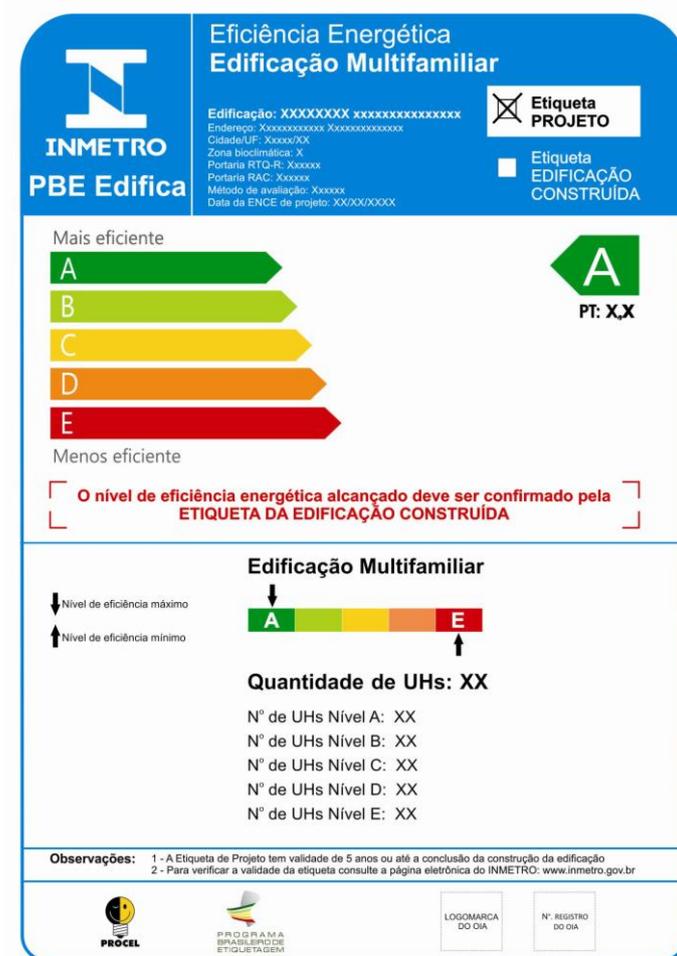


Figura 6: Exemplo de etiqueta para Edificações Multifamiliares [INMETRO, 2013]

Nas áreas comuns analisa-se a eficiência energética para os sistemas individuais, através da ponderação dos valores relativos à iluminação artificial, sistema de aquecimento de água, dos elevadores, das bombas centrífugas, dos equipamentos, além das eventuais bonificações. A Figura 7 demonstra a etiqueta para a área de uso comum e os quesitos avaliados [INMETRO, 2012a].

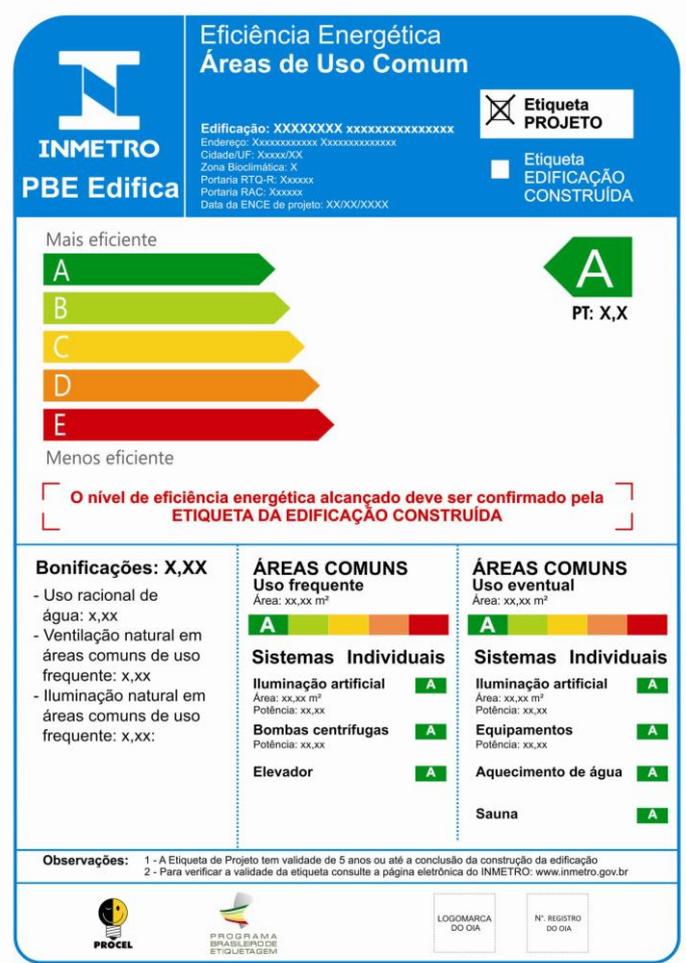


Figura 7: Exemplo de etiqueta para Áreas de Uso Comum [INMETRO, 2013]

A avaliação do nível de eficiência difere para cada categoria da unidade habitacional (autônoma e multifamiliar) e áreas de uso comum (frequente e eventual), onde podem ser calculados através do método prescritivo e do método de simulação.

2.3.1 Método Prescritivo

O método prescritivo é um procedimento analítico, que utiliza equações, tabelas, parâmetros e requisitos pré-estabelecidos, a fim de obter uma pontuação que determina o nível de eficiência da edificação através do cálculo da envoltória, de aquecimento de água e as possíveis bonificações.

A pontuação numérica total para a unidade habitacional autônoma é o resultado da distribuição das parcelas expressa na equação (2), sendo que o valor do coeficiente ‘a’ é definido de acordo com a região geográfica na qual a edificação está localizada (Tabela 8).

O nível geral da eficiência é classificado conforme a pontuação em escala, de acordo com a Tabela 9 [INMETRO, 2012a].

$$PT_{UH} = (a \times EqNumEnv) + [(1 - a) \times EqNumAA] + Bonificações \quad (2)$$

Onde:

PT_{UH} : pontuação total do nível de eficiência da unidade habitacional autônoma

a : coeficiente adotado de acordo com a região geográfica

$EqNumEnv$: Equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória

$EqNumAA$: Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água

$Bonificações$: Pontuação atribuída a iniciativas que aumentam a eficiência da edificação

Tabela 8: Coeficiente adotado de acordo com a região geográfica [INMETRO, 2012a]

Coeficiente	Região Geográfica				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
a	0,95	0,90	0,65	0,65	0,65

Tabela 9: Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida [INMETRO, 2012a]

Pontuação (PT)	Nível de Eficiência
$PT \geq 4,5$	A
$3,5 \leq PT < 4,5$	B
$2,5 \leq PT < 3,5$	C
$1,5 \leq PT < 2,5$	D
$PT < 1,5$	E

Para determinar o equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória, deve-se verificar os pré-requisitos da envoltória separadamente de acordo com cada ambiente de permanência prolongada que compõe a residência (dormitórios, sala de estar, sala de jantar, escritórios e similares) [INMETRO, 2012a]).

Os pré-requisitos específicos da envoltória são relativos a transmitância térmica, capacidade térmica e absortância solar das superfícies, além da ventilação e iluminação natural. Cada elemento deve seguir as normas da ABNT de acordo com a zona bioclimática onde a construção será inserida [INMETRO, 2012a].

A equação que define o equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória varia de acordo com a zona bioclimática inserida, que também afeta os valores do equivalente numérico da envoltória para resfriamento e aquecimento ($EqNumEnv_{Resfr}$ e $EqNumEnv_A$). O equivalente numérico para as zonas bioclimáticas 01, 02, 03 e 04 é obtido através das equações (3), (4), (5) e (6) respectivamente. Como as zonas 05 a 08 não necessitam de aquecimento, o equivalente numérico depende apenas da parcela referente ao resfriamento, conforme detalha a equação (7) [INMETRO, 2012a].

$$EqNumEnv = 0,08 \times EqNumEnv_{Resfr} + 0,92 \times EqNumEnv_A \quad (3)$$

$$EqNumEnv = 0,44 \times EqNumEnv_{Resfr} + 0,56 \times EqNumEnv_A \quad (4)$$

$$EqNumEnv = 0,64 \times EqNumEnv_{Resfr} + 0,36 \times EqNumEnv_A \quad (5)$$

$$EqNumEnv = 0,68 \times EqNumEnv_{Resfr} + 0,32 \times EqNumEnv_A \quad (6)$$

$$EqNumEnv = EqNumEnv_{Resfr} \quad (7)$$

O cálculo do $EqNumEnv_{Resfr}$ e do $EqNumEnv_A$ é definido através dos equivalentes numéricos da envoltória para cada ambiente de longa permanência ($EqNumEnvAmb_{Resfr}$ e $EqNumEnvAmb_A$) ponderados por suas respectivas áreas úteis [INMETRO, 2012a].

Os valores de $EqNumEnvAmb_{Resfr}$ são definidos através do indicador de graus hora para resfriamento (GH_R) e para obter o $EqNumEnvAmb_A$ é necessário o consumo relativo para aquecimento (C_A). Esses dois indicadores são calculados através de equações e tabelas, referente a zona bioclimática inserida, sendo simplificado pela planilha elaborada pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). A Figura 8 simplifica as parcelas necessárias para compor o $EqNumEnv$ [INMETRO, 2012a].

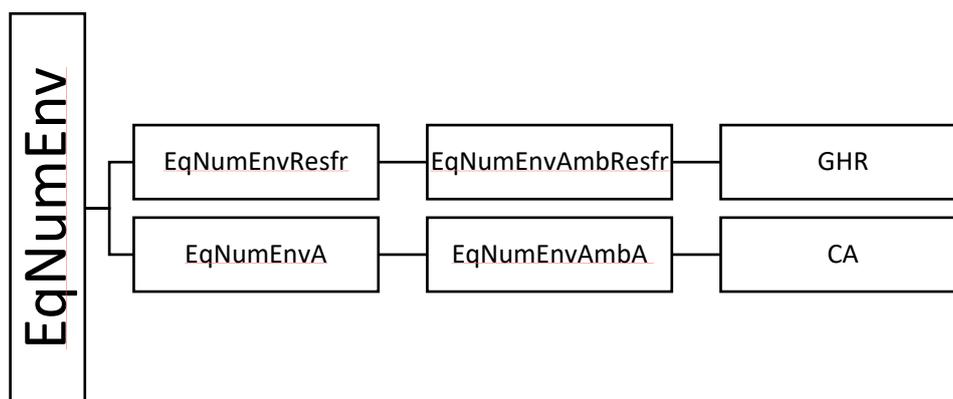


Figura 8: Parcelas que compõe o equivalente numérico da envoltória

Existe também a parcela para determinação da eficiência da envoltória quando condicionada artificialmente ($EqNumEnv_{Refrig}$) que tem caráter informativo e pode integrar a parcela de bonificações, sendo que esta deve ser calculada apenas quando se obtém o nível máximo. O cálculo do nível de eficiência é similar aos outros equivalentes numéricos da envoltória, porém o indicador calculado é o consumo relativo anual para refrigeração (C_R) [INMETRO, 2012a].

A eficiência do aquecimento de água ($EqNumAA$) é calculada de acordo com o modelo instalado que são os sistemas de aquecimento solar, a gás, bombas de calor, elétrico, caldeiras a óleo e sistemas mistos. São definidos pré-requisitos gerais referente às tubulações e ao reservatório, além dos pré-requisitos específicos conforme o sistema de aquecimento selecionado [INMETRO, 2012a].

As tubulações para água quente devem seguir as normas técnicas aplicáveis e para atingir a eficiência com níveis A e B, as tubulações não metálicas com condutividade entre 0,032 e 0,040 W/m. K para água quente devem possuir 1,0 cm de isolamento independente do diâmetro nominal. Já as não metálicas, com condutividade entre 0,032 e 0,040 W/m.K devem possuir um isolamento de 1,0 cm para tubulações com diâmetro nominal menor que 40 mm e isolamento de 2,5 cm para tubulações com diâmetro nominal maior ou igual a 40 mm. Para condutividades que estejam fora desse parâmetro é calculada uma nova espessura mínima [INMETRO, 2012a].

Os reservatórios de água quente instalados em sistemas, com exceção do sistema de aquecimento solar, devem-se obter uma resistência térmica mínima de 2,20 (m². K) /W [INMETRO, 2012a].

Caso não exista sistema de aquecimento de água na unidade habitacional, para as regiões Norte e Nordeste o equivalente numérico de aquecimento de água é igual a 2 e para as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, o equivalente numérico de aquecimento de água é igual a 1 [INMETRO, 2012a].

As bonificações são quantificadas a partir das iniciativas que aumentam a eficiência energética da unidade habitacional. A pontuação final é dada pelo equação (8) através do somatório de cada parcela, que são referentes a: ventilação natural (*b1*), iluminação natural (*b2*), uso racional de água (*b3*), condicionamento artificial de ar (*b4*), iluminação artificial (*b5*), ventiladores de teto (*b6*), refrigeradores instalados na habitação (*b7*) e medição individualizada (*b8*).

$$\text{Bonificações} = b1 + b2 + b3 + b4 + b5 + b6 + b7 + b8 \quad (8)$$

O somatório das bonificações pode alcançar uma pontuação de no máximo 1 ponto, onde para cada parcela existe uma pontuação máxima, requisitos mínimos estabelecidos e métodos de cálculos específicos [INMETRO, 2012a].

A Figura 9 demonstra, de modo simplificado, as parcelas que compõe a pontuação total do nível de eficiência da unidade habitacional autônoma e seus métodos [INMETRO, 2012a].

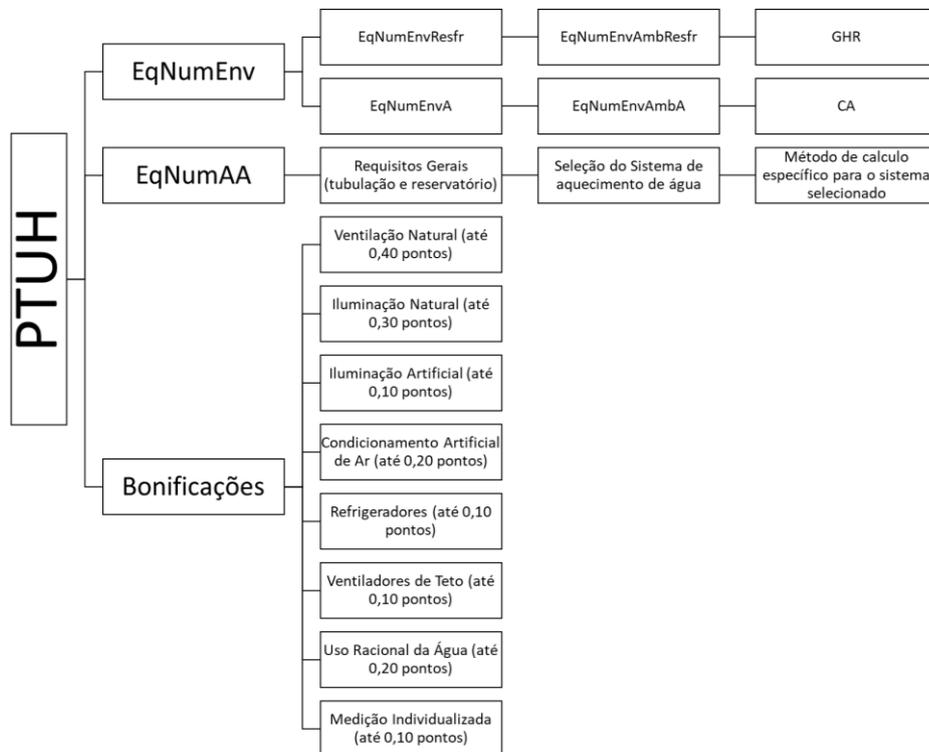


Figura 9: Organograma do PTUH

Caso a unidade habitacional apresente características que não se adequem ao método prescritivo, recomenda-se a análise através do método de simulação computacional [INMETRO, 2012a].

2.3.2 Método de Simulação Computacional

O método de simulação computacional consiste em comparar o desempenho do edifício em questão, com os valores de referência para cada zona bioclimática a partir das tabelas de classificação dos níveis de eficiência energética. Nesse caso, deve simular a edificação para duas condições, quando ventilada naturalmente e quando condicionada artificialmente [INMETRO, 2012a].

A eficiência desse método é medida através da comparação do desempenho da edificação com os valores de referência das tabelas de classificação dos níveis de eficiência contidos do Relatório [INMETRO, 2012a].

No quesito da envoltória deve-se realizar uma simulação para a edificação quando ventilada naturalmente e outra para quando condicionada artificialmente, atendendo aos pré-requisitos de iluminação e ventilação natural, além dos pré-requisitos específicos relacionado com o programa de simulação e o arquivo climático. Para os arquivos climáticos, pode-se utilizar a base de dados disponibilizada pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos ou os arquivos climáticos publicados no site do Procel [INMETRO, 2012a].

Para a determinação da eficiência quando ventilada naturalmente, deve-se calcular o indicador GH_R dos ambientes de permanência prolongada e comparar com os valores expressos nas tabelas de acordo com margem para cada nível de eficiência. A equação (9) descreve a metodologia de cálculo da temperatura operativa horária (T_o) para assim calcular o GH_R , equação (10), que possui como temperatura base de 26°C [INMETRO, 2012a].

$$T_o = A \times T_a + (1 - A) \times T_r \quad (9)$$

Onde:

T_o : Temperatura operativa horária (°C)

T_a : Temperatura do ar no ambiente (°C)

T_r : Temperatura radiante média (°C)

A: Constante que varia com a velocidade do ar no ambiente (V_{ar} , em m/s) conforme:

$A = 0,5$ para $V_{ar} \leq 0,2$ m/s

$A = 0,6$ para $0,2$ m/s $< V_{ar} \leq 0,6$ m/s

$A = 0,7$ para $0,6$ m/s $< V_{ar} \leq 1,0$ m/s

Observação: Caso não haja dados sobre a velocidade do ar no ambiente, considera o coeficiente $A = 0,5$.

$$GH_R = \sum(T_o - 26^\circ C) \quad (10)$$

Além do indicador GH_R , as condições para a simulação quando ventilada naturalmente, são os quesitos referentes ao padrão de ocupação, padrão de uso da iluminação, cargas internas dos equipamentos e temperatura do solo. Esses requisitos apresentam tabelas com os valores já pré-determinados pelo RTQ-R [INMETRO, 2012a].

Já para a determinação da eficiência quando condicionada artificialmente, deve-se analisar os consumos relativos ao aquecimento e resfriamento (C_A e C_R , respectivamente) e comparar com os níveis de eficiência tabelados [INMETRO, 2012a].

O cálculo desses consumos deve seguir os pré-requisitos para o dimensionamento do sistema de condicionamento artificial, conforme cita o Relatório, e ser efetuado para o período das 21h às 8h, sendo que o restante das horas (9h às 20h) a edificação deve ser considerada como ventilada naturalmente. Além disso, a modelagem deve ser baseada na temperatura do termostato de $24^\circ C$ para resfriamento e de $22^\circ C$ para aquecimento, cujo o consumo relativo para aquecimento só é referente as zonas bioclimáticas de 1 a 4 [INMETRO, 2012a].

Para a parcela de aquecimento de água, a avaliação é realizada apenas através do método prescritivo, com exceção dos sistemas de aquecimento solar. Esse modelo de aquecimento pode ser simulado através da metodologia “Carta F-Chart, ou similares, ou seja, na análise do sistema, obtém-se como resultado a fração solar para o aquecimento anual e assim compara-se com os valores tabelados de classificação de eficiência de aquecimento solar [INMETRO, 2012a].

A bonificação de iluminação natural pode ser analisada pelo método de simulação, através de programas específicos que comprovem a quantidade mínima de iluminância (em lux) para cada ambiente analisado. Além disso, as parcelas que compõe a bonificação, e que não atenderem aos pré-requisitos expostos pelo método prescritivo devem ser analisadas através do processo de simulação [INMETRO, 2012a].

De certa forma, o método por simulação corresponde a um auxiliar do método prescritivo, já que existem alguns componentes que não podem ser são analisados por simulações os quais, para a obtenção da classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida deve ser realizada uma análise através do método prescritivo.

2.4 Análise do REH

Em Portugal, a legislação referente ao conforto térmico e as necessidades energéticas dos edifícios de habitação é dada pelo Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH).

Através da reformulação e atualização das metodologias e requisitos do antigo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) com base no Decreto-Lei n.º 80/2006, o REH entrou em vigor em dezembro de 2013, fundamentado no Decreto-Lei n.º 118/2013 e acompanhado de algumas Portarias e Despachos que definem parâmetros e metodologia de cálculo a utilizar.

O REH é uma política obrigatória que está enquadrada no Sistema de Certificação Energética (SCE) e estabelece os requisitos parâmetros e metodologias para a caracterização do desempenho energético dos edifícios de habitação.

A classificação pode ser obtida através do método normativo. O cálculo baseia-se no método sazonal em regime permanente, onde é feita uma análise das necessidades de aquecimento e arrefecimento, que considera o edifício como uma única zona e que apresenta as mesmas condições interiores de referência.

De acordo com o Despacho n.º 15793-J/2013 a classificação energética determinada pelo REH é dada pela razão (R_{Nt}), expressa na equação (11), entre o valor correspondente as necessidades nominais anuais de energia primária (N_{tc}) e o valor de referência para as necessidades nominais anuais de energia primária (N_t).

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (11)$$

O resultado obtido corresponde a uma classe energética conforme a Tabela 10 de acordo com o valor do R_{Nt} .

Tabela 10: Intervalos de valor de R_{Nt} para a determinação da classe energética em pré-certificados [Despacho 15793-J/2013]

CLASSE ENERGÉTICA	VALOR DE R_{Nt}
A +	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{Nt} \leq 0,75$
B -	$0,76 \leq R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} \geq 2,51$

Segundo o Despacho nº 15793-I/2013 do REH, o cálculo das necessidades nominais de energia primária (N_{tc}), é determinado pela soma das parcelas de necessidades específicas, ou seja, de aquecimento (N_{ic}), arrefecimento (N_{vc}), produção de água quente sanitária; (Q_a/A_p) e ventilação mecânica (W_{vm}/A_p) e subtraídas pela contribuição de possíveis fontes de energias renováveis ($E_{ren,p}/A_p$). O resultado é expresso em kWh EP/ (m². ano), através da seguinte equação (12):

$$\begin{aligned}
 N_{tc} = & \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} \\
 & + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} \\
 & + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a/A_p}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \cdot F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p}
 \end{aligned} \tag{12}$$

Onde:

- N_{ic} - Necessidades de energia útil para aquecimento, supridas pelo sistema k [kWh/ (m². ano)]
- $f_{i,k}$ - Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k
- N_{vc} - Necessidades de energia útil para arrefecimento, supridas pelo sistema k [kWh/ (m². ano)]
- $f_{v,k}$ - Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k

Q_a	- Necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema k [kWh/ano]
$f_{a,k}$	- Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS supridas pelo sistema k
η_k	- Eficiência do sistema k , que toma o valor de 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável, à exceção de sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser usada a eficiência do sistema de queima.
j	- Todas as fontes de energia incluindo as de origem renovável
p	- Fontes de origem renovável
$E_{ren,p}$	- Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p , [kWh/ano], incluindo apenas energia consumida
W_{vm}	- Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores, [kWh/ano]
A_p	- Área interior útil de pavimento [m ²]
$F_{pu,j}$ e $F_{pu,p}$	- Fator de conversão de energia útil para energia primária, [kWhEP/kWh]
δ	- Igual a 1, exceto para o uso de arrefecimento (N_{vc}) em que pode tomar o valor 0 sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo fator de referência, o que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado.

Para o cálculo das necessidades nominais anuais de energia primária de referência (N_t), deve-se admitir a inexistência de sistemas de energias renováveis e de consumos de energia referentes à ventilação mecânica. Dessa forma, a expressão torna-se similar à equação do cálculo do N_{tc} , excluindo apenas as parcelas referentes aos elementos não contabilizados e utilizando os valores referência para os parâmetros térmicos que compõe a equação.

3 ESTUDO DE CASO: SIMULAÇÃO NO SOFTWARE DESIGN BUILDER

O capítulo anterior descreveu as metodologias das regulamentações brasileiras e portuguesas, e suas abordagens, para que aplicação dos objetivos do estudo de caso.

O estudo de caso consiste numa residência com padrões construtivos pré-definidos, para a qual realizou-se uma análise dos resultados obtidos através da aplicação: i) do método simplificado da norma brasileira NBR 15575; ii) do método prescritivo do RTQ-R para três cidades brasileiras; iii) do método prescritivo do REH para uma cidade portuguesa; iv) do programa informático *Design Builder* que permite simulações de comportamento térmico.

No caso da norma de desempenho térmico ABNT NBR 15220, a análise de resultados foi desconsiderada, pois a norma de desempenho mais atual NBR 15575 é baseada nos valores de transmitância e capacidade térmica da NBR 15220.

O *Design Builder* exerce a função de indicador comum para a considerações das regulamentações, através da proximidade de valores e identificação dos elementos que influenciam no desempenho térmico. Com os resultados desses métodos, pode-se analisar os resultados e identificar as divergências entre a sua aplicação, destacando as estratégias e metodologias presentes na regulamentação portuguesa que possam contribuir para a melhoria do desempenho térmico das construções no Brasil.

3.1 Análise sintética do estudo de caso

O estudo de caso trata-se de uma residência de médio padrão, com os requisitos do Programa Minha Casa Minha Vida para três zonas bioclimáticas distintas do Brasil. As cidades brasileiras escolhidas para a simulação foram a cidade de Porto Alegre, localizada na zona bioclimática 03, Brasília, localizada na zona bioclimática 04 e Maceió, localizada na zona bioclimática 08 e para a cidade de Coimbra em Portugal.

O programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) é um projeto do Governo Federal que financia a aquisição de unidades habitacionais próprias para famílias de baixa renda. Segundo a Portaria 269 de 22 de março de 2017, as casas desse programa têm como requisitos mínimos dois dormitórios, sala de estar/jantar, cozinha, banheiro e circulação. A área mínima da residência deve ser de 36,00m² se a área de serviço for externa, ou de 38,00m² se a área de serviço for interna.

A seleção dessas cidades deu-se devido ao fato do comportamento climático de cada uma delas ser distintos. Porto Alegre encontra-se na região Sul do Brasil, local que

apresenta inverno e verão. Já Brasília localizado no Centro-Oeste, apresenta um clima tropical, com alta amplitude térmica e forte influência de seca, ao contrário de Maceió que, praticamente, existe apenas a estação de verão sob a forte influência da humidade oceânica e lagunar. A Figura 10 descreve o posicionamento geográfico dessas cidades em seus respectivos estados e regiões do território brasileiro.

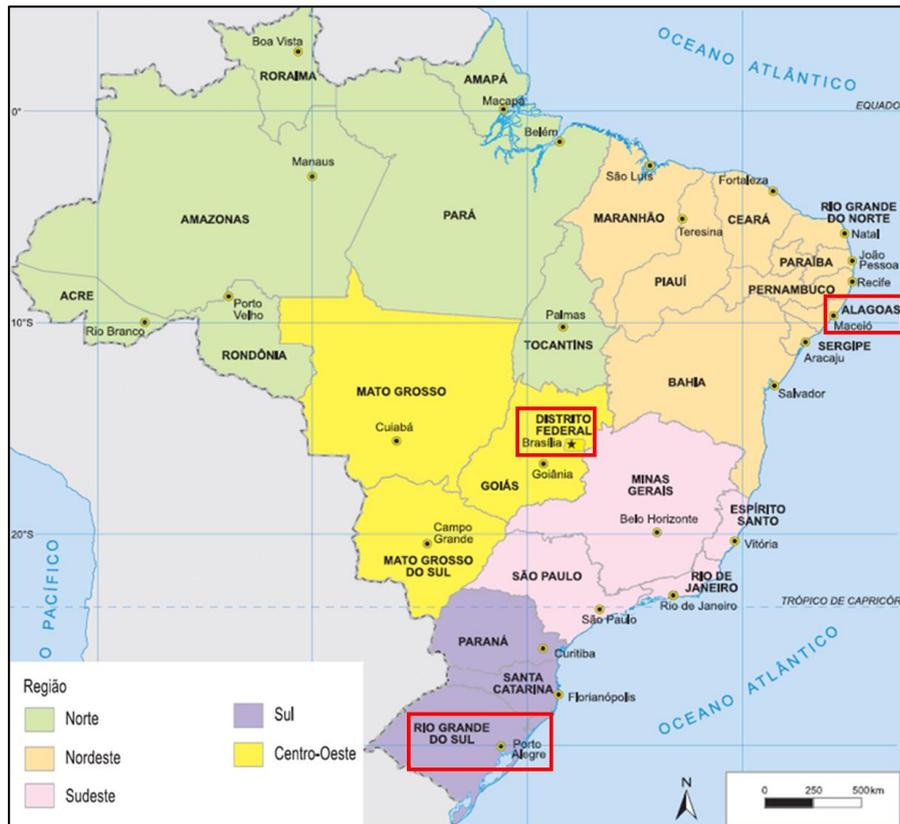


Figura 10: Posicionamento geográfico das cidades selecionadas [IBGE, s.a]

A análise foi realizada para o projeto de uma residência unifamiliar de médio padrão e com área construída de 49,45m². A edificação possui uma suíte, um quarto, um banheiro, uma cozinha e uma área de serviço conforme detalha a Figura 11, sendo que os ambientes apresentam áreas indicadas na Tabela 11.

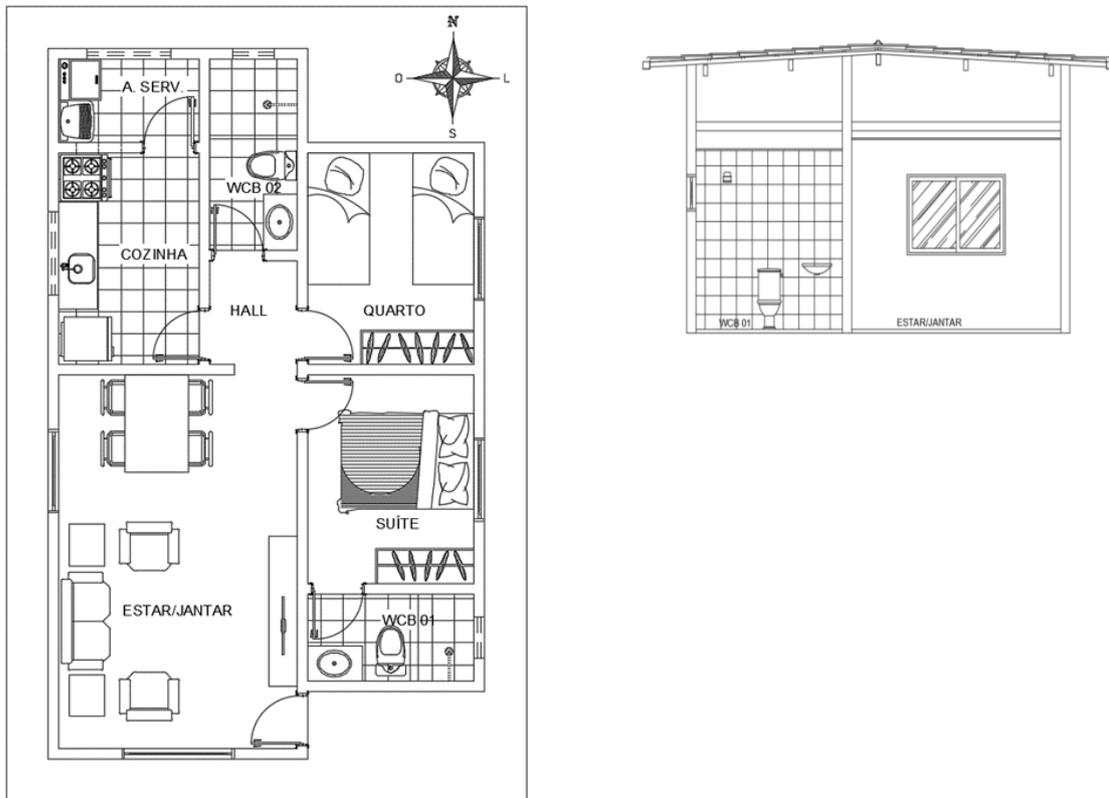


Figura 11: Projeto arquitetônico e planta de corte do estudo de caso

Tabela 11: Áreas dos ambientes da residência

AMBIENTE	ÁREA
SALA DE ESTAR/ JANTAR	18,25 m ²
SUÍTE	7,14 m ²
QUARTO	7,25 m ²
WCB 01	2,97 m ²
WCB 02	3,44 m ²
HALL	1,90 m ²
COZINHA	6,10 m ²
ÁREA DE SERVIÇO	2,40 m ²

Os materiais e padrões construtivos foram definidos de acordo a faixa de fundo imobiliário conforme solicitado na portaria nº 269, de 22 de março de 2017 que detalha sobre as diretrizes e especificações mínimas para a elaboração de projetos de unidades habitacionais no âmbito do PMCMV, e conseqüentemente está de acordo com a norma de desempenho NBR 15575. A Tabela 12 detalha o material utilizado no estudo de caso.

Tabela 12: Materiais e padrões construtivos do caso de estudo

Edificação	Especificações - Caso de Estudo
Pé direito	2,60 m e 2,45 m para os banheiros
Parede externa	Tijolo Cerâmico 8 furos
Parede interna	Tijolo Cerâmico 8 furos
Cobertura	Telha cerâmica esmaltada clara ($\alpha = 0,4$) sobre laje com beiral de 0,60 m
Revestimento externo	Revestimento em argamassa + Pintura tinta acrílica (cor clara $\alpha = 0,4$)
Revestimento interno (áreas secas)	Revestimento em argamassa + Pintura tinta PVA
Revestimento interno (áreas molhadas)	Revestimento em argamassa + Revestimento cerâmico (30x30)
Portas	Madeira
Janelas e esquadrias	Esquadria em alumínio + vidro folha simples
Pisos	Cerâmica esmaltada
Tetos	Forro de gesso
Sistema de aquecimento de água – energia solar	Para as regiões centro-oeste, sudeste e sul torna-se obrigatória a instalação; Regiões norte e nordeste a instalação é optativa

3.2 Interface e características do software

O software selecionado para a simulação das cidades foi o *Design Builder*, que possui a simulação a partir do programa informático no modelo *EnergyPlus*. Dessa forma, o programa se enquadra nos padrões estabelecidos pela norma da ABNT NBR 15575.

O *DesignBuilder* é um software que desenvolve simulações de desempenho térmico em edifícios através dos módulos que o compõe, tais como: *EnergyPlus*, visualização, certificação, fluidodinâmica computacional (*CFD - Computational Fluid Dynamics*), iluminação natural, climatização (Sistemas HVAC - *Heating, Ventilation and Air Conditioning*), custo e otimização.

Para as simulações do estudo de caso, a versão utilizada foi a 5.5 e nem todos os módulos estavam disponíveis, apenas o *EnergyPlus*, visualização, iluminação natural, sistemas HVAC, custo e LEED.

A interface do software é simples e permite a inserção dos dados climáticos e localização ASHRAE, a modelagem geográfica da edificação, além de possuir uma ampla biblioteca de materiais e soluções construtivas, sistemas de iluminação, equipamentos elétricos, ocupação e sistemas de HVAC.

Os resultados da aplicação do software são expressos em forma de gráficos e tabelas, de acordo com os parâmetros analisados e opera em função das variáveis temporais e do zoneamento da edificação.

3.3 Porto Alegre: Brasil – Zona Bioclimática 03

A cidade de Porto Alegre é a capital do estado do Rio Grande do Sul, com uma extensão territorial de 496,682 km² [IBGE, 2017a], conforme mostra a Figura 12. Fica localizada na região Sul do Brasil com 30,02° de latitude Sul e 51,22° a Oeste e com altitude média de 47 metros.

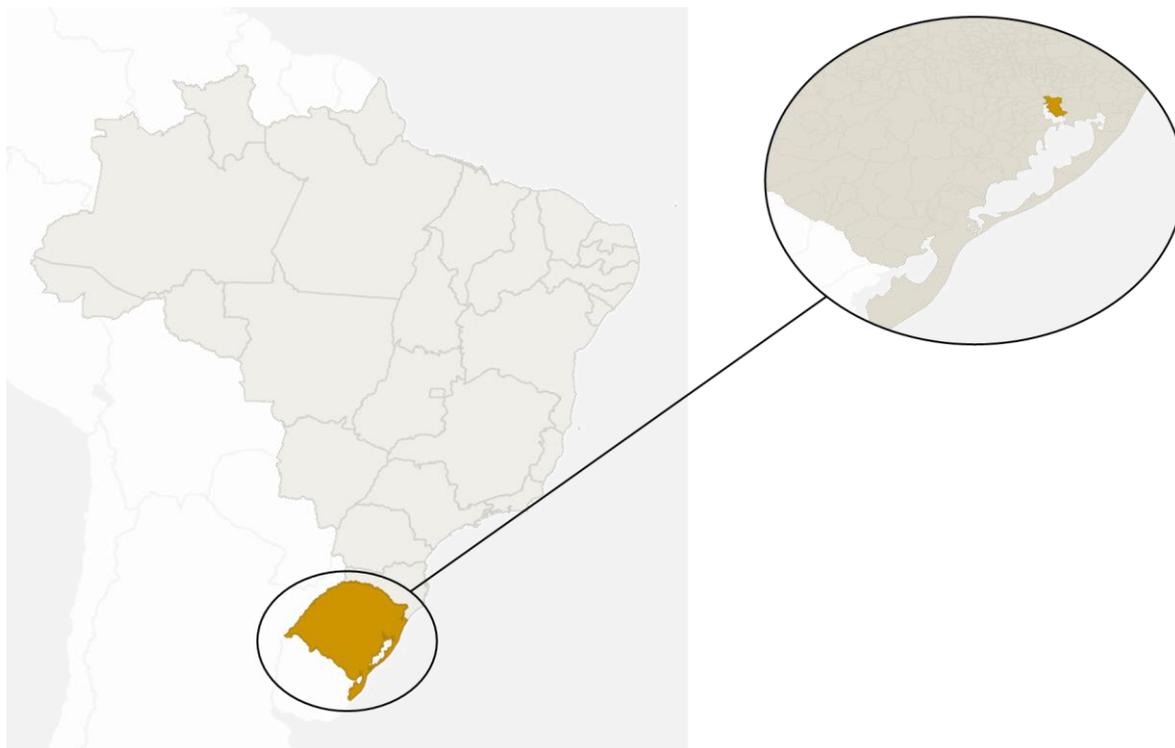


Figura 12: Localização Geográfica de Porto Alegre [Adaptada de IBGEa]

De acordo com o posicionamento territorial bioclimático brasileiro estabelecido pela Norma ABNT NBR 15220, Porto Alegre está inserida na zona bioclimática três. Com o clima subtropical húmido, apresenta as quatro estações definidas, assim como a precipitação distribuída ao longo do ano. Porto Alegre apresenta uma temperatura média anual de cerca de 20,8 °C, humidade relativa média anual de 76,5% e precipitação anual de 1425,4 mm [INME/T].

Com essas características climáticas, Porto Alegre apresenta um nível de conforto térmico em 22,5% horas ao ano e um nível de desconforto térmico em 75,5%. horas ao

ano. Dentre o valor de desconforto, 25,9% é causado pelo calor e 51,6% causado pelo frio [LAMBERTS et. Al, 2014].

Para a zona bioclimática onde Porto Alegre está inserida, de acordo com a norma da ABNT NBR 15220, é recomendado como diretivas construtivas; o uso de paredes externas leves e refletoras à radiação solar com inércia térmica; ventilação cruzada no verão; aberturas para ventilação de dimensão média; sombreamento das aberturas permitindo o sol do inverno; coberturas isoladas.

Para a análise do estudo de caso, e tendo em consideração a norma ABNT NBR 15575, para o período de avaliação deve ser analisado o dia típico de verão e de inverno, ou seja, com as temperaturas mais relevantes, precedido por, no mínimo, um dia com características semelhantes. A Tabela 13 detalha os valores respectivos para as condições de verão e inverno da cidade de Porto Alegre.

Tabela 13: Dados de dias típicos de verão e inverno - Porto Alegre [ABNT, 2013a].

DADOS DE DIAS TÍPICOS DE VERÃO		DADOS DE DIAS TÍPICOS DE INVERNO	
Temperatura máxima diária	35,9 °C	Temperatura mínima diária	4,3 °C
Amplitude diária de temperatura	9,6 °C	Amplitude diária de temperatura	8,6 °C
Temperatura de bulbo úmido	23,9 °C	Temperatura de bulbo úmido	12,1°C
Radiação solar	5476 Wh/m ²	Radiação solar	2410 Wh/m ²

3.4 Brasília: Brasil – Zona Bioclimática 04

Brasília é a capital do Distrito Federal, sede federativa do Brasil, possui uma área de unidade territorial de 5.779 km² [IBGE, 2017b], conforme mostra a Figura 13. Fica localizada na região Centro-Oeste do Brasil com 15,78° de latitude Sul e 47,93° a Oeste e uma altitude média de 1160 metros.

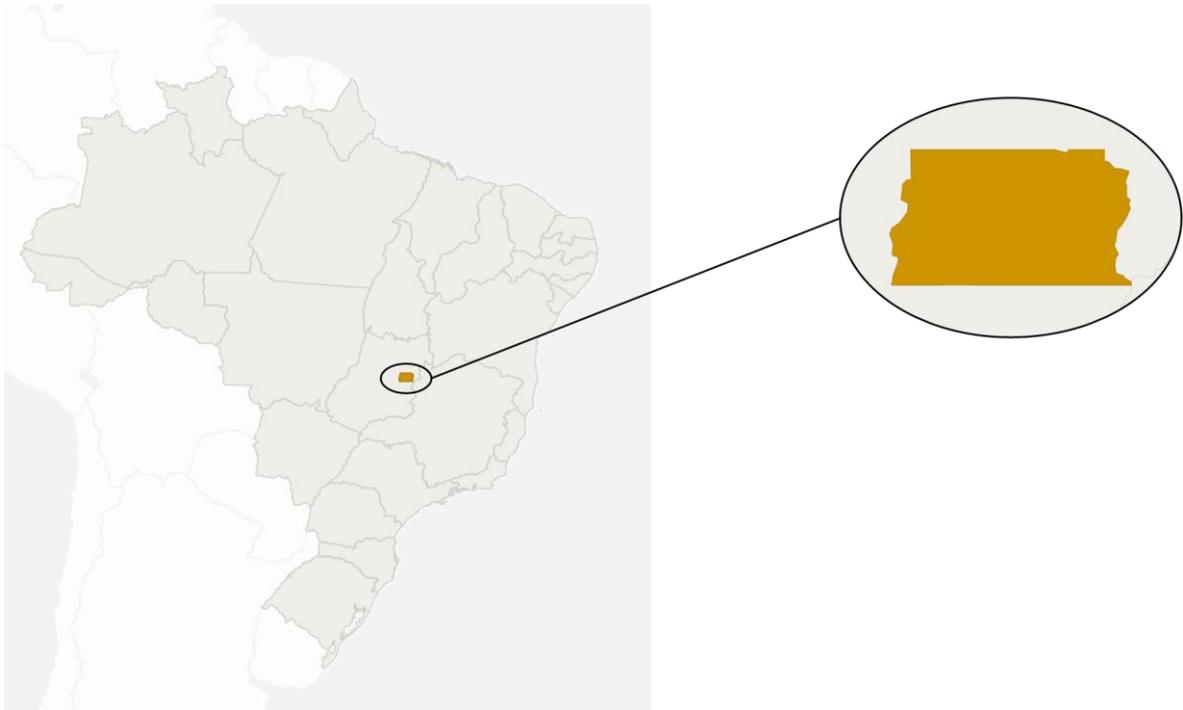


Figura 13: Localização Geográfica de Brasília [Adaptada de IBGEb]

A região é de clima predominantemente tropical, com forte presença de afluentes dos principais rios brasileiros – o Rio Maranhão, o Rio Preto e os rios São Bartolomeu e Descoberto.

De acordo com o posicionamento territorial bioclimático brasileiro estabelecido pela Norma ABNT NBR 15220, Brasília está enquadrada na zona bioclimática quatro. Como característica climatológica, essa região apresenta a estação do verão húmida, devido a ocorrência de chuvas e os invernos mais secos, com uma humidade relativa baixa [FERREIRA, et. al, 2014]

Brasília possui uma temperatura média anual de cerca de 22,1 °C, humidade relativa média anual de 65,8% e precipitação anual de 1477,4 mm. O período com mais chuvas, geralmente fortes e de curta duração, situa-se entre o fim da primavera e o fim do verão, de outubro ao início de maio, quando a humidade relativa do ar é mais alta [INMET].

Com essas características climáticas, Brasília apresenta um nível de conforto térmico de 43,7% horas ao ano e um nível de desconforto térmico de 56,3%. horas ao ano. Dentre o valor de desconforto, 15,2% é causado pelo calor e 41,1% causado pelo frio [LAMBERTS et. Al, 2014].

Dessa forma, para atingir um conforto térmico para edifícios localizados nesta região, a norma da ABNT NBR 15220 recomenda como diretivas construtivas: a utilização de aberturas médias com sombreamento nelas durante o ano todo; a construção de paredes pesadas; cobertura leve isolada. Além disso, devem ser utilizadas estratégias passivas como a inércia térmica para resfriamento, resfriamento evaporativo e ventilação seletiva para o verão, assim como aquecimento solar para o inverno.

Para a análise do estudo de caso, a norma ABNT NBR 15575 indica que para o período de avaliação, deve ser analisado o dia típico de verão e de inverno, ou seja, com as temperaturas mais relevantes, precedido por, no mínimo, um dia com características semelhantes. A Tabela 14 detalha os valores respectivos para as condições de verão e inverno da cidade de Brasília.

Tabela 14: Dados de dias típicos de verão e inverno – Brasília [ABNT, 2013a]

DADOS DE DIAS TÍPICOS DE VERÃO		DADOS DE DIAS TÍPICOS DE INVERNO	
Temperatura máxima diária	31,2 °C	Temperatura mínima diária	10,0 °C
Amplitude diária de temperatura	12,5 °C	Amplitude diária de temperatura	12,2 °C
Temperatura de bulbo úmido	20,9 °C	Temperatura de bulbo úmido	14,8 °C
Radiação solar	4625 Wh/m ²	Radiação solar	4246 Wh/m ²

3.5 Maceió: Brasil – Zona Bioclimática 08

Capital do estado de Alagoas, Maceió, está localizada na região Nordeste do Brasil e possui uma área de unidade territorial de 509,552 km². É uma cidade litorânea, banhada pelo oceano atlântico e lagunar, devido a presença de uma das maiores lagoas do estado, a lagoa Mundaú [IBGE, 2017c], conforme mostra a Figura 14. Apresenta como coordenadas geográficas 9,67° de latitude Sul, 35,7° de longitude Oeste e altitude média de 65 metros.

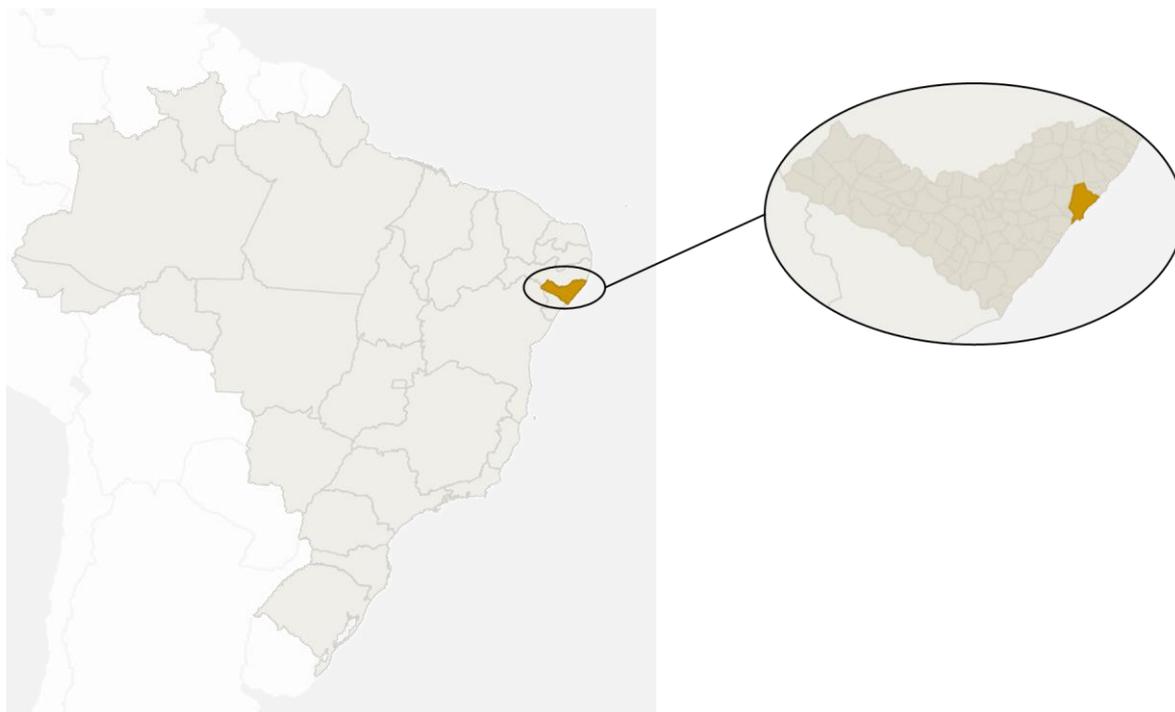


Figura 14: Localização Geográfica de Maceió [Adaptado de IBGEc]

De acordo com o posicionamento territorial bioclimático brasileiro, estabelecido pela Norma ABNT NBR 15220, Maceió é caracterizada pela zona bioclimática oito, visto que apresenta, predominantemente, o clima quente e húmido [FERREIRA et. al, 2014].

Essa zona apresenta basicamente duas estações bem definidas (verão e inverno – estação chuvosa), sendo as demais estações pouco evidentes (primavera e outono). De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia [INMET], Maceió possui temperatura média anual de 25,6 °C, humidade relativa média anual de 78,3% e precipitação anual de 2.167,7 mm, esta é baixa do final da primavera até o início do outono, de forma considerável nos meses seguintes [INMET].

Devido essas características climáticas, o nível de conforto térmico representa 17,8% das horas do ano. Por outro lado, 82,2% das horas do ano são de desconforto, onde no âmbito deste valor, 76,1% do desconforto é causado pelo calor e 6,0% causado pelo frio [LAMBERTS et. Al, 2014].

Como diretivas construtivas, de acordo com a norma da ABNT NBR 15220 é recomendada a utilização de ventilação cruzada permanente durante todo o ano, através de aberturas grandes e totalmente sombreadas para amenizar a radiação. Além disso, nas envoltórias, indica-se o uso de paredes e coberturas leves e refletoras.

Para a análise do estudo de caso, a norma ABNT NBR 15575 indica que para o período de avaliação, deve ser analisado o dia típico de verão e de inverno, ou seja, com as temperaturas mais relevantes, precedido por, no mínimo, um dia com características semelhantes. A Tabela 15 detalha os valores respectivos para as condições de verão e inverno da cidade de Maceió

Tabela 15: Dados de dias típicos de verão e inverno: Maceió [ABNT, 2013a]

DADOS DE DIAS TÍPICOS DE VERÃO		DADOS DE DIAS TÍPICOS DE INVERNO	
Temperatura máxima diária	32,2 °C	Temperatura mínima diária	17,8 °C
Amplitude diária de temperatura	8,2 °C	Amplitude diária de temperatura	7,5 °C
Temperatura de bulbo úmido	24,6 °C	Temperatura de bulbo úmido	21,7 °C
Radiação solar	5138 Wh/m ²	Radiação solar	4513 Wh/m ²

3.6 Coimbra – Portugal

Localizada no centro de Portugal e com influência do Rio Mondego, Coimbra apresenta um clima mediterrâneo de verão quente de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger com temperatura média de 22°C (Koppen-Geiger, 2010).

O zoneamento climático de Portugal baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III. Dessa forma, a cidade de Coimbra faz parte da região do Baixo Mondego segundo o Despacho nº 15793-F/2013.

De acordo com o Despacho nº 15793-F/2013, que descreve os parâmetros para o zoneamento climático, as zonas climáticas de inverno são definidas a partir do número de graus-dias (GD) com a temperatura base de 18°C (Tabela 16) e as zonas climáticas de verão são definidas através da temperatura média exterior (Tabela 17).

Tabela 16: Critérios para a determinação da zona climática de inverno [Despacho nº 15793-F/2013]

Critério	GD ≤ 1300	1300 < GD ≤ 1800	GD > 1800
Zona	I1	I2	I3

Tabela 17: Critérios para a determinação da zona climática de verão [Despacho n° 15793-F/2013]

Critério	$\theta_{\text{ext,v}} \leq 20^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} < \theta_{\text{ext,v}} \leq 22^{\circ}\text{C}$	$\theta_{\text{ext,v}} > 22^{\circ}\text{C}$
Zona	V1	V2	V3

Dessa forma, de acordo com esses critérios para a determinação da zona climática e considerando a altitude de referência de 67m, a região do Baixo Mondego apresenta valores de graus-dias de aquecimento de 1304°C e um valor da temperatura média exterior ($\theta_{\text{ext,v}}$) de $20,9^{\circ}\text{C}$. Logo, considerando-se que o edifício estará localizado numa altitude igual a de referência, podemos considerar as seguintes zonas climáticas: I2 para o inverno e V2 para o verão.

4 ANÁLISE DAS REGULAMENTAÇÕES E PROPOSTAS DE MELHORIA PARA AS NORMAS E REGULAMENTAÇÕES BRASILEIRAS

O capítulo anterior apresentou as características do estudo de caso, das especificações de cada zona bioclimática brasileira, além da cidade portuguesa de aplicação. A análise do estudo de caso com os mesmos padrões construtivos gerou resultados distintos de acordo com a norma e regulamentação aplicada.

Os padrões construtivos utilizados têm valores de transmitância térmica e capacidade térmica de acordo com a Tabela 18. Esses valores foram utilizados para as análises do método simplificado da NBR 15575, do método prescritivo do RTQ-R e do REH. A Tabela 19 detalha as áreas de ventilação e área envidraçadas das esquadrias. Além disso, considerou-se uma instalação do sistema de aquecimento de água, por energia solar, a fim de cumprir a obrigatoriedade solicitada pela Portaria 269 com os requisitos descritos na Tabela 20.

Para o método prescrito do REH, além dos indicadores citados previamente, utilizou-se a altitude de referência, através da localização da residência na zona urbana; os valores de renovação de ar de acordo com a ferramenta de cálculo do LNEC, ou seja, com valores mínimos de renovação de ar 0,6 (verão) e 0,4 (anual); a produção total de energia para AQS com a inserção dos requisitos da Tabela 20 simulados no software SolTerm versão V5Beta (Anexo A1).

Para as simulações com o programa informático, utilizou-se os mesmos padrões construtivos que o método prescritivo, porém os valores e propriedades térmicas dos materiais foram selecionados de acordo com a base de dados, buscando os mesmos materiais com os valores mais aproximados do método prescritivo. Além disso, a ocupação, iluminação e equipamentos dos ambientes, foram considerados a partir da base de dados do software, para uma habitação de dois quartos e quatro habitantes.

Tabela 18: Transmitância e capacidade térmica dos padrões construtivos do estudo de caso
 [ProjetEEE, s.a - <http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/>]

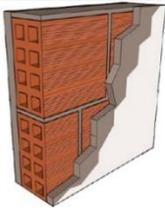
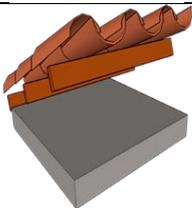
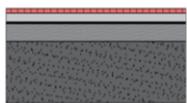
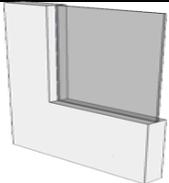
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA E CAPACIDADE TÉRMICA - ESTUDO DE CASO			
Imagem	Descrição	U W/ (m².K)	CT kJ/ (m².K)
	Argamassa interna 2.5 cm + Bloco cerâmico 9x19x19 cm + Argamassa externa 2.5 cm	2,37	151
	Telha cerâmica + camada de ar >5cm + Laje concreto maciço 10cm + camada de ar >5cm + forro de gesso 3cm	1,3	281,9
	Laje concreto maciço 10cm + Camada de ar >5cm + forro de gesso (para análise do REH)	1,9	263,5
	Piso cerâmico + argamassa de assentamento + impermeabilizante betuminoso + contrapiso 3cm + fundação em concreto 7cm	2,88	277
	Janela com caixilharia de alumínio Caixilho – 10mm Perfil de Alumínio – 40mm Vidro Incolor – 6mm	5,67	
	Porta de Madeira 3cm	2,8	

Tabela 19: Detalhamento das esquadrias

Esquadria	Descrição	Área Efetiva ventilação (m²)	Área envidraçada (m²)	Área da esquadria (m²)
J1: 1,20 x 1,10	De correr	0,6	1,10	1,32
J2: 1,60 x 1,10	De correr	0,8	1,50	1,76
J3: 0,60 x 0,50	Maxim-ar 90°	0,22	0,20	0,30
J4 1,20 x 0,50	Maxim-ar 90°	0,42	0,44	0,60

Tabela 20: Requisitos utilizados para o sistema de aquecimento de água

Sistema de Aquecimento de Água – Coletor Solar	
Reservatório	300 litros Resistência térmica: 2,20 m ² .K/W
Tubulação	Não metálica (d=22mm) Condutividade térmica: 0,040 W/m. K
Área do coletor	1,50m ²
Quantidade de coletor	3 coletores
Sistema de backup	Eletricidade
Utilização	Aquecimento de água sanitária (banheiros e lava-louças da cozinha)

4.1 Análise métodos prescritivos da NBR 15575, RTR-R, REH

No caso da aplicação do método simplificado da norma brasileira NBR 15575, foi realizada a verificação através da comparação entre os requisitos solicitados e os valores estabelecidos de acordo com os padrões construtivos, dessa forma a residência estaria de acordo com padrões mínimos estabelecidos referente a transmitância térmica e capacidade térmica das paredes, transmitância térmica da cobertura e percentagem da área de ventilação para o desempenho térmico da edificação.

A Tabela 21 detalha os requisitos mínimos necessários na norma e os valores utilizados de acordo com os padrões construtivos do estudo de caso, comprovando o atendimento à norma.

Tabela 21: Análise do estudo de caso através do método simplificado da NBR 15575

NORMA DE DESEMPENHO - NBR 15575 (MÉTODO SIMPLIFICADO)					
Padrões Analisados	Requisito mínimo - Z3	Requisito mínimo - Z4	Requisito mínimo - Z8	Estudo de Caso	
U parede	$U \leq 3,7$	$U \leq 3,7$	$U \leq 3,7$	U = 2,37	✓
CT parede	$CT \geq 130$	$CT \geq 130$	Sem exigência	CT = 151	✓
U cobertura	$U \leq 2,3$	$U \leq 2,3$	$U \leq 2,3$ FV	U = 1,3	✓
% A de ventilação	$A \geq 7\%$	$A \geq 7\%$	$A \geq 8\%$	A = 8,44% (sala) A = 9,24% (suíte) A = 9,10% (quarto)	✓

Diferente da análise da NBR, o método prescritivo do RTQ-R resulta uma classificação do nível de eficiência da edificação através da ponderação entre o equivalente numérico e as áreas dos respectivos ambientes de longa permanência. A avaliação foi realizada para os ambientes de longa permanência (sala, suíte e quarto), nas três zonas bioclimáticas selecionadas através da planilha feita pelo LabEEE e disponibilizada através do site PBE Edifica [<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/planilhas-catalogos>].

Nessa regulamentação, analisam-se apenas os ambientes de longa permanência, onde os valores da transmitância térmica e capacidade térmica devem estar de acordo com a norma da ABNT NBR 15575. Apesar disso, os valores referentes à percentagem de ventilação são diferentes do solicitado da norma, sendo $A \geq 8\%$ para as zonas Z3 e Z4, e $A \geq 10\%$ para a zona Z8. Quanto à taxa de iluminação natural, o não atendimento dos pré-requisitos implica na obtenção de máximo nível C de eficiência. A Tabela 22 detalha quais ambientes atendem a esse requisito mínimo.

Tabela 22: Atendimento aos requisitos de iluminação e ventilação natural

		ILUMINAÇÃO NATURAL			VENTILAÇÃO NATURAL			
Zona	Local	Área de abertura para iluminação [m ²]	Ai/Auamb (%)	Atende 12,5% ?	Área de abertura para ventilação	Av/Auamb (%)	Valor de Referência	Atende % mínima ?
Z3	Suíte	1,1	15,41	✓	0,6	8,40	≥ 8%	✓
	Quarto	1,1	15,17	✓	0,6	8,28	≥ 8%	✓
	Sala	2,5	13,70	✓	1,4	7,67	≥ 8%	✗
Z4	Suíte	1,1	15,41	✓	0,6	8,40	≥ 8%	✓
	Quarto	1,1	15,17	✓	0,6	8,28	≥ 8%	✓
	Sala	2,5	13,70	✓	1,4	7,67	≥ 8%	✗
Z5	Suíte	1,1	15,41	✓	0,6	8,40	≥ 10%	✗
	Quarto	1,1	15,17	✓	0,6	8,28	≥ 10%	✗
	Sala	2,5	13,70	✓	1,4	7,67	≥ 10%	✗

No caso da envolvente, os resultados são obtidos através dos valores de Indicador de Graus-hora para Resfriamento (GHR - °C.h), Consumo Relativo para Aquecimento (CA

- kWh/m². ano) e Consumo Relativo para Refrigeração (CR- kWh/m². ano) conforme detalha a Tabela 23. O equivalente numérico final está de acordo com o pré-requisito mínimo solicitado para cada zona bioclimática, e consta na planilha detalhada do anexo A2.

Tabela 23: Resultado da envoltória - Estudo de Caso

RESULTADO PARA AS ENVOLTÓRIAS DE ACORDO COM O AMBIENTE				
		GHR	CA	CR
Z3	SUÍTE	A	B	C
		727	7,894	16,335
	QUARTO	B	B	C
		1423	8,200	16,382
	SALA	A	B	Não se aplica
		689	12,372	0,000
Z4	SUÍTE	A	A	A
		-61	4,871	0,213
	QUARTO	A	A	A
		382	4,855	0,629
	SALA	A	A	Não se aplica
		56	5,718	0,000
Z8	SUÍTE	A	Não se aplica	D
		4146	0,000	61,026
	QUARTO	B	Não se aplica	D
		7018	0,000	60,602
	SALA	B	Não se aplica	Não se aplica
		5549	0,000	0,000

Depois, os resultados da envoltória são ponderados com a área, a fim de encontrar o equivalente numérico, além de considerar as possíveis bonificações e aquecimento de água. A Tabela 24 apresenta a pontuação total para cada quesito analisado, além da pontuação final para a unidade habitacional do estudo de caso.

Tabela 24: Pontuação Total - Estudo de caso

Pontuação Total	Identificação	Estudo de Caso (Z3)	Estudo de Caso (Z4)	Estudo de Caso (Z8)
	Envoltória para Verão	B	B	C
		3,62	3,83	3,00
Envoltória para Inverno	B	A	Não se aplica	
	4,00	5,00	0,00	

	Envoltória se refrigerada artificialmente	C	A	D
		3,00	5,00	2,00
	Equivalente numérico da envoltória	B	B	C
		3,76	4,21	3,00
	Aquecimento de Água	D	C	A
		2,00	3,00	5,00
	Bonificações	0,60	0,60	0,60
Região	Sul	Centro-Oeste	Nordeste	
Coeficiente a	0,65	0,65	0,90	
Classificação final da UH		B	B	B
Pontuação Total		3,74	4,38	3,80

Para a simulação de acordo com o REH, como se trata de um edifício com elementos construtivos simples e sem isolamento, a análise foi realizada através da metodologia simplificada com recurso à uma da folha de cálculo do REH, versão V3.11 de 02 de maio de 2018, disponibilizada pelo site do Itecons [<http://www.itecons.uc.pt/p3e/>].

Com a análise, a edificação obteve resultados relativo ao Nic, Nvc, Qa, onde as demais parcelas (Wvm, Eren, Eren AQS, Eren,ext) foram consideradas nulas pois a edificação não apresenta elementos referentes a esses quesitos que possam ser analisados. Com estes pressupostos, o resultado obtido permite obter uma classe energética F. A Tabela 25 apresenta as parcelas analisadas, assim como os valores obtidos, os valores de referência e o resultado final.

Tabela 25: Valores finais para análise de acordo com o REH

Sigla	Descrição	Valor	Referência	Ntc/Nt
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m2.ano)	204,44	84,93	1,80
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m2.ano)	11,36	9,21	Classe Energética D
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2140	2377	
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m2.ano)	624,98	347,07	

De forma detalhada, a metodologia aplicada pelo REH descreve os indicadores térmicos para cada componente que compõe a edificação, para a estação de aquecimento e de arrefecimento. A Tabela 26 detalha os resultados dos indicadores de cada elemento construtivo de acordo com as suas necessidades para a estação de aquecimento e arrefecimento correlacionando-os com seus valores de referência.

Tabela 26: Indicadores de aquecimento e arrefecimento

INDICADORES DE AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO					
Aquecimento	kWh/ano	Valores de Referência	Arrefecimento	kWh/ano	Valores de Referência
Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i}$	12.226,00	4.345,16	Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento $Q_{tr,v}$	4.689,76	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i}$	543,03	543,03	Transferência de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento $Q_{ve,v}$	312,45	
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i}$	2.661,64	689,39	-	-	
Necessidades Anuais na estação de aquecimento	10.107,40	4198,80	Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento N_{vc}	4.244,70	2683,70

Dessa forma, com a análise dos resultados da aplicação dos métodos prescritivos, o *Design Builder* surge como indicador comum para a comparação das regulamentações e identificação dos pontos que possam contribuir para a regulamentação brasileira.

4.2 Comparação dos métodos prescritivos da NBR 15575, RTR-R, REH e da simulação pelo Design Builder

Ao analisar as regulamentações, detalhes são expostos como fatores que influenciam no desempenho térmico e energético. Como o Brasil apresenta duas normas e uma regulamentação vigentes, as comparações foram realizadas numa primeira fase entre a

norma da ABNT NBR 15575 e o RTQ-R. Num segundo momento, e considerando que as metodologias adotadas são distintas o que não permite a comparação de resultados, foram analisados os parâmetros quantificados na normalização brasileira e na portuguesa (NBR e RTQ-R versus REH).

Em seguida foram analisados os resultados obtidos através de simulação, com a utilização do programa informático *Design Builder*, e os métodos prescritivos do RTQ-R para cada zona bioclimática. Finalmente foram comparados os resultados do REH com os da simulação.

Entre a norma da ABNT NBR 15575 e o RTQ-R, foi realizada uma análise como forma de contribuição para melhoria da regulamentação energética brasileira. Em relação a transmitância e capacidade térmica, o RTQ-R baseia-se nos valores mínimos requisitados pela NBR 15575, porém há uma divergência entre a área mínima de aberturas (Tabela 27). Esta diferença pode dar origem a interpretações distintas.

Tabela 27: Comparativo da área de abertura entre a NBR e o RTQ-R

NBR		RTQ-R	
Zona 1 a 7	$A \geq 7\%$	Zona 1 a 6	$A \geq 8\%$
Zona 8 (nordeste e sudeste)	$A \geq 8\%$	Zona 7	$A \geq 5\%$
Zona 8 (norte)	$A \geq 12\%$	Zona 8	$A \geq 10\%$

Ao analisar essas duas metodologias prescritivas brasileiras, nota-se que ambas precisam de revisões quanto à essas discrepâncias, principalmente quando comparadas aos dados analisados pelo REH. A Tabela 28 detalha os itens de análise de cada regulamentação e com isso, destaca os pontos que podem contribuir para as normas brasileiras.

Tabela 28: Comparação dos itens dos métodos prescritivos: NBR X RTQ-R X REH

ITENS	NBR 15575 (Brasil)	RTQ-R (BRASIL)	REH (PORTUGAL)
Análise	Ambientes de longa permanência	Ambientes de longa permanência	Edificação como um todo
Envolvente	Parede;	Parede;	Paredes (exterior e interior); Pavimentos

	cobertura;	cobertura; contato com o solo; Vidro (apenas Z1 e Z2)	(exterior e interior); Coberturas (exterior e interior); Vãos envidraçados (exterior e interior); Vãos opacos (exterior e interior); Pavimento térreo; Pavimento enterrado; Parede enterrada; Pontes térmicas lineares (exterior e interior); Pontes térmicas planas
Ganhos	-	-	Ganhos solares totais e úteis; Ganhos internos
Zoneamento	Zoneamento bioclimático	Zoneamento bioclimático	Zonas climáticas de Inverno e Verão distintas; variam com a NUTS III e com a altitude local
Sombreamento	-	-	Sombreamento, elementos no entorno
Ventilação	Área de abertura	Área de abertura; requisito ventilação cruzada	Valor mínimo de renovações horárias para verão e inverno
AQS	-	Pré-requisitos mínimos	Calculadas as necessidades energéticas dos sistemas
Energia Renovável	-	-	Calculadas as necessidades energéticas dos sistemas

Além da tabela comparativa dos itens de cada regulamentação, analisaram-se também os resultados obtidos através da simulação computacional, para que se avaliasse os principais pontos de ganhos e perdas de calor. A Tabela 29 apresenta os resultados anuais obtidos na simulação em cada localização selecionada, para cada elemento que compõe a habitação.

Tabela 29: Resultados da simulação para o estudo de caso

		Coimbra	Brasília	Porto Alegre	Maceió
GANHOS DE CALOR (kWh)	Ocupação	170,893	130,072	137,028	74,222
	Iluminação	954,921	954,921	954,921	954,921
	Equipamentos	951,582	951,582	951,582	951,582
	Janelas	3293,695	4260,330	3581,726	3168,059
	Infiltração	6,979	1,735	10,482	2,339
	Superfície Opaca	336,912	341,439	387,926	355,581
PERDAS DE CALOR (kWh)	Janelas	-751,490	-898,790	-759,820	-712,260
	Infiltração	-1704,900	-1833,000	-2012,610	-1634,960
	Superfície Opaca	-3258,560	-3907,520	-3251,200	-3159,490

Com isso, nota-se que alguns dos elementos apresentam valores significativamente elevados. Diante disso, no que respeita aos ganhos de calor, os elementos construtivos mais relevantes são as janelas, seguindo-se os ganhos internos, ou seja iluminação, equipamentos e ocupação. Já em relação as perdas, os itens com maior relevância são as superfícies opacas e as perdas por infiltração.

Para identificação dos componentes da envoltória que possuem valores e índices de maior relevância, os gráficos gerados pelo Design Builder complementaram essa análise. As figuras abaixo apresentam os indicadores construtivos e os dados das temperaturas para as cidades brasileiras. A Figura 15 apresenta os resultados, para a cidade de Porto Alegre, a Figura 16 para a cidade de Brasília e a Figura 17 para a cidade de Maceió.

Dessa forma, como análise complementar, tornou-se possível identificar quais os principais elementos que influenciam nos ganhos e perdas de calor. Conforme já citado, para os três casos, as janelas são os principais elementos que contribuem para os ganhos térmicos, adicionados ao elemento opaco da cobertura. A inserção de parâmetros que quantifiquem estes elementos construtivos de forma exigente e detalhada, são essenciais, para o bom desempenho térmico do edifício, devido ao balanço climático das cidades.

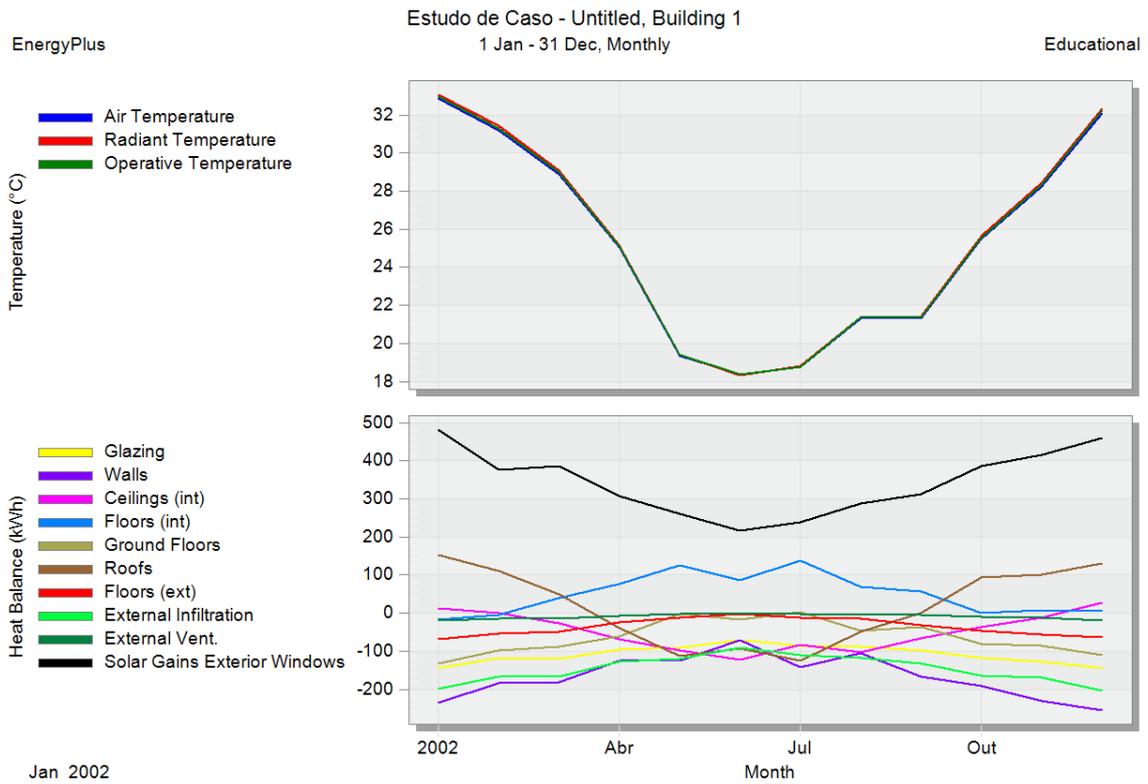


Figura 15: Análise dos Resultados do Design Builder – Porto Alegre

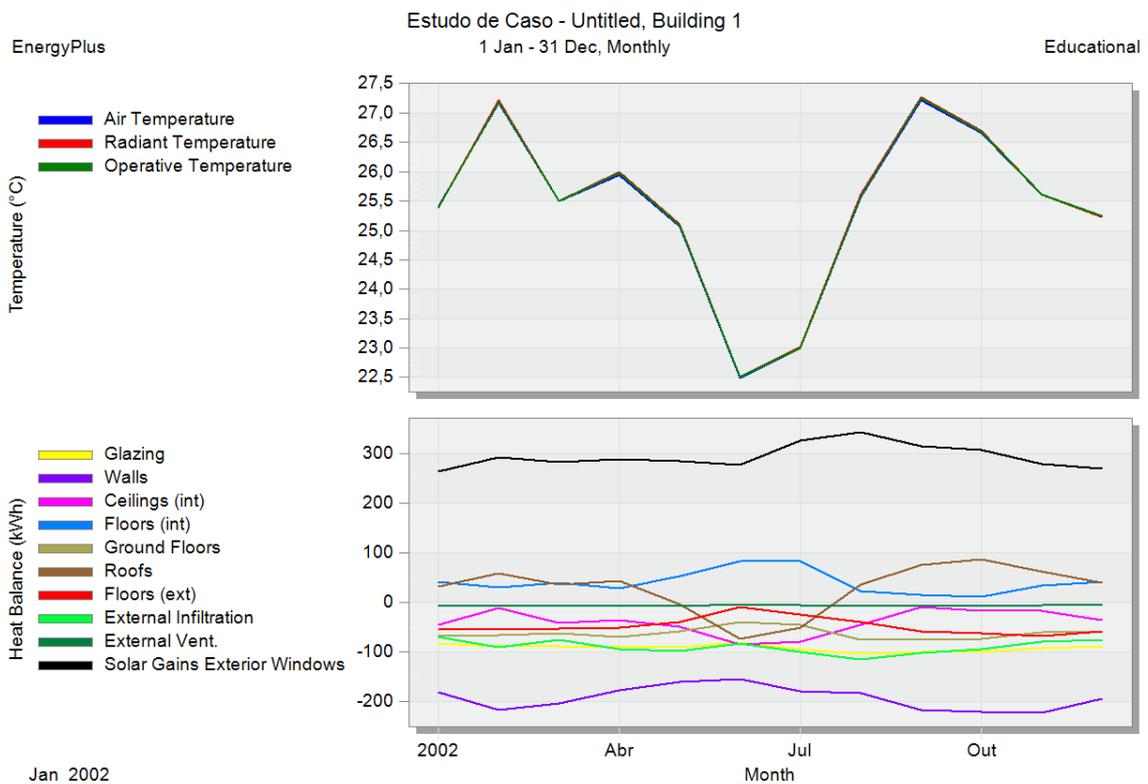


Figura 16: Análise dos Resultados do Design Builder – Brasília

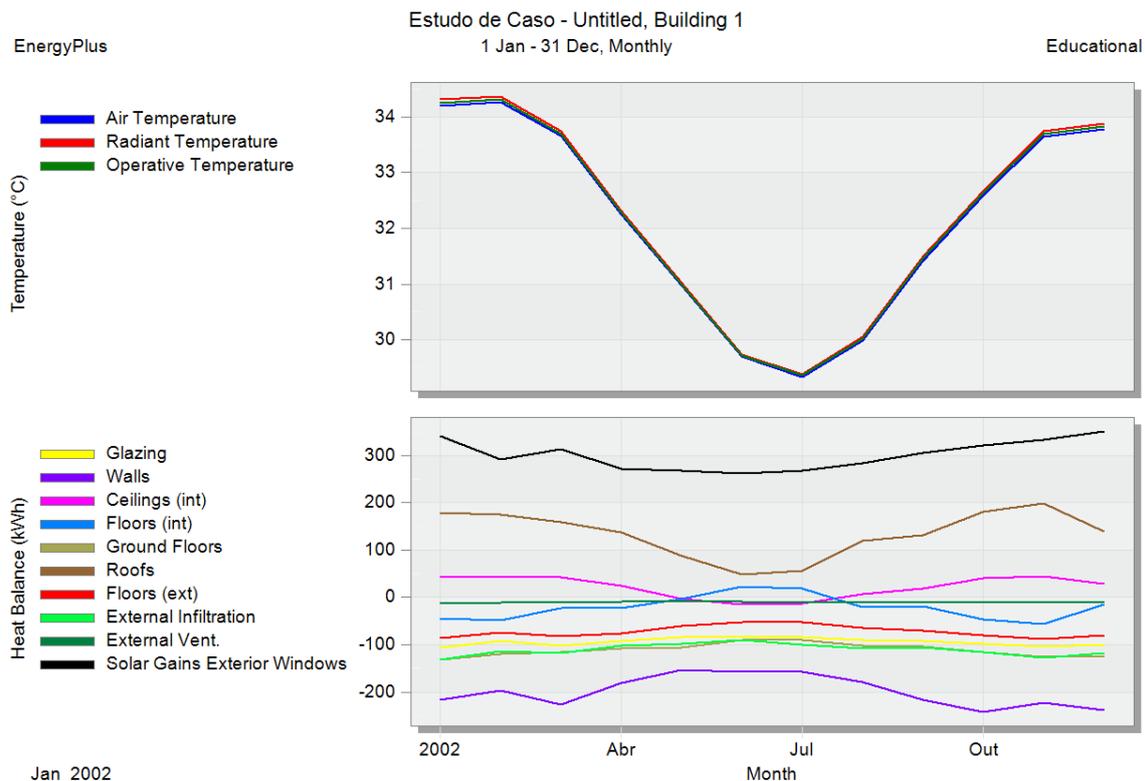


Figura 17: Análise dos Resultados do Design Builder – Maceió

Devido ao fato de o programa computacional fornecer uma descrição dos resultados por elementos, obtém-se uma análise mais aprofundada do estudo de caso. Com isso, identifica-se, por exemplo, em quais elementos e em que período do ano acontecem as perdas e os ganhos de calor mais efetivas.

Para Porto Alegre, por exemplo, após a análise do gráfico, dos elementos que influenciam no desempenho do edifício, verificaram-se os valores significativos referentes às janelas e os elementos coberturas. A Tabela 30 descreve a transferência de calor por esses elementos, sendo os dados apresentados em valores e a percentagem de acordo com o total por elemento.

Tabela 30: Ganhos e perdas de calor por elementos

Meses	Ceilings (int)		Roofs		Solar Gains Exterior Windows		Glazing	
	kWh		kWh		kWh		kWh	
Janeiro	12,62152	-2%	152,6396	68%	482,8271	12%	-145,383	11%
Fevereiro	0,810388	0%	110,1192	49%	375,3063	9%	-116,527	9%
Março	-26,1994	5%	49,49807	22%	386,0556	9%	-119,554	9%
Abril	-68,2827	12%	-37,6554	-17%	306,1183	7%	-94,5034	7%
Mai	-98,0408	17%	-112,957	-51%	259,6635	6%	-89,9467	7%
Junho	-122,511	21%	-91,9901	-41%	216,6812	5%	-70,3584	5%
Julho	-83,7179	15%	-124,225	-56%	237,8713	6%	-85,1825	7%
Agosto	-101,753	18%	-47,6333	-21%	287,1331	7%	-87,6308	7%
Setembro	-65,1016	11%	0,008343	0%	313,3817	8%	-97,1787	8%
Outubro	-35,6952	6%	93,73306	42%	385,4143	9%	-117,423	9%
Novembro	-11,2175	2%	102,2528	46%	414,817	10%	-125,983	10%
Dezembro	28,67382	-5%	129,7254	58%	460,101	11%	-143,847	11%
Anual	-570,413		223,5163		4125,37		-1293,52	-570,413

Dessa forma, nota-se, que nos meses mais frios, entre abril e agosto, dentre esses elementos, acentuam-se as perdas referentes ao elemento opaco da cobertura, devido à influência do clima. Entretanto, os elementos envidraçados, apresentam valores percentuais mais relevantes entre os meses de novembro a março, considerados meses mais quentes.

Além da análise dos valores do software, os elementos foram comparados de acordo com o método de simulação pelo RTQ-R para os ambientes de longa permanência. Neste caso, os parâmetros de modelagem foram realizados conforme especificação da norma, com exceção dos itens referente ao coeficiente de descarga, coeficiente do fluxo de ar por frestas e coeficiente de pressão superficial, dado que o módulo utilizado restringe os parâmetros da ventilação à configuração da orientação, altitude e localização. Neste sentido, parte-se do princípio que os valores estarão de acordo em função dos dados inseridos e tratados pelo EnergyPlus, estando assim de acordo com os dados climáticos de cada cidade.

O indicador de referência foi o GHR visto que, considerou-se que a residência apenas possui ventilação natural. Com isso, ao comparar o método prescritivo com o método por simulação, foram obtidos os resultados expressos na Tabela 31. Dessa forma, as discrepâncias entre os resultados referentes à metodologia aplicada podem representar as limitações em termos de elementos analisados que o próprio RTQ-R apresenta, visto que

o método prescritivo não analisa alguns elementos construtivos e nem quantifica os ganhos térmicos através de iluminação, ocupação e equipamentos, por exemplo.

Tabela 31: RTQ-R: Método Prescritivo X Método por simulação

MÉTODO	CIDADES	SUÍTE	QUARTO	SALA
Método Prescritivo	Porto Alegre (Z3)	A	B	C
	Brasília (Z4)	C	C	C
	Maceió (Z8)	A	B	B
Método por Simulação	Porto Alegre (Z3)	E	E	E
	Brasília (Z4)	E	E	E
	Maceió (Z8)	E	E	E

Além disso, comparando os resultados obtidos em cada componente do estudo de caso, obtêm-se os valores da Tabela 32, apresentado em kWh/ano. Como no método prescritivo do RTQ-R, os resultados desses componentes não são específicos, indicando-se os dados conforme os requisitos mínimos solicitados do relatório.

Tabela 32: Análise comparativa dos resultados: *Design Builder* X REH X RTQ-R

COMPONENTE	DESIGN BUILDER (kWh/ano)	REH (kWh/ano)	RTQ-R
Perdas de calor por infiltração	-1704,900	543,03	% mínima de abertura da janela
Perdas de calor por transmissão	-4010,050	12.226,00	Umín de acordo com a zona inserida
Ganhos de calor por infiltração	6,979	312,45	% mínima de abertura da janela
Ganhos de calor por transmissão	3630,607	4689,76	Umín de acordo com a zona inserida

Dessa forma, com a análise das metodologias, ao detalhar os resultados e os valores obtidos para o caso de estudo em cada cidade definida, torna-se viável a identificação dos pontos mais relevantes para assim, descrever as propostas de melhoria para as regulamentações.

4.3 Propostas para as normas e regulamentações brasileiras

A regulamentação brasileira avançou bastante em relação ao quesito térmico nos últimos anos, porém a constante atualização e adaptação desses sistemas é necessária para elevar o nível de eficiência energética e conseqüentemente o conforto térmico aos seus habitantes.

Conforme a comparação entre as regulamentações dos dois países, foram observados alguns pontos que podem contribuir na composição da norma e regulamentação brasileira e, conseqüentemente, na procura pela maior racionalização de energia.

Dentre os pontos observados, alguns são simples fatores que influenciam no contexto energético, porém não estão diretamente ligados às componentes de análise térmica. Cita-se a estruturação das regulamentações como um todo, com valores e metodologias divergentes entre a NBR e o RTQ-R, o que permite interpretações distintas.

Comparando os métodos prescritivos dos dois países, Brasil e Portugal, nota-se que nas duas regulamentações brasileiras existem algumas limitações quanto a estruturação metodológica, conforme a Tabela 28. A NBR é mais escassa do que o RTQ-R, pelo que alguns pontos de análise são desconsiderados. Já em relação ao RTQ-R, nota-se que apesar de ser mais completo que a NBR, o relatório ainda assim, possui menos itens analisados e quantificados se comparados com o REH.

Dessa forma, como o Brasil apresenta as duas normas ainda vigentes e um relatório técnico, nos quais existem valores e metodologias distintas, que podem provocar interpretações diferentes que conduzem a soluções construtivas distintas, surge como primeira estratégia de melhoria a unificação destas três regulamentações, tornando-se assim obrigatória para as edificações residenciais, o que poderá colaborar para aumentar a qualidade das construções. Conseqüentemente, pode-se unificar os valores da transmitância e capacidade térmica, os valores das áreas de aberturas mínimas para a ventilação, aproveitar a técnicas de aproveitamento passivo da NBR 15220, além de inserir as sugestões propostas a seguir.

Também, torna-se interessante com essa unificação, manter o programa brasileiro de etiquetagem no ramo da edificação. Esse programa, além de fornecer as informações sobre o desempenho da construção, estimula a competitividade da indústria da construção civil. Assim, com o acesso e a classificação dos edifícios através de cores e níveis de 'A' a

‘E’, o seu desempenho torna-se compreensível a todos, o que pode ainda incentivar construções cada vez mais eficientes.

Outro ponto identificado, foi a forma de classificação das zonas bioclimáticas brasileiras que exclui o fator altitude. Conforme exemplifica Bogo [2016], as cidades de Camboriú e Chapecó, localizadas no estado de Santa Catarina são designadas como pertencentes à mesma zona bioclimática (zona bioclimática 03), no entanto possuem altitudes de, respetivamente, 8 m e 679m. A altitude influencia o desempenho térmico do edifício num determinado local, dessa forma, sugere-se um refinamento no zoneamento bioclimático, inserindo a influência da altitude.

A metodologia não apresenta, por exemplo, uma análise dos vãos envidraçados (com exceção das Zonas 01 e 02 no RTQ-R), dos ganhos internos, e nem perdas por ventilação, cujos fatores podem ser determinantes para a análise térmica da edificação.

Os elementos da envoltória são fundamentais para a transferência de calor e quanto mais definidos estiverem os requisitos quantificados, mais próximo será os resultados da norma em relação ao da simulação dinâmica. Dessa forma, para a regulamentação brasileira, torna-se importante a inclusão de todos os componentes da envoltória, complementando a metodologia atual que apenas quantifica paredes e cobertura.

A inserção de requisitos mínimos para janelas é um dos pontos que interfere no desempenho térmico da edificação. A transferência de calor por esse elemento apresenta valores significativos que induzem à alteração das necessidades energéticas, principalmente para zonas bioclimáticas que apresentam maioritariamente a estação de verão.

Além disso, a promoção de técnicas de sombreamento e a identificação dos elementos no entorno são propostas a serem consideradas, já que influencia no desempenho térmico da edificação relativo aos ganhos solares, sobretudo para os vãos envidraçados.

Os ganhos térmicos internos através da ocupação, luz e equipamentos não são quantificados de forma descritiva nem pelo REH e nem pelas regulamentações brasileiras, porém para Portugal, quantifica-se um ganho interno médio de 4W/m^2 . Com isso, propõe-se um dado de entrada referente aos ganhos térmicos internos de acordo com os padrões de utilização brasileiros.

Outro fator que deve ser equacionado, prende-se com os valores limite do coeficiente de transmissão térmica que, quando comparados com os valores de referência

do regulamento português, apresentam-se consideravelmente altos. As zonas bioclimáticas 01, 02 e 03, que apresentam estação de aquecimento, conseguem estar de acordo com a norma com paredes com $U \leq 2,50 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e $U \leq 2,30 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, dessa forma a diminuição dos desses valores é um ponto sugestivo de alteração da norma, conforme apresentado nos resultados através da simulação computacional, que detalha a influência nas perdas através dos elementos opacos.

Por fim, as energias renováveis, por trazerem economia e benefícios ao ambiente, deveriam ser fatores determinantes para a classificação da edificação. Para isso, torna-se fundamental a inserção dos parâmetros de necessidades energéticas e a classificação pelo tipo de fonte de energia, assim como a eficiência dos equipamentos utilizados.

5 CONCLUSÕES

5.1 Descrição do trabalho desenvolvido

O trabalho realizado abordou as diferenças metodológicas entre as regulamentações brasileiras e portuguesas, a fim de propor estratégias e melhorias para o contexto brasileiro.

Inicialmente, analisaram-se as normas NBR 15220, NBR 15575, o RTQ-R e o REH para a avaliação dos parâmetros e metodologias, além da identificação dos fatores limitantes referentes ao desempenho térmico.

A partir da análise das regulamentações, foi utilizado um estudo de caso que consistiu numa residência com padrões construtivos pré-definidos, com o objetivo de avaliar as metodologias regulamentares para três zonas bioclimáticas brasileiras e uma cidade portuguesa. O estudo de caso consistiu em verificar os requisitos mínimos e os resultados da aplicação das metodologias preconizados, seja pelo método simplificado da NBR 15575, ou pelos métodos prescritos pelo RTQ-R e REH.

Em seguida, realizou-se a simulação computacional através do programa informático *Design Builder* tanto para as cidades brasileiras como para a portuguesa, já que o mesmo serve como indicador comum entre as regulamentações.

Com os resultados dos métodos simplificados e da simulação computacional, foi realizada uma comparação dos principais indicadores que influenciam no desempenho térmico do estudo de caso, a fim de selecionar os parâmetros e propostas de melhoria para a regulamentação brasileira. Apesar de os resultados gerados pelo programa computacional para a cidade de Coimbra não corroborarem para a análise dos indicadores e regulamentação brasileira, a comparação entre estas metodologias foi de grande utilidade, como indicador de referência para as propostas.

Por fim, foram observados alguns pontos que podem contribuir na composição da norma e regulamentação brasileira, indicando as recomendações que conseqüentemente possam contribuir para uma melhor quantificação e análise do desempenho térmico de habitações.

5.2 Conclusões gerais

Como incentivo às políticas públicas de eficiência energética e desempenho térmico, as regulamentações brasileiras apresentam uma estruturação base relativas a esse assunto, apesar de existir alguns quesitos que podem ser aprimorados.

A partir desta abordagem, o trabalho realizado analisou e descreveu sobre as metodologias a fim de promover construções com maior eficiência energética.

Diante das análises e comparações efetuadas referentes às decisões sobre o quesito térmico nas construções, tendo por base a regulamentação portuguesa, tornou-se viável a proposta de melhorias e estratégias que possam contribuir para aferir o desempenho dos edifícios no que se refere a eficiência energética.

Por ser mais completa, a metodologia portuguesa serviu de base para identificação dos elementos e métodos que são ausentes e que influenciam no desempenho da norma e do relatório técnico brasileiro. Além disso, ao detalhar os resultados obtidos nas simulações computacionais, tornou-se viável a identificação de quais elementos apresentam uma maior influência no estudo do comportamento térmico de uma habitação.

Considerando os resultados obtidos através do *Design Builder*, a edificação demonstrou que alguns dos elementos que não são quantificados na regulamentação brasileira e apresentam valores significativos quanto à influência na quantificação dos ganhos e perdas de calor da habitação. Devido à composição e materiais, as janelas são o elemento onde ocorrem os maiores ganhos de calor, sendo necessária a quantificação deste elemento. Agregada a inserção dos parâmetros das janelas, o sombreamento e a inclusão dos elementos no entorno do edifício, também deveriam determinar os resultados obtido em relação aos ganhos solares, já que estes parâmetros influenciam na incidência da radiação solar e, conseqüentemente, nos ganhos de calor.

Os principais pontos identificados nessa análise, além dos parâmetros das janelas, foram os ganhos internos que são desconsiderados. Estes, ao serem ignorados, podem contribuir para desconforto térmico em alguns espaços da habitação, contribuindo para sobreaquecimento do ambiente devido ao tipo de ocupação, iluminação e/ou equipamentos utilizados.

Além disso, como o Brasil possui um clima no qual prevalecem as necessidades de arrefecimento, é necessária a adaptação da norma no que respeita à diminuição dos ganhos térmicos e promoção de ventilação natural cruzada. Logo, importa destacar um dos fatores favoráveis presentes no RTQ-R e que se refere ao pré-requisito mínimo solicitado para que as edificações atendam aos índices de ventilação cruzada (área mínima de aberturas e localização em fachadas opostas).

A partir das análises dos resultados, verificou-se que as perdas de calor pelos elementos opacos, são consideravelmente altas. Dessa forma, é viável a reestruturação dos

requisitos referentes a transmitância ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) e capacidade térmica ($kJ/m^2.K$), como um fator que pode ocasionar na diminuição dessas perdas.

As zonas climáticas 01 e 02 consideradas, são aquelas que apresentam temperaturas mais baixas e, de acordo com a NBR 15575, possuem requisitos mínimos de transmitância térmica de parede e cobertura de, respectivamente, $U \leq 2,50 W/m^2 \cdot ^\circ C$ e $U \leq 2,30 W/m^2 \cdot ^\circ C$. Os valores utilizados neste trabalho estiveram de acordo com este requisito, sendo que para as zonas bioclimáticas 03 e 04, (requisito mínimo para as zonas Z3 e Z4: $U \leq 3,70 W/m^2 \cdot ^\circ C$ e $U \leq 2,30 W/m^2 \cdot ^\circ C$), que possuem invernos menos rigorosos do que as anteriores, ainda assim apresentaram resultados relativos às perdas de calor através dos elementos opacos elevados. Dessa forma, um refinamento para esses requisitos mínimos torna-se um ponto que interfere no desempenho térmico da edificação.

Como a NBR apresenta alguns parâmetros distintos do RTQ-R, um indicador de aprimoração é a unificação das duas regulamentações, a fim de promover a eficiência energética, capacitar e informar, para que se possam obter mais edificações de qualidade, com o objetivo da racionalização energética e melhoria do seu desempenho térmico.

Dessa forma, os resultados obtidos nesta dissertação indicam que, em termos metodológicos, o Brasil apresenta uma estruturação com base relativamente adequada, porém passível de incorporar estratégias e parâmetros mais específicos e que permitiriam uma análise mais detalhada. Os avanços em termos de revisões e atualizações dessas normalizações são importantes para a melhoria contínua das mesmas, entretanto estudos e pesquisas sobre o assunto são fatores que podem igualmente contribuir para este processo. A incrementação da norma com as presentes propostas pode ser uma contribuição viável para a adoção de uma metodologia mais exigente e pormenorizada, com a valorização dos elementos construtivos que são determinantes para um conhecimento mais aprofundado sobre o desempenho térmico do edifício.

5.3 Sugestões para trabalhos futuros

Ao longo dessa dissertação, foram remetidos alguns questionamentos que podem ser listados para o desenvolvimento de futuros trabalhos:

- Estudo técnico para definição dos valores efetivos na regulamentação brasileira para os parâmetros e propostas listadas no presente trabalho como: ganhos internos, valores do U máximos dos vãos envidraçados, entres outros;

- Análise da inserção e influência de sistema de energias renováveis no contexto das regulamentações brasileiras;
- Análise do desempenho térmico das edificações brasileiras através da alteração dos parâmetros térmicos mínimos para parede e cobertura;
- Proposta de uma nova divisão do zoneamento bioclimático brasileiro, podendo incluir zonas divergentes entre verão e inverno, além de incluir a influência da altitude.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: desempenho térmico de edificações – Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 – 1/ Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos GERAIS.** Rio de Janeiro, 2013a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 – 4/ Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas.** Rio de Janeiro, 2013b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 – 5/ Edificações habitacionais — Desempenho Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas.** Rio de Janeiro, 2013c.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Consulta Nacional- Análise Sistemática.** [Em linha]. [Consult. 25 set. 2018] Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/normalizacao/consulta-nacional/analise-sistematica>>.

BOGO, A. J. **Reflexões críticas quanto as limitações do texto das normas Brasileiras de desempenho NBR 15220 - 3 e NBR 15575.** *Hollos*. ISSN 1807-1600. Vol. 7, (2016) 290-298.

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho De Edificações Habitacionais: Guia Orientativo para Atendimento à Norma ABNT NBR 15575/2013.** Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

Decreto-Lei nº 118/2013 - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH); Diário da República – I Série - A, Nº159 – 20 de Agosto de 2013.

Decreto-Lei nº 80/2006 – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE); Diário da República – I Série - A, Nº67 – 4 de Abril de 2006.

Despacho nº 15793-D/2013 – Fatores de conversão de energia útil para energia primária a utilizar na determinação das necessidades nominais anuais de energia primária; Diário da República – 2ª Série – Nº234 – 3 de Dezembro de 2013.

Despacho nº 15793-E/2013 – Regras de simplificação a utilizar nos edifícios sujeitos a grandes intervenções, bem como existentes, previstos nos artigos 28º e 30º do referido decreto-lei, nas situações em que se verifique impossibilidade ou limitação no acesso a melhor informação; Diário da República – 2ª Série – Nº234 – 3 de Dezembro de 2013.

Despacho nº 15793-F/2013 – Parâmetros para o zoneamento climático e respetivos dados; Diário da República – 2ª Série – Nº234 – 3 de Dezembro de 2013.

Despacho nº 15793-H/2013 – regras de quantificação e contabilização de contributo de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renováveis, de acordo com o tipo de sistema; Diário da República – 2ª Série – Nº234 – 3 de Dezembro de 2013.

Despacho nº 15793-I/2013 – Metodologias de cálculo para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária; Diário da República – 2ª Série – Nº234 – 3 de Dezembro de 2013.

Despacho nº 15793-J/2013 – regras de determinação de classe energética; Diário da República – 2ª Série – Nº234 – 3 de Dezembro de 2013.

Despacho nº 15793-K /2013 – Parâmetros térmicos. Diário da República – 2ª Série – Nº234 – 3 de Dezembro de 2013.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018: Ano base 2017**. – Rio de Janeiro: EPE, 2018.

FERREIRA, Camila; SOUZA, Henor Artur de; ASSIS, Eleonora Sad de. **Estudo do Clima Brasileiro: Reflexões e Recomendações sobre a Adequação Climática de Habitações**. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Maceió (2014). 429-438

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Informações por Cidade e Estado**. [Em linha]. [Consult. 13 dec. 2018]. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/por-cidade-estado-estatisticas.html?t=destaques&c=4314902>>. 2017a.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Informações por Cidade e Estado**. [Em linha]. [Consult. 13 dec. 2018]. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/por-cidade-estado-estatisticas.html?t=destaques&c=5300108>>. 2017b.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Informações por Cidade e Estado**. [Em linha]. [Consult. 13 dec. 2018]. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/por-cidade-estado-estatisticas.html?t=destaques&c=2704302>>. 2017c.

IMPrensa Nacional - Casa Civil da Presidência da República. **Diário Oficial da União - Portaria nº 269, de 22 de março de 2017**. [Em linha]. [Consult. 07 jan. 2018]. Disponível em: <http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/20122352/do1-2017-03-24-portaria-n-269-de-22-de-marco-de-2017-20122235>

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) – Brasília, Maceió, Porto Alegre - de 2000 a 2017** [Em linha]. [Consult. 11 nov. 2018]. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações**. Portaria n° 50, de 01 de fevereiro de 2013. INMETRO, 2013.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Portaria n.18, de 16 de janeiro de 2012. INMETRO, 2012a.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Manual para Aplicação do RTQ-R**. Portaria n.18, de 16 de janeiro de 2012. INMETRO, 2012b.

ITECONS – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade. **Plataforma para Eficiência Energética de Edifícios. Ferramentas de cálculo DL 118/2013** [Em linha]. [Consult. 28 jan. 2018]. Disponível em: <<http://www.itecons.uc.pt/p3e/>>.

LABEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Planilha de Etiquetagem RTQ-R**. [Em linha]. [Consult. 24 jan. 2018]. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/planilhas-catalogos>>.

LAMBERTS, Roberto... [et al]. **Casa eficiente: Bioclimatologia e desempenho térmico**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010. v.1 (123p)

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2014.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE)**. [Em linha]. [Consult. 03 set. 2019]. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/conselhos-e-comites/cgiee>>.

PLANALTO FEDERAL DO BRASIL. Legislação. **LEI n° 10.295, DE 17 DE OUTUBRO DE 2001**. [Em linha]. [Consult. 03 set. 2019]. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/d4059.htm>.

PLANALTO FEDERAL DO BRASIL. Legislação. **LEI n° 10.295, DE 17 DE OUTUBRO DE 2001**. [Em linha]. [Consult. 03 set. 2019]. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110295.htm>.

PROJETEEE - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. **Componente Construtivos**. [Em linha]. [Consult. 20 jan. 2018]. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/>>

ANEXO A1

SolTerm 5.0 - Análise de desempenho e pré-dimensionamento de Sistemas Solares

Relatórios Manual Outras informações Configuração Terminar

Clima e local | Sistemas térmicos | Sistemas fotovoltaicos | Análise energética | Análise económica | Benefícios ambientais

Coimbra

Desempenho do sistema térmico (projecto não arquivado)

	Rad.Horiz. kWh/m ²	Rad.Inclin. kWh/m ²	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	56	93	,	130	173	43
Fevereiro	74	108	,	125	153	28
Março	108	132	,	148	165	17
Abril	148	158	,	143	154	11
Mai	184	175	,	152	154	2
Junho	191	173	,	137	137	0
Julho	211	196	,	137	137	0
Agosto	193	198	,	137	137	0
Setembro	136	160	,	134	135	1
Outubro	102	143	,	136	152	17
Novembro	66	112	,	136	158	22
Dezembro	53	94	,	128	170	42
Anual	1523	1742	,	1642	1825	183

Fracção solar: 90,0%
Produtividade: 365 kWh/[m² colector]

Optimização sob critérios energéticos

aumentar a fracção solar
 eliminar o desperdício de energia solar
 reduzir o fornecimento de energia de apoio
 otimizar a orientação dos colectores

constringimentos
 manter a área de colectores
 manter o tamanho do depósito

Optimizar
 (3 módulos)
 4,5 m²
 Inclinação 40°
 Azimute Sul
 Depósito de 300 l

guardar Relatório
 interpretação

ANEXO A2

PORTO ALEGRE

Zona Bioclimática	ZB	Porto Alegre	ZB3	ZB3	ZB3
Ambiente	Identificação	adimensional	SUÍTE	QUARTO	SALA
	Área útil do APP	m ²	7,14	7,25	20,15
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional			
	Contato com solo	adimensional	1	1	1
	Sobre Pilotis	adimensional			
Cobertura	Ucob	W/m ² .K	1,30	1,30	1,30
	CTcob	kJ/m ² .K	281,90	281,90	281,90
	αcob	adimensional	0,40	0,40	0,40
Paredes Externas	Upar	W/m ² .K	2,37	2,37	2,37
	CTpar	kJ/m ² .K	151,00	151,00	151,00
	αpar	adimensional	0,40	0,40	0,40
Característica construtiva	CTbaixa	binário			
	CTalta	binário			
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m ²		6,76	
	SUL	m ²			7,60
	LESTE	m ²	6,87	7,21	1,05
	OESTE	m ²			13,24
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m ²			
	SUL	m ²			1,76
	LESTE	m ²	1,32	1,32	1,47
	OESTE	m ²			1,32
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,50	0,50	0,50
	Somb	adimensional	1,00	1,00	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m ²	17,24	12,65	23,50
	Pé Direito	m	2,60	2,60	2,60

	C altura	adimensional	0,364	0,359	0,129
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário			
	vid	binário			
	Uvid	W/m².K			
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	A	B	A
			727	1423	689
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m².ano	B	B	B
			7,894	8,200	12,372
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m².ano	C	C	Não se aplica
			16,335	16,382	0,000
Pré-requisitos por ambiente					
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	CT paredes externas	151	151	151
		Upar, CTpar e apar atendem?	Sim	Sim	Sim
	Cobertura	Ucob, Ctcob e acob atendem?	Sim	Sim	Sim
		Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?	Sim	Sim
	Há corredor no Ambiente?		Não	Não	Sim
	Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?				18,25
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	1,1	1,1	2,5
		Ai/Auamb (%)	15,41	15,17	13,70
		Atende 12,5%?	sim	sim	sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	0,6	0,6	1,4
		Av/Auamb (%)	8,40	8,28	7,67
		Atende % mínima?	Sim	Sim	Não
		Tipo de abertura	De correr	De correr	De correr
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim

		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?	Não	Não	Não
		Atende?	Sim	Sim	Sim
Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Ponderação da nota pela área útil do ambiente				
	Envoltória para Verão	B	A	B	C
		3,62	5,00	4,00	3,00
	Envoltória para Inverno	B	B	B	B
		4,00	4,00	4,00	4,00
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	C	C	C	Não se aplica	
	3,00	3,00	3,00	0,00	

BRASÍLIA

Zona Bioclimática	ZB	Brasília	ZB4	ZB4	ZB4
Ambiente	Identificação	adimensional	SUÍTE	QUARTO	SALA
	Área útil do APP	m ²	7,14	7,25	20,15
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional			
	Contato com solo	adimensional	1	1	1
	Sobre Pilotis	adimensional			
Cobertura	Ucob	W/m ² .K	1,30	1,30	1,30
	CTcob	kJ/m ² .K	281,90	281,90	281,90
	αcob	adimensional	0,40	0,40	0,40
Paredes Externas	Upar	W/m ² .K	2,37	2,37	2,37
	CTpar	kJ/m ² .K	151,00	151,00	151,00
	αpar	adimensional	0,40	0,40	0,40
Característica construtiva	CTbaixa	binário			
	CTalta	binário			
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m ²		6,76	
	SUL	m ²			7,60

	LESTE	m ²	6,87	7,21	1,05
	OESTE	m ²			13,24
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m ²			
	SUL	m ²			1,76
	LESTE	m ²	1,32	1,32	1,47
	OESTE	m ²			1,32
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,45	0,45	0,45
	Somb	adimensional	1,00	1,00	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m ²	17,24	12,65	23,50
	Pé Direito	m	2,60	2,60	2,60
	C altura	adimensional	0,364	0,359	0,129
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário			
	vid	binário			
	Uvid	W/m ² .K			
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	A	A	A
			-61	382	56
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m ² .ano	A	A	A
			4,871	4,855	5,718
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m ² .ano	A	A	Não se aplica
			0,213	0,629	0,000
Pré-requisitos por ambiente					
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	CT paredes externas	151	151	151
		Upar, CTpar e apar atendem?	Sim	Sim	Sim
	Cobertura	Ucob, Ctcob e acob atendem?	Sim	Sim	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?	Sim	Sim	Não
		Há corredor no Ambiente?	Não	Não	Sim
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?			18,25
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m ²]	1,1	1,1	2,5

		Ai/Auamb (%)	15,41	15,17	13,70
		Atende 12,5%?	sim	sim	sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	0,6	0,6	1,4
		Av/Auamb (%)	8,40	8,28	7,67
		Atende % mínima?	Sim	Sim	Não
		Tipo de abertura	De correr	De correr	De correr
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?	Não	Não	Não
		Atende?	Sim	Sim	Sim
Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Ponderação da nota pela área útil do ambiente				
	Envoltória para Verão	B	A	A	C
		3,83	5,00	5,00	3,00
	Envoltória para Inverno	A	A	A	A
		5,00	5,00	5,00	5,00
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	A	A	A	Não se aplica	
	5,00	5,00	5,00	0,00	

MACEIÓ

Zona Bioclimática	ZB	Maceió	ZB8	ZB8	ZB8
Ambiente	Identificação	adimensional	SUÍTE	QUARTO	SALA
	Área útil do APP	m ²	7,14	7,25	20,15
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional			
	Contato com solo	adimensional	1	1	1
	Sobre Pilotis	adimensional			
Cobertura	Ucob	W/m ² .K	1,30	1,30	1,30
	CTcob	kJ/m ² .K	281,90	281,90	281,90

	α_{cob}	adimensional	0,40	0,40	0,40
Paredes Externas	Upar	W/m ² .K	2,37	2,37	2,37
	CTpar	kJ/m ² .K	151,00	151,00	151,00
	α_{par}	adimensional	0,40	0,40	0,40
Característica construtiva	CTbaixa	binário			
	CTalta	binário			
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m ²		6,76	
	SUL	m ²			7,60
	LESTE	m ²	6,87	7,21	1,05
	OESTE	m ²			13,24
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m ²			
	SUL	m ²			1,76
	LESTE	m ²	1,32	1,32	1,47
	OESTE	m ²			1,32
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,50	0,50	0,50
	Somb	adimensional	1,00	1,00	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m ²	17,24	12,65	23,50
	Pé Direito	m	2,60	2,60	2,60
	C altura	adimensional	0,364	0,359	0,129
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário			
	vid	binário			
	Uvid	W/m ² .K			
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	A	B	B
			4146	7018	5549
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m ² .ano	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000	Não se aplica 0,000
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m ² .ano	D 61,026	D 60,602	Não se aplica 0,000
Pré-requisitos por ambiente					
Pré Requisitos da	Paredes externas	CT paredes externas	151	151	151

Envoltória		Upar, CTpar e apar atendem?	Sim	Sim	Sim
	Cobertura	Ucob, Ctcob e acob atendem?	Sim	Sim	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?	Sim	Sim	Não
		Há corredor no Ambiente?	Não	Não	Sim
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?			18,25
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m ²]	1,1	1,1	2,5
		Ai/Auamb (%)	15,41	15,17	13,70
		Atende 12,5%?	sim	sim	sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	0,6	0,6	1,4
		Av/Auamb (%)	8,40	8,28	7,67
		Atende % mínima?	Não	Não	Não
		Tipo de abertura	De correr	De correr	De correr
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?	Sim	Sim	Sim
Atende?		Sim	Sim	Sim	
Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Ponderação da nota pela área útil do ambiente				
	Envoltória para Verão	C	C	C	C
		3,00	3,00	3,00	3,00
	Envoltória para Inverno	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
		0,00	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	D	D	D	Não se aplica	
	2,00	2,00	2,00	0,00	